

# ENGENHARIA, GESTÃO E INOVAÇÃO

ORGANIZADORES

ALINE MARA OLIVEIRA

OSVALDO SENA GUIMARÃES



VOLUME

16



Editora Poisson



Aline Mara Oliveira  
Oswaldo Sena Guimarães  
(Organizadores)

# Engenharia, Gestão e Inovação Volume 16

1ª Edição

Belo Horizonte  
Editora Poisson  
2024

**Editor Chefe:** Dr. Darly Fernando Andrade

**Conselho Editorial**

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais  
MSc. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas  
MSc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

E57

Engenharia, Gestão e Inovação - Volume 16/  
Organizadores: Aline Mara Oliveira, Osvaldo  
Sena Guimarães - Belo Horizonte - MG:  
Editora Poisson, 2024

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5866-457-4

DOI: 10.36229/978-65-5866-457-4

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação. I. OLIVEIRA,  
Aline Mara II. GUIMARÃES, Osvaldo Sena III.  
Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura - CRB 6/1896



O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.

Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em [www.poisson.com.br](http://www.poisson.com.br)

Entre em contato pelo [contato@poisson.com.br](mailto:contato@poisson.com.br)

# SUMÁRIO

**Capítulo 1:** Utilização do Teste do Qui-Quadrado para verificar se existe associação entre máquinas e turnos para peças defeituosas em um processo produtivo ..... 06

Suelem Aparecida de Oliveira Cursino dos Santos, Luiz Eduardo Campos Rodrigues, Laura Dutra de Abreu, Maria da Glória Diniz de Almeida, João Ercio Miranda Júnior, Karen Cristina Ribeiro Sarandy, Nilo Antonio de Souza Sampaio

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.01

**Capítulo 2:** Como usar a análise de modo de falha no projeto de equipamentos para uma empresa..... 14

Natiny Gabriela Miranda, José Glênio Medeiros de Barros, Nilo Antonio de Souza Sampaio

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.02

**Capítulo 3:** Como usar gráficos de controle para a proporção de itens defeituosos em uma empresa automotiva..... 20

Luiza Batista da Silva, Felipe Ramos Figueira, José Glênio Medeiros de Barros, Nilo Antonio de Souza Sampaio

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.03

**Capítulo 4:** Proposição de ferramentas da gestão da qualidade: um estudo de caso em uma indústria metalúrgica em Santa Catarina..... 28

Gabrielle Freitas de Avila, Sandra Martins Lohn Vargas

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.04

**Capítulo 5:** Aplicação de melhoria contínua em um processo interno de uma empresa metal-mecânica ..... 59

Manoela Rodrigues Pimentel Cruz, Jose Ricardo Scareli Carrijo

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.05

**Capítulo 6:** Capacitación sobre hormigón armado a operarios en obra..... 79

José María López Candia, Melanie Andrea Ruiz Díaz Ayala, Jorge Nelson González Maya Bogado

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.06

**Capítulo 7:** Estudo de variáveis na etapa de conformação por prensagem na caracterização de argilas ..... 87

Francielle Cristine Pereira Gonçalves, Chrystian Gregório Medeiros de Lima, Rennáh Francisco Figueiredo Gonçalves, Bruno Caio Chaves Fernandes, Camilla Pereira Soares, Ari Lucas Santos Oliveira, Thaís de Oliveira Almeida, Gustavo César Pamplona de Sousa

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.07

**Capítulo 8:** Aperfeiçoamento de secador solar portátil no Semiárido Potiguar..... 100

Igor Pacífico Xavier da Silva, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.08

# SUMÁRIO

<b>Capítulo 9:</b> Controle de vibrações utilizando LMIs aplicado a uma viga flexível .....	123
Matheus Rincon Modesto Maroni, Edson Hideki Koroishi	
DOI: 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.09	
<b>Capítulo 10:</b> A brief review of multicomponent alloys .....	131
Raphael Basilio Pires Nonato, Thomaz Augusto Guisard Restivo, José Carlos Machado Junior	
DOI: 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.10	
<b>Capítulo 11:</b> Contribuições preliminares sobre biomimética e modelagem paramétrica .....	143
Ercilia de Stefano, Flávia Bastos de Oliveira Mattos, Natália Fernandes da Motta, Alberto Eduardo Besser Freitag, Marcos Martins Borges	
DOI: 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.11	
<b>Capítulo 12:</b> A utilização da manufatura aditiva no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias no Brasil: uma revisão sistemática.....	155
Miguel Olimpio de Paula Netto, Camila Souza Carvalho, Tatiana Tavares Rodriguez, Ercilia de Stefano, Moisés Luiz Lagares Júnior, José Alberto Barroso Castanõn	
DOI: 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.12	
<b>Capítulo 13:</b> Inovação tecnológica na construção civil .....	189
Ercilia de Stefano, Michelle Nascimento Costa, Júlia Martins Carrara, Alberto Eduardo Besser Freitag, Tatiana Tavares Rodriguez, João Carlos Barreto Santos, José Cristiano Pereira	
DOI: 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.13	
<b>Capítulo 14:</b> Evidências científicas interdisciplinares para uma nova agenda sobre os desafios de gestão de operações em ambiente construído no Brasil.....	208
Natália Fernandes da Motta, Ercília de Stefano, Tatiana Tavares Rodriguez, José Alberto Barroso Castanon, Alberto Eduardo Besser Freitag	
DOI: 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.14	
<b>Capítulo 15:</b> O impacto econômico do modal ferroviário no Maranhão: uma revisão na literatura .....	221
Arthur Thalisson Maciel Brito, Douglas Burnier Almeida Pereira, Ludmila Karin Silva Sá, Mayssa Alves da Silva Sousa	
DOI: 10.36229/978-65-5866-457-4.CAP.15	
<b>Autores</b> .....	238

# Capítulo 1

## *Utilização do Teste do Qui-Quadrado para verificar se existe associação entre máquinas e turnos para peças defeituosas em um processo produtivo*

*Suelem Aparecida de Oliveira Cursino dos Santos*

*Luiz Eduardo Campos Rodrigues*

*Laura Dutra de Abreu*

*Maria da Glória Diniz de Almeida*

*João Ercio Miranda Júnior*

*Karen Cristina Ribeiro Sarandy*

*Nilo Antonio de Souza Sampaio*

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi comparar o número de defeitos por máquinas e por turnos para verificar se existe associação entre turnos e máquinas com relação a defeitos. Para atingir esse objetivo, foi realizado um Teste do Qui-Quadrado de Associação para verificar se existe essa associação. Vale ressaltar que a confidencialidade dos dados foi priorizada em prol dos interesses da empresa.

**Palavras-chave:** Software Estatístico Minitab 19, Gráfico do Qui-Quadrado de Associação, Tabela de Contigência, Processo Produtivo.

## 1. INTRODUÇÃO

Durante o século passado, a estatística revolucionou a ciência ao apresentar modelos úteis que modernizaram o processo de pesquisa na direção de melhores parâmetros de pesquisa, possibilitando orientar a tomada de decisões em uma ampla variedade de áreas. Os métodos estatísticos foram desenvolvidos como uma mistura de ciência e lógica para a solução e investigação de problemas em várias áreas do conhecimento humano (Cardoso et al., 2023; Rezende et al., 2023).

O Teste Qui-Quadrado para Associação entre duas variáveis, Visam determinar a existência de associação entre duas ou mais variáveis. Para um par de variáveis qualitativas (ou categóricas), pode-se usar o teste de qui-quadrado para independência. Para um par de variáveis quantitativas pode-se usar o teste de correlação de Pearson. Lembrando-se que associação não implica necessariamente em causalidade. A aproximação da distribuição  $X^2$  é ruim quando  $n$  não é grande, Na prática, considera-se que os valores esperados sejam  $\geq 5$  para uma aproximação satisfatória. Para se verificar causalidade existem os experimentos planejados (Camila F. Bassetto, 2021; Mendes et al., 2006; Paiva et al., 2012).

O objetivo deste artigo é mostrar uma aplicação específica do Teste de Associação do Qui-Quadrado. Inicialmente, o artigo abordará os conceitos desse teste. Em seguida, serão apresentados os resultados e as discussões dos objetivos propostos, e será apresentada uma aplicação com dados extraídos de uma empresa. Por fim, será apresentada as Conclusões.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O teste Qui-Quadrado foi realizado segundo a fórmula proposta por Karl Pearson, que aparece na Expressão (1) no item Resultados e Discussões. Em que  $X^2$  a Estatística do Teste (Igor Silveira Elesbão & Liska, 2016).

O Teste Qui-Quadrado de Pearson é usado para avaliar três tipos de comparação: bondade do ajuste (também chamado teste de aderência), homogeneidade e independência.

- Um **Teste de Qualidade do Ajuste** estabelece se uma distribuição de frequências observadas difere de uma distribuição teórica.
- Um **teste de homogeneidade** compara a distribuição de contagens para dois ou mais grupos usando a mesma variável categórica (por exemplo, escolha de atividades - faculdades, viagens, empregos - de alunos formados do ensino médio depois de um ano de formados, para ver se o número de alunos escolhendo uma certa atividade tem mudado de classe para classe, ou de década para década).
- Um **teste de independência** avalia se observações não pareadas em duas variáveis, expressas em uma tabela de contingência, são independentes entre si (por exemplo, respostas de votação de pessoas de diferentes nacionalidades para ver se a nacionalidade de uma pessoa está relacionada com a sua resposta) (Pandis, 2016).

As etapas do teste são as seguintes:

- Seleciona-se um nível desejado de confiança (nível de significância, valor-p ou nível alfa) para o resultado do teste.
- Compara-se a estatística calculada  $X^2$  para o valor crítico da distribuição Qui-



Quadrado com  $gl$  graus de liberdade e o nível de confiança selecionado (unicaudal já que o teste tem somente uma direção, isto é, o valor de teste maior que o valor crítico) onde em muitos casos ocorre uma boa aproximação da Distribuição  $X^2$ .

- Aceita-se ou não aceita-se a hipótese nula de que a distribuição de frequências observadas é a mesma que a distribuição teórica baseada em se a estatística de testes excede o valor crítico de  $X^2$ . Se o teste excede o valor crítico de  $X^2$ , a hipótese nula ( $H_0$  = Não há diferença entre as distribuições) não é aceita, e a hipótese alternativa ( $H_1$  = Existe diferença entre as distribuições) pode ser aceita, ambas dependendo do nível de significância (Igor Silveira Elesbão & Liska, 2016; Pandis, 2016; Teixeira et al., 2020).

O objetivo do método do teste do Qui-quadrado (ou Chi-quadrado) é comparar as divergências entre as frequências esperadas (E) e as observadas (O). Para testar se as discrepâncias calculadas possuem significância estatística, calcula-se o índice  $X^2$  e compara-se com o mesmo fator ( $X^2$  crítico) obtido da tabela de distribuição chi-quadrado (Teixeira et al., 2020).

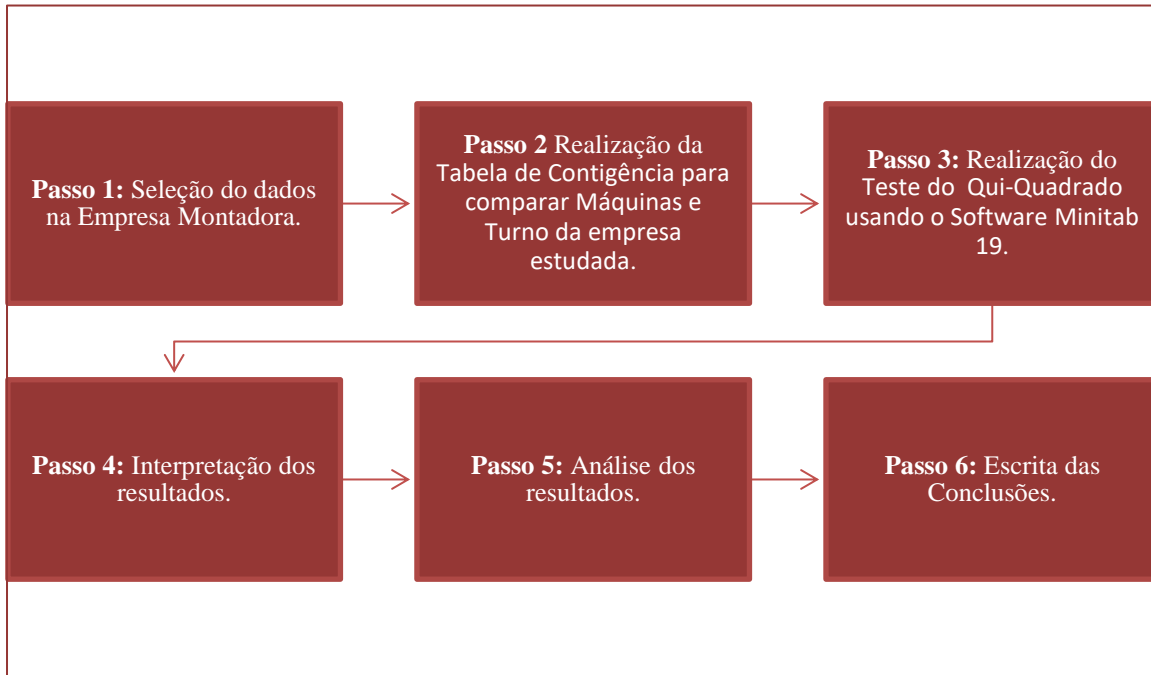
O Teste da Associação ou **Teste de Independência** avalia se observações não pareadas em duas variáveis, expressas em uma tabela de contingência, são independentes entre si. (Muhlisoh et al., 2020).

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Este artigo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois visa a fornecer melhorias na literatura atual, com objetivos empíricos normativos, visando ao desenvolvimento de políticas e estratégias que melhorarão a condição atual. (Rezende et al., 2023; Sampaio et al., 2022). A abordagem do problema é quantitativa, como o método de pesquisa de modelagem e simulação. As etapas da pesquisa foram realizadas de acordo com a sequência mostrada na Figura 1.

- Etapa 1: Os dados experimentais foram selecionados a partir do trabalho de uma Empresa fabricante de peças para uma Montadora de Veículos no sul do Estado do Rio de Janeiro. Essa escolha foi baseada no fato de que era uma oportunidade de aplicar testes estatísticos em uma situação real.
- Etapa 2: Realização de uma Tabela de Contigência para comparar Máquinas e Turno da empresa estudada.
- Etapa 3: Realização do Teste do Qui-Quadrado usando o Software Minitab 19.
- Etapa 4: foi realizada a interpretação dos resultados.
- Etapa 5: a situação do problema foi analisada e as possíveis tomadas de decisão foram baseadas nos resultados obtidos.
- Etapa 6: As conclusões apresentadas no final deste capítulo de livro foram tiradas com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores.



**Figura 1.** Passos do método de pesquisa

Fonte: Autores (2024).

### 3.1. ESTUDO DE CASO

O problema em questão envolve a fabricação de peças em uma em uma empresa que fornecedora de uma montadora de veículos da Região Sul Fluminense. Na Tabela-1 pode-se visualizar uma Tabela de Contingência que é uma tabela que calcula observações por múltiplas variáveis categóricas, vistas nas linhas e colunas da tabela. No caso específico dessa empresa a questão que se levanta é se existe relação entre os Turnos de Produção e das Máquinas existentes com relação a peças defeituosas com o objetivo de se rastrear o problema até chegar nas verdadeiras causas dos mesmos. Para responder este questionamento foi realizado em Teste de Associação do Qui-Quadrado.

**Tabela 1.** Tabela de Comparação entre Máquinas e Turnos com relação a peças defeituosas

Máquina	1º. Turno	2º. Turno	3º. Turno
1	48	47	48
2	76	47	32
3	36	40	34

Fonte: Autores (2024).

Para o Teste do Qui-Quadrado da Associação as Hipóteses são as evidenciadas abaixo:

Ho: Não há evidência estatística da associação entre turnos e máquinas.

H1: Há evidência estatística da associação entre turnos e máquinas.

O teste foi realizado com um Nível de Significância de 5%. Se o valor do  $X^2_{\text{calculado}}$  for maior que o  $X^2_{\text{crítico}}$  rejeita-se  $H_0$  e aceita-se  $H_1$ , ou seja existe evidência estatística da associação entre turnos e máquinas. Caso o contrário aceita-se  $H_0$ .

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. ESTUDO DE CASO

Realizado o Teste Estatístico do Qui-Quadrado da Associação utilizando-se a Tabela-2 e a expressão (1) abaixo:

**Tabela 2.** Tabela com os Totais Marginais de Comparação entre Máquinas e Turnos com relação a peças defeituosas

Máquina	1º. Turno	2º. Turno	3º. Turno	TOTAL
1	48	47	48	143
2	76	47	32	155
3	36	40	34	110
<b>TOTAL</b>	<b>160</b>	<b>134</b>	<b>114</b>	<b>408</b>

Fonte: Autores (2024).

O cálculo do valor esperado para cada uma dos nove pontos é feito multiplicando-se os somatório dos defeitos de máquinas vezes o somatório dos defeitos de turno e dividindo-se por cada ponto. Como exemplo o valor esperado no 1º Turno da Máquina 1 é feito multiplicando-se 143 x 160 e dividir por 408.

$$\frac{143 \times 160}{408} = 56,08 \quad (1)$$

Realizando-se todos os cálculos chega-se a Tabela-3 com os valores com o número de defeitos esperados.

**Tabela 3.** Tabela com os Defeitos Esperados entre Máquinas e Turnos

Máquina	1º. Turno	2º. Turno	3º. Turno
1	56,08	46,97	39,96
2	60,78	50,91	43,31
3	43,14	36,13	30,74

Fonte: Autores (2024).

Na sequência calcula-se o Qui-Quadrado para cada um dos pontos usando-se a expressão 2:

$$X^2 = \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2)$$

Como exemplo do 1º cálculo tem-se:  $X^2 = \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \frac{(48 - 56,08)^2}{56,08} = 1,1637$ .

Realizando-se o Qui-Quadrado para todas as células obtém-se a Tabela-4.

**Tabela 4.** Qui-Quadrado de todas as células entre Máquinas e Turnos

Máquina	1º. Turno	2º. Turno	3º. Turno
1	1,1637	0,0000	1,6195
2	3,8088	0,2998	2,9530
3	1,1809	0,4151	0,3468

Fonte: Autores (2024).

Ao se somar as 9 células obtém-se o Qui-Quadrado geral calculado que é 11,788. A ideia desse cálculo é verificar se existe uma concentração maior de defeitos em um determinado Turno e em uma determinada Máquina. Para verificar Qui-Quadrado crítico precisa-se calcular os graus de liberdade para a Tabela de Contigência para a associação entre duas variáveis que é feita com a expressão 3:

$$GL = \{(c-1).(l-1)\} \quad (3)$$

$$GL = \{(3-1).(3-1)\} = 4,$$

onde c é o número de colunas e l o número de linhas da tabela. Procurando-se em qualquer tabela do Qui-Quadrado obtém-se para um Nível de Significância de 5% e com Grau de Liberdade de 4 o valor de  $X^2_{crítico} = 9,488$  o que faz com que se rejeite-se  $H_0$  e aceite-se  $H_1$ , ou seja existe evidência estatística da associação entre turnos e máquinas. Usando-se o Software Minitab 19 realiza-se os Cálculos das Tabelas vistas acima todas de uma só vez como pode ser visto na Tabela-5 e ainda o a Tabela-6 que apresenta o Teste do Qui-Quadrado de Pearson calculado anteriormente com 4 Graus de Liberdade que apresenta também o mesmo valor 11,788 e ainda um P-valor de 0,019 (1,9%) que é menor que 5%, ou seja tem mais probabilidade de acontecer o erro  $\alpha$  ( Rejeitar  $H_0$  quando ela é verdadeira) do que a Hipótese Nula, logo a mesma deve ser rejeitada.

**Tabela 5.** Valores de Defeitos Observados e Esperados e o Qui-Quadrado de todas as células entre Máquinas e Turnos

Máquina	1o Turno	2o Turno	3o Turno	Todos
1				143
	48	47	48	
	56,08	46,97	39,96	
	1,1637	0,0000	1,6195	
2				155
	76	47	32	
	60,78	50,91	43,31	
	3,8088	0,2998	2,9530	
3				110
	36	40	34	
	43,14	36,13	30,74	
	1,1809	0,4151	0,3468	
Todos	160	134	114	408

Fonte: Autores (2024).

**Tabela 6.** Cálculo do Qui-Quadrado Qui-Quadrado de todas as células entre Máquinas e Turnos

	Qui-Quadrado	GL	Valor-p
Pearson	11,788	4	0,019
Razão de verossimilhança	11,816	4	0,019

Pode-se observar na Tabela-5 que quanto maior o Qui-Quadrado maior a discrepância entre o valor do número de defeitos Observado e Esperado. Logo observando a Tabela-5 pode-se observar que as duas células que mais contribuem para aumentar o Qui-Quadrado calculado de Person são 1º Turno-Máquina2 com um valor de 3,8088 e 3º Turno-Máquina2 com um valor de 2,9530, ambos pintados de azul na tabela para chamar atenção. Provavelmente o operador que trabalhou nesse Turno esta Máquina observou algum problema e em qualquer situação precisa de um estudo para entender o que ocorreu realmente com as máquinas.

## 5. CONCLUSÕES

Nessa aplicação específica do Teste da Associação do Qui-Quadrado com Grau de Liberdade 4 e significância 5% verifica-se que o Qui-Quadrado calculado de Pearson é maior que o Qui-Quadrado tabelado ou crítico e portanto rejeita-se a Hipótese Nula e aceita-se a Hipótese Alternativa, ou seja, existe evidência estatística de associação entre Máquina e Turno. Uma observação da Tabela-5 mostra exatamente o conjunto onde ocorre o problema que é 1º Turno-Máquina2 e 3º Turno-Máquina2. Portanto agora a empresa possui informações para verificar o que realmente ocorre e tomar as devidas providências.

## REFERENCIAS

- [1] Araújo, E. M., Araújo, E. M., de Oliveira, J. B., Silva, M. G., Viana, P. C., & Alves, A. da S. (2010). Análise da aderência de distribuições de probabilidade aos dados de temperatura máxima e mínima do ar em iguatu-ce. *Revista Caatinga*, 23(3), 104–109.
- [2] Camila F. Bassetto. (2021). Aplicação do Teste Qui-Quadrado sobre a associação entre proficiência em matemática e fatores socioeconômicos: uma abordagem com dados do SARESP. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathemat.* <https://doi.org/10.5540/03.2021.008.01.0372>
- [3] Cardoso, R. P., Reis, J. S. D. M., Silva, D. E. W., Almeida, M. da gloria diniz de, Barros, J. G. M. de, & Sampaio, N. A. de S. (2023). Scientific Research Trends About Metaheuristics in Process Optimization and Case Study Using the Desirability Function. *Revista de Gestão e Secretariado*, 14(3), 3348–3367. <https://doi.org/http://doi.org/10.7769/gesec.v14i3.1809>
- [4] Igor Silveira Elesbão, & Liska, G. R. (2016). *TESTES DE ADERÊNCIA APLICADOS NO AJUSTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL ÀS NOTAS MÉDIAS DE DUAS TURMAS*. 19(5), 1–23.
- [5] Mendes, M. J. F. D. L., Alves, J. G. B., Alves, A. V., Siqueira, P. P., & Freire, E. F. D. C. (2006). Associação de fatores de risco para doenças cardiovasculares em adolescentes e seus pais. *Revista Brasileira de Saude Materno Infantil*, 6(SUPPL. 1), 49–54. <https://doi.org/10.1590/s1519-38292006000500007>
- [6] Muhliso, Irawati, D., & Herawati, T. (2020). Association between cancer stigma and breast self examination among nurses. *Enfermeria Clinica*, 30, 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2020.07.012>
- [7] Nikniaz, Z., Asghari Jafarabadi, M., Ghaffarifar, S., Saeedi, Z., Akbari Namvar, Z., & Shirmohammadi, M. (2020). Psychometric properties of the Persian version of the celiac disease adherence test

questionnaire. *BMC Gastroenterology*, 20(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/s12876-020-01396-8>

[8] Paiva, M. A. F. de, Soares, M. S. M., Figueiredo, C. R. L. V. de, Luna, A. H., Oliveira, V. E. N. de, & Brasil Júnior, O. (2012). Associação entre displasia e inflamação em queilite actínica TT - Association between dysplasia and inflammation in actinic cheilitis. *J. Bras. Patol. Med. Lab*, 48(6), 455–458. [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1676-24442012000600011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-24442012000600011)

[9] Pandis, N. (2016). The chi-square test. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 150(5), 898–899. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.08.009>

[10] Rezende, M. D., Rosa, C. S. da, Cardoso, R. P., Reis, J. S. da M., & Sampaio, N. A. de S. (2023). Statistics as a Tool for Decision Making in Agricultural and Environmental Experiments. *Revista de Gestão e Secretariado*, 14(4), 5204–5217. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i4.1978>

[11] Sampaio, N. A. de S., Reis, J. S. da M., Espuny, M., Cardoso, R. P., Gomes, F. M., Pereira, F. M., Ferreira, L. C., Barbosa, M., Santos, G., & Silva, M. B. (2022). Contributions to the future of metaheuristics in the contours of scientific development. *Gestão & Produção*, 29(1), 1–19. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e099>

[12] Teixeira, L., Gomes, C., & Santos, M. (2020). Revisitando os Testes de Aderência à Curva Normal: Contribuições para a Engenharia de Produção. *XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.

# Capítulo 2

## *Como usar a análise de modo de falha no projeto de equipamentos para uma empresa*

*Natiny Gabriela Miranda*

*José Glênio Medeiros de Barros*

*Nilo Antonio de Souza Sampaio*

**Resumo:** O objetivo desse artigo é propor melhorias para redução de riscos de falhas para adquirir um novo equipamento de uma indústria automobilística da região sul fluminense do estado do Rio de Janeiro utilizando a ferramenta DFMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falhas de Projeto), que será desenvolvido para se conseguir um equipamento isento dos problemas existentes atualmente e se antecipar a um possível aumento de demanda de veículos prevista para o final do ano de realização do mesmo. Montou-se uma equipe multifuncional de funcionários das principais áreas envolvidas levantou-se os principais modos de falhas do equipamento por meio da ferramenta Brainstorming. Em seguida foi preenchida a planilha do DFMEA utilizando as tabelas de classificação para Severidade, Ocorrência e Detecção para calcular o NPR (Número de Prioridade de Risco). Com aplicação dessa técnica foram sugeridas ações para produzir melhorias para os modos de falhas, os quais foram escritas em uma planilha 5W1H. Desta maneira foi possível comprovar a importância da aplicação do DFMEA antes da aquisição de um novo equipamento para evitar futuros desperdícios e aumentar a eficiência da fábrica.

**Palavras-chave:** DFMEA, NPR, Brainstorming.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda de produção e a alta competitividade no setor automobilístico, uma empresa da região sul fluminense do Rio de Janeiro decidiu investir em um novo transportador aéreo de cabines veiculares. Para isso uma equipe multifuncional foi montada e optou-se por aplicar a ferramenta DFMEA (Análise de modo e efeitos de falha de projeto) no projeto desse novo equipamento com o objetivo de antever-se aos potenciais riscos de falhas.

O DFMEA é uma variação do FMEA (Análise de modo e efeitos de falha) específica para identificação de falhas em projetos. De acordo com o Manual QS 9000 e ISO TS 16949, o FMEA é uma ferramenta imprescindível em toda a cadeia produtiva das empresas automobilísticas, resultando em avanços significativos tanto em projetos, quanto em processos. O FMEA é um método para a gestão da qualidade que objetiva detectar e solucionar problemas de forma completa de maneira sistemática. O modo de falha é a forma com que o desempenho do produto ou do processo é afetado. E o efeito da falha é a forma como seu modo afeta o comportamento do sistema, do ponto de vista do cliente. Toda e qualquer falha, assim encontrada como o término da habilidade de um determinado componente, no que diz respeito ao desempenho de sua função esperada, representa um conceito de fundamental importância às análises de qualidade e confiabilidade.), o DFMEA é um documento vivo e deve ser iniciado antes da finalização do conceito de projeto, bem como ser atualizado à medida que ocorram alterações e ser uma fonte de lições aprendidas para futuras interações de projeto. O desenvolvimento do DFMEA segue as seguintes etapas: 1ª) Definição do escopo do projeto; 2ª) Interação entre os componentes e subsistemas por meio de um diagrama de blocos; 3ª) Análise dos requisitos funcionais do projeto; 4ª) Preenchimento do formulário DFMEA e 5ª) Elaboração de um plano de ação (Brito e colab., 2015).

O *Brainstorming* é uma ferramenta da qualidade que resume em um conjunto de ideias e pensamentos em que cada integrante da equipe apresenta suas ideias sem restrições durante uma discussão sobre falhas e causas de um determinado produto ou processo. É utilizada para gerar uma grande quantidade de novas ideias de forma rápida e simples (MIGUEL, 2001). O objetivo desse artigo é verificar a importância da ferramenta DFMEA para avaliação e análise dos problemas potenciais e propor as possíveis ações de melhorias para o novo equipamento.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Diagrama de Ishikawa nada mais é do que a representação gráfica da relação entre causas e efeitos de um item em estudo e seus respectivos fatores. Tem como principal objetivo a análise de um problema (efeito) a partir da estratificação de suas causas fundamentais. A ferramenta 5W1H é utilizada para realização de ações corretivas, no qual se deve montar uma tabela a partir de seis questões a serem respondidas: Quais (what) tarefas serão feitas mediante um plano de execução? Quando (when) atuar? Quem (who) participará das ações necessárias para a execução das tarefas? Onde (when) as tarefas de controle deverão ser executadas? Por que (why) as tarefas de controle devem ser executadas? Como (how) as tarefas devem ser executadas? (Moraes, 2011).

A ferramenta 5W1H é útil no mapeamento e padronização de processos, na elaboração de planos de ações e no estabelecimento de indicadores e procedimentos e garante à chefia e seus subordinados que não haja dúvida na operação (Marques e Olivares, 2017).



Os diagramas de Ishikawa (também chamados de diagramas de espinha de peixe, diagramas de espinha de peixe, diagramas de causa e efeito) são diagramas causais criados por Kaoru Ishikawa que mostram as possíveis causas de um evento específico. Os usos comuns do diagrama de Ishikawa são o design de produtos e a prevenção de defeitos de qualidade para identificar os possíveis fatores que causam um efeito geral. Cada causa ou motivo de imperfeição é uma fonte de variação. As causas geralmente são agrupadas em categorias principais para identificar e classificar essas fontes de variação (Suárez-Barraza e Rodríguez-González, 2019).

O *brainstorming* ou tempestade de ideias, mais que uma técnica de dinâmica de grupo, é uma atividade desenvolvida para explorar a potencialidade criativa de um indivíduo ou de um grupo - criatividade em equipe - colocando-a a serviço de objetivos pré-determinados. A técnica propõe que o grupo se reúna e utilize a diversidade de pensamentos e experiências para gerar soluções inovadoras, sugerindo qualquer pensamento ou ideia que vier à mente a respeito do tema tratado. Com isso, espera-se reunir o maior número possível de ideias, visões, propostas e possibilidades que levem a um denominador comum e eficaz para solucionar problemas e entraves que impedem um projeto de seguir adiante (RAO, 2007).

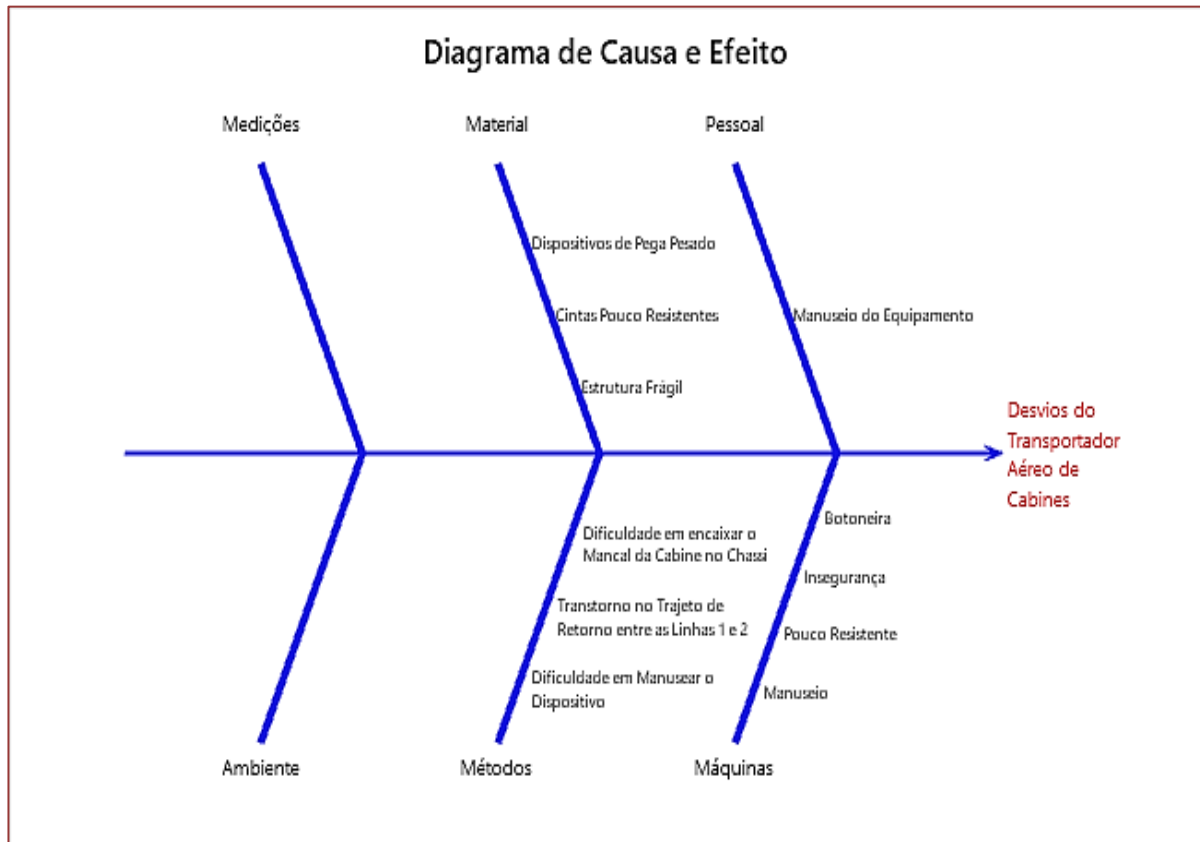
### 3. MÉTODO

A estratégia adotada neste trabalho foi a pesquisa intervencionista. O autor, que também era funcionário da empresa, de forma participativa, se dispôs a analisar, interpretar, levantar dados e propor ações para resolver os problemas da empresa, objeto de estudo, em conjunto com os seus funcionários. A pesquisa-ação foi o método utilizado, pois a empresa analisada não possuía conhecimento de estudos estratégicos e de aplicação das ferramentas na incorporação de melhorias para seus indicadores de desempenho, sendo necessária a ação do pesquisador em diversos momentos do estudo.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do método foi iniciada com a seleção dos participantes com mais conhecimento técnico do transportador aéreo de cabines veiculares. Logo na primeira reunião foi elaborado um diagrama de blocos do equipamento, delimitando os componentes mais críticos. São estes: a estrutura tubular, a botoeira, as almofadas de apoio do para-brisa, as cintas, os braços articulados e os dispositivos. O próximo passo foi a realização de um *brainstorming* que pautou o levantamento dos problemas enfrentados pelo equipamento atualmente. As ideias que surgiram durante o *brainstorming* foram agrupadas em um diagrama de Ishikawa, conforme a Figura 1.

**Figura 1 - Diagrama de Causa e Efeito**



Fonte: Próprios Autores 2020.

A partir da planilha DFMEA (Figura 2) e com a ajuda de um checklist 5W1H, foi possível criar ações recomendadas capazes de proporcionar uma melhor visualização e interpretação das necessidades do novo transportador aéreo de cabines veiculares.

As necessidades para um novo projeto indicadas pelo DFMEA foram: 1ª) melhorias na estrutura do equipamento, proporcionando maior resistência do equipamento, 2ª) facilidade de montabilidade e maior capacidade de produção; 3ª) melhorias nos dispositivos de pega da cabine, como facilidade de manuseio e de encaixe; 4ª) realizar trocas por cintas mais resistentes para evitar incidentes/acidentes com a queda da cabine em suspensão; 5ª) realizar a comunicação de componentes do equipamento, facilitando a intercambialidade de peças; 6ª) necessidade de um suporte para a botoeira da talha; e 7ª) eliminação das almofadas de apoio para o basculamento da cabine do veículo.

Assim, o maior benefício com a aplicação do DFMEA foi a possibilidade de projetar um novo equipamento livre de falhas existentes no transportador de cabines atualmente em operação, evitando, desta forma, retrabalhos, transtornos e desperdícios financeiros.

Assim, o maior benefício com a aplicação do DFMEA foi a possibilidade de projetar um novo equipamento livre de falhas existentes no transportador de cabines atualmente em operação, evitando, desta forma, retrabalhos, transtornos e desperdícios financeiros.

Figura 2 - FMEA do Processo

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS FORMULÁRIO FMEA DE PROJETO - DFMEA											
Sistema/Subsistema:	Transportador aéreo de cabine veicular.		Responsável pelo Projeto:		Gisele Paiva/Instalações Industriais			DFMEA nº: 1			
Componente:	Estrutura tubular, cintas, dispositivos, braço articulado, almofadas e botoeiras.		Data Chave:		Jun/2012						
Modelo/Programa:			Data DFMEA:		01/02/2012			Revisão: 0			
Equipe:	Veículos 1 e 2 comitê DFMEA		Preparado por:		Gisele Paiva			Departamento			
Planejamento de manufatura											
Item/Função	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) de Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Projeto - Prevenção	Controles Atuais do Projeto - Detecção	Detecção	NPR	Ações Recomendadas
Posicionar dispositivos de pegastraseiros das cabines do veículo 1	Dispositivo pesado e degradado com o uso	Afastamento do montador (ergonomia)	9	S	Ausência de um local de fixação do dispositivo na cabine	10	Não Existe	Fabricação de protótipo	3	270	Realizar alterações no projeto do dispositivo de pega, buscando novo local de fixação na cabine
Deslocar o transportador até a posição de decking na linha 2	Posição de parada da botoeira alta	Perda de tempo de operação	5	S	Ausência de posicionamento do gancho da botoeira	10	Não Existe	Não Existe	9	450	Adequar um novo ponto de apoio da botoeira em novo projeto
Transportar cabines da linha 1 até a linha 2	Trava das cintas abrirem	Ocorrer um possível acidente com montador (queda da cabine)	9	D	Erro de dimensionamento das molas	8	Utilização de normas adequadas para especificação de materiais	Não Existe	8	576	Teste com trava comercial de um fornecedor especialista na região
Executar manutenção preventiva e corretiva do transportador	Falta de peças em estoque para manutenção	Redução do tempo de disponibilidade do equipamento	8	S	Erro de especificação e dimensionamento do material	10	Não Existe	Não Existe	8	640	Novo projeto: Criar um Estoque padrão e padronizar peças para fabricação.
Voltar o transportador para linha 1 sem os dispositivos de pega	Dispositivos de pega que foram para a linha 2 ainda não estão disponíveis para o içamento de cabines na linha 1	Risco de colisão do montador com a empilhadeira (durante o trajeto para buscar dispositivo na linha 2)	10	D	Não existir local de transporte dos dispositivos no próprio transportador	9	Não Existe	Fabricação de um novo protótipo	2	180	Novo projeto: eliminar meios auxiliares de pega ou criar ponto de transporte no próprio equipamento
		Perda de tempo de operação, com perda de produtividade	8	S						144	
Posicionar almofadas de apoio das cabines dos veículos 1	Sistema de giro da almofada duro ou travado	Perda de tempo de operação	8	S	Erro de especificação e dimensionamento do material	9	Utilização de normas adequadas para especificação de materiais	Não Existe	9	648	Alterar projeto do apoio da cabine no transportador retirando a almofada
Colocar os braços articulados do transportador no mancal da cabine do veículo 2 e colocar o pino de fixação	Braço articulado não encaixa na posição correta	Acidente com montador (queda da cabine)	10	D	Empeno da estrutura (erro de especificação de material)	9	Cálculo estrutural validado pela engenharia	Monitoramento dos esforços durante try-out em protótipo	2	180	Análise do cálculo estrutural da Engenharia
		Perda de tempo de operação	7	S						210	

Fonte: Próprios Autores, 2020.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo elencou as etapas desenvolvidas durante a implantação da ferramenta DFMEA em uma empresa automotiva. Nestas atividades analisadas, várias áreas envolvidas se mostraram capazes de interpretar modos de falhas do transportador aéreo de cabines veiculares em pontuações que resultaram em ações recomendadas para que se evite que o novo equipamento a ser adquirido pela planta, não venha a possuir ou reduzir os modos de falha na linha de produção futuramente. Conclui-se portanto que a Análise de Modo e Efeito de Falha de Projeto além de proporcionar melhorias constantes nos equipamentos produtivos de uma indústria automobilística tornando-a competitiva em relação a sua concorrência, integra todas as áreas da planta e aumenta a probabilidade de que os modos de falhas potenciais e seus efeitos no sistema e na operação do novo transportador tenham sido considerados no desenvolvimento do projeto do mesmo, tornando o ambiente de trabalho inclusive mais seguros para os colaboradores em suas atividades.

## REFERÊNCIAS

- [1] BRITO, Juliana de lima e colab. **Ferramentas da qualidade nas indústrias de papel e celulose da bahia**. Sodebrás, v. 10, 2015.
- [2] MARQUES, Lidiane da Silva e OLIVARES, Gustavo Lopes. Desenvolvimento de um sistema de informação na gestão e fiscalização de contratos do hfx utilizando a ferramenta 5w1h. 2017, [S.l: s.n.], 2017.
- [3] MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. 1a. ed. São Paulo: ARTLIBER EDITORA, 2001.
- [4] MORAES, V. Um Estudo de Caso da Aplicação de Ferramentas da Qualidade em Conjunto com um Equipamento Automático de Inspeção em uma Empresa Metalúrgica. 2011, Bauru,SP: [s.n.], 2011.
- [5] RAO, Zhenhui. **Training in brainstorming and developing writing skills**. ELT Journal, v. 61, n. 2, p. 100-106, 2007.
- [6] SUÁREZ-BARRAZA, Manuel F. e RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, Francisco G. **Cornerstone root causes through the analysis of the Ishikawa diagram, is it possible to find them?: A first research approach**. International Journal of Quality and Service Sciences, v. 11, n. 2, p. 302-316, 2019.

# Capítulo 3

## *Como usar gráficos de controle para a proporção de itens defeituosos em uma empresa automotiva*

*Luiza Batista da Silva*

*Felipe Ramos Figueira*

*José Glênio Medeiros de Barros*

*Nilo Antonio de Souza Sampaio*

**Resumo:** A indústria química e farmacêutica têm a qualidade como pré-requisito para o bom andamento de seus processos. O monitoramento da qualidade nesse tipo de atividade industrial é realizado por meio de gráficos de controle de atributos, entre outros. O objetivo deste artigo é mostrar um estudo de caso realizado em uma empresa do sul do estado do Rio de Janeiro que utilizou esse tipo de carta de controle, mais especificamente a carta de controle NP, para monitorar um processo de fabricação de antibióticos. Os resultados mostraram a necessidade de alguns ajustes e ações gerenciais serão tomadas para melhorar o processo.

**Palavras-chave:** Indústria Química, Carta de Controle por Atributos, Carta NP, Antibióticos.

## 1. INTRODUÇÃO

O lançamento de um novo produto e/ou processo geralmente envolve o trabalho com um grande número de variáveis. O planejamento consciente dos experimentos que devem ser usados para manipular essas variáveis e chegar às respostas desejadas é indispensável para a obtenção de resultados confiáveis e para a realização de análises estatísticas consistentes. Nesse contexto, não é mais possível desenvolver produtos e processos por meio de procedimentos de tentativa e erro, como era feito no início do século passado. A concorrência acirrada, a difusão dos processos tecnológicos e a responsabilidade da comunidade científica agora tornam esses procedimentos inviáveis. A otimização de processos e produtos exige mais do que nunca um estudo estatístico robusto. Os gráficos de controle são usados com a finalidade de detectar causas atribuíveis que afetam a estabilidade do processo (Cardoso e colab., 2023a; Costa, A. F.B. e Rahim, 2004; Costa, Maria Carolina Burgos, 2011; Fonseca, D;Correa, M.P.O;Santos, R.R;Cardoso, R.P;Reis, J.S.M;Sampaio, 2023; Mazza, Felipe Cury e colab., 2022; Reis e Cardoso e colab., 2023; Sales e colab., 2021; Yamada e colab., 2023).

Os principais objetivos do uso do CEP (Controle Estatístico de Processos) são conhecer o processo de produção para avaliar a qualidade, prevenir defeitos, evitar desperdícios, eliminar tudo o que compromete a eficiência e reduzir custos. As características do uso do SPC nos processos de produção de uma empresa são: relatório rápido de defeitos e ação corretiva imediata; qualquer informação é relevante (trabalhar com resultados de amostras); prevenção de defeitos e tarefa de todas as áreas ligadas à produção. O SPC pode ser usado para controlar quantidades variáveis que podem ser medidas, como dimensões ou peso, por exemplo. Nesse caso, são usados gráficos de controle das médias e intervalos de amostras coletadas durante o processo de produção. O CEP também pode ser usado para controlar quantidades do tipo atributo, que não precisam de um instrumento de medição para serem conhecidas, como arranhões ou manchas na pintura, por exemplo. Nesses casos, são usados gráficos de controle do tipo P, que verificam a porcentagem de produtos defeituosos, ou gráficos do tipo C, que verificam o número de defeitos por peça (Castro e colab., 2012).

A qualidade é um desafio e precisa ser implementada para que os processos industriais ocorram com sustentabilidade e tenham um impacto real na redução e, conseqüentemente, na eliminação dos danos ambientais. A estatística é uma ferramenta essencial e tem sido utilizada em diversas aplicações e em todas as áreas do conhecimento humano para aprimorar processos, como a tomada de decisões e para garantir a preservação do meio ambiente (Cardoso, R.P;Sampaio, N.A.S;Reis, J.S.M;Silva, D.E.W;Barros, 2023; Cardoso e colab., 2023a, b; Da Silva, Hugo De Oliveira Guimarães e colab., 2021; Fonseca, D;Correa, M.P.O;Santos, R.R;Cardoso, R.P;Reis, J.S.M;Sampaio, 2023; Gomes e colab., 2022; Mazza, Felipe C. e colab., 2023; Reis e Cardoso e colab., 2023; Reis e Espuny e Cardoso e Sampaio e De Barros e colab., 2022; Rezende e colab., 2023; Rubert e colab., 2023; Silva, Ana Carolina Pereira Da e colab., 2023; Yamada e colab., 2023).

A carta de controle por atributos é mais simples, pois consiste apenas em identificar visualmente se o processo é satisfatório ou não. Portanto, para utilizar a carta de controle por atributos, devemos separar os dados que serão analisados em dados referentes a defeitos ou defeituosos. O produto pode ter defeitos, mas só é considerado defeituoso se o cliente não tolerar esses defeitos. Dessa forma, os gráficos de controle por atributos são recomendados para uso quando se deseja controlar o número ou a porcentagem de itens defeituosos em um determinado total de itens. O gráfico de controle por atributo np tem a característica de uma distribuição binominal e sua abordagem é identificar o número de



itens com defeitos. Embora as cartas de controle por atributos tenham sido criadas para monitorar processos, hoje sua aplicação é muito mais ampla, abrangendo também a área de serviços. Uma vez que as causas especiais tenham sido diagnosticadas e eliminadas, um gráfico np pode ser elaborado para cada aspecto de um processo ou serviço (Costa, Antonio Fernando Branco e colab., 2016).

Em vista do exposto, a questão de pesquisa que orientou este trabalho é: visualizar uma aplicação prática dos gráficos de controle de atributos. O objetivo deste trabalho é mostrar essa aplicação, mas especificamente mostrar a aplicação do Gráfico NP, que tem grande poder para realizar o controle estatístico de processos. Inicialmente, o artigo abordará os conceitos de Gráficos de Controle de Atributos, mais especificamente os Gráficos NP e o estudo de caso em questão. Em seguida, serão apresentados os resultados e as discussões do objetivo proposto. Por fim, será apresentada a conclusão com sugestões para estudos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Atualmente, a estatística tem contribuído de forma significativa para o processo de tomada de decisões porque grande parte do que é produzido se baseia em métodos quantitativos, e a estatística é uma dessas áreas. Na era da informação e do conhecimento, a estatística usa a matemática para apoiar profissionais de negócios, governo e pesquisadores (Cardoso e colab., 2023a; Fonseca, D;Correa, M.P.O;Santos, R.R;Cardoso, R.P;Reis, J.S.M;Sampaio, 2023; Junior e colab., 2023; Leiroz e colab., 2023; Mazza, Felipe Cury e colab., 2022; Moura e colab., 2023; Oliveira e colab., 2023; Reis e Espuny e Cardoso e Sampaio e Barros e colab., 2022; Reis e Neto e colab., 2023).

Para analisar os resultados da carta de controle, precisamos rever as definições de causas comuns e causas especiais. Assim, todas as variações que ocorrem entre o LSC e o LIC são consideradas variações de causa comum, desde que sejam aleatórias. Portanto, todas as variações que ocorrem acima do LSC ou abaixo do LIC são consideradas variações de causas especiais e devem ser resolvidas. Entretanto, se houver algum padrão entre as variações (mesmo que estejam dentro dos limites do SCL e do SIL), isso significa que o processo não está em conformidade e que há causas especiais (Montgomery, 2009).

As causas comuns são aquelas que são comuns e inerentes ao processo, que são relativamente previsíveis e esperadas. Causas especiais são aquelas que são desconhecidas e podem causar grandes mudanças no processo. Há várias maneiras de detectar causas especiais:

- Pontos fora do limite de controle:

Os pontos dentro dos limites de controle superior e inferior mostram que o processo sofreu variações por causas comuns. Nesse sentido, se um ou mais pontos cruzarem essas linhas, as variações ocorreram devido a causas especiais. Nesse caso, o gerente deve prestar atenção a esse fator.

- Periodicidade:

Se o gráfico mostrar uma variação de valores para cima e para baixo, com uma frequência em intervalos semelhantes, isso significa que algum ponto do processo precisa ser ajustado.



- Sequência:

Quando sete ou mais pontos aparecem em um lado da linha média (acima ou abaixo), é um alerta para observar esse ponto e, em seguida, procurar alguma melhoria em potencial.

- Tendência:

Ocorre quando sete ou mais pontos aparecem continuamente, para cima ou para baixo, como uma linha de tendência. Portanto, é possível que uma causa específica esteja em ação nesse estágio do processo e precisa ser avaliada.

- Aproximação dos limites de controle:

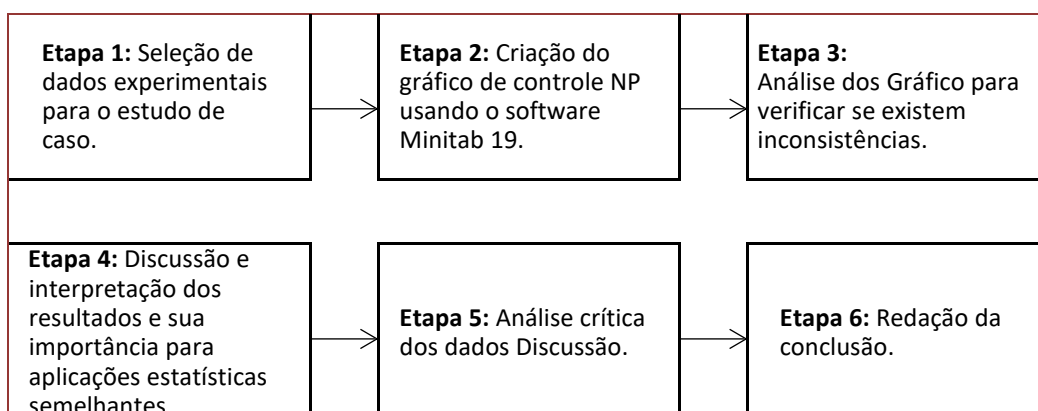
Se duas ou mais linhas estiverem muito próximas das linhas de controle superior ou inferior, isso é um sinal de instabilidade. Portanto, quanto mais próximos os pontos estiverem da linha média, mais estável será o processo (Chen e colab., 2014).

O gráfico NP (Number of Non-Conforming Units) exige que os tamanhos das amostras sejam iguais e permaneçam constantes. Ele se baseia no número de itens não conformes e é usado quando o número real é mais expressivo e mais fácil de registrar. Os parâmetros para calcular os limites de controle para o gráfico de proporção de defeitos são: pontos individuais, linha central (proporção média de defeitos - média das proporções), limite superior de controle e limite inferior de controle. Se o limite de controle inferior for menor que zero, ele deverá ser = 0. Se o limite de controle superior for maior que 1, ele deverá ser igual a 1. Isso ocorre porque não há como o número de peças defeituosas ser menor que zero ou maior que o tamanho da amostra (Gadre e Rattihalli, 2005; Khoo, 2004; Leiva e colab., 2015).

### 3. MÉTODO

Este artigo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois visa a fornecer melhorias na literatura atual, com objetivos empíricos normativos, visando ao desenvolvimento de políticas e estratégias que melhorarão a condição atual (STÜPP e colab., 2015). A abordagem do problema é quantitativa, como o método de pesquisa de modelagem e simulação. As etapas da pesquisa foram realizadas de acordo com a sequência mostrada na Figura 1.

**Figura 1:** Etapas do método de pesquisa



Fonte: Autores (2024).

Um engenheiro de qualidade avalia se o processo usado para fabricar um determinado tipo de antibiótico está sob controle. O engenheiro testa 500 produtos por hora em três turnos de 8 horas e registra o número de produtos reprovados no teste de qualidade da empresa.

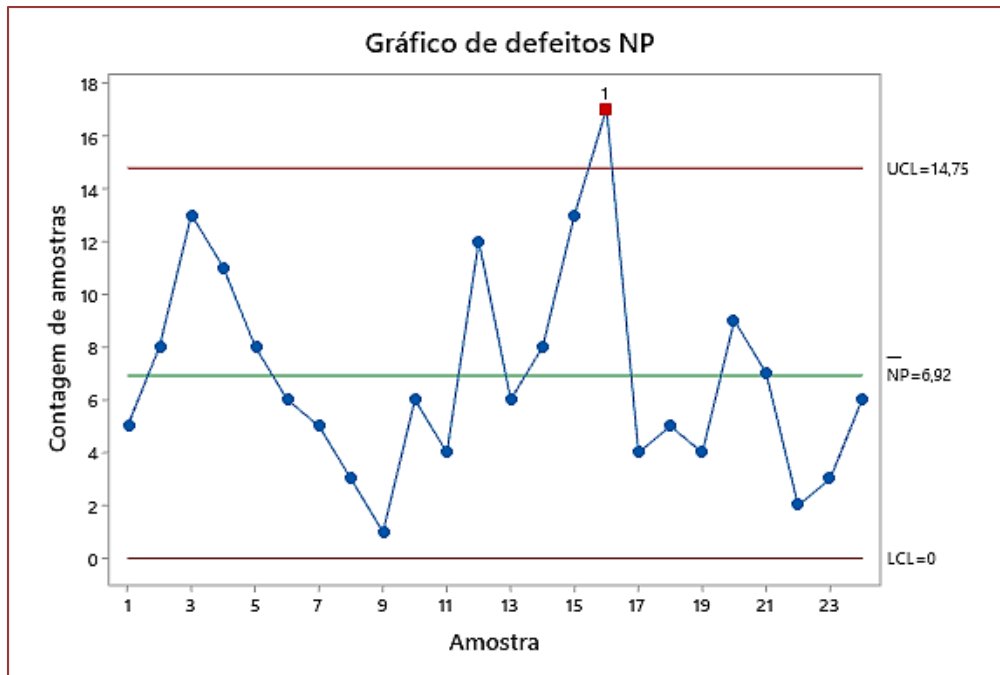
**Tabela 1.** Número de defeitos nas 24 horas monitoradas

ID	Defeitos
101	5
102	8
103	13
104	11
105	8
106	6
107	5
108	3
109	1
110	6
111	4
112	12
113	6
114	8
115	13
116	17
117	4
118	5
119	4
120	9
121	7
122	2
123	3
124	6

Fonte: Autores (2024).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 mostra que um ponto está fora de controle no gráfico NP (o teste falhou no ponto 16). Provavelmente há uma variação atribuível, pois quando há apenas causas aleatórias, o processo está sob Controle Estatístico. Um dos motivos para considerar o processo fora de controle é um ponto acima do Limite Superior de Controle ou abaixo do Limite Inferior de Controle. O engenheiro conclui que o processo não é estável e deve ser melhorado.

**Figura 2:** Gráfico de Defeitos NP

Fonte: Autores (2024).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi mostrar a importância do uso de gráficos de controle de atributos para o controle de qualidade em processos industriais. Os processos com pontos fora dos limites de controle precisam ser estudados e analisados para encontrar as causas especiais. Uma sugestão para trabalhos futuros seria usar outros tipos de gráficos de controle em empresas químicas para melhorar o processo de produção.

## REFERÊNCIAS

- [1] CARDOSO, R.P ;SAMPAIO, N.A.S;REIS, J.S.M;SILVA, D.E.W;BARROS, J.G.M. **How to perform a simultaneous optimization with several response variables Como realizar uma otimização simultânea com várias variáveis de resposta.** Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 1, p. 564–578, 2023.
- [2] CARDOSO, Ronald Palandi e colab. **Scientific Research Trends About Metaheuristics in Process Optimization and Case Study Using the Desirability Function.** Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 3, p. 3348–3367, 2023a.
- [3] CARDOSO, Ronald Palandi e colab. **Scientific Research Trends About Metaheuristics in Process Optimization and Case Study Using the Desirability Function.** Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 3, p. 3348–3367, 2023b.
- [4] CASTRO, DENYSE ROBERTA CORREA e colab. **a Aplicabilidade Dos Gráficos De Controle Nas Empresas Como Modelo De Inspeção Para a Avaliação Da Qualidade.** Xxxii Encontro Nacional De Engenharia De Producao, n. November 2012, 2012.
- [5] CHEN, Yikai e CORR, David J. e DURANGO-COHEN, Pablo L. **Analysis of common-cause and special-cause variation in the deterioration of transportation infrastructure: A field application of statistical process control for structural health monitoring.** Transportation Research Part B: Methodological, v. 59, p. 96–116, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2013.11.002>>.

- [6] CLARO, Fernando Antonio Elias e COSTA, Antonio Fernando Branco e MACHADO, Marcela Aparecida Guerreiro. **EWMA and  $\bar{X}$  control charts for the monitoring of autocorrelated processes**. *Producao*, v. 17, n. 3, p. 536–546, 2007.
- [7] COSTA, A. F.B. e RAHIM, M. A. **Monitoring process mean and variability with one non-central chi-square chart**. *Journal of Applied Statistics*, v. 31, n. 10, p. 1171–1183, 2004.
- [8] COSTA, Antonio Fernando Branco e EPPRECHT, Eugenio Kahn e CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Controle Estatístico da Qualidade**. 2a. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- [9] COSTA, Maria Carolina Burgos. **a Importância Do Ensino Da Ferramenta De Planejamento Fatorial Para Estudantes De Engenharia**. *Cobenge*, p. 1–7, 2011.
- [10] DA SILVA, Hugo De Oliveira Guimarães e colab. **Improved Vehicle Painting Process Using Statistical Process Control Tools in an Automobile Industry**. *International Journal for Quality Research*, v. 15, n. 4, p. 1245–1262, 2021.
- [11] FONSECA, D;CORREA, M.P.O;SANTOS, R.R;CARDOSO, R.P;REIS, J.S.M;SAMPAIO, N.A.S. **Effect of pollution on physical and chemical water data : a multivariate statistical analysis Efeito da poluição nos dados físicos e químicos da água : uma análise estatística multivariada**. *Revista de Engenharia Térmica*, v. 14, n. 5, p. 7353–7366, 2023.
- [12] GADRE, M. P. e RATTIHALLI, R. N. **Some Group Inspection Based Multi-Attribute Control Charts to Identify Process Deterioration**. *Stochastics and Quality Control*, v. 20, n. 2, p. 191–204, 2005.
- [13] GOMES, Fabricia da Silva e colab. **The Main Benefits of Application of Six Sigma for Productive Excellence**. *Quality Innovation Prosperity*, v. 26, n. 3, p. 151–167, 2022.
- [14] JUNIOR, Ademir Martins da Costa e colab. **Application of the poisson distribution in the prediction of the number of defects in a textile factory Aplicação da distribuição de poisson na predição do número de defeitos em uma fábrica têxtil**. v. 14, n. 8, p. 14378–14386, 2023.
- [15] KHOO, Michael B.C. **A moving average control chart for monitoring the fraction non-conforming**. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 20, n. 6, p. 617–635, 2004.
- [16] LEIROZ, Felipe De Oliveira e MANHÃES, Mariana e SAMPAIO, Nilo Antonio de Souza. **Using Taguchi 's experiments part II : creating a computer for heavy games and image processing Usando as experiências de Taguchi parte II : criando um computador para jogos pesados e processamento de imagem**. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 14, n. 7, p. 12152–12164, 2023.
- [17] LEIVA, Victor e colab. **A criterion for environmental assessment using Birnbaum-Saunders attribute control charts**. *Environmetrics*, v. 26, n. 7, p. 463–476, 2015.
- [18] MAZZA, Felipe C. e colab. **Analysis of Endosulfan Isomers and other Pesticides in Surface Water of the Paraíba do Sul River Basin by Solid Phase Extraction and Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography Coupled with Time-of-Flight Mass Spectrometry**. v. 00, n. 00, p. 1–9, 2023.
- [19] MAZZA, Felipe Cury e DE SOUZA SAMPAIO, Nilo Antônio e VON MÜHLEN, Carin. **Hyperspeed method for analyzing organochloride pesticides in sediments using two-dimensional gas chromatography–time-of-flight mass spectrometry**. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, n. 0123456789, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00216-022-04464-y>>.
- [20] MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- [21] MOURA, Roberta Queiroz De e RODRIGUES, Igor Argemiro Magalhães e SAMPAIO, Nilo Antonio de Souza. **Using Taguchi 's experiments part i : creating a golf ball that reaches a maximum range Usando os experimentos de Taguchi parte i : criando uma bola de golfe que atinja um alcance máximo**. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 14, n. 7, p. 11748–11757, 2023.
- [22] OLIVEIRA, Alexandra Cristina De e colab. **Applications of non-parametric testing in a chemical industry Aplicações de testes não paramétricos em uma indústria química**. v. 14, n. 8, p. 14387–14396, 2023.
- [23] REIS, José Salvador da Motta e ESPUNY, Maximilian e CARDOSO, Ronald Palandi e SAMPAIO, Nilo Antonio de Souza e BARROS, José Glenio Medeiros De e colab. **Mapping Sustainability 4.0: contributions and limits of the symbiosis**. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 13, n. 3, p. 1426–1438, 2022.

- [24] REIS, José Salvador da Motta e ESPUNY, Maximilian e CARDOSO, Ronald Palandi e SAMPAIO, Nilo Antonio de Souza e DE BARROS, José Glenio Medeiros e colab. **Mapping Sustainability 4.0 : contributions and limits of the symbiosis between technology and sustainable development Mapeamento de Sustentabilidade 4.0 : contribuições e limites da simbiose entre tecnologia e desenvolvimento sustentável.** Revista de Gestão e Secretariado, v. 13, n. 3, p. 1426–1438, 2022.
- [25] REIS, José Salvador da Motta e NETO, Robertho Sebastião Peternelli e colab. **New Indicators for Commercial Technical Support Development.** Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 5, p. 8272–8285, 2023.
- [26] REIS, José Salvador da Motta e CARDOSO, Ronald Palandi e colab. **The Titans Sustainability and Industry 4.0 Working for The Planet Earth.** Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 2, p. 1953–1965, 2023.
- [27] REZENDE, Marcela Dantas e colab. **Statistics as a Tool for Decision Making in Agricultural and Environmental Experiments.** Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 4, p. 5204–5217., 2023.
- [28] RUBERT, Clauber Koenigkam e colab. **Development of automotive packaging by applying the QFD method.** Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review), v. 14, n. 6, p. 10527–10548, 2023.
- [29] SALES, Juliana Pedroso De e colab. **Quality management in the contours of continuous product improvement.** International Journal for Quality Research, v. 16, n. 3, p. 689–702, 2021.
- [30] SILVA, Ana Carolina Pereira Da e colab. **Mapping the Accidents and Unsafe Conditions of Workers in the Automotive Sector.** Quality Innovation Prosperity, v. 27, n. 2, p. 139–157, 2023. Disponível em: <<https://www.qip-journal.eu/index.php/QIP/article/view/1849>>.
- [31] STÜPP, Ângela Maria e colab. **Crescimento de mudas de Mimosa scabrella Benth em função de diferentes tamanhos de recipientes e doses de fertilizante.** Revista Ecologia e Nutrição Florestal - ENFLO, v. 3, n. 2, 2015.
- [32] YAMADA, José Tadao e colab. **Use of factorial design with significant interaction and Tukey ' s Test in agricultural and environmental experiments Uso de planejamento fatorial com interação significativa e teste de Tukey em experimentos agrícolas e ambientais.** Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 6, p. 9815–9828, 2023.

# Capítulo 4

## *Proposição de ferramentas da gestão da qualidade: um estudo de caso em uma indústria metalúrgica em Santa Catarina*

*Gabrielle Freitas de Avila*

*Sandra Martins Lohn Vargas*

**Resumo:** Este estudo tem como objetivo propor ferramentas da gestão da qualidade na empresa Soluções Metalúrgica, buscando investigar os processos já utilizados no setor de produção e engenharia para a redução de não conformidades, e através da análise, propor sugestões de melhorias com o intuito de estimular o desenvolvimento da empresa e aprimoramento dos processos. O presente estudo abordou temas como gestão de processos, gestão da qualidade, conceito de produtividade e as ferramentas da qualidade. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, sendo utilizado a pesquisa exploratória, descritiva e observação participante. Para a coleta dos dados foi utilizado como instrumento de pesquisa a entrevista semiestruturada, e por fim, para a análise dos dados foi adotado a abordagem qualitativa. Baseado na análise dos dados foram identificados erros nos processos na empresa estudada, e por consequência, a não-conformidade de peças resulta em desperdício de matéria prima, além da insatisfação dos clientes e prejuízos para a organização.

**Palavras-chave:** Gestão da Qualidade, Gestão de Processos, Indústria Metalúrgica.

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado competitivo exige que as organizações tenham um padrão de qualidade, para isso é necessário que as empresas estejam preparadas para atender as necessidades dos clientes. Dessa forma, a alta concorrência faz com que as empresas pensem sempre à frente, sendo necessário estar atento ao cenário externo e analisar o que o mercado está exigindo.

A gestão da qualidade permite que as empresas entreguem produtos ou serviços conforme o solicitado, sendo o principal objetivo satisfazer as necessidades das pessoas e melhorar continuamente os processos, que vai desde a entrada de matéria prima até a entrega do produto, para isso é necessário que os colaboradores estejam envolvidos e dispostos a mudanças (Mello, 2011).

A padronização é necessária para que as empresas consigam alcançar seus objetivos, garantindo produtos ou serviços de acordo com as necessidades dos clientes. A falta de estudo dos processos que ocorrem dentro do setor de produção poderá acarretar falhas, e possivelmente, insatisfação do cliente e assim gerar prejuízos para a organização (Mello, 2011).

A empresa com nome fictício de Soluções Metalúrgica está ativa no mercado há 25 anos e presta vários serviços como: corte a laser, dobra, calandra, oxicorte, guilhotina, rosqueadeira, escareado e comercialização de chapas metálicas. Nesse contexto, realizando uma breve análise no setor produtivo, foram identificados gargalos onde por consequência a não-conformidade de peças resulta em desperdício de matéria prima, além da insatisfação dos clientes e prejuízos para a organização.

Neste sentido, este artigo tem como objetivo propor ferramentas da gestão da qualidade na empresa Soluções Metalúrgica, buscando investigar os processos já utilizados no setor de produção e engenharia para a redução de não conformidades, e através da análise, propor sugestões de melhorias com o intuito de estimular o desenvolvimento da empresa e aprimoramento dos processos.

Nesse contexto, busca-se responder a seguinte pergunta de pesquisa: quais estratégias são adotadas pela empresa Soluções Metalúrgica para solucionar problemas nos setores de engenharia e produção, e quais ferramentas podem ser aplicadas no futuro para padronizar os processos?

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir será apresentada a fundamentação teórica sobre gestão de processos e gestão da qualidade, buscando-se conceituar sobre a produtividade e as ferramentas da qualidade.

### 2.1. GESTÃO DE PROCESSOS

Segundo Campos (1992) o processo pode ser definido como uma série de eventos em que uma entrada é transformada para resultar em uma saída. Sendo assim, uma empresa é definida como um grande processo e que é formado por outros processos menores, digamos que na produção de uma panela o fluxo da fabricação pode ser: compra de matéria prima, recebimento do material, processo de corte, processo de dobra etc.

Ao subdividir os processos, é possível facilitar um controle mais preciso, permitindo a identificação facilitada de problemas e a ação direta em suas causas. Cada processo pode



gerar múltiplos resultados, e para um gerenciamento eficaz, é crucial avaliar seus efeitos através de itens de controle (Campos, 1992).

Segundo Mello (2011), os itens de controle, são os quais têm a capacidade de detectar áreas que não seguiram o planejado. Enquanto isso, os itens de verificação permitem identificar as razões pelas quais os resultados não ocorreram conforme o planejado. Sendo assim, o mapeamento desse processo identifica de uma forma mais ágil os problemas e suas origens, permitindo aplicar correções de uma forma mais ágil e eficaz.

É importante salientar que o controle deve ser uma prática adotada por todos os membros da organização, desde o presidente, diretores, gerentes, supervisores e operadores. “Numa empresa cada pessoa tem autoridade sobre o seu processo (meios), responsabilidades sobre seus resultados (fins) deste processo e terá itens de controle”. (Campos, 1992, p.20).

## 2.2. GESTÃO DA QUALIDADE

A qualidade está relacionada à excelência dos processos e ao atendimento sobre as expectativas dos clientes, de forma que as organizações buscam por qualidade em seus produtos ou serviços, visto que para isso é necessário que a organização busque melhoria contínua (Custódio, 2015).

O conceito de qualidade está ligado a três fatores: redução de custos, aumento da qualidade e satisfação dos clientes. A gestão da qualidade envolve todos os setores, desde a entrada de matéria prima até a entrega do produto ou serviço ao cliente final (Mello, 2011). Nesse contexto, "a abordagem básica para a definição da qualidade enfatiza o pleno atendimento às necessidades, aos desejos, às expectativas e às preferências do consumidor". (Carvalho; Paladini, 2012, p.75).

A qualidade está em constante evolução ao longo do tempo, por isso é fundamental compreender as necessidades dos consumidores, para que a organização esteja sempre a frente do mercado, buscando criar produtos inovadores e que agregam valor (Carvalho; Paladini, 2012).

Um ponto muito importante é que a qualidade não gera custos, e sim o oposto, visto que com uma boa gestão é possível reduzir drasticamente a quantidade de não conformidades, assim a organização conseguirá reduzir o número de erros, passará a ter menos prejuízos, e assim irá produzir mais e com maior qualidade (Mello, 2011).

É importante salientar que a gestão da qualidade total deve ser iniciada antes do processo produtivo, sendo que se a inspeção e o controle forem realizados depois que o produto for produzido, ele não evitará o erro, somente evidenciando. Nesse caso, evitará que o produto chegue defeituoso até o cliente final, fazendo com que não contribua para a melhoria dos processos que levou até o produto defeituoso, com isso a empresa acaba tendo desperdícios de matéria prima, energia, água, gás, entre outros, além do desgaste físico e mental de todos os envolvidos (Mello, 2011).

Nesse sentido, salienta-se que “a gestão de qualidade é um meio sistemático de garantir que as atividades organizadas aconteçam segundo o planejado. É uma disciplina da gerência que diz respeito à prevenção de problemas, criando atitudes e controles que possibilitam a prevenção”. (Crosby, 1990, p.37 *apud* Mello, 2011, p. 7). Alguns especialistas em gestão da qualidade, como Deming, Juran, Crosby, Feigenbaum, Ishikawa e Taguchi estudaram gestão da qualidade sob várias perspectivas diferentes e

através de estudos obtiveram várias definições que contribuem até hoje na busca da eficiência e qualidade dentro das organizações (Mello, 2011).

Independente se a empresa possui uma certificação ou não é importante abordar os sete princípios da TQM (*Total Quality Management*), visto que esses princípios foram desenvolvidos pelos gurus onde eles classificam como “gestão do cliente, gestão de liderança, gestão de pessoas, gestão de abordagens por processos, gestão de melhoria, gestão de análise para a tomada de decisão e gestão de fornecedores”. (Gayer, 2020, p.47).

### 2.3. CONCEITO DE PRODUTIVIDADE

Segundo Campos (1992), a produtividade só aumenta quando se possui qualidade, pois o cliente procura por produtos ou serviços que agregam valor. O objetivo da produtividade é produzir mais, com mais qualidade e com menos recursos. Dessa forma, para que a organização adote as melhores práticas de produtividade é necessário criar processos e estratégias para que aumentem a eficiência operacional e melhores resultados (Moi, 2023).

A produtividade está relacionada à qualidade e à quantidade de atividades que são realizadas em determinado período e os recursos que são utilizados no processo produtivo. “Ser produtivo significa ter controle sobre o gerenciamento do tempo para otimizar o desempenho das tarefas costumeira de trabalho e fazer mais com menos esforço”. (Moi, 2023, p.14). O conceito de produção está relacionado com a quantidade produzida, isso significa que se você possui uma alta produtividade alcançará a eficiência nas atividades.

Em um mercado tão competitivo onde os consumidores buscam por preços mais baixos, muitas empresas deixam de agregar valor para que o produto ou serviço possuam baixo custo, mas se a empresa possuir uma ótima estrutura, com equipamentos de última tecnologia e mão de obra especializada, será que essa organização não consegue ter seu valor agregado e com ótimos preços? Com certeza o cliente ficará mais satisfeito e a organização se tornará um diferencial competitivo (Campos, 1992).

### 2.4. FERRAMENTAS DA QUALIDADE

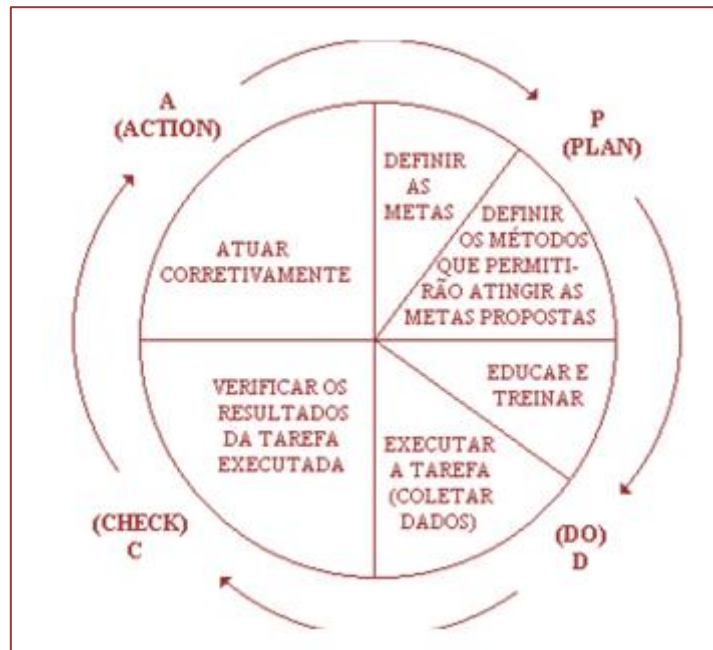
Nessa seção serão apresentadas as seguintes ferramentas da qualidade: Ciclo PDCA, Diagrama de Ishikawa, Gráfico de Pareto, 5W2H, Análise SWOT, *Brainstorming*, Fluxograma, Cartas de Controle, Folha de Verificação, Matriz Gut, Sistema 5S, *Benchmarking*, Seis Sigma e a ferramenta MASP. Essas ferramentas são utilizadas para ajudar as organizações a melhorarem os processos, elas auxiliam na identificação, solução de problemas e na tomada de decisão.

#### a) Método PDCA

O ciclo de melhoria contínua, também conhecido como ciclo PDCA (sigla de *Plan, Do, Check, Act*, para o português significa Planejar, Executar, Verificar e Agir) é uma ferramenta da qualidade e tem como objetivo identificar e organizar as atividades para garantir sua realização de forma planejada. O ciclo PDCA é contínuo e propõe a análise dos processos e, após a aplicação da ação corretiva, começa novamente, assim fazendo com que a empresa monitore os resultados de forma sistemática e consistente, sendo que dessa

forma, os processos melhoram, visando sempre aperfeiçoar os processos existentes (Mello, 2011).

**Figura 1:** Ciclo PDCA de controle de processo



Fonte: Campos (1992, p.30).

De acordo com Campos (1992), o Ciclo pode ser organizado em quatro etapas:

- *Plan* (Planejar): nessa etapa, são definidos os objetivos e metas a serem alcançados, bem como as estratégias e planos de ação para atingi-los, possuindo quatro fases: identificação do problema, observação, análise e plano de ação;
- *Do* (Executar): nessa etapa, os planos de ação são executados e os processos são implementados, nessa etapa a ação será necessária, pois irá bloquear as causas fundamentais;
- *Check* (Verificar): nessa etapa, os resultados são avaliados e comparados com as metas e objetivos definidos na etapa de planejamento, sendo que são identificadas as oportunidades de melhoria e os problemas que precisam ser resolvidos;
- *Act* (Agir): nessa etapa, as ações de melhoria são planejadas e executadas para corrigir os problemas identificados e garantir que as metas e objetivos sejam alcançados de forma mais eficiente, possuindo duas fases: padronização e conclusão (Campos, 1992).

### b) Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe ou Diagrama de Causa e Efeito, é uma ferramenta utilizada para identificar as possíveis causas de um problema específico, a fim de ajudar a encontrar soluções (Mello, 2011). É uma ferramenta útil porque ajuda a identificar a causa raiz do problema, ou seja, as causas fundamentais que estão gerando o problema em questão. Dessa forma, é possível

concentrar esforços na resolução dessas causas, em vez de simplesmente acusar o problema (Mello, 2011).

Segundo Campos (1992, p. 17), “o diagrama foi criado para que todas as pessoas da empresa pudessem exercitar a separação dos fins de seus meios”. Esse processo pode ser dividido em: matéria prima, máquinas, medidas, meio ambiente, mão de obra e método, podem ser chamados de fatores de manufatura ou fatores de serviço.

**Figura 2** - Diagrama de Ishikawa para correlação do efeito e suas causas

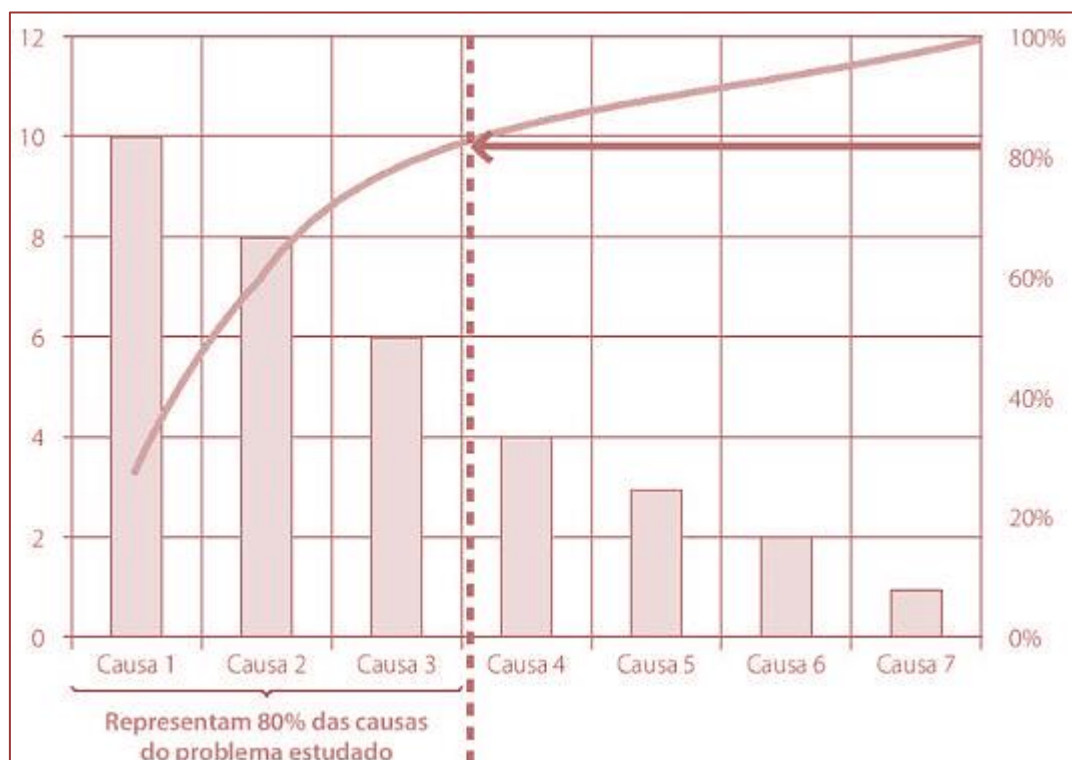


Fonte: Campos (1992, p.18).

### c) Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é uma ferramenta de análise de dados que identifica os principais problemas ou oportunidades de um processo ou de um sistema. Para criar um gráfico de Pareto, é importante organizar as informações de modo a categorizar os fatores ou causas em essenciais (vitais) e secundários (triviais). O gráfico consiste em colunas verticais que destacam a classificação dos problemas, sendo estruturado de acordo com a ordem de frequência de ocorrência. (Barros; Boffani, 2014).

Conforme Gozzi (2015), essa ferramenta quantifica as causas e os problemas mais importantes, essa divisão é necessária para priorizar as mais urgentes e assim apresentar soluções para corrigi-las.

**Figura 3 - Gráfico de Pareto**

Fonte: Barros e Boffani (2014).

#### D) 5W2H

Segundo Campos (1994), o 5W2H é uma ferramenta utilizada no gerenciamento de projetos para planejamento e definição de ações e responsabilidades. O nome "5W2H" é um acrônimo de sete perguntas em inglês que, quando respondidas, ajudam a estabelecer um plano de ação:

- What? (O que será feito?);
- Why? (Por que será feito?);
- Who? (Quem será responsável?);
- Where? (Onde será feito?);
- When? (Quando será feito?);
- How? (Como será feito?);
- How much? (Quanto vai custar?).

#### e) Análise SWOT

A análise SWOT também conhecida no Brasil como matriz FOFA é uma ferramenta de estratégia de gestão empresarial que ajuda a identificar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças. Essa análise ajuda a empresa ter um olhar interno e externo do

ambiente competitivo e possibilita o levantamento de informações que ajudem a identificar elementos negativos e positivos da organização. Essa análise é muito importante para entender o que é necessário fazer para que se tenha sucesso e entender os desafios que poderão vir no futuro e assim a empresa estar preparada para tomada de decisão (Kershbaumer, 2020).

#### f) Brainstorming

A técnica *brainstorming* é aplicada em grupo, vem da hipótese de que várias pessoas geram mais ideias que uma. É utilizada para criação de novos produtos, serviços e soluções de problemas. Para isso, os envolvidos dispõem de total liberdade para apresentar suas ideias sem obterem nenhuma crítica (Gayer, 2020).

Essa técnica é realizada em três etapas:

- Preparação: o diretor apresenta o assunto que será abordado e o objetivo, através de uma pergunta o problema é entregue;
- Realização: o diretor concede um tempo para que os participantes pensem sobre o assunto e após eles apresentam suas ideias;
- Avaliação: o grupo analisa as ideias e eliminam as que são parecidas e selecionam as melhores, após esclarecerem todas as dúvidas pode-se chegar em uma decisão fundamentada (Gayer, 2020).

#### g) Fluxograma

É uma ferramenta utilizada para descrever os processos e dividir cada etapa para que a análise seja realizada, é necessário que todos os colaboradores estejam envolvidos, pois irão auxiliar na identificação de pontos a serem melhorados.

Para a realização do fluxograma é necessário utilizar alguns símbolos: armazenagem, sentido de fluxo, conexão, limites, operação, movimento/transporte, ponto de decisão, inspeção, documento impresso e espera. Esses símbolos ajudam a visualização de forma ilustrativa para que os colaboradores compreendam (Gayer, 2020).

#### h) Cartas de Controle

As cartas permitem analisar cada etapa do processo e se elas estão dentro ou fora do limite aceitável. A mais comum é a carta de controle variável, onde são monitoradas as características contínuas, visto que para uma análise visual de variações são traçados limite superior e limite inferior (Gayer, 2020). Segundo Smaniotto, Rosa e Bemvenuti (2020), a carta de controle variável pode ser utilizada para saber o número de erros em um determinado período ou pedidos para que seja possível realizar um acompanhamento dos dados.

#### i) Folha de Verificação

Segundo Mello (2011), a folha de verificação é conhecida também como *checklist* ou lista, sendo uma planilha onde é realizado a coleta dos dados de não- conformidade de um produto ou serviço. A folha não possui um padrão, pois vai de acordo com a necessidade



do problema. Segundo Mariani (2005), a representação gráfica é simples e de fácil entendimento.

**Figura 4** - Representação gráfica da folha de verificação

Folha de verificação Processo: PRODUÇÃO			
Problema: PEÇAS DANIFICADAS		Data: 30/03/05	
Setor/Turno	N <sup>o</sup> Peças Danificadas		Variação % (R/P)
	Real	Plano	
01/A	03/100	02/100	50 %
02/A	01/100	01/100	-
03/A	01/100	02/100	(-)50 %
Total Médio	02/100	1,75/100	14 %

Fonte: Mariani (2005, p. 29).

#### j) Matriz GUT

A matriz permite que as empresas classifiquem o problema ou na tomada de decisão, conforme a gravidade da situação, além de ser uma ferramenta simples e eficaz ela é baseada na Gravidade, Urgência e Tendência, garantindo que o problema seja alocado por situações que podem ser consideradas mais críticas (Campos, 2020).

- Gravidade (G): avalia os impactos dos problemas a serem resolvidos e pontua de um a cinco de acordo com os danos que podem ser causados;
- Urgência (U): avalia a urgência ou o prazo para resolver o problema, nesse caso é determinada a agilidade necessária para que imediatamente receba uma ação além de receber a pontuação mais alta;
- Tendência (T): nesse caso, têm relação com o potencial de crescimento do problema, caso o problema piore, a pontuação será a mais alta, visto que quando o problema é identificado poderá se tornar mais difícil de resolver se não for tratado rapidamente (Campos, 2020).

#### k) Sistema 5S

O sistema 5S foi desenvolvido pelos japoneses, possui uma estratégia que pretende melhorar a eficiência, a qualidade, o ambiente de trabalho e a segurança. Para isso é necessário que todos os níveis da organização estejam envolvidos para que seja o ponto de partida para a gestão da qualidade (Soares, 2021).

“O programa 5S não é somente um evento esporádico de limpeza, mas uma nova maneira de conduzir a empresa com ganhos efetivos de produtividade”. (Campos, 1992, p. 173).

Segundo Campos (1992), são baseados em cinco princípios:

- *Seiri* (arrumação): identificar e remover equipamentos, materiais, ferramentas e documentos desnecessários, deixando somente o que é necessário para o trabalho;
- *Seiton* (ordenação): depois que foram identificados somente o que é necessário, é feito a organização desses itens de forma que seja de fácil acesso e rápido de



encontrar, dessa forma o importante é reduzir o tempo gasto na procura desses objetos;

- *Seisoh* (limpeza): manter o ambiente de trabalho limpo, pois assim é mais fácil identificar problemas ou defeitos;
- *Seiketsu* (asseio): consiste em ações consistentes e repetitivas, assim se torna um padrão, o que motiva a equipe a cuidar do ambiente de trabalho e ajuda a melhorar o desempenho de todos os envolvidos;
- *Shitsuke* (autodisciplina): nessa etapa é feita a manutenção e o sustento dos 4S anteriores, todos os membros da organização estão envolvidos para manter a melhoria contínua (Campos, 1992).

### l) Benchmarking

O *benchmarking* é um processo de busca e análise das melhores práticas, processos, produtos ou serviços de outras organizações para comparar o melhor desempenho e a eficiência, nesse caso ele não copia e sim busca aplicar métodos que deram certo em outras organizações a fim de melhorar seus processos ou sua estratégia (Soares, 2021). Pode ser classificado em três formas:

- *Benchmarking* de processo: utilizado para identificar práticas feitas por outras organizações que foram efetivas a fim de aperfeiçoar e igualar o desempenho em outras áreas;
- *Benchmarking* competitivo: comparações entre empresas concorrentes, analisando o estudo de processos, preços, qualidade técnica e outras características de desempenho, a empresa a ser estudada não necessariamente tem que ser do mesmo ramo de atuação;
- *Benchmarking* estratégico: analisa como as empresas competem entre si em seu segmento de atuação e procura por estratégias bem-sucedidas que beneficiem vantagens competitivas (Soares, 2021).

### m) Seis Sigma

Segundo Mello (2011), o programa Seis Sigma também conhecido como *Six Sigma* foi desenvolvido pela empresa Motorola, nos anos de 1980, esse programa busca a melhoria contínua dos processos e produtos a reduzir os defeitos, para que o número de defeitos seja quase zero. Nesse contexto, segundo Carvalho e Paladini (2012, p.130), "o programa Seis Sigma promove um alinhamento estratégico, utilizando indicadores de desempenho alinhados aos resultados da organização e prioridades estratégicas como alvos dos projetos de melhoria".

O critério é reduzir a variabilidade dos processos, para a implementação do Seis Sigma os processos são baseados em um método chamado DMAIC (*define, measure, analyze, improve, control*).

- Definir (*define*): definir o propósito do projeto de melhoria, determinando metas claras e realizáveis para as melhorias almejadas;
- Medir (*measure*): identificar os pontos críticos para estabelecer medição do desempenho do processo;

- Analisar (*analyze*): analisar como estão os processos no sistema atual para encontrar ações que devem ser tomadas e assim chegar aos resultados desejados;
- Melhorar: (*improve*): projetar e aplicar soluções de melhoria;
- Controlar (*control*): verificar se as soluções implementadas obtiveram resultados positivos e implementá-las aos padrões dos processos (Soares, 2021).

#### n) Metodologia para Análise e Solução de Problemas (MASP)

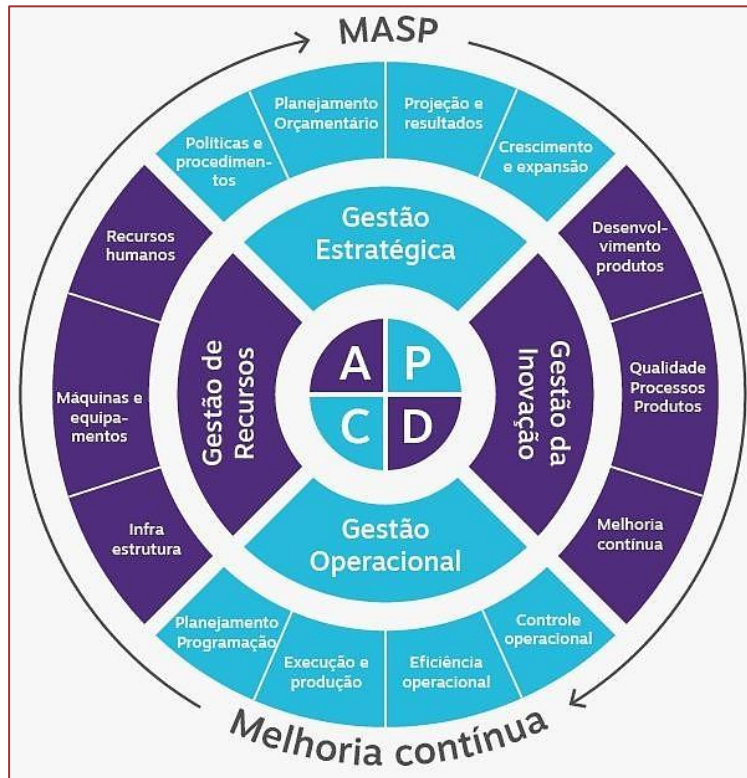
O principal objetivo da ferramenta MASP é identificar problemas e estabelecer ações corretivas e preventivas para minimizar erros. Em certos casos, questões dentro de uma organização persistem sem solução por falta de ferramentas eficazes para lidar com elas (Gozzi, 2015).

Isso pode envolver desde não conformidades em peças até emissão incorreta de notas fiscais ou entrega de produtos com defeitos aos clientes. Nestes casos, as correções acontecem apenas após a detecção do erro, mas o problema tende a ressurgir com o tempo.

Segundo Gozzi (2015, p.42), “a adoção de uma metodologia para solucionar problemas é muito benéfica para a empresa, pois possibilita que as decisões sejam baseadas em dados, e não simplesmente sentido ou julgamento pessoal”.

Conforme Gayer (2020), o MASP é dividido em oito fases:

1. Identificação do problema: Descrever e priorizar os problemas identificados, determinando sua relevância;
2. Observação do problema: Investigar minuciosamente o problema e suas características específicas;
3. Análise das causas do problema: Identificar as causas fundamentais que originam o problema;Elaboração do plano de ação: Desenvolver um plano estratégico para bloquear ou eliminar as causas fundamentais do problema;
4. Execução do plano de ação: Implementar o plano para eliminar as causas fundamentais identificadas;
5. Verificação: Validar se as causas do problema foram efetivamente eliminadas, assegurando que não ocorra novamente;
6. Padronização: Estabelecer padrões que impeçam a recorrência do problema;
7. Conclusão da aplicação do método: Realizar uma análise coletiva da experiência, identificando dificuldades e oportunidades para aprimoramento futuro (Gayer, 2020).

**Figura 5 - Método de Análise e Solução de Problemas**

Fonte: Pereira (2023).

É importante ressaltar que o MASP pode ser utilizado em qualquer tipo de organização, a formação de uma equipe comprometida é fundamental para análise e soluções de problemas visando sempre a melhoria contínua. Salienta-se, por fim, que nesse capítulo foram abordados temas relacionados a qualidade, processos e produtividade, além das ferramentas que são indispensáveis para que as organizações possam atingir metas e elevar os níveis de qualidade de seus produtos ou serviços.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos adotados no estudo, visto ter como objetivo analisar a gestão da qualidade na empresa Soluções Metalúrgica, buscando-se assim investigar na empresa estudada quais são os processos já utilizados dentro dos setores engenharia e produção para a redução dos gargalos e através das ferramentas estudadas na literatura analisar a que melhor se aplica para obtenção de informações que contribuam para a melhoria do setor e do desenvolvimento da empresa.

A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, sendo um método de pesquisa que visa adquirir um conhecimento aprofundado sobre determinado tema e assim buscar melhorias que possam ser adotadas, visto que o estudo ocorrerá em uma empresa no setor metalúrgico que presta diversificados tipos de serviços (Gil, 2002).

Nesse estudo foi utilizado a pesquisa exploratória e descritiva, onde a pesquisa exploratória é uma abordagem com foco em determinado tema, desse modo o pesquisador investiga e fornece informações mais amplas sobre o assunto, enquanto a pesquisa descritiva “observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos (variáveis) sem manipulá-los” (Cervo; Bervian; Silva, 2007, p.61).

Para o presente trabalho foi realizado uma pesquisa bibliográfica que visa explicar um problema a partir de referências teóricas que já foram publicadas em livros, artigos e teses através de conhecimentos de outros autores (Cervo; Bervian; Silva, 2007).

Foi utilizado ainda a pesquisa de observação participante, sendo este um meio de criar soluções para as informações que são monitoradas no dia a dia, visto que a acadêmica faz parte da organização e dos processos estudados (Gil, 2002). Dessa forma, foi possível analisar como é feita a análise de cada processo, que ocorre desde a entrada das informações necessárias para iniciar o processo do orçamento, até a separação das peças e conferência das peças antes de serem enviadas ao cliente.

Para a coleta e análise dos dados foi utilizado como instrumento de pesquisa a entrevista semiestruturada, onde pôde-se ouvir pontos importantes durante a entrevista, permitindo que as perguntas pudessem ser alteradas conforme necessário (Lakatos, 2003). A entrevista foi realizada com o gerente de produção e comercial, com os operadores responsáveis por cada tipo de máquina, além do setor de engenharia. O instrumento foi aplicado entre os envolvidos a fim de buscar informações que auxiliassem na coleta dos dados para a aplicação das ferramentas da qualidade (Lakatos, 2003).

O roteiro de entrevista foi elaborado de acordo com o estudo do autor Campos (1992) e foi aplicado no mês de setembro de 2023, sendo as entrevistas gravadas com a autorização de cada colaborador e o roteiro de entrevista apresentado ao final deste estudo em apêndice A.

Por fim, para a análise dos dados foi adotado a abordagem qualitativa como forma de interpretar e analisar os dados coletados por meio das entrevistas (Pereira *et al*, 2018). A abordagem qualitativa foi realizada por meio da análise de conteúdo, cujo objetivo é compreender as técnicas de pesquisas utilizadas, buscando compreender os sentidos semânticos e hermenêuticos presentes em um documento (Campos, 2004).

## **4. ANÁLISE DOS DADOS**

A seguir, será apresentado a caracterização da empresa, seu organograma atual para melhor compreensão, o atual processo de produção e a apresentação dos pontos mais relevantes, que foram abordados na entrevista realizada com os gerentes, o setor de engenharia e o setor de produção, além da análise e sugestões de melhorias, baseado nos dados coletados por meio das entrevistas e da técnica de observação participante.

### **4.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA**

A empresa Soluções Metalúrgica foi fundada em 1998, localizada no continente de Florianópolis (SC), onde iniciaram suas atividades com apenas dois funcionários, oferecendo serviços em torno e solda.

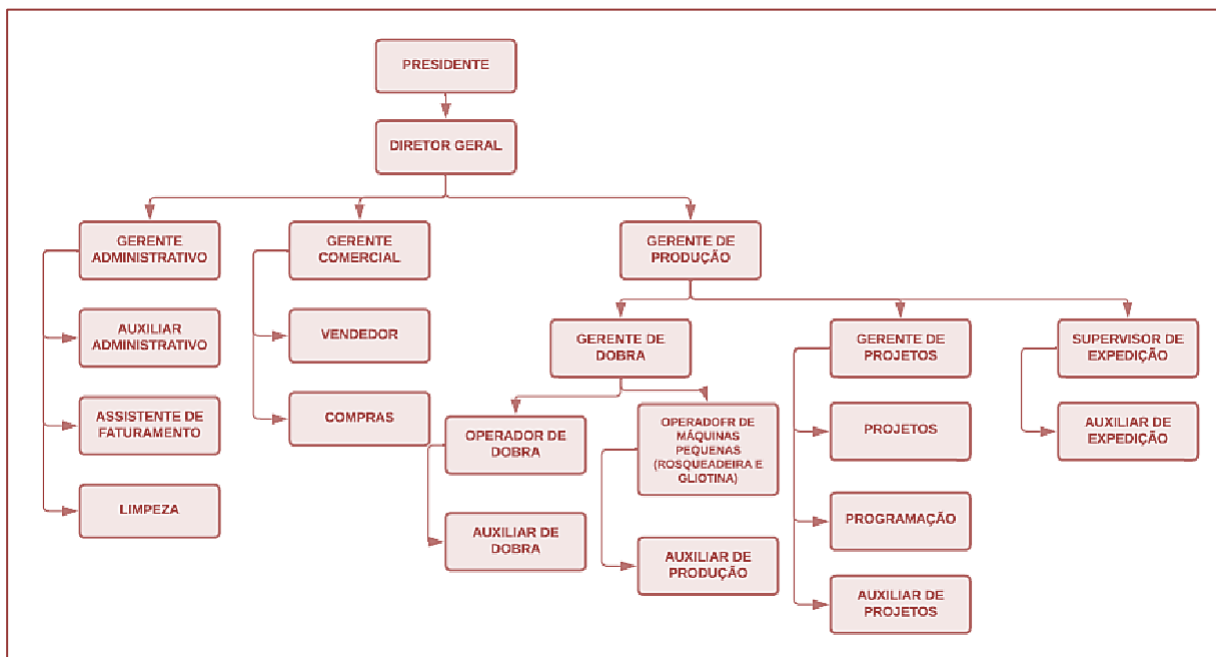
No ano de 2000, a empresa oferecia novas opções de serviços e passou a ser localizada no bairro Roçado em São José (SC), na nova localidade, a empresa já havia incorporado seis

novos funcionários, além de adquirir novas máquinas de pequeno porte. Atualmente, desde o segundo semestre de 2006, a empresa encontra-se situada no município de Palhoça (SC), onde possui uma área construída de mais de 2000m<sup>2</sup>, além de possuir máquinas de médio e grande porte com alta tecnologia, além de seus colaboradores extremamente capacitados.

A organização considera a comercialização de chapas com o serviço de corte e dobra sua principal atividade, e, a máquina Laser, como seu carro chefe. A missão é garantir os melhores serviços no prazo combinado, proporcionar confiança e atender os interesses dos clientes, colaboradores e comunidade. Sua visão é ser reconhecida pelos melhores serviços do ramo e seus valores é estar disposto a aprimorar tanto os serviços quanto sua qualidade.

Atualmente a empresa conta com uma equipe de 34 funcionários, sendo distribuídos pelos setores: comercial, engenharia, produção, expedição e administrativo. Para melhor compreensão da estrutura da organização, a figura 4 apresenta o organograma da empresa.

**Figura 6 - Organograma da Soluções Metalúrgica**



Fonte: Dados da Empresa (2023).

A empresa possui três galpões, o primeiro galpão possui máquinas como a calandra e oxicorte, além do estoque de chapas, onde são armazenadas de acordo com o tipo de material e espessura. Já no segundo galpão possui o setor de atendimento ao cliente, ou seja, setor de vendas e administrativo. Além desses dois setores, possuem o local de expedição e máquinas como: gliotina CNC, dobradeiras e a rosqueadeira.

Como os serviços são entregues nesse local, o galpão é sinalizado adequadamente com o auxílio de uma empresa de segurança do trabalho, toda área é equipada com extintores, marcações no chão, fornecimento de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual) para visitantes, além de cercas e portões que controlam o acesso à área de produção, entre outras medidas de segurança. No terceiro galpão, encontram-se um pequeno estoque de chapas, duas máquinas de corte à laser, setor de engenharia que conta com projetistas e programados, além do refeitório.

Cada máquina possui seu próprio manual de operações que serve como guia para funções e manutenções específicas. Portanto, esses manuais devem estar localizados junto à máquina ou em um setor designado para documentos importantes. Cada máquina também está identificada com uma placa que especifica o tipo de EPI obrigatório para sua operação. Além disso, existem faixas no chão que indicam a organização e promovem a segurança no local. Deste modo, conclui-se que as máquinas e setores estão alocados estrategicamente de modo a existir mínimas alterações no *layout*.

Com o compromisso de proporcionar serviços de alta qualidade, a organização enfatiza a importância de constante atualização dos funcionários por meio de recursos de capacitação e treinamento. Além disso, priorizam o desenvolvimento de competências multifuncionais, garantindo que os operadores compreendam não apenas suas tarefas primárias, mas também o funcionamento e as responsabilidades relacionadas a outras atividades e equipamentos.

Desde o ano de 2022 a empresa vem priorizando por melhorias dos processos, pois ainda a organização não possui um setor de qualidade estabelecido, e para isso acontecer é necessário analisar os gargalos que estão acontecendo nos setores de engenharia e produção e apresentar soluções de melhorias, pois hoje a concorrência está cada vez mais alta e os clientes estão exigindo um alto padrão de qualidade.

## **4.2. DESCRIÇÃO DOS DADOS COLETADOS**

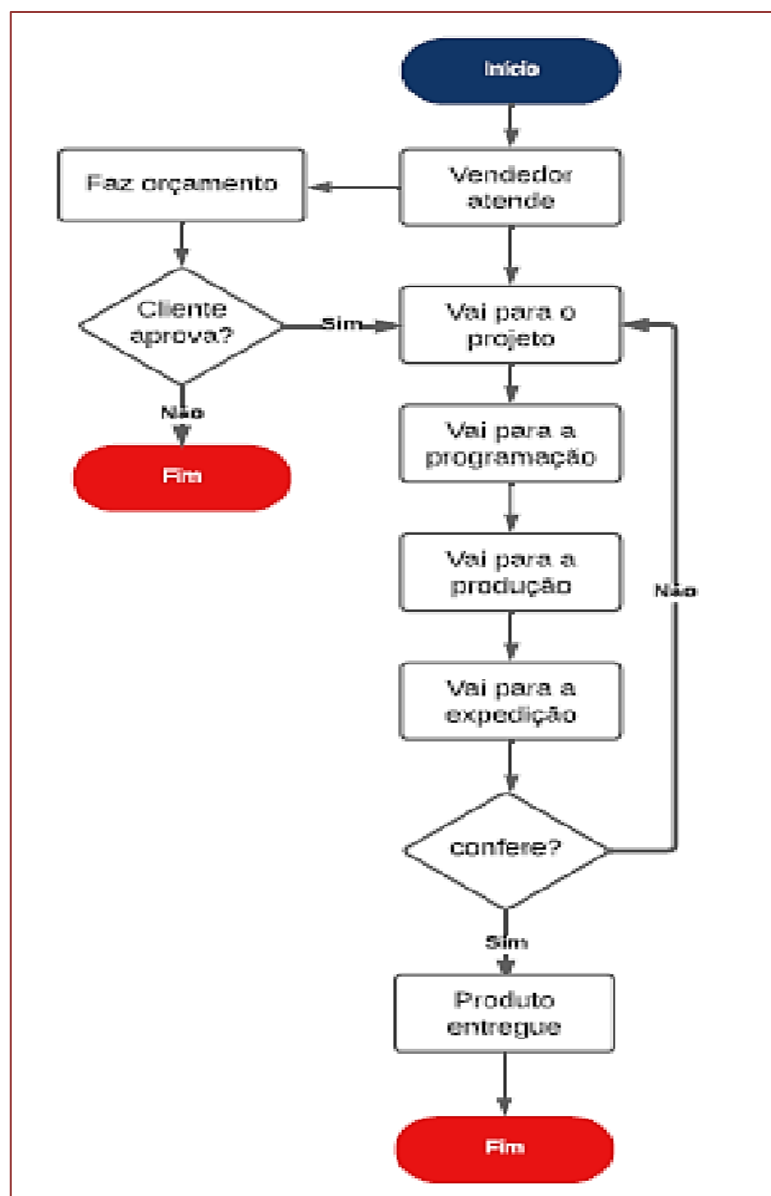
Nessa seção será apresentada a operacionalização do fluxograma dos processos atuais da empresa que foi estudada por meio da técnica de observação participante.

### **4.2.1. ATUAL PROCESSO DE PRODUÇÃO**

Nesse tópico será apresentado como funciona os processos atuais de produção que funciona desde a entrada do orçamento até a produção final. Para iniciar o processo, o vendedor realiza o atendimento, seja por meio de plataformas digitais ou presencialmente.

Em seguida, o projeto do cliente (empresa) é encaminhado ao departamento de orçamento. Após a realização da cotação e a aprovação do cliente, o orçamento é enviado ao setor de projetos, onde será feita a revisão do orçamento e a criação do PDF. Posteriormente, as peças são agendadas e encaminhadas para produção. Após a produção das peças, são enviadas ao departamento de expedição para o processo de embalagem, visando a entrega do pedido. Para melhor visualização dos processos, segue o fluxograma da empresa atual.

**Figura 7 - Fluxograma do processo atual**



Fonte: Dados da Empresa (2023).

A empresa utiliza diversas plataformas, como *WhatsApp*, *e-mail*, telefone e o *site* oficial da organização, todos os vendedores são proficientes e possuem ampla experiência no manuseio de diferentes tipos de chapas, além de habilidades em interpretação de desenhos técnicos.

Quando os clientes fazem contato, seja por meio das plataformas de comunicação ou ao visitar o escritório, é garantido um atendimento imediato, sendo que um dos vendedores assume a responsabilidade pelo pedido do cliente. Para dar início ao processo é fundamental que o cliente envie informações detalhadas por *e-mail*. Essas informações devem abranger aspectos como o nome do cliente, número do pedido, o projeto, lista com quantidades, espessura desejada, tipo de material desejado, se a chapa será fornecida pelo cliente ou pela empresa que prestará os serviços e quaisquer observações relevantes.



Após serem recebidos todas as informações necessárias, o próximo passo é elaborar o orçamento, onde se utiliza o *software AlmaCam*, onde são inseridas as peças do cliente em formato DWG e DXF. Após o envio do orçamento ao vendedor e os gerentes inicia-se o processo de negociação entre o vendedor e o cliente. Caso o cliente aprove o orçamento, o vendedor procede com a criação do pedido, utilizando o sistema de gestão integrada (ERP).

O sistema ERP é abrangente, contendo todas as informações do cliente. Após a aprovação do orçamento, o vendedor cria um pedido e importa os dados do orçamento diretamente para o sistema ERP. Em seguida, gera uma ordem de serviço que inclui informações essenciais, como nome do cliente, número do pedido, nome do vendedor, data de entrega, material a ser utilizado, quantidade de peças e o tempo de produção.

Na próxima etapa, o vendedor encaminha o número do pedido e a ordem de serviço ao departamento de projetos, onde as informações do pedido são minuciosamente verificadas, logo após é gerado um arquivo PDF contendo detalhes sobre cada peça a ser produzida. Assim que o departamento de projetos não detecta nenhuma divergência nas informações das peças, o projeto é então encaminhado ao departamento de programação. Nesta etapa, as peças são programadas de forma a otimizar o uso do material e corte, contendo informações como o retalho utilizável, quantidades de peça no arranjo, tipo de material e espessura.

No estágio subsequente, a ordem de serviço é enviada para o setor de produção, onde os operadores e seus assistentes consultam a ordem de serviço para determinar quais materiais e espessuras precisam ser separados para atender o pedido do cliente. Assim que o operador separa o material necessário, ela é inserida na máquina, dando início ao processo de produção.

Após a conclusão da produção das peças, os operadores e seus assistentes realizam uma verificação minuciosa para garantir que a quantidade de peças produzidas, o tamanho da peça, o tipo de material e espessura, correspondam às especificações indicadas na etiqueta que se encontra na figura 6. Em seguida, as peças são separadas por tipo de operação, que pode incluir corte, dobra, calandra, rosqueamento, escareamento e soldagem.

**Figura 8 - Etiqueta**



Fonte: Dados da Empresa (2023).

Após a classificação das peças, de acordo com suas operações específicas, elas são direcionadas aos respectivos departamentos para dar continuidade ao processo. Geralmente, quando uma peça requer tanto dobra quanto rosqueamento, ela inicialmente passa pela rosqueadeira e, em seguida, é encaminhada ao setor de dobra. Cada etapa do processo segue uma sequência predeterminada. Uma vez que todas as etapas são concluídas as peças são separadas pelos próprios operadores, onde serão enviadas ao departamento de expedição. Nesse estágio, as peças são minuciosamente inspecionadas e embaladas, preparando-se para a fase de faturamento. Em seguida, o pedido está pronto para ser despachado ao cliente ou, se o cliente preferir, ele poderá retirá-lo pessoalmente.

#### **4.2.2. ENTREVISTA COM OS GERENTES**

A seguir serão abordados os tópicos que foram discutidos com os gerentes durante as entrevistas realizadas com base no roteiro de entrevista disponível no Apêndice A. As entrevistas proporcionaram informações valiosas que podem ser utilizadas para aprimorar os processos, estas ocorreram nos dias 08 e 12 de setembro de 2023 com o gerente de produção e o gerente comercial, ambos dedicados à busca contínua por melhorias em suas respectivas áreas, e ambos com um histórico de 8 a 13 anos de experiência na organização.

Com base nas entrevistas, ficou evidente que a rotina diária dos entrevistados é bastante movimentada. Embora os processos tenham um padrão a ser seguido, a falta de procedimentos e padronização às vezes resulta em omissões, dependendo da demanda.

A empresa está firmemente comprometida em aprimorar seus processos, com o objetivo de alcançar padrões de qualidade que atendam às expectativas dos clientes e promovam a fidelização. No momento, a empresa não possui um departamento especializado em controle de qualidade e a verificação das peças é realizada ao longo das etapas que vão sendo concluídas em cada setor, até chegar ao departamento de expedição.

De acordo com os gestores, a falta de cooperação e a resistência às mudanças por parte dos colaboradores de cada setor podem resultar em atrasos em algumas etapas e até mesmo em erros. Anteriormente, não havia um sistema de controle para peças que apresentavam não conformidades. Recentemente, foi implementada uma planilha de não conformidades.

Em caso de erro em uma das peças, o operador a encaminha ao setor de engenharia, onde os projetistas registram os detalhes do erro que levou à não conformidade da peça. Esses detalhes incluem informações como o vendedor, número do pedido, quantidade de peças, código da peça, a presença ou ausência de operações e o nome do operador da máquina.

Após a coleta dessas informações, o projetista elabora um orçamento para a produção das peças necessárias, que é então encaminhado ao setor de programação. Após essa etapa, a peça é produzida. Os gerentes relatam a necessidade de estabelecer a padronização dos processos, implementar um sistema de controle de estoque, padronizar os desenhos técnicos e desenvolver procedimentos para lidar com a falta de informações do cliente.

### **4.2.3. ENTREVISTA COM O SETOR DE ENGENHARIA**

Nessa seção serão abordados os temas que foram debatidos com o setor de engenharia durante as entrevistas conduzidas com base no roteiro apresentado no Apêndice A, o que forneceu informações valiosas para aprimorar a melhoria contínua do setor.

As entrevistas ocorreram em 13 de setembro de 2023 e incluíram membros da equipe, como orçamentistas, projetistas, e auxiliares de projeto, que têm uma permanência na empresa que varia de 1 a 7 anos. Conforme relatado pelos entrevistados, a rotina de trabalho é flexível e adaptada à demanda geral. Normalmente, os vendedores enviam *e-mails* contendo informações sobre o número do orçamento, dados do cliente e outros detalhes relacionados a orçamentos, projetos ou programação.

Os principais desafios enfrentados incluem a falta de padronização nos desenhos, a ausência de informações do cliente, a falta de revisão dos orçamentos e deficiências na comunicação entre os departamentos. Embora exista uma sequência de etapas, a ausência de informações frequentemente resulta em atrasos na entrega de orçamentos e até mesmo na produção das peças, deixando o projeto do cliente pendente.

No departamento de projetos, é realizada uma verificação antes da programação para identificar erros antes da produção das peças. No entanto, nem sempre essa etapa é realizada e sua execução muitas vezes depende da data de produção das peças. Em muitos casos, quando os projetistas conseguem realizar essa verificação antes da programação, evitam erros relacionados a espessura, material e outros aspectos que só seriam identificados após a produção. Os entrevistados estão convencidos de que estabelecendo uma padronização na fase de verificação prévia à programação, seria possível evitar erros e minimizar o desperdício.

Quando ocorre uma não conformidade após a produção, envolvendo erros como dobras inadequadas, espessura incorreta, problemas de material, entre outros, um registro é enviado ao setor de projetos. Esse registro contém todas as informações necessárias para a elaboração de um novo orçamento das peças que precisam ser refeitas. Após a conclusão dessa etapa, o pedido para a produção das peças corrigidas é encaminhado ao departamento de programação.

Todos os profissionais entrevistados expressaram satisfação com suas funções, mas também demonstraram interesse em buscar melhorias contínuas. A equipe do departamento de engenharia está aberta a mudanças e disposta a compartilhar opiniões para aprimorar os processos. A melhoria na comunicação entre os departamentos e a realização de reuniões semanais foram consideradas medidas bem-vindas por eles.

### **4.2.4. ENTREVISTA COM O SETOR DE PRODUÇÃO**

A seguir, serão apresentados os temas discutidos com os operadores do setor de produção durante as entrevistas realizadas com base no roteiro de entrevista apresentado no Apêndice A, onde foram obtidas informações valiosas para aprimorar os processos. As entrevistas ocorreram entre os dias 21 e 28 de setembro de 2023, com uma variedade de membros da equipe, incluindo operadores de dobra, supervisor de dobra, operadores de máquina laser, operadores de rosqueadeira, operador de calandra, operador de solda, operador de guilhotina e auxiliares de produção. Todos esses profissionais têm um histórico de 2 a 10 anos de experiência na organização e compartilham o compromisso de buscar melhorias contínuas em seus respectivos setores.

De acordo com os relatos dos funcionários, a rotina de trabalho está intimamente relacionada com as demandas de produção. Embora exista uma sequência padrão de processos, em situações de pedidos urgentes, algumas etapas podem ser antecipadas.

A primeira etapa ocorre no setor de corte a laser, onde a ordem de serviço é encaminhada ao departamento e, em seguida, direcionada ao operador da máquina a laser responsável por separar o material solicitado. O operador carrega o material na máquina e, após a produção das peças, os operadores realizam uma inspeção de qualidade. Posteriormente, as peças são etiquetadas e separadas de acordo com o tipo de operação e, por fim, são enviadas aos respectivos departamentos responsáveis pela execução dos serviços solicitados.

No que diz respeito ao setor de corte a laser, os entrevistados enfatizaram a importância de designar um profissional específico para a separação do material destinado à produção. Esse funcionário seria responsável pelo controle de estoques de chapas e retalhos, o que evitaria que os operadores perdessem tempo separando o material e, muitas vezes, armazenassem chapas com espessuras incorretas, que só seriam verificadas quando chegassem ao setor de produção.

Alguns dos principais desafios identificados incluem: orçamentos e ordem de serviço com materiais e espessuras diferentes do solicitado, falta de espaço para armazenamento das chapas que serão utilizadas, falta de padronização nos desenhos, peças com rebarbas após o corte que, em algumas situações, foram enviadas ao cliente sem uma revisão adequada, armazenamento de retalhos com espessuras distintas do material original, variações nos tempos de corte, dobra e rosqueamento em relação ao tempo final especificado na ordem de serviço, e a falta de uma revisão do orçamento antes de ser encaminhado para o setor de corte.

Em caso de não conformidades, os operadores seguem um processo padrão, preenchendo uma ficha com detalhes sobre a causa do erro, como o nome do operador, número do pedido, quantidade de peças e o código da peça. Essa ficha é então encaminhada ao setor de projetos para a elaboração do orçamento de não conformidade.

Quanto à satisfação no trabalho, alguns profissionais não estão plenamente satisfeitos e acreditam que muitos processos podem ser melhorados, enquanto outros estão contentes com suas funções atuais. Todos os entrevistados estão dispostos a contribuir para a melhoria do setor e se disponibilizaram para ajudar no que for necessário.

Por outro lado, os operadores de máquinas guilhotina, solda, oxicorte/plasma e calandra não relataram necessidade de melhorias ou identificaram questões que pudessem gerar não conformidades.

### **4.3. ANÁLISE E SUGESTÕES DE MELHORIAS**

Na sequência será apresentada a análise dos dados relacionando com a teoria e a apresentação de sugestões de melhorias.

Viu-se que a busca da empresa tem sido pelo aumento da qualidade e produtividade de seus serviços, segundo os gerentes, no entanto, é importante destacar que a produtividade só aumenta quando se possui qualidade, pois o cliente procura por produtos ou serviços que agregam valor, conforme enfatizado por Campos (1992). Em geral a qualidade está relacionada a excelência dos processos e organização das atividades, conforme mencionado por Mello (2011).

Com base na análise e nas entrevistas que foram conduzidas, os setores de engenharia e produção possuem padrões a serem seguidos, conforme citado pelo autor Mello (2011), porém, o atual ritmo de produção vai de acordo com a demanda, que muitas vezes resultam em omissões de certos processos para atender a demanda do cliente. Dado que a empresa não dispõe de um departamento especializado em controle de qualidade, conforme enfatizado pelos gerentes, a responsabilidade pela verificação das etapas recai sobre cada colaborador.

De acordo com os entrevistados no departamento de engenharia, no início do processo de elaboração de um orçamento, é fundamental obter informações tanto do cliente quanto do projeto em questão. No entanto, um desafio frequente que se apresenta é a falta de informações disponíveis. Devido a essa lacuna, os orçamentistas frequentemente interrompem seu trabalho e precisam entrar em contato com o vendedor responsável para obter as informações necessárias.

Diante desse cenário, **a sugestão para esse problema, foi desenvolver uma planilha de informações do cliente.** Nessa planilha, o vendedor é encarregado de preencher todas as informações essenciais, que ficam registradas de forma organizada na pasta do cliente. Como resultado, os orçamentistas passam a ter acesso fácil a essas informações sem a necessidade de contato frequente com o vendedor, tornando o processo mais eficiente e evitando interrupções no fluxo de trabalho.

Segundo mencionado pelos entrevistados, a comunicação interdepartamental é considerada essencial, porém, frequentemente, essa comunicação se mostra deficiente. Isso ocorre devido às alterações que, em muitas situações, são notificadas por e-mail e, em alguns casos, são direcionadas apenas a um único indivíduo. Em virtude das demandas diárias de trabalho, tais informações não são compartilhadas com todos os membros do departamento, resultando em um esquecimento comum.

Nesse contexto, **sugere-se que todas as informações relevantes sejam comunicadas ao departamento como um todo formalmente, seja por e-mail ou por outras ferramentas de comunicação,** a fim de garantir que todos os integrantes tenham acesso a essas informações de maneira apropriada.

Uma das preocupações compartilhadas por orçamentistas e projetistas diz respeito à ausência de padronização nos desenhos, uma vez que cada cliente mantém suas próprias diretrizes. Isso é de extrema importância tanto para quem elabora o orçamento quanto para quem cria os documentos em formato PDF. Em linhas gerais, quando ocorre uma lacuna de informações nos desenhos, a prática comum é solicitar ao vendedor que, por sua vez, faz a solicitação ao cliente. No entanto, esse processo muitas vezes carece de agilidade e resulta em atrasos, tanto na entrega do orçamento quanto na disponibilização dos arquivos necessários para a produção das peças.

Assim, **recomenda-se a elaboração de uma lista contendo as informações necessárias para a criação de um orçamento que será enviado ao cliente.** Ficarà a critério do cliente, fornecer as informações em seu projeto. As informações necessárias para as peças devem incluir:

1. Para corte:
  - Desenhos em escala de 1:1;
  - Comprimento e largura da peça;
  - Espessura;

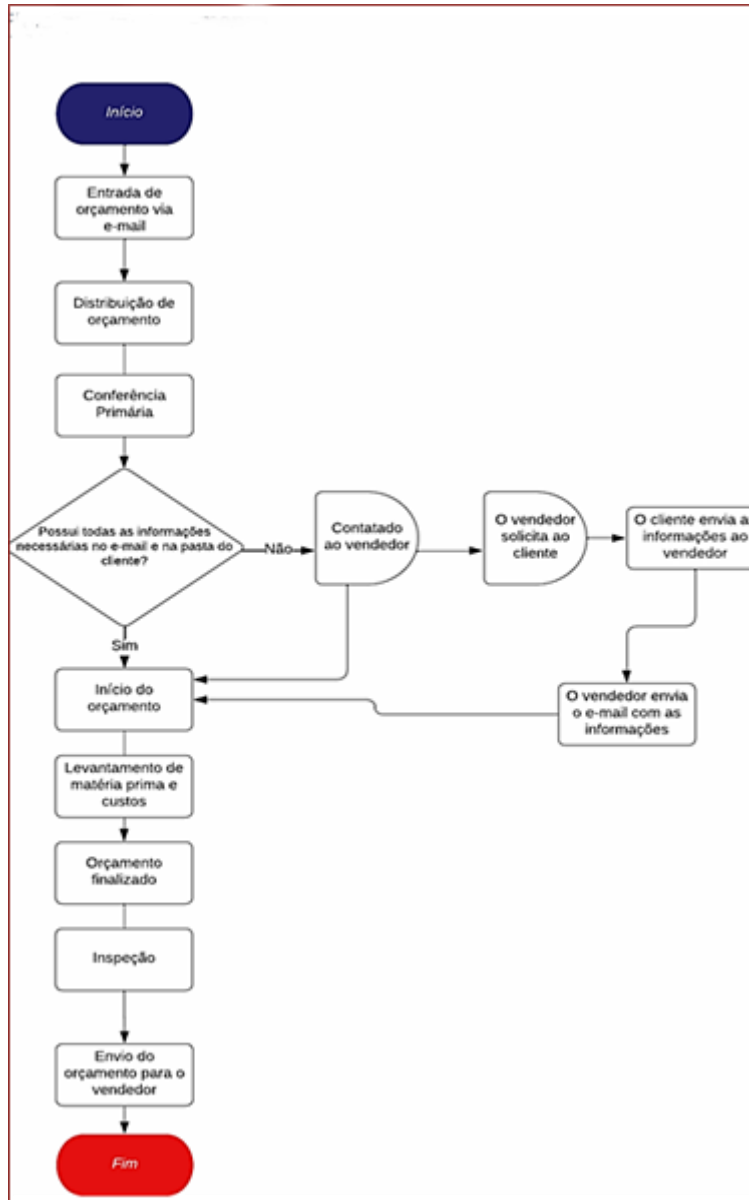
- Tipo de material;
  - Para peças com furos, é importante informar o diâmetro;
2. Para dobras:
- Distância entre cada dobra;
  - Ângulo da dobra;
  - Raio da dobra;
  - Direção da dobra (para cima ou para baixo);
  - Lado da película (interno ou externo);
  - Se a dobra da peça já inclui a medida do fator K;
  - Vista da peça dobrada;
  - Vista frontal da peça;
  - Vista lateral da peça;
3. Para rosca, escareado e rebaixo:
- Diâmetro do furo;
  - Tipo de rosca;
  - Tipo de escareado;
  - Vista lateral da peça;

Entende-se que essas informações são essenciais para a adequada elaboração do orçamento, além de contribuir com os projetistas ao realizar o PDF de cada peça.

Na entrevista realizada o gerente de produção foi citado que está planejando implementar, no futuro, uma padronização nos desenhos de acordo com as especificações da empresa. Dessa forma, quando o orçamento for concluído e aprovado pelo cliente, o projetista será capaz de gerar um arquivo PDF abrangente, contendo todas as informações requeridas pelos funcionários da produção.

Esse esforço tem como objetivo reduzir o tempo do orçamentista, projetista e operador em solicitar as informações, além de diminuir erros de não conformidade. **Apresenta-se o fluxograma B e C atualizado conforme as sugestões de melhorias que foram propostas no setor de orçamento e projeto.**

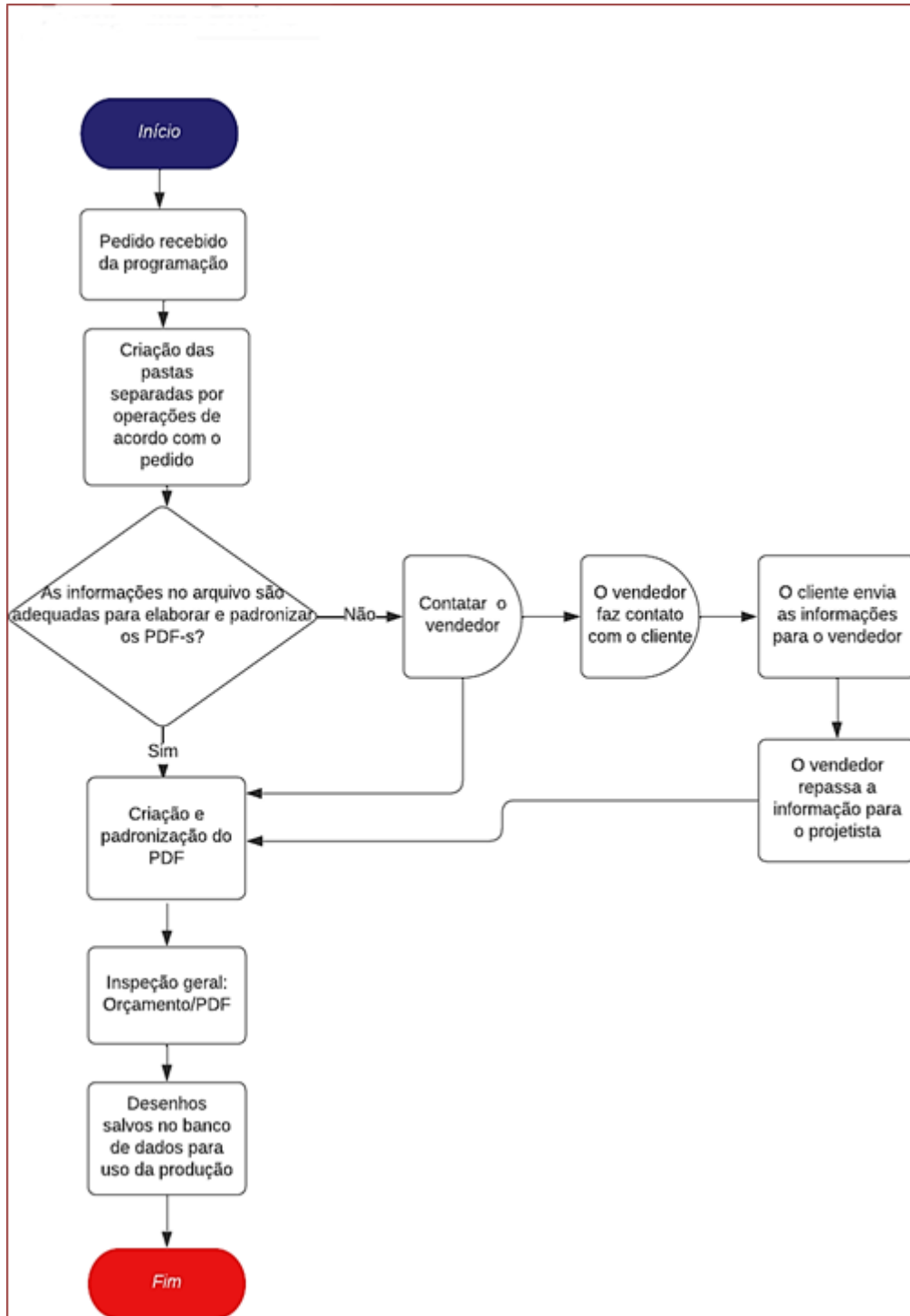
**Figura 9 - Fluxograma do Orçamento**



Fonte: Elaborado pela autora (2023).



Figura 10 - Fluxograma do Projeto



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

No departamento de produção, identificaram-se várias áreas de aprimoramento no processo atual. De acordo com informações fornecidas pelos entrevistados, os operadores das máquinas de corte a laser frequentemente se deparam com ordens de serviço que contêm informações discrepantes em relação ao que foi solicitado.

Nessas situações, os operadores costumam recorrer ao programador, que investiga o ocorrido e constata que, na realidade, o vendedor inseriu informações incorretas. Para abordar esse problema, a empresa adotou uma abordagem de padronização das ordens de serviço. Agora, as ordens de serviço seguem as diretrizes do orçamento gerado, e o sistema gera automaticamente o documento, eliminando a necessidade de intervenção do vendedor na inclusão das informações.

Uma questão de grande relevância, mencionada tanto pelos operadores das máquinas a laser quanto pelo gerente de produção, é a ausência de um funcionário dedicado ao controle de estoque. Atualmente, cada operador é responsável por localizar a chapa de material a ser utilizada no corte, o que frequentemente resulta em perda de tempo na seleção e preparação do material.

Em algumas situações, foi relatado que certas chapas foram armazenadas com diferentes espessuras, e essa discrepância só foi detectada quando chegaram à máquina de corte. Isso, por sua vez, levou a retrabalho, uma vez que as chapas tiveram que ser devolvidas ao setor de estoque para obter o material correto.

A contratação de um profissional encarregado do controle de estoque permitirá ao gerente comercial manter um registro preciso da quantidade de chapas e retalhos disponíveis no sistema atual de gestão de estoque. Esse funcionário terá a responsabilidade de gerenciar as entradas e saídas de chapas no estoque, além de preparar o material que será utilizado na produção. Como resultado, o operador ficará encarregado apenas de carregar o material na máquina e de separar as peças de acordo com suas respectivas operações.

Nesse contexto, fica evidente a importância de ter um profissional dedicado ao departamento de estoque, uma vez que isso otimizará significativamente o processo de produção. Dessa forma, o operador terá um tempo adicional para realizar uma verificação mais minuciosa das peças antes de enviá-las aos demais departamentos, onde serão submetidas às suas operações específicas. Assim, baseado na entrevista com os gestores, eles citam que já está sendo providenciado a contratação de um profissional para atuar no departamento de estoque.

Conforme mencionado pelos operadores, uma questão relevante é a incompatibilidade entre os tempos estimados para a produção de peças e os tempos reais. Quando um orçamento é elaborado, são especificados tempos de corte, tempos de dobra e outras operações, no entanto, os tempos reais de produção frequentemente diferem. Por exemplo, o tempo estimado para o corte pode ser de três horas e trinta minutos, mas esse cálculo não leva em consideração o tempo necessário para pegar o material e programar a máquina. Como resultado, o tempo registrado para a produção é impreciso.

Assim, recomenda-se realizar uma análise do tempo necessário para diferentes etapas do processo, como o tempo que um operador leva para iniciar a produção efetiva, o tempo de separação de materiais e peças, a análise do arquivo em formato PDF, a programação da máquina e a produção das peças. Essa análise visa incluir a diferença no cálculo do tempo total necessário para produzir as peças ao gerar o orçamento.

A empresa está empenhada em resolver esse problema, uma vez que várias falhas podem ocorrer devido a essa discrepância. Por exemplo, a falta de informações para dobrar uma peça pode levar o operador a interromper o trabalho e aguardar a intervenção do supervisor para esclarecimentos. Isso resulta em um atraso no processo, já que o tempo necessário para realizar uma tarefa pode ser substancialmente diferente do que foi indicado na ordem de serviço inicial.

Vale destacar que a falta de uma inspeção minuciosa em todos os processos pode resultar em falhas, algumas das quais são detectadas durante a produção, mas lamentavelmente, em outros casos, só vêm à tona quando o produto já está nas mãos do cliente. É de suma importância que a empresa tenha um responsável por inspecionar cada etapa do processo.

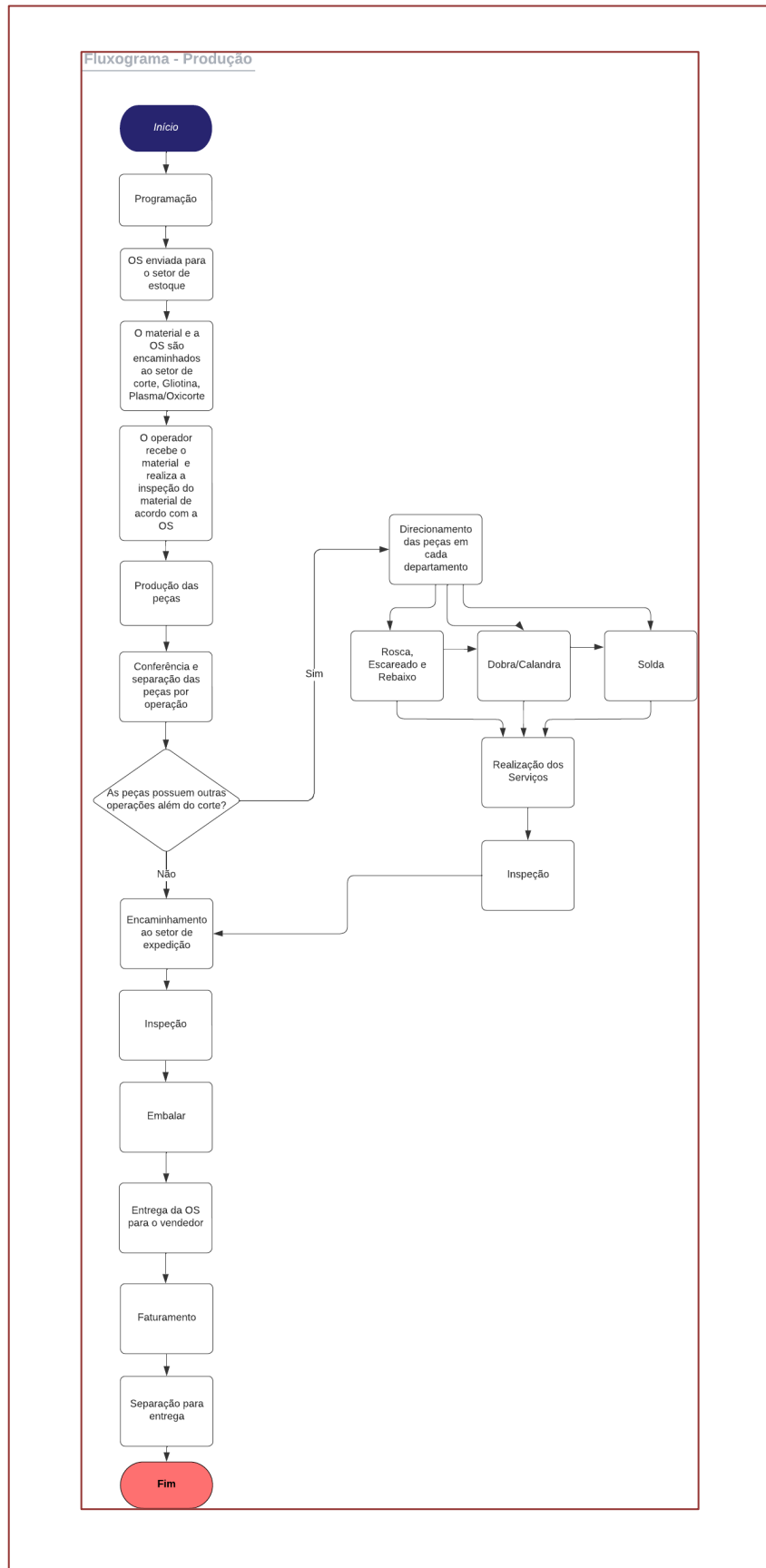
Mesmo que a empresa ainda não tenha um departamento de controle de qualidade dedicado, recomenda-se que cada funcionário assuma a responsabilidade pela inspeção de seu próprio trabalho, reportando tanto resultados positivos quanto negativos, e, ao fazê-lo, comunicando essas observações ao supervisor para que medidas apropriadas sejam tomadas.

Segundo Campos (1992), é importante que todos estejam atentos ao processo como um todo, visto que esse procedimento estimulará a busca contínua por melhorias em todas as etapas, assegurando uma comunicação eficaz das informações necessárias a todos os colegas envolvidos. Na sequência, apresenta-se o fluxograma atualizado conforme as sugestões de melhorias que foram propostas no setor de produção.

Com base na análise realizada, há vários processos que podem ser melhorados, visto que todos os colaboradores que foram entrevistados estão dispostos a ajudar no que for necessário para a melhoria de seu setor. Dessa forma, sugere-se que a empresa considere a implementação das ferramentas da qualidade e o Ciclo PDCA, conforme estudado na literatura.

Esse ciclo envolve as etapas de Planejar, Executar, Verificar e Agir, visando identificar e organizar atividades, além de aprimorar e padronizar os processos para garantir a melhoria contínua, pois para a aplicação do ciclo será necessário utilizar algumas das ferramentas da qualidade.

**Figura 11 - Fluxograma da Produção**



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

É aconselhável utilizar a metodologia MASP, pois seu foco principal é a identificação de problemas e a definição de ações corretivas e preventivas para reduzir erros. Assim, quando um processo é concluído ou identificado com algum erro, o gerente pode coletar dados pertinentes e procurar implementar soluções para aprimoramentos.

Para melhor visualização dos problemas que foram identificados e as sugestões de melhorias, segue figura abaixo que aborda de forma resumida.

**Figura 12 - Problemas e Sugestões**

PROBLEMAS IDENTIFICADOS	SUGESTÕES DE MELHORIAS
1. Falta de informações para a elaboração de orçamento.	1. Elaboração de uma planilha de dados, onde as informações relevantes ficam disponíveis na pasta do cliente.
2. Falta de comunicação entre os departamentos.	2. As informações devem ser transmitidas através de ferramentas de comunicação, para que cada colaborador tenha acesso as informações.
3. Ausência de padronização nos desenhos do cliente.	3. Envio de <i>checklist</i> com as informações que são necessárias para criar um orçamento, dessa forma é enviado ao cliente para que ele envie o seu projeto com as informações solicitadas, a fim de que não seja necessário entrar em contato novamente por falta de informações no projeto.
4. Ausência de um funcionário dedicado ao estoque, cada operador é responsável por localizar o material que será utilizado.	4. A Contratação de um profissional dedicado ao estoque permitirá reduzir a carga de trabalho do operador, além de garantir um controle sobre as chapas e retalhos.
5. Incompatibilidade entre tempos estimados na ordem de serviço em relação a produção das peças.	Analisar qual é o tempo necessário para a realização de cada processo, que vai desde o início da produção efetiva até a produção das peças.
6. Falta de inspeção em cada etapa do processo.	6. É recomendado que cada funcionário seja responsável por inspecionar o seu trabalho, reportando ao supervisor resultados positivos e negativos para que medidas sejam tomadas.
7. Os processos possuem um padrão, mas não são seguidos.	7. Foram criados fluxogramas atuais para cada processo, os quais estão nos apêndices B, C e D. Isso visa permitir que cada funcionário veja as etapas a serem seguidas, garantindo que nenhuma delas seja omitida por falta de conhecimento de seus processos.
8. Necessidade de aprimoramento nos processos.	8. Implementação futura do Ciclo PDCA (planejar, executar, verificar e agir), que visa identificar e organizar as atividades, além de aprimorar e padronizar os processos para garantir a melhoria contínua.
9. Falta de monitoramento nas etapas do processo.	9. Recomenda-se adotar a ferramenta MASP, já que o objetivo principal é identificar problemas e estabelecer ações corretivas e preventivas para minimizar erros.

Fonte: Dados da autora (2023).

Por fim, salienta-se que as sugestões de aprimoramento foram derivadas das entrevistas e análises realizadas, com o objetivo de encontrar maneiras mais eficazes de lidar com conflitos e melhorar cada processo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta a conclusão do estudo, que tinha como objetivo propor ferramentas da gestão da qualidade na empresa Soluções Metalúrgica, buscando investigar os processos já utilizados no setor de produção e engenharia para a redução de

não conformidades, e através da análise, propor sugestões de melhorias com o intuito de estimular o desenvolvimento da empresa e aprimoramento dos processos.

Entende-se que foi observado e monitorado cada processo, desde a entrada do orçamento até a entrega das peças para o setor de expedição, visto que a empresa não possui um setor de qualidade e nem todos os processos são inspecionados, a fim de que muitos erros são identificados somente depois que a peça é produzida, e assim, viu-se a importância da implementação da gestão da qualidade.

É importante salientar que a empresa vem buscando por constantes mudanças em todos os setores, isso faz com que os seus colaboradores estejam dispostos a contribuir para a melhoria de seu setor. Como foi analisado, há outros problemas que geram a não conformidade, mas que podem ser melhorados, como por exemplo, a contratação de um profissional dedicado a separação das chapas, o que diminuiria o tempo do operador em deslocamento até o setor de estoque, além de conseguir mais tempo para realizar a inspeção depois que o material é produzido.

A análise dos setores foi importante para a identificação dos itens de controle e através das entrevistas foi verificado que um dos problemas é a falta de padronização em cada processo. Dessa forma, os fluxogramas que foram apresentados em apêndices propõem uma melhor visualização dos processos, que segundo a autora deste estudo, conseguiria diminuir alguns erros de não conformidade, visto que a falta da padronização em alguns processos pode ser omitida.

Como proposta futura, a acadêmica sugere a implementação do ciclo PDCA e da adoção das ferramentas da qualidade, além de outras sugestões já apresentadas neste estudo. Essas iniciativas podem contribuir significativamente para a melhoria contínua e eficaz dos processos na empresa.

Por fim, como sugestão para estudos futuros na empresa estudada, salienta-se a importância em aprofundar estudos acadêmicos na área de gestão de processos e gestão da qualidade, com vistas a obter a certificação ISO 9001:2015. É fundamental reconhecer que essa certificação é valorizada por grandes clientes, transmitindo a noção de excelência, confiança, eficiência e controle de riscos. Hoje, as empresas buscam por prestadores de serviços que adotem padrões elevados, e a certificação ISO é um forte indicador desses padrões.

## REFERÊNCIAS

- [1] BARROS, Elsimar; BOFFANI, Fernanda. **Ferramentas da qualidade**. São Paulo: Pearson, 2014.
- [2] CAMPOS, Claudinei José Gomes. Método de análise de Conteúdo: ferramenta para análise de dados qualitativo no campo da saúde. **Rev Bras Enferm**. Brasília, v.57, n.5, p.611-4, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/reben/a/wBbjs9fZBDrM3c3x4bDd3rc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- [3] CAMPOS, Letícia M. **Administração pública estratégica: planejamento, ferramentas e implantação**. Curitiba: Contentus, 2020.
- [4] CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 3. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.
- [5] CARVALHO, Marli. M; PALADINI, Edson. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2012.
- [6] CUSTÓDIO, Marcos Franqui, **Gestão da qualidade e produtividade**. São Paulo: Pearson, 2015.

- [7] GAYER, Jéssica Alvares Coppi Arruda. **Gestão da qualidade total e melhoria contínua de processos**. Curitiba: Contentus, 2020.
- [8] GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- [9] GOZZI, Marcelo Pupim. **Gestão da qualidade em bens e serviços**. São Paulo: Pearson, 2015.
- [10] KERSCHBAUMER, Fernando Eduardo. **Gestão estratégica da investigação**. Curitiba: Contentus, 2020.
- [11] LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- [12] MARIANI, Celso Antonio. Método PDCA e Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos Industriais: um estudo de caso. **Innovation and Management Review**, v. 2, n. 2, p. 110-126, 2005. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/26326/metodo-pdca-e-ferramentas-da-qualidade-no-gerenciamento-de-processos-industriais--um-estudo-de-caso>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- [13] MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Pearson, 2011. MOI, Paula Cristina Pedroso. **Gestão da Qualidade e Gestão Socioambiental**. Balneário Camboriú: Avantis, 2023.
- [14] PEREIRA, AdrianaS; SHITSUKA, Dorlivete Moreira; PARREIRA, Fábio José; SHITSUKA, Ricardo. **Metodologia da pesquisa científica**. Santa Maria: NHE, 2018.
- [15] PEREIRA, Daniel Alves. **MASP ou Método de Análise e Solução de Problemas para Qualidade**. DOCNIX. 14 abr. 2023. Disponível em: <https://docnix.com.br/ferramentas-metodos/masp-ou-metodo-de-analise-e-solucao-de-problemas-entenda/>. Acesso em: dez. 2023.
- [16] SMANIOTO, G.Y; ROSA, A. F. P; HEIDTMANN, R. Estudo da Estabilidade e da Capacidade do Processo de Ênfase de Iogurte em uma Indústria de Laticínios. **Sinergia**, Rio Grande, v. 24, n. 2, p. 37-46, jul./dez. 2020. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/58499/estudo-da-estabilidade-e-da-capacidade-do-processo-de-envase-de-iogurte-em-uma-industria-de-laticinios>. Acesso em: 13 jun. 2023.
- [17] SOARES, Suzana Quintino. **Gestão da qualidade**. Balneário Camboriú: Avantis, 2021. ISBN: 978-65-5901-227-5



## **APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA**

### **OPERADORES**

1. Qual é o seu cargo?
2. Qual é o seu setor de atuação?
3. Você trabalha há quanto tempo na empresa?
4. Explique como é o seu dia a dia de trabalho?
5. Quais são as etapas que você realiza?
6. As etapas possuem uma ordem?
7. Dentre as etapas que você citou, possui alguma que você melhoraria? Por quê?
8. Quais são os problemas mais frequentes que você encontra no seu setor de atuação? Na sua opinião, por que eles acontecem?
9. Você saberia informar quais são as medidas tomadas para a prevenção de não-conformidades?
10. Você sabe quais são os procedimentos adotados quando se tem uma não-conformidade?
11. Você se sente satisfeito com o trabalho que você desempenha?
12. Você possui uma sugestão de melhoria para o seu setor?
13. Você estaria aberto a mudanças?

### **GERENTES**

1. Qual é o seu cargo?
2. Qual é o seu setor de atuação?
3. Você trabalha há quanto tempo na empresa?
4. Você poderia descrever como costuma ser o seu dia de trabalho?
5. Na sua opinião, os processos do seu setor são padronizados?
6. Você diria que a empresa possui atualmente um sistema de gestão de qualidade?
7. Quais são os desafios mais comuns enfrentados no seu campo de trabalho e quais são as causas, na sua perspectiva?
8. Quais são as ações implementadas para a prevenção de não-conformidades?
9. Quais são os procedimentos adotados quando se tem uma não-conformidade? Segue um padrão?
10. Na sua visão, quais pontos podem ser melhorados?
11. Você tem alguma informação adicional que você gostaria de compartilhar?

# Capítulo 5

## *Aplicação de melhoria contínua em um processo interno de uma empresa metal-mecânica*

*Manoela Rodrigues Pimentel Cruz*

*Jose Ricardo Scareli Carrijo*

**Resumo:** Este artigo realizou uma pesquisa-ação em uma empresa do setor metal-mecânica do Estado de São Paulo. O objetivo foi apresentar a aplicação dos conceitos *Lean* em um processo de abastecimento de um determinado recurso, objetivo este originado por metas gerenciais para aumentar a capacidade da produção, pois a movimentação deste recurso na maioria das vezes é realizada pela produção, ocasionando a movimentação desnecessária, uma vez que deve estar focada no produto. Para o projeto, foi utilizada a ferramenta *Kaizen* baseada na estrutura do ciclo DMAIC (definir, medir, analisar, implementar e controlar), que norteou o desenvolvimento do projeto. O projeto consistiu em mapear detalhadamente todo o processo, levantar dados de volume, movimentação e frequência, também foram analisadas as possíveis causas, que foram tratadas e controladas. Os ganhos obtidos foram: a eliminação da movimentação efetuada pela produção que proporcionou o aumento de sua produtividade, melhor integração entre as áreas e a habilidade do trabalho em equipe por envolver diversas áreas. Através do projeto foi possível perceber que a melhoria contínua deve ser aplicada de forma estratégica com engajamento e esforços das diversas áreas e na busca da competitividade.

**Palavras-chave:** Processos Logísticos, Melhoria Contínua, *Lean*, Competitividade.

## 1. INTRODUÇÃO

Devido a pressão da concorrência e às necessidades dos clientes, as empresas precisam melhorar seus processos para se manterem competitivas no mercado. Neste contexto, precisam aplicar cada vez mais os processos de melhoria contínua e aprimorá-los com disciplina, essa constante busca é o que traz o diferencial para as empresas que querem alcançar a excelência empresarial.

Os processos de abastecimento interno são essenciais para o diferencial de uma empresa, pois tem integração com praticamente todas as áreas, portanto, é importante buscar a otimização destes processos com o intuito de eliminar as tarefas que não acrescentam valor agregado ao produto.

O presente artigo aborda a melhoria contínua baseada na filosofia *Lean*, aplicada em um processo de abastecimento interno de uma empresa fabril que atua em todas as etapas de um processo complexo como: projeto, desenvolvimento, fabricação, venda e suporte pós-venda. O método utilizado foi a pesquisa-ação, devido a autora estar envolvida no processo de melhoria de uma determinada organização.

Os conceitos da filosofia *Lean* foram extraídos da experiência mundial em manufatura e combinados dentro de uma visão holística do empreendimento. Os principais conceitos são independentes da tecnologia, embora possam ser aplicados em conjunto com os avanços tecnológicos. Este novo enfoque na administração da manufatura surgiu de uma visão estratégica, buscando vantagem competitiva através da otimização do processo produtivo (Pedrão, 2014).

O pensamento enxuto pode ser empregado aos processos de produção e também na área administrativa. As empresas estão buscando melhorar cada vez mais a qualidade de seus produtos e a satisfação de seus clientes utilizando a melhoria contínua para reduzir os desperdícios de seus processos tanto em áreas produtivas ou administrativas.

## 2. OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo apresentar e avaliar a realização de um projeto de melhoria contínua no abastecimento de um determinado recurso de uma empresa fabril, com aplicação das ferramentas que buscam eliminar os desperdícios e otimizar o processo. Cujo a meta é de alcançar 100% de atendimento.

## 3. MELHORIA CONTÍNUA

A melhoria contínua é movida pelo envolvimento de todas as pessoas de uma organização em busca de forma constante e sistemática, o aperfeiçoamento.

Atualmente a aplicação da melhoria contínua e da Filosofia *Lean* tem sido objeto de destaque e estudo devido à exigência da competitividade que vem aumentando cada vez mais.

A Melhoria Contínua também é conhecida como *Kaizen*, palavra de origem japonesa que é definida por Masaaki Imai (1990, p. 88): “Seu propósito sugere o aprimoramento diário e constante das situações, visando sempre o aumento da produtividade, bem como eliminar os processos desnecessários e desperdícios, tanto de tempo, quanto de itens de produção, no ambiente de trabalho.”

O método *Kaizen* visa o bem do Homem e conseqüentemente suas ações melhoradas, auxiliam nos processos da empresa, na família e no convívio social. O *Kaizen* é regido por dez mandamentos (IMAI, 2005):

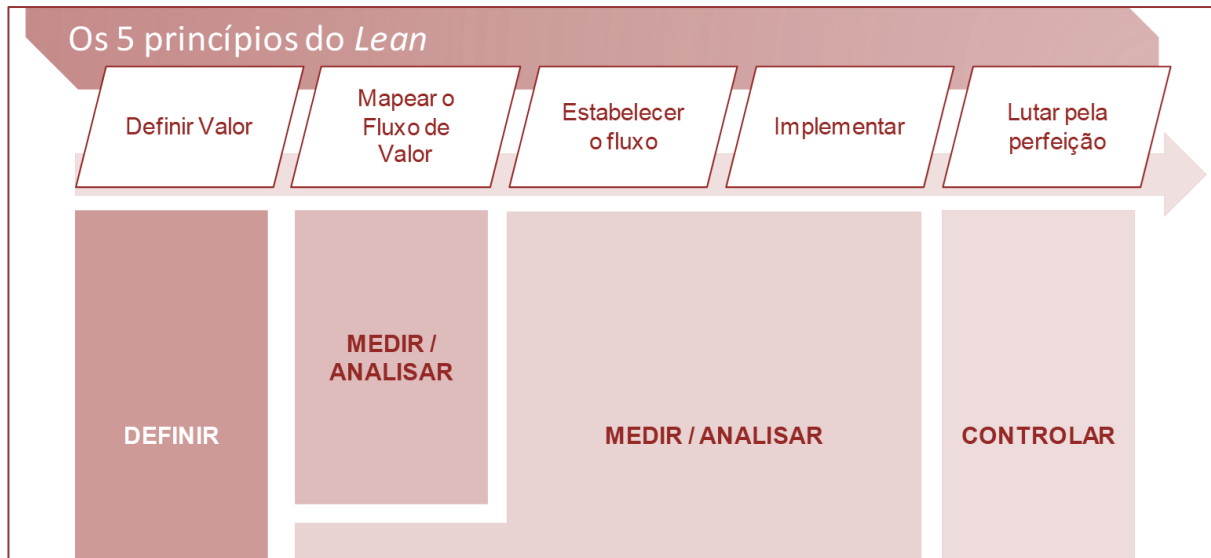
1. O desperdício é o inimigo nº1. Para eliminá-lo é preciso sujar as mãos.
2. Melhorias graduais feitas continuamente; não é ruptura pontual.
3. Todos na empresa têm de estar envolvidos, desde os gestores do topo e intermédios, até o pessoal de base.
4. A estratégia deve ser barata. O aumento da produtividade deve ser feito sem investimentos significativos.
5. Aplicar-se em qualquer lugar; não serve só para os japoneses.
6. Apóia-se numa gestão visual, numa total transparência de procedimentos, processos e valores; torna os problemas e os desperdícios visíveis aos olhos de todos.
7. Focaliza a atenção no local onde se cria realmente o valor (*'gemba'*, em japonês).
8. Orienta-se para os processos.
9. Dá prioridade às pessoas; acredita que o esforço principal de melhoria deve vir de uma nova mentalidade e estilo de trabalho das pessoas.
10. O lema essencial da aprendizagem organizacional é aprender fazendo.

Tal fato é reflexo dos resultados obtidos pela adoção de processos e ferramentas de melhoria contínua, que resultam numa melhor utilização dos recursos das organizações em prol do atendimento às necessidades de seus clientes. Para desenvolver o projeto *Kaizen* pode-se utilizar a ferramenta DMAIC (definir, medir, analisar, implementar, controlar).

Deslile (2015) conceitua e descreve a aplicação da ferramenta. DMAIC é uma abordagem sistemática que orienta a lista de verificação usada para implantar o roteiro e que aplica o ciclo DMAIC ocorre em cinco fases:

- **Definir:** estabelecer o escopo e definir claramente o problema a ser resolvido.
- **Medir:** documentar e validar o estado atual usando mapas de processos, dados e análises para quantificar a capacidade atual.
- **Analisar:** análise os dados e identificar oportunidades, usando ferramentas como análise da causa raiz, como: Ishikawa, Brainstorming e o método do 5 Porquês.
- **Implementar:** utilizar os fundamentos Lean para implementar medidas defensivas para as oportunidades identificadas.
- **Controlar:** enfatizar a sustentabilidade e qualidade de processo e o resultado utilizando trabalho padrão.

Na Figura 01 é possível verificar o modelo DMAIC em uma abordagem sistemática orientada por uma lista de verificação, a sobreposição de DMAIC nos mostra como a lista de verificação aplica os princípios *Lean* para um projeto.

**Figura 01** – Princípios Lean para um projeto

Fonte: Deslile, (2015) adaptado pela autora.

A necessidade de se fazer um projeto *Kaizen* pode surgir por meio da ferramenta mapeamento de fluxo de valor (MFV), que é um método de análise, melhoria e gestão do fluxo de processos da área e tem como objetivo a eliminação dos desperdícios nos processos em geral.

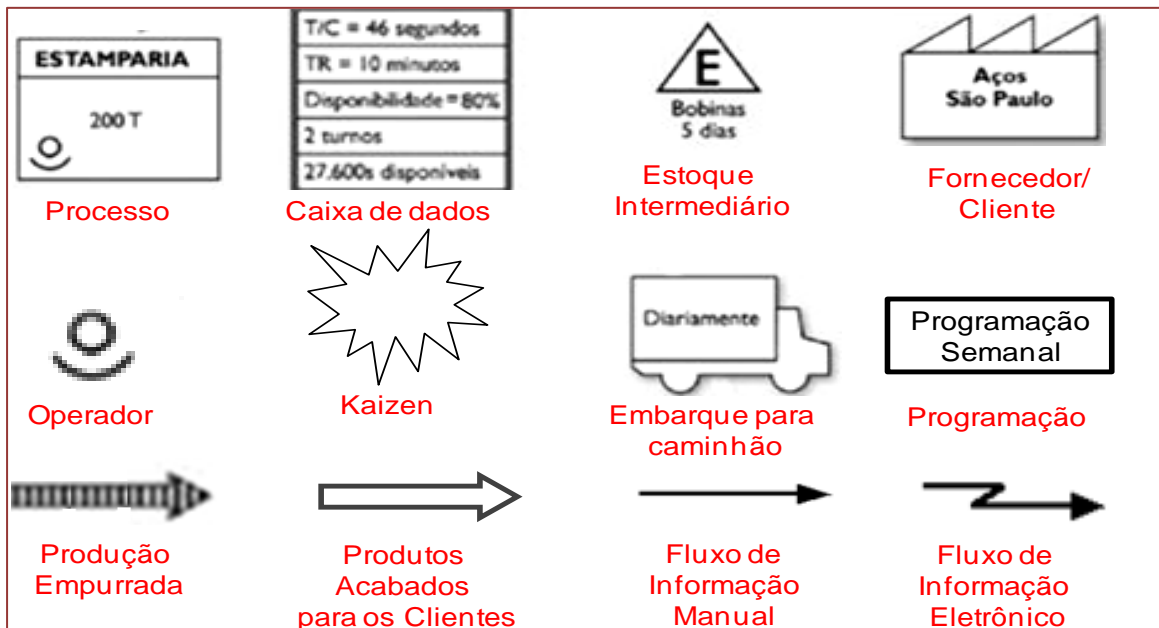
Por meio do MFV é possível identificar o que agrega ou não agrega valor a partir de todo o trajeto do produto da fonte até o cliente, a fim de melhorar a produtividade do fluxo de atividade produtiva ou administrativa.

Conforme Deslile (2015) o MFV serve como a principal ferramenta para documentar a linha de base (estado atual) para desenvolver um roteiro de melhoria (estado futuro). Oportunidades ou lacunas entre os estados atuais e futuros marcam o ponto de partida para as atividades de melhoria.

O MFV, quando bem executado, possibilita uma análise baseada na realidade da empresa e possibilita desenvolver um plano de trabalho para alcançar o estado desejado.

Para fazer o mapeamento do fluxo de valor utiliza-se um conjunto padronizado de símbolos. Deve-se lembrar que nada impede de que outros símbolos sejam criados ou inclusos na hora do mapeamento pela equipe, mas o importante é que todos os envolvidos no projeto possam compreendê-los. Na Figura 02 é possível visualizar alguns símbolos padrões, que ajudam a entender o MFV de forma universal:

Figura 02 – Símbolos utilizados no Mapeamento do Fluxo de Valor



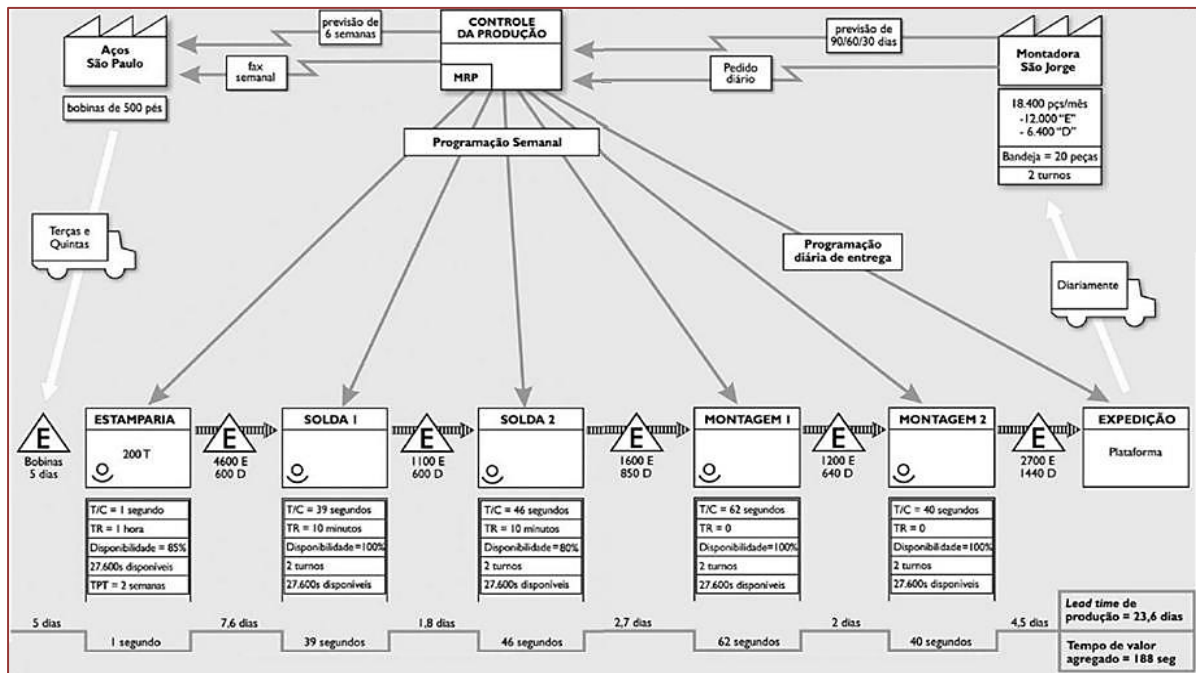
Fonte: Rother; Shook (2003) adaptado pela autora.

Para desenvolver o mapeamento do fluxo de valor é necessário entender alguns conceitos, Womack e Jones (2004) descrevem alguns destes conceitos:

- **Tempo de Ciclo:** Tempo necessário para completar o ciclo de uma operação.
- **Takt Time:** corresponde ao ritmo de produção necessário para atender a demanda, o calculo é tempo de trabalho disponível dividido pelo índice de demanda de saída.
- **Lead Time:** Corresponde ao tempo computado entre o início da primeira atividade até a conclusão da última atividade, considerando valor agregado valor não agregado e estoque intermediário.

Após a elaboração do mapeamento atual conforme demonstra a Figura 03 é importante identificar as atividades que agregam valor (VA) ao produto ou serviço; e atividades que não agregam valor (NVA) ao produto ou serviço (Vendramini, 2014).

Figura 03 – Exemplo de um Mapa do Fluxo de Valor



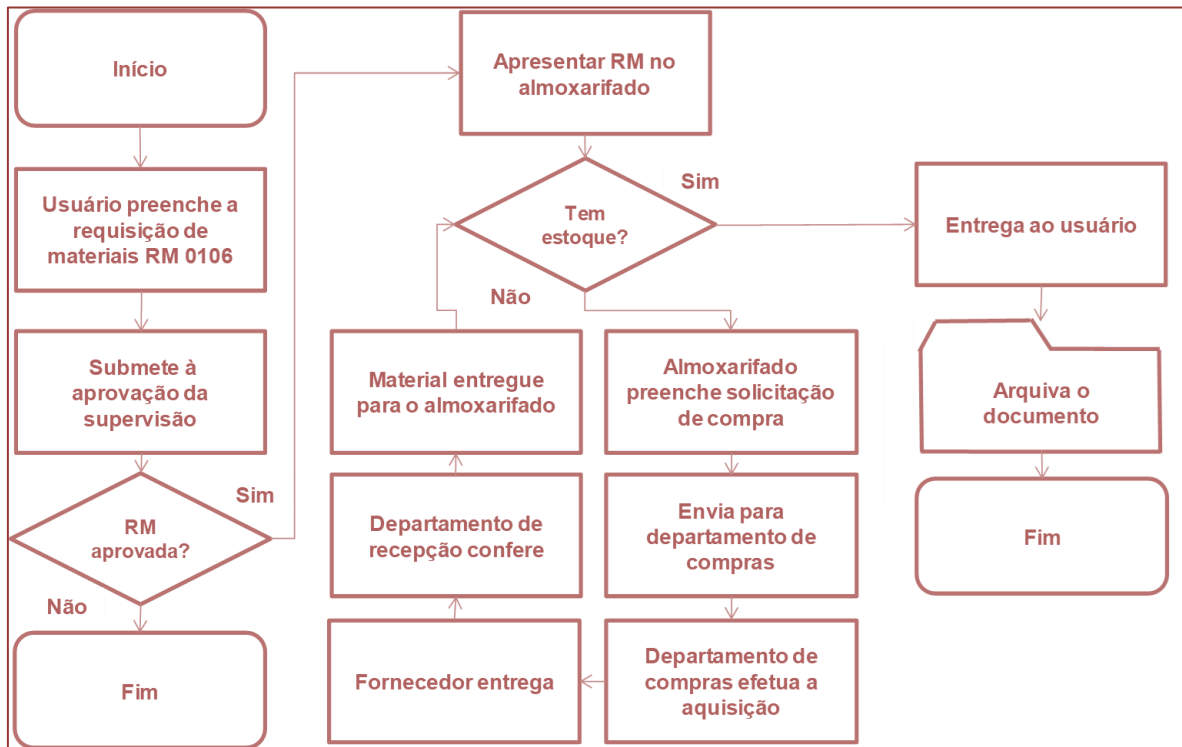
Fonte: Werkema (2012).

Os dados do MFV evidenciam os recursos destinados ao processo, sua capacidade e medidas de eficiência como: tempo disponível, demanda e disponibilidade da máquina. É uma ferramenta de extrema importância para a gestão dos processos, pois é baseado em fatos e dados, a partir da análise do VA e NVA é possível identificar as oportunidades de melhorias para alcançar o estado futuro. Uma das ações que pode ser efetuada para eliminar os desperdícios encontrados no MFV é a aplicação da ferramenta *Kaizen* em conjunto com outras ferramentas, como o fluxograma.

Apresentamos na Figura 04, um exemplo, de um fluxograma em um processo de requisição de materiais, onde são usados esses símbolos e que podem substituir um processo descrito.



**Figura 04** – Exemplo de fluxograma de um processo de requisição de material



Fonte: Paranhos Filho (2007) adaptado pela autora.

A partir do mapeamento por fluxograma é possível levantar os problemas e desperdícios que serão analisados pela aplicação da ferramenta análise da causa raiz.

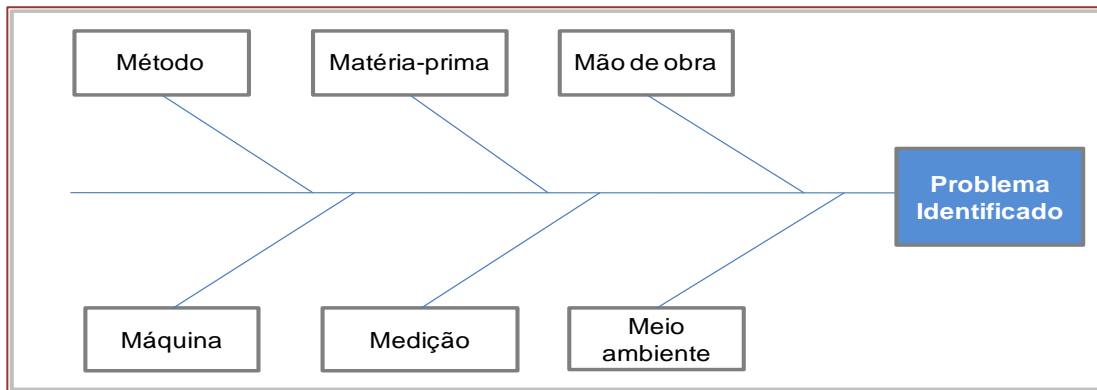
A Análise de Causa Raiz é uma ferramenta de extrema importância para a tratativa dos problemas em uma organização. Andersen e Fagerhaug (2006) definem que o processo de análise de causa raiz permite uma maior agilidade e eficácia para a identificação dos fatos que auxiliaram na ocorrência dos problemas.

É importante ressaltar que o sucesso da análise depende muito do comprometimento e experiência da equipe. Para a aplicação da análise da causa raiz é possível utilizar algumas técnicas, como por exemplo: diagrama de causa e efeito, *brainstroming* e o método dos 5 Porquês, permitindo maior exatidão na identificação da causa raiz. Estas técnicas serão mencionadas a seguir.

O diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como diagrama de *Ishikawa* ou espinha de peixe; permite identificar, explorar e apresentar graficamente todas as possíveis das causas relacionadas a um único problema (Jucan, 2005).

Dr. Kaoru Ishikawa desenvolveu o diagrama espinha de peixe mostrado na Figura 05, ferramenta que orienta a identificação sistemática das questões e causas do problema em análise (Ligther *apud* Deslile, 2015).

**Figura 05** – Exemplo de um diagrama de *Ishikawa*

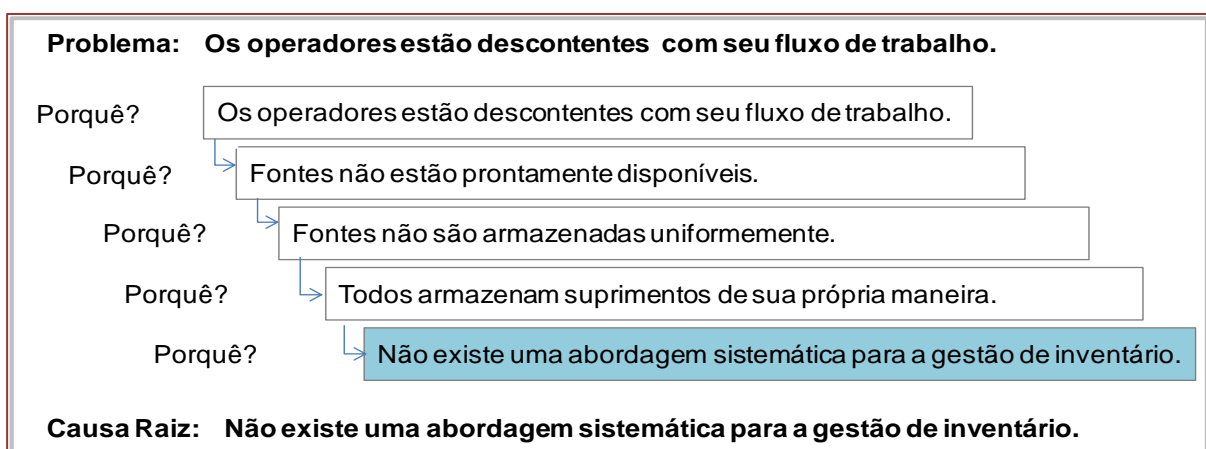


Fonte: Deslile, (2015) adaptado pela autora.

*Brainstorming* ou tempestade de ideias é um processo destinado à geração de ideias e sugestões criativas, possibilitando ultrapassar os paradigmas dos membros da equipe. (Guelbert, 2012).

Conforme Guelbert (2012) para que a técnica obtenha êxito, são necessários alguns passos: O facilitador escreve as ideias no quadro, sem que nenhum membro da equipe critique. Essas críticas e autocríticas são proibidas na primeira etapa para não conter a criatividade. Mesmo que a ideia possa parecer absurda, deve ser inserida. Para auxiliar a análise das causas pode também se utilizar o método dos 5 Porquês. A ferramenta dos “5 Porquês” é uma técnica de investigação para encontrar a causa raiz de um defeito ou de um problema. É uma técnica fácil de ser usada e consiste em questionar as pessoas a responder qual é o problema. E questioná-las cinco vezes “por quê”, conforme Figura 06.

**Figura 06** – Exemplo do método 5 Porquês



Fonte: Deslile, (2015) adaptado pela autora.

A partir das causas encontradas e ações definidas é possível padronizar os processos com a ferramenta Trabalho Padrão que ajuda a manter a estabilidade de resultados.

Imai (2005) refere-se ao padrão como um conjunto de regras e procedimentos que orientam a execução de tarefas, além de constituir um requisito básico para a melhoria do processo produtivo.

Liker e Meier (2007a) afirmam que a padronização, na verdade, é o ponto de partida para a melhoria contínua, e de acordo com Nishida (2006), esta é utilizada na manufatura para manter a estabilidade nos processos.

Existem algumas ferramentas que são utilizadas para aplicação do trabalho padrão como, por exemplo: procedimento operacional padrão (POP) e fluxograma.

Segundo Moraes (2010), o procedimento operacional padrão (POP) também denominado de procedimentos e instrução de trabalho, é uma ferramenta poderosa para a padronização. Este documento possui um papel importante para minimizar a vulnerabilidade e variabilidade do sistema de gestão em função da limitação humana, que é a memória.

O fluxograma é uma poderosa ferramenta de padronização. É muito importante que o fluxograma de processos seja elaborado em cada nível de responsabilidade (Moraes, 2010).

Os fluxogramas complementados, como os POPs, devem ser acompanhados de fotografias. Os POPs podem ser utilizados: por toda empresa: produção, logística, compras, vendas, atendimento ao cliente, manutenção, assistência técnica, área administrativa, entre outros (Moraes, 2010).

É importante resaltar que a aplicação do trabalho padrão reduz a vulnerabilidade dos processos, proporcionando que cada vez mais o processo fique robusto.

#### **4. CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO E O PROCESSO EM ESTUDO**

A unidade fabril onde se desenvolveu a pesquisa-ação detém as seguintes atividades: fabricação de peças de estamparia e usinadas, montagem de estruturas para fabricação de produtos das demais linhas, peças de reposição, ferramentais e equipamentos de suporte, e também exerce atividades de logística interna, engenharia de desenvolvimento, produção, comercialização, venda de peças de reposição e apoio pós-vendas. Entre os processos logísticos existem os processos de recebimento, armazenagem, abastecimento para a produção, movimentação interna e expedição.

A organização atua em etapas complexas de um processo, como: projeto, desenvolvimento, fabricação, venda e suporte pós-venda de seus produtos, é segmentada em quatro linhas, que são caracterizadas conforme a finalidade do produto e tipo de cliente.

O processo a ser estudado compreende o abastecimento de um determinado recurso para a fabricação de produtos, atendendo a dois turnos de 8 horas cada.

A gestão da empresa ocorre por meio de divisões administráveis denominadas células, que são compostas de um líder e de membros que executam um ou mais processos para entrega de um determinado valor. O processo a ser estudado pertence à célula A, que é uma área de logística e atende a diversas células produtivas, que serão denominadas B, C e D.

Célula A – é composta de processos logísticos, que entregam um determinado recurso para as demais células efetuarem os processos produtivos.

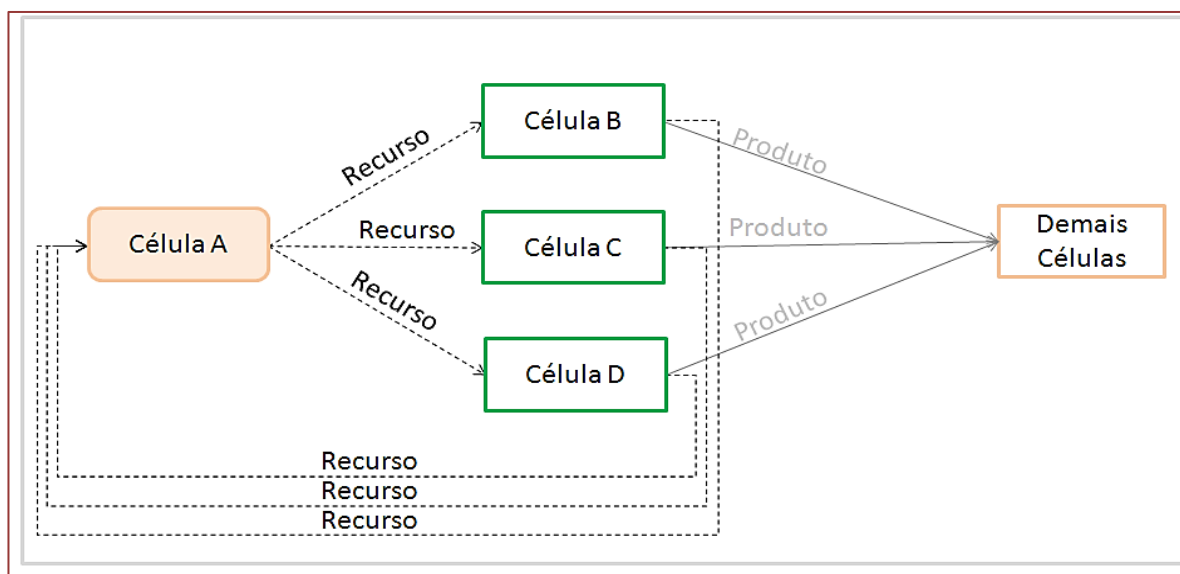
Célula B – é composta de processos conformação

Célula C – é composta de processos conformação por prensa

Célula D – é composta de processos desempenho e ajustagem.

As células produtivas B, C, D, dependem da entrega deste recurso da Célula A, para atender os prazos de fabricação determinados pelo planejamento. O fluxograma da Figura 07 representa o mapeamento deste processo:

**Figura 07** – Fluxograma do processo



Fonte: Dados da empresa.

Após a determinação de metas, a célula A analisou os dados para formular um plano de ação e verificou-se que haviam diversos problemas em relação ao abastecimento do recurso, pois os operadores das células B, C e D tinham que se movimentar até a célula A para buscar o recurso de fabricação do planejado e também do que foi priorizado. Mesmo existindo o planejamento, alguns produtos são priorizados diariamente. Isso ocorre através de reuniões para atender as urgências da produção, mesmo que a movimentação seja para agilizar a fabricação, essa acaba ocasionando impacto na produtividade e não atendimento das metas produtivas.

Como as causas não eram de conhecimento da célula foi determinada a necessidade de desenvolver um projeto *Kaizen* para solucionar os problemas quanto a movimentação de produção e consequentemente atingir as metas propostas.

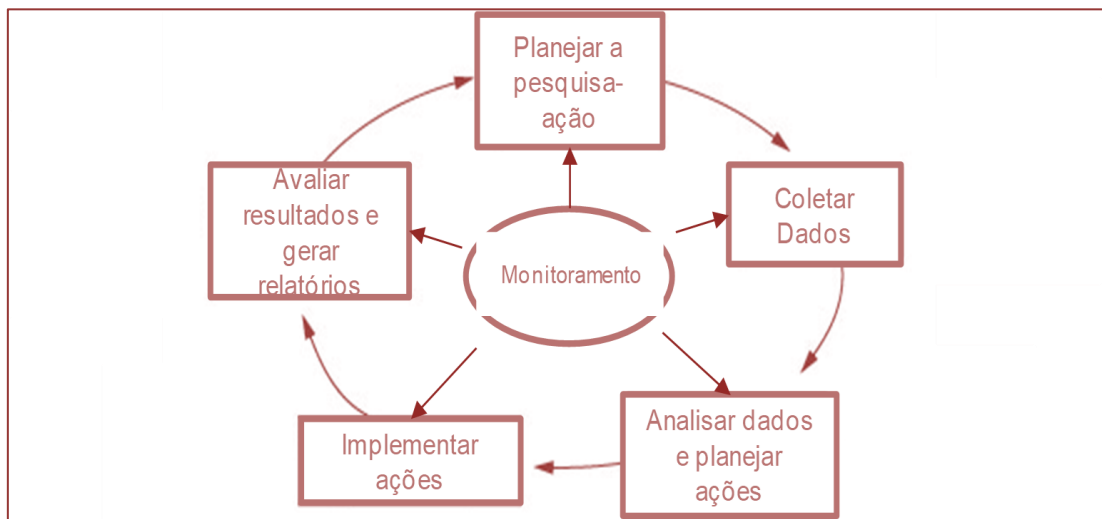
## 5. METODO

O presente trabalho pode ser classificado como qualitativo, tendo como método científico a pesquisa-ação. A pesquisa-ação se aplica, pois o pesquisador está envolvido como elemento modificador no processo e nos resultados durante os estudos através de coleta de dados em ambiente natural.

Segundo Thiollent (2007), a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo e tem as seguintes etapas:

Para o desenvolvimento, serão utilizadas informações retiradas dos sistemas de banco de dados da empresa e ocorrerá através das seguintes etapas, conforme Figura 08.

**Figura 08** – Estruturação para condução da pesquisa-ação



Fonte: Westbrook, Coughlan *apud* Thiollent (2007).

- a) **Planejar a pesquisa-ação:** nesta etapa será definido o escopo do projeto; definição da estrutura conceitual teórica e seleção da unidade de análise e técnicas de coletas de dados.
- b) **Coletar Dados:** esta etapa tem como objetivo coletar dados através de observação, participação ou reunião formal.
- c) **Analisar de dados e planejar ações:** consiste na identificação de potenciais causas que influenciam no problema por meio de acompanhamento do processo e entrevista com os envolvidos, a priorização das causas e necessidade de comprovação, ocorrerá através da prática. Com as causas definidas, foi necessário determinar e planejar as ações.

- d) **Implementar ações:** nesta etapa os participantes de pesquisa implementam as ações.
- e) **Avaliar resultados e gerar relatórios:** todo projeto de pesquisa necessita ser gerenciado, deve ser analisado se a meta foi atingida e gerar relatório para acompanhamento.
- f) **Monitoramento:** ocorre em todas as fases, e é necessário definir quais procedimentos garantiriam que as causas estariam controladas, como alterações em trabalho padrão, fluxo, etc.

### 5.1. APLICAÇÃO DA PESQUISA-AÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR METAL-MECÂNICA

Para o desenvolvimento, serão utilizadas informações retiradas dos sistemas de banco de dados da empresa através das etapas a seguir:

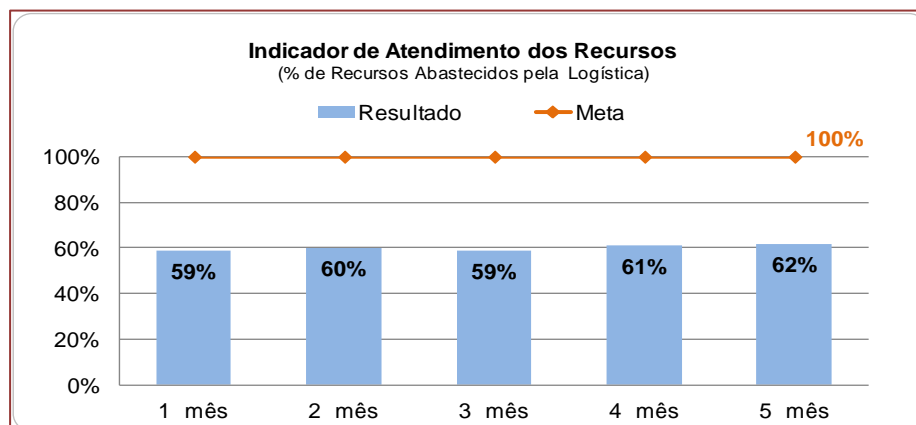
- a) **Planejar a pesquisa-ação:** Para definição, foram levantadas oportunidades de melhorias através do mapeamento de fluxo de valor (MFV) realizado pelas células de produção, e quais os impactos esses problemas poderiam causar no atendimento às metas gerenciais e as necessidades dos clientes.

A partir deste mapeamento verificou-se a oportunidade de reduzir valor não agregado (NVA) da produção, uma vez que aconteceram várias ocorrências dos recursos serem movimentados pelas células B, C, D (produção) em vez de serem movimentados pela célula A (logística). Foi possível verificar que muitas vezes o próprio operador da produção retirava o recurso do local armazenado e logo após a utilização, armazenava o recurso novamente. Essa movimentação impactava diretamente no atendimento da célula A e na produtividade das células B, C e D, pois o operador de produção tinha que se deslocar diversas vezes para buscar e entregar o recurso necessário para a fabricação.

Para identificar os motivos que levavam o operador de produção a se movimentar até área de logística, foi desenhado no projeto *Kaizen* um fluxograma detalhado com as atividades do processo para entendimento de todas as células envolvidas.

A partir destas informações foram analisados os dados de abastecimento dos recursos, movimentação desnecessária da produção, as necessidades dos clientes e os riscos de acidentes pelo manuseio da produção. A análise desses dados permitiu identificar diversas oportunidades de melhoria, focado para o alcance da meta determinada a este projeto.

Como o foco do projeto era reduzir a movimentação dos operadores de produção para buscar e entregar o recurso, o indicador utilizado para medir o resultado do projeto foi o de atendimento ao abastecimento dos recursos. A métrica adotada é a porcentagem de atendimento pela logística da demanda do recurso. A meta foi estabelecida para atender a meta gerencial de atendimento, admitindo como referência os 5 meses anteriores ao projeto conforme representado no gráfico pela Figura 09. Assim, para que a gerência de produção atendesse a meta estabelecida pela direção, era necessário aumentar o atendimento em 40% por parte da logística.

**Figura 09** – Indicador atendimento dos recursos (5 meses antes do *kaizen*)

Fonte: Dados da empresa.

Para que a melhoria fosse realizada, foi estabelecida a equipe do projeto, que estaria dedicada totalmente para seu desenvolvimento no prazo estipulado, prazo este de 3 semanas para realização do projeto, sendo 2 semanas de preparação, desenvolvendo atividades como: definição do projeto, levantamento de dados, medição, análise e 1 semana de execução, desenvolvendo atividades como: testes, reuniões para alinhamento das ações implementadas. Para o encerramento do projeto foi necessário o acompanhamento da sustentação dos resultados por 4 meses após a implantação. A equipe foi formada pela coordenadora do projeto, pelos operadores de logística, operadores de produção das áreas envolvidas e técnico de segurança, conforme necessidade.

- b) **Coletar Dados:** A partir da meta determinada, e do mapeamento efetuado se fez necessário levantar os dados nos 5 meses anteriores do início do projeto, para que a análise fosse eficaz. Foram levantados os seguintes dados: quantidade de recursos movimentados pela produção (média/dia); quantidade de recursos priorizados que são movimentados pela produção (média/dia); tempo para operador de produção retirar o recurso na área de logística (minutos/recurso/dia); quantidade de vezes que a produção se movimenta para retirar o recurso na área determinada (vezes/dia). Na Tabela 01 é possível verificar quantidade média de recursos que a produção movimenta por dia, tanto o recurso planejado quanto o que é priorizado, o volume é alto, aproximadamente 470 recursos por dia. Esta movimentação impacta diretamente em sua produtividade, pois é movimentação desnecessária, ou seja, valor não agregado. A produção deve estar focada na fabricação, agregando valor ao produto.

**Tabela 01** – Quantidade média de recursos movimentados pela produção (dia)

	Quantidade média de recursos movimentados pela produção (quantidade média/dia)	Quantidade média de recursos priorizados que são movimentados pela produção (quantidade média/dia)
Célula B	20	15
Célula C	182	10
Célula D	210	36
Total	412	61

Fonte: Dados da empresa.



A Tabela 02 mostra o tempo médio de movimentação que os operadores de produção demoram para se deslocar da área respectiva até a área de logística para buscar ou entregar o recurso. Também é possível verificar a quantidade média desse deslocamento por dia.

**Tabela 02** – Tempo x quantidade de movimentação do operador até a logística (dia)

	Tempo médio para operador de produção retirar o recurso na área de logística (minutos/recurso/dia)	Quantidade média de vezes que a produção se movimenta para retirar o recurso na logística (vezes/dia)	Tempo x quantidade (minutos/dia)
Célula B	11	24	264
Célula C	12	10	120
Célula D	12	31	372
Total	35	65	756

Fonte: Dados da empresa.

Os dados apresentados permitiram identificar diversas oportunidades de melhoria, que foram analisadas conforme será mostrado no próximo tópico.

- c) **Análise de dados e planejar ações:** Nesta etapa foram analisadas as causas que seriam tratadas para o alcance das metas específicas, esta análise ocorreu em 3 etapas e foram separadas em reuniões com a participação de todos os envolvidos no projeto.
- Etapa 1 - Levantamento de possíveis causas através de *brainstorming* com os envolvidos no processo.
  - Etapa 2 - Para cada potencial causa foi aplicada a ferramenta de 5 porquês para garantir a assertividade da análise da causa raiz do problema, atividade que envolveu todos os participantes do processo.
  - Etapa 3 - Organização em diagrama de *Ishikawa*: que permitiu organizar as possíveis causas nos 6 Ms (método, mão de obra, materiais, meio ambiente, máquina e medição).

Após a realização destas etapas, foram identificadas as causas dos problemas conforme apresentado na Tabela 03:

**Tabela 03 – Causas Raízes Identificadas**

Problema (O Que)	Causa Raiz (Por que)
Demora para encontrar o recurso armazenado	Armazenagem efetuada por várias células
	Falta de trabalho padrão
Solicitação de recursos que já estão em produção	Falta controle de abastecimento
Falta visibilidade dos recursos que estão na área de produção	
Demora no abastecimento do recurso	Falta de frequência de abastecimento definido
O operador tem que ir até a área de logística para buscar o recurso	
O operador tem que ir até a área de logística para devolver o produto	
Não há horário determinado para a solicitação do recurso	Não há sistemática de abastecimento
Risco de acidente	Movimentação efetuada pela produção

Fonte: Dados da empresa.

- d) **Implementar ações e monitoramento:** Com as causas identificadas, foram levantadas as possíveis soluções para cada causa raiz. As soluções propostas foram testadas na semana de execução do projeto *Kaizen* e foram realizados os ajustes conforme a especificação do processo.

Para definição do plano de ação conforme Tabela 04, foram realizadas reuniões com os membros envolvidos, dentre os responsáveis para a resolução das ações propostas estão as célula A (Logística) e as células B, C, D (produção):

**Tabela 04 – Possíveis soluções para as causas identificadas**

Causa Raiz (Por que)	Possíveis Soluções	Células Responsáveis
Armazenagem efetuada por várias células.	Estabelecer que somente a logística vai armazenar o recurso.	A, B, C, D
Falta frequência de abastecimento e coleta definido.	-Determinar sistemática, Frequência e prazo de abastecimento. - A solicitação e a coleta do recurso serão realizadas a cada 3 horas.	A
Não há sistemática de abastecimento.		
Falta controle de abastecimento.	Elaborar acompanhamento através de planilha.	A
Movimentação efetuada pela produção.	Movimentação ser efetuada somente pela área de logística.	A, B, C, D
Falta de trabalho padrão.	Elaborar Trabalho Padrão.	A

Fonte: Dados da empresa.

Para a implantação de cada uma das ações apresentadas houve tratativa específica com alinhamento junto à produção que ocorreu através de reuniões. As tratativas para cada ação proposta será mostrado a seguir:

- **Armazenagem efetuada por várias células** – como muitas vezes a armazenagem era efetuada pelas células de produção, ocorriam frequentes divergências, dificultando a localização no abastecimento posterior. Portanto, ficou definido que somente a área de logística é responsável por efetuar a armazenagem.
- **Falta de frequência de abastecimento e coleta definido** – para corrigir este problema foi necessário definir uma sistemática e frequência de abastecimento e coleta dos recursos.

Primeiro foi definida a forma de solicitação, que ocorreu através da coleta dos documentos de produção onde estava descrito o código do recurso. Para que a coleta fosse possível, foi preciso definir, nas células de produção, os pontos de entrada e saída do recurso e também de documentação. Estes locais foram identificados para facilitar a gestão visual e o *layout* foi divulgado para que todos tivessem o conhecimento.

A sistemática funcionou da seguinte forma: um operador logístico, através de rotas, coleta a documentação e os recursos já utilizados e o restante dos operadores efetua o abastecimento para a produção do que já foi solicitado na rota anterior onde o prazo de abastecimento é o tempo de intervalo das rotas.

Depois, foram definidos os horários que atendessem às necessidades da produção e, para que houvesse assertividade, foram realizados diversos testes que ocorreram no 1º e 2º turno em 4 dias da semana de execução do projeto. Para verificar e analisar os resultados foram efetuadas reuniões ao início de cada turno em todos os dias de teste.

No primeiro dia de teste a frequência definida foi abastecer e coletar a cada 2 horas, porém a produção relatou que neste intervalo não era possível analisar qual o recurso deveria ser utilizado, e ainda muitos recursos que foram abastecidos na rota anterior, estavam sendo utilizados no momento da coleta, sobrecarregando a rota posterior.

A partir desta análise foi definida a frequência de 3 horas. No primeiro dia de teste o horário da rota do 1º turno foi realizada às 6h30min e do 2º turno às 16hs. O resultado deste teste demonstrou que o horário da primeira rota não atendia a expectativa, pois a produção não conseguia obter a informação para a solicitação.

O horário da primeira rota do turno puxa o restante, uma vez que é a cada 3 horas. Portanto, foram necessários ajustes para determinar qual seria o primeiro horário da rota, sendo que o 1º e 2º turnos iniciam a jornada de trabalho 6hs e 16hs respectivamente.

No segundo dia de teste o horário da rota do 1º turno foi realizada às 7h30min e do 2º turno às 16h30min.

O resultado deste teste demonstrou que o horário de início da 1º rota de cada turno estava adequado e a produção já teria as informações necessárias para a solicitação. Quanto à frequência de 3 horas conforme Tabela 06, foi possível analisar o que deveria ser produzido, e a maioria dos recursos que foram abastecidos na rota anterior foram utilizados e já estavam disponíveis para a coleta. Para a logística a quantidade de rotas foi adequada. No período entre as rotas foi possível abastecer os recursos solicitados atendendo a necessidade da produção.

**Tabela 06** – Sistemática de abastecimento e coleta a cada 3 horas

Período: Rota de Coleta de Solicitação	Pedidos até:	O abastecimento será realizado até:
07h30min às 07h50min	07h30min	10h30min
10h30min às 10h50min	10h30min	13h30min
13h30min às 13h50min	13h30min	16h30min
16h30min às 16h50min	16h30min	19h30min
19h30min às 19h50min	19h30min	22h30min
22h30min às 22h50min	22h30min	06h00min do dia seguinte

Fonte: dados da empresa.

- **Falta de controle de abastecimento** - o recurso é disponibilizado para a produção utilizar e, após a utilização é devolvido para a logística. É como se fosse um empréstimo, não havendo um pagamento sistêmico. Isso dificultava e muito a localização do recurso, pois não era possível saber se o recurso estava armazenado ou se estava na área produtiva, ocasionando demora no abastecimento. Como não havia tempo hábil e os recursos não eram suficientes para desenvolver um sistema, foi elaborada uma planilha para o controle, com informações necessárias para localizar os recursos, melhorando sua rastreabilidade.
- **Movimentação efetuada pela produção** - devido à necessidade, muitos operadores acabavam se movimentando até a área de logística para buscar, entregar ou até armazenar os recursos. Além da movimentação desnecessária da produção, ocorram grandes riscos de acidentes, uma vez que a movimentação deveria ocorrer pela área de logística que é mão de obra qualificada para a movimentação dos recursos. Portanto a movimentação da produção até a logística foi eliminada e todo o abastecimento e coleta, passaram a ser efetuados através das rotas realizadas pela logística.
- **Falta de trabalho padrão** – a partir da análise do processo foi possível verificar que não havia padrão nas atividades desenvolvidas pelos operadores logísticos. Portanto, a aplicação do trabalho padrão permitiu utilizar adequadamente os recursos da logística (equipamentos, materiais e mão de obra), uniformizou o processo, reduziu diversos desperdícios, aumentou a produtividade da logística possibilitando aplicar a sistemática de abastecimento.

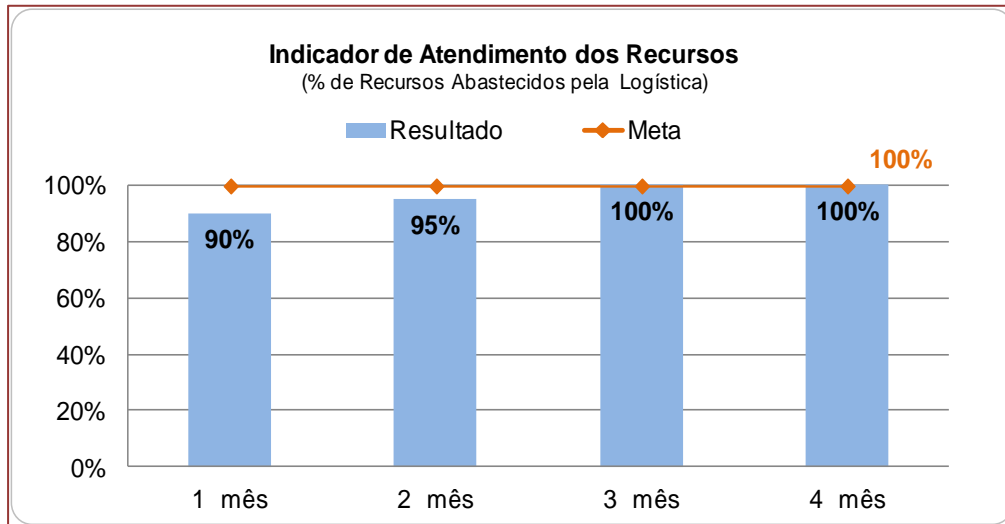
Este projeto contou com a colaboração e engajamento de todos os envolvidos, o que contribuiu para a viabilidade do projeto.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O acompanhamento é contínuo, porém para o encerramento do projeto os resultados foram acompanhados por 4 meses para verificar aplicação e sustentabilidade.

Nesse período, o processo foi acompanhado e monitorado quanto às solicitações e atendimentos conforme a meta proposta. Também foram realizadas reuniões mensais de interface para levantar as dificuldades e pontos positivos. O resultado dos 4 meses dessa coleta está no gráfico pela Figura 10.

**Figura 10** – Indicador atendimento dos recursos (4 meses após o *kaizen*)

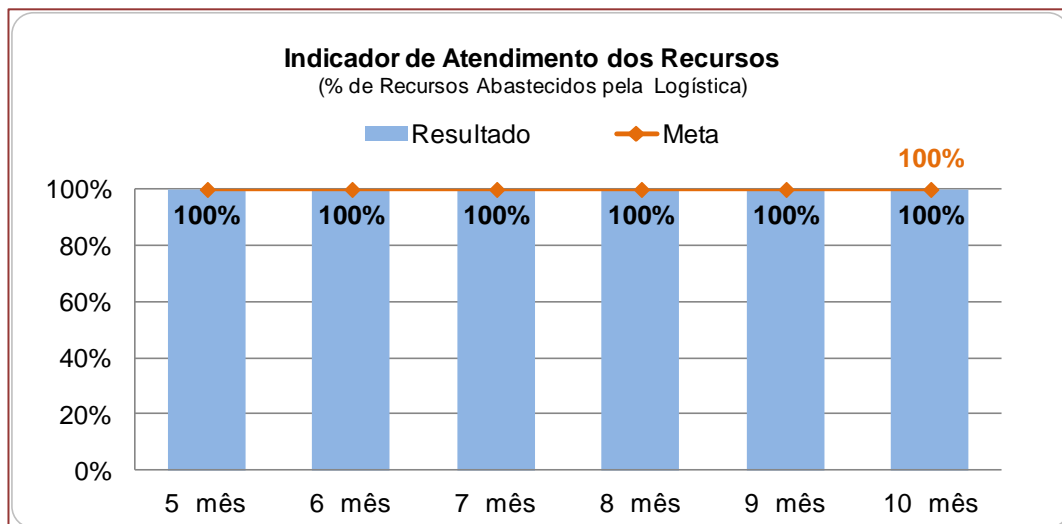


Fonte: Dados da empresa.

A partir dos resultados foi possível perceber que, no primeiro mês, ocorreram dificuldades para a implantação do projeto. No segundo mês a aderência foi maior, a confiabilidade começou a aumentar. Já no terceiro e quarto mês o paradigma foi quebrado, pois a produção deixou de se movimentar para buscar e entregar o recurso.

No decorrer dos meses com a prática do trabalho padrão foi possível uniformizar o processo da logística, e aperfeiçoar as atividades, proporcionando a sustentabilidade dos resultados. No gráfico mostrado pela Figura 11 é possível verificar o resultado após o encerramento do projeto.

**Figura11** – Indicador atendimento dos recursos (6 meses após encerramento do *kaizen*)



Fonte: Dados da empresa.

Conforme a meta do projeto, a produção deixou de se movimentar para buscar ou entregar os recursos, possibilitando o aumento de sua produtividade, e atendimento das metas gerenciais produtivas.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Melhoria Contínua é considerada um fator modificador do que já existe, podendo ser aplicada em diversos processos como a buscando e a eliminação de desperdícios, redução de tempo, simplificação do trabalho e trabalho em equipe.

Conforme mostrado no artigo é possível implantar a melhoria contínua em qualquer processo, inclusive na área de logística. Durante o desenvolvimento do projeto, pode-se constatar a viabilidade da ferramenta *Kaizen* em problemas originados em áreas de apoio e como o ciclo DMAIC é eficaz para direcionar as etapas de solução de problemas. O DMAIC conecta de forma lógica as etapas de desenvolvimento de projeto e somente é possível mudar de etapa após a conclusão da etapa anterior. A ansiedade em concluir rapidamente cada etapa deve ser superada para obter a qualidade em sua conclusão. É necessário verificar, explorar, refletir, questionar e validar cada informação obtida, para compreensão aprofundada do que é envolvido no processo estudado e para que retrabalhos não ocorram durante a evolução do projeto.

Melhoria contínua realmente é movida pelo envolvimento de pessoas, trabalho em equipe, possibilita o crescimento humano. Também é importante ressaltar o quanto a melhoria é importante para a competitividade de uma empresa. No projeto essa necessidade partiu de uma área produtiva para aplicação na logística, ou seja, foi necessário melhorar o abastecimento da logística para que a produção pudesse atender as metas gerenciais e necessidades dos clientes.

A coordenação de um projeto como este, que envolve o foco de melhoria para outras áreas, é de extrema importância para a unidade de negócio. Este projeto permitiu o desenvolvimento de habilidades que não eram previstas no início. Por envolver pessoas de diferentes áreas, foi necessária a habilidade de trabalho em equipe e de integração das pessoas, pois todos tinham suas responsabilidades e visões quanto ao problema. Também foi necessária a manutenção do andamento das atividades, pois fazia parte da cultura das áreas produtivas específicas se movimentar para utilizar o recurso. O comprometimento e interesse na solução do problema tornam-se cada vez mais difíceis quando estão atreladas à transformação de cultura. A conclusão do projeto trouxe satisfação não somente para as áreas produtivas, mas a toda a equipe em quebrar este paradigma.

O objetivo desse trabalho foi alcançado à medida que a movimentação da produção foi eliminada, foi quebrado um paradigma, pois a produção tinha como cultura, buscar o recurso, entregar e armazenar o recurso que seria utilizado, foi necessário muita dedicação e trabalho em equipe por parte dos envolvidos para a viabilidade do projeto.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANDERSEN, B.; FAGERHAUG, T. *Root Cause Analysis: Simplified Tools and Techniques*. 2nd ed. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press, 2006.
- [2] DESLILE, R. Dennis R., *Executing Lean Improvements: a practical guide with real-world healthcare case studies*, ASQ, United States of America, 2015, p. 276.
- [3] GUELBERT, M. *Estratégia de gestão de processos e da qualidade*, Curitiba, Editora IESDE Brasil,

PR. 2012.

- [4] IMAI, M. Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo. 6ª ed. São Paulo: IMAM, 2005.
- [5] \_\_\_\_\_. Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo. 3ª ed. IMAM. 1990.
- [6] JUCAN, G. *Root Cause Analysis for IT Incidents Investigation*. Toronto, Ontario, 2005.
- [7] LIKER, K. J., MEIER, P. D. O modelo Toyota: Manual de aplicação. Porto Alegre: Bookman, 2007a.
- [8] MORAES, G. Elementos do Sistema de Gestão de Segurança, Meio Ambiente, Saúde Ocupacional, Qualidade e Responsabilidade - SMS QRS - Sistema de Gestão Integrada. 2ªed. Rio de Janeiro. Gerenciamento Verde, 2010.
- [9] NISHIDA, T. L. Reduzindo o “lead time” no desenvolvimento de produtos através da padronização. 2006. Disponível em: <<http://www.lean.org.br>>. Acesso em: 11 ago. 2015.
- [10] PARANHOS FILHO, M. Gestão da produção industrial. Editora IBPEX, Curitiba, PR. 2007.
- [11] PEDRÃO, C. L. Gerenciamento de Projetos *Lean*; utilização otimizada de recursos garante sucesso na gestão de projetos. Pós-MBA. Campinas, junho. 2014. Disponível em: <<http://www.lean.org.br/artigos/269/artigos.aspx>>. Acesso em: 20 ago. 2015
- [12] ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar e eliminar desperdício. Versão 1.2, São Paulo: *Lean Institute* Brasil, 2003.
- [13] THIOLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. 15ª ed. SP: Cortez, 2007.
- [14] VENDRAMINI, M. P. et al. Análise da Influência da Logística Interna na produtividade do sistema de produção de um fabricante de equipamentos agrícolas no Brasil. XXI Simpósio de Engenharia de Produção, 2014. Disponível em: <<http://www.simpep.feb.unesp.br/anais.php>>. Acesso: 30 jul. 2015.
- [15] WERKEMA, M. C. C. *Lean Seis Sigma: Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing*. Elsevier Brasil Editora, 2ª Ed. vol 4. 2012, 120p.
- [16] WOMACK P. J., JONES T. D. A Mentalidade Enxuta nas empresas *Lean Thinking: Elimine o desperdício e crie riqueza*, Rio de Janeiro, 6ª ed: Elsevier Gampus, 2004, 395p. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books/about/A\\_mentalidade\\_enxuta\\_nas\\_empresas\\_lean\\_t.html?id=a26Bw1PE3\\_AC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/A_mentalidade_enxuta_nas_empresas_lean_t.html?id=a26Bw1PE3_AC&redir_esc=y)>. Acesso em: 30 jul. 2015.



# Capítulo 6

## *Capacitación sobre hormigón armado a operarios en obra*

*José María López Candia*

*Melanie Andrea Ruiz Díaz Ayala*

*Jorge Nelson González Maya Bogado*

**Abstract:** Currently, it is notorious the lack of reliable information that has an inexperienced engineer regarding the process of elaboration of the concrete in situ. Therefore, the main objective of this research was the development of a physical and digital manual to improve the quality of the work carried out in a civil construction project. This paper comprises a study regarding the implementation of a training plan in civil construction work. The training plan covers the tasks associated with the formwork, assembly and elaboration of concrete, which constitutes the main material for the construction industry. The plan has been implemented by means of interviews applied to a person in charge of the project in a construction company in the city of Encarnación, Paraguay. Then, a group of 15 workers have been trained for a period of 3 months with the aim of increase the efficiency and competence, and also, to improve the indicators of productivity and quality of the tasks mentioned above. At the end of the process, the workers have been assessed individually through written tests. The results shown an improvement of competence and productivity of the workers, as well as an increase on the quality of the works.

**Keywords:** construction, concrete, training, workers.

## 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó motivada por la importancia de conocer el elemento más importante de la construcción civil en la actualidad al cual se lo denomina Hormigón.

Si se habla de hormigón en masa se estaría hablando de la mezcla de áridos, cemento y agua en su mayor o menor proporción logrando sus principales virtudes como lo son, su gran docilidad y facilidad a adaptarse a cualquier forma, de acuerdo al encofrado utilizado.

Según JIMENEZ et al., 2000, el hormigón en masa presenta una buena resistencia a la compresión como todas las rocas que se conocen, pero ofrece escasa resistencia a la tracción. Para ello se le agregan barras de acero en zonas sometidas a tracción, llevando así el nombre de "Hormigón Armado".

Según la norma de competencia laboral del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de la Argentina (s.f), el carpintero de obra o encofrista desarrolla procesos constructivos, interpretando las consignas derivadas de los requerimientos constructivos y haciendo uso de la información asociada, por lo que "el armador de hierros para estructuras de hormigón armado; corta, une y empalma los componentes de la armadura según las indicaciones del superior a cargo y la planilla de doblado de hierros".

Teniendo en cuenta todas estas apreciaciones se puede inferir que la capacitación permanente de operarios en obra para la elaboración del hormigón armado es necesaria e imprescindible, siguiendo las directivas e indicaciones del encargado de obra o residente, de manera a lograr la capacitación de la mano de obra y al mismo tiempo, generar seguridad no solo al accionista o inversor de la obra sino a la sociedad en general.

## 2. PROBLEMA

La ciudad de Encarnación (Paraguay) se ve afectada por grandes cambios debido a su cercanía con el río, su playa y su nuevo mote de ciudad turística, lo que genera mucho interés en cuanto a inversiones en construcciones civiles, que se presentan cotidianamente en la ciudad. Por lo tanto, el incremento de obras edilicias, despierta en todo constructor la necesidad de que su trabajo sea duradero, económico y atractivo.

Como lo decía Fuenzalida, 2010, un alto porcentaje de los obreros de la construcción no ha recibido ningún tipo de capacitación dentro de la obra sobre las tareas que han realizado a lo largo de su vida. Significa que gran número de edificios que se construyen día a día, se llevan a cabo según conocimientos que se transmiten del abuelo al padre y luego del padre al hijo o bien, técnicas aprendidas en la práctica, siguiendo las directrices del capataz, quien les indica los procedimientos a realizar.

La mayoría de los problemas en la construcción, se ven reflejados debido a la falta de personal calificado, ya sea por tener desconocimiento en la etapa de la construcción o por negligencia, así como también por escaso control y supervisión por parte del director de obra.

Algunas de las tareas que se le designan, tomarían menos tiempo y serían de mejor calidad si pudieran aprender y ser capacitados para llevarlas a cabo.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. GENERAL**

Capacitar a los operarios de una obra de construcción, de la ciudad de Encarnación sobre hormigón armado, a fin de obtener operarios competentes.

#### **3.2. ESPECÍFICOS**

- Identificar las habilidades, conocimientos y actitudes que posee el operario para realizar el hormigón armado, de una obra de construcción.
- Aplicar una capacitación teniendo en cuenta las deficiencias de conocimientos evidenciadas en los operarios de obra en construcción.
- Comprobar si los operarios han adquirido los conocimientos necesarios en la capacitación, para la mejora en la realización del hormigón armado.
- Implementar una guía básica en formato físico y digital, sobre hormigón armado para el residente de obra, basado en las capacitaciones dadas.

### **4. METODOLOGÍA**

Para la realización del proceso de investigación, primeramente se entabló contacto con una empresa del rubro de la construcción de la ciudad de Encarnación, para ofrecerles la opción de realizar charlas de capacitación sobre Hormigón Armado a sus operarios en el caso de que ellos decidan si éstos la necesiten.

La entrevista para el encargado de obra se confeccionó con la finalidad de que el mismo pudiera destacar las fortalezas o debilidades con las cuales contaban los operarios a su cargo, siempre referido a la elaboración del Hormigón Armado, aprovechando la experiencia que contaba el mismo trabajando junto con ellos, sin ser necesaria realizar una extensa entrevista individual a los operarios.

Cada clase tuvo una duración de 1 hora (50 minutos de exposición y 10 min para consultas) una vez por semana. Las mismas se llevaron a cabo durante los meses de Mayo a Agosto del 2018. Cumpliendo una totalidad de 10 charlas, distribuyéndose un total de 16 (dieciséis) módulos de capacitación realizados a 15 (quince) operarios de dicha empresa obteniendo un porcentaje mínimo individual de asistencia igual a 60 % (sesenta).

Cada charla se llevó a cabo con la utilización de rotafolios hechos previamente en hojas A0, el cual contenía toda la información necesaria según los módulos correspondientes, de manera a generar un ambiente didáctico y cómodo para los operarios, teniendo en cuenta que las clases se realizaron en obra a cielo abierto.

Luego de cada módulo explicado, se les hizo llegar a los operarios un material didáctico (tríptico) referente a lo desarrollado previamente, con la idea de que les sirviese para retener todo lo explicado en dicho módulo, ejemplo de esto es apreciado en la Imágenes 1y 2.

Imagen 1- Tríptico para los operarios de acuerdo al contenido desarrollado

### PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

**PROPIEDADES DEL H° FRESCO**

- CONSISTENCIA
- TRABAJABILIDAD
- HOMOGENEIDAD

**PROPIEDADES DEL H° ENDURECIDO**

- RESISTENCIA
- IMPERMEABILIDAD
- DURABILIDAD

### CONO DE ABRAMS

ES UN MOLDE SIN FONDO DE FORMA TRONCOCÓNICA CON 2 ASAS PARA MANIPULARLO. SE COLOCA EL MOLDE EN UNA SUPERFICIE PLANA PARA QUE NO ABSORBA AGUA.

**PROCEDIMIENTO**

- INTRODUCIR EL HORMIGÓN EN CAPAS IGUALES.
- HACER EL PICADO EN CADA CAPA CON UNA BARRA METÁLICA.
- ENRAZAR LA SUPERFICIE.
- DESMOLDAR INMEDIATAMENTE LEVANTANDO EL CONO DE MANERA LENTA Y CON CUIDADO, EN FORMA VERTICAL, SIN PRODUCIR SACUDIDAS.

• MEDIR EL ASIENTO CON UNA REGLA CENTIMETRADA, HORIZONTAL COLOCADA SOBRE EL CONO, TOMANDO EL PUNTO MÁS ALTO DE LA CARA SUPERIOR DE LA MASA ASENTADA.

• EL ASIENTO SE EXPRESA POR LA MEDIDA OBTENIDA, REDONDEADA EN CENTÍMETROS.



**CONSISTENCIAS**

- SECA: ASIENTO DE 0 A 2 CM EN EL CONO DE ABRAMS.
- PLÁSTICA: ASIENTO DE 3 A 5 CM EN EL CONO DE ABRAMS.
- BLANDA: ASIENTO DE 6 A 9 CM EN EL CONO DE ABRAMS.
- FLUIDA: ASIENTO DE 10 A 15 CM EN EL CONO DE ABRAMS.
- LÍQUIDA: ASIENTO DE MAYOR A 16 CM EN EL CONO DE ABRAMS PERO NO SE RECOMIENDA PARA HORMIGONES QUE REQUIERAN RESISTENCIA.

## CAPACITACIÓN DE OPERARIOS EN OBRA



**ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN**

MÓDULO 1.1 - CONCEPTOS GENERALES

**MELANIE RUIZ DÍAZ  
JOSÉ MARIA LOPEZ  
DR. ING. JORGE GONZÁLEZ MAYA**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ITAPÚA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2- Tríptico para los operarios de acuerdo al contenido desarrollado

### CONSTITUCIÓN DEL HORMIGÓN

**CEMENTO**



**AGUA**



**ARENA**



**PIEDRA TRITURADA**



**ADITIVOS**

**EL HORMIGÓN DE BUENA CALIDAD DEBE SER:**

- MOLDEABLE
- DURABLE
- RESISTENTE
- ECONÓMICO
- IMPERMEABLE

**DOSIFICACIÓN**

ES LA CANTIDAD EXACTA DE MATERIALES QUE SE NECESITA PARA EL HORMIGÓN. LA DOSIFICACIÓN MÁS UTILIZADA ES: 1:3:3.

**RELACIÓN AGUA-CEMENTO**

ES LA RELACIÓN APROPIADA ENTRE EL AGUA Y EL CEMENTO EN LA DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.

### TAMAÑO MÁXIMO DE LOS ÁRIDOS

CUANTO MAYOR SEA EL TAMAÑO DE LOS ÁRIDOS (ARENA Y PIEDRA TRITURADA) MENOR SERÁ LA CANTIDAD DE AGUA PARA CONSEGUIR LA CONSISTENCIA DESEADA, PODRÁ REDUCIRSE LA CANTIDAD DE CEMENTO, Y ASÍ EL HORMIGÓN SERÁ MÁS ECONÓMICO CON LA MISMA RESISTENCIA.

**TRANSPORTE**

PUEDA HACERSE CON BALDES, CARRETIILLAS, CINTAS TRANSPORTADORAS, CAMIONES, HORMIGONEROS, ETC., DEPENDIENDO SI EL H° FUE REALIZADO EN OBRA O EN HORMIGONERA CENTRAL.



**VERTIDO Y COLOCACIÓN**

- NO DEBE EFECTUARSE DESDE GRAN ALTURA.
- EVITAR EL CHOQUE CONTRA EL ENCOFRADO O LA ARMADURA.
- NO SE ARROJARA EL HORMIGÓN CON PALA A GRAN DISTANCIA.



### COMPACTACIÓN

CONSISTE EN LA ELIMINACIÓN DEL AIRE DE LA MASA DEL H°, HASTA CONSEGUIR UNA MASA COMPACTA, SIN HUECOS Y SIN SEGREGACIÓN DE ÁRIDOS.

**POR VIBRADO**



**CURADO**

CONSISTE EN LA REPOSICIÓN DEL AGUA DEL H° QUE SE PIERDE POR EVAPORACIÓN EN EL PROCESO DE FRAGUADO Y PRIMER ENDURECIMIENTO, CREÁNDOSE HUECOS MICROSCÓPICOS QUE DISMINUYEN SU RESISTENCIA Y SE CORRIGE CON ABUNDANTE AGUA.



Fuente: Elaboración propia.



Al culminar el curso de capacitación, se realizó una evaluación teórica a cada operario, que consistió en la aplicación de cuestionarios de encuestas evaluativas, de manera a comprobar si han aprendido lo que se estuvo exponiendo en cada clase, verificando si se cumplió o no con el propósito establecido.

Para dejar un precedente de la capacitación realizada posteriormente se entregaron certificados a los operarios que aprobaron el módulo “Capacitación sobre encofrado, armado y elaboración de hormigón armado”, obteniendo un porcentaje mínimo individual de aprobación igual a 60 % (sesenta). Este certificado fue expedido por la Universidad Nacional de Itapúa, específicamente por la Facultad de Ingeniería FIUNI.

Además se elaboró un manual que dicho contenido está basado en las capacitaciones dadas a los operarios, ésta es una guía básica acreditada por el Director de la Carrera de Ingeniería Civil de la facultad y está destinada para cualquier residente cuya obra necesite la utilización de Hormigón Armado. En este se explica el proceso que se debe llevar a cabo para la correcta y calificada elaboración, encofrado y armado del Hormigón Armado.

Aprovechando la realización del manual en forma física, nos enfocamos a darle una presentación más actualizada con la utilización de una aplicación móvil, la cual sería más accesible y de más fácil manejo pensando en la nueva generación de trabajadores relacionados al ámbito de la construcción.

## 5. RESULTADOS

A partir de la entrevista realizada al encargado de obra, siendo este una persona de sexo masculino de 25 años de edad, con el título de Ingeniero civil, donde este ha expresado el bajo conocimiento que tenían los operarios acerca del hormigón armado, si bien siempre lo hacen de manera correcta en las obras, esto sería por la práctica y experiencia que han adquirido de obras anteriores pero no lo realizan con un conocimiento fundamentado.

Según expresó el encargado de obra sus operarios requerían ser capacitados, partiendo de esta preocupación se ofreció realizar charlas educativas acerca del proceso de elaboración del hormigón armado, como ya se ha mencionado en la sección de metodología.

Las encuestas evaluativas realizadas a los operarios, arrojaron resultados considerablemente buenos.

En la primera, hubo un 73% de encuestados que superaron el puntaje mínimo requerido (60% del total) de manera correcta, mientras que solo el 27% de los mismos tuvieron puntajes menores al 60%. Mientras que, en la segunda, la totalidad de los encuestados lograron sobrepasar el porcentaje mínimo para aprobar.

**Tabla 1** – Resultados - Primera encuesta evaluativa

Indicadores	Frecuencia	Porcentaje
Aprobaron	11	73
No aprobaron	4	27
Total	15	100

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se puede visualizar en la Tabla 1 que en un índice bastante alto, los operarios aprobaron la primera encuesta evaluativa, con un 60% (sesenta) de exigencia, para ser exactos se trata de 11 operarios aprobados, mientras que 4 del total no llegaron al puntaje mínimo para aprobar.

**Tabla 2 - Resultados- Segunda encuesta evaluativa**

Indicadores	Frecuencia	Porcentaje
Aprobaron	15	100
No aprobaron	0	0
Total	15	100

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Se puede visualizar en la Tabla 2 que en su totalidad, es decir el 100% de los operarios aprobaron la segunda encuesta evaluativa, con un 60% (sesenta) de exigencia, para ser exactos se trata de 15 operarios aprobados.

Teniendo en cuenta el desempeño en ambas encuestas, 11 de los 15 operarios capacitados lograron cumplir con los requisitos necesarios para aprobar dicha capacitación, donde a cada uno de ellos se les otorgó un certificado de aprobación. (Imagen 3).

**Imagen 3- Certificado otorgado al operario**



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la información desarrollada durante las clases, se vio conveniente la creación de un manual técnico que servirá de guía para el residente de obra y profesionales del rubro, cuando corresponda ejecutar una estructura que contenga hormigón armado.

La preparación del mismo no involucró dificultades mayores, pues la información necesaria ya fue desempeñada en las clases, solo bastó darle un formato que resultase atractivo y discreto para su utilización, el manual es mostrado en la Imagen 4.

**Imagen 4-** Resultados- Manual para el residente de obra sobre Hormigón Armado



Fuente: Elaboración propia.

Aprovechando la realización del manual en forma física, se procedió a darle una presentación más actualizada con la utilización de una aplicación móvil, donde se puede acceder a través del siguiente enlace: [https://www.youtube.com/watch?v=lw-fhs\\_m\\_QI&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=lw-fhs_m_QI&feature=youtu.be)

En la siguiente Imagen 5 se puede apreciar el lugar de la capacitación de los operarios que fue en el propio lugar de la obra.

**Imagen 5 –** Clase de capacitación con los operarios



Fuente: Elaboración propia.



## 6. CONCLUSIONES

- Al realizar una capacitación, siempre es necesario saber el alcance y repercusión que tuvo la misma, esto puede ser por varios medios. Lo que se puede afirmar con esto es, que del conocimiento teórico aceptable sobre Hormigón Armado que contaban los operarios, luego de las capacitaciones lograron alcanzar un considerable porcentaje, el cual habla por sí solo y explica la necesidad inminente de capacitar al operario de obra.
- Se puede decir que los operarios de obra tienen gran predisposición a capacitarse puesto que la totalidad superó el porcentaje mínimo de asistencia, lo cual estipulaba colaborar con una hora semanal para recibir las capacitaciones.
- De igual manera, la autoestima de los operarios aumentó de gran manera, ya que el curso les posicionará en mejores condiciones para un futuro empleo dentro del rubro Hormigón Armado y su elaboración, esto debido al certificado otorgado.
- Cabe resaltar que el “Manual para el residente de obra sobre Hormigón Armado” es de libre acceso para cualquier empresa o profesional del rubro de la Construcción que esté interesado en la misma.
- La elaboración del manual en forma digital (aplicación móvil) agilizará el acceso del residente a la información requerida en el momento justo, inclusive desde su celular.

## REFERENCIAS

- [1] ARGENTINA. N° de registro: 2179466. [s.f]. **Norma de competencia laboral Carpintero de obra fina**. Argentina: Ministerio de trabajo, empleo y seguridad social, [s.f]. p.6
- [2] ARGENTINA. N° de registro: 2179470. [s.f]. **Norma de competencia laboral Armador de hierros para estructuras de hormigón armado**. Argentina: Ministerio de trabajo, empleo y seguridad social. [s.f]. p.6
- [3] FUENZALIDA G., Gisela. **Instituto de capacitación para el obrero de la construcción y su entorno familiar y comunitario**. 2010. Memoria para optar el título de grado (Arquitecta) – Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile, Santiago, 2010.
- [4] JIMENEZ M., Pedro, GARCIA M., Álvaro y MORAN C., Francisco. **Hormigón Armado**. 14.ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili SA, 2000. 160p. ISBN 84-252-1825- X.

# Capítulo 7

## *Estudo de variáveis na etapa de conformação por prensagem na caracterização de argilas*

*Francielle Cristine Pereira Gonçalves*

*Chrystian Gregório Medeiros de Lima*

*Rennáh Francisco Figueiredo Gonçalves*

*Bruno Caio Chaves Fernandes*

*Camilla Pereira Soares*

*Ari Lucas Santos Oliveira*

*Thaís de Oliveira Almeida*

*Gustavo César Pamplona de Sousa*

**Resumo:** A caracterização das argilas é fundamental para o estudo das mesmas, pois sua aplicação está diretamente associada à estrutura, composição e propriedades físicas que possuem. O método de prensagem uniaxial é utilizado na etapa de conformação de corpos de prova, nos quais são determinadas as propriedades tecnológicas dos mesmos como, a retração linear de queima, a perda de massa ao fogo, a absorção de água, a massa específica aparente, a porosidade aparente e a resistência mecânica. O objetivo principal do presente trabalho é analisar como algumas variáveis de preparação das amostras influenciam nas propriedades finais do material de natureza argilosa, quando conformados por prensagem. Nesta etapa do trabalho, as variáveis de prensagem utilizadas foram: teor de umidade da amostra, variação da pressão final aplicada. Resultados indicam que tais variáveis influenciam dos resultados das propriedades tecnológicas.

**Palavras-Chave:** Prensagem, materiais argilosos, caracterização.

## 1. INTRODUÇÃO

As argilas são muito utilizadas como matéria-prima em vários setores industriais, principalmente na indústria cerâmica, por sua abundância na natureza e baixo custo<sup>(1)</sup>. A sua aplicação vai depender da composição e das propriedades finais adquiridas durante o processo de fabricação, basicamente divididas em cerâmica tradicionais e avançadas. O avanço do conhecimento da estrutura interna desses materiais favoreceu ao surgimento de novas aplicações<sup>(2)</sup>, como por exemplo, em peça de circuitos de computadores (semicondutores), em redes de alta tensão (dielétricos), peças de aeronaves e etc.

A caracterização das argilas é fundamental para que se tenha um embasamento necessário a respeito da mesma<sup>(3)</sup>, a fim de se poder desenvolver o tipo de processo que será utilizado e conseqüentemente como será aplicado seu produto final. Diversas técnicas são utilizadas, tal como, análise química, térmica e mecânica. Portanto, faz-se necessário conhecer e dominar as técnicas na qual serão utilizadas para determinar as características que interessam para a requerida aplicação.

A prensagem de pós cerâmicos é bastante utilizada tanto para obtenção de materiais tradicionais quanto avançados<sup>(1)</sup>. Albaro (2000) define o método prensagem como sendo “uma operação de conformação baseada na compactação de um pó granulado (massa) contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão”. Esta técnica também é bastante utilizada em escala laboratorial para estudos relacionados à caracterização das propriedades tecnológicas e mecânicas desta classe de materiais.

Dentre os principais tipos de prensagem, duas são mais utilizadas na indústria cerâmica, a prensagem uniaxial e a prensagem isostática. Na primeira a pressão é realizada por uma punção que compacta o pó no interior de uma matriz rígida<sup>(4)</sup>, podendo ser de ação simples ou dupla. Na prensagem isostática a ação é realizada em um molde flexível onde o pó é compactado sobre a pressão de um fluido<sup>(5)</sup>.

O presente trabalho se desenvolve na caracterização de argilas por meio da prensagem uniaxial. O estudo das variáveis, tanto instrumentais como das características da amostra, na prensagem uniaxial, tem como principal objetivo quantificar e qualificar os parâmetros que influenciam neste tipo de caracterização. Para tal, foi utilizado um tipo de argila tradicional variando o teor de umidade, granulometria e pressão aplicada.

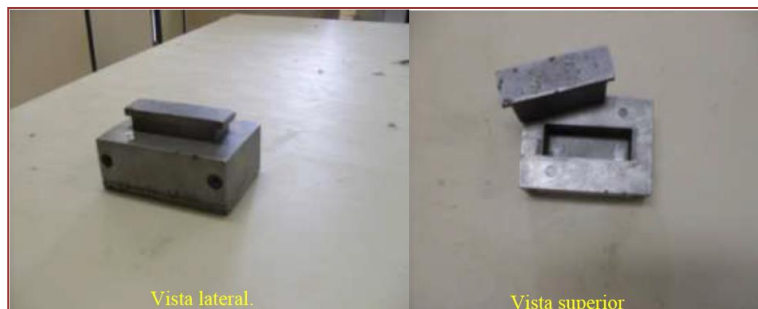
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As primeiras variáveis estudadas na primeira parte da análise foram o teor de umidade, referente à amostra de argila, e a pressão aplicada na etapa de prensagem. Para cada variável utilizou-se 15 corpos de prova. As etapas básicas da prensagem e posterior determinação das propriedades tecnológicas seguem a seguir:

- I. Correção da umidade: A quantidade separada para a moldagem dos corpos de prova foi posta na estufa à 50°C por 24h para retirada da umidade existente. Após esse procedimento foi adicionado o teor de água necessário relativo a variável estudada da quantidade de argila, como umidade para a moldagem dos corpos de prova, sendo esta destorroada junto à mesma e mantida em um recipiente fechado por 24h.
- II. Prensagem: Com a massa argilosa umedecida, a próxima etapa foi realizar a prensagem dos corpos de prova. A quantidade utilizada em cada corpo de prova

foi de 13g, onde se utilizou uma matriz metálica (Figura 1). Os corpos de prova foram prensados uniaxialmente em uma prensa hidráulica. O procedimento se deu da seguinte forma: Com a massa posta no molde, o primeiro passo foi centralizá-lo na prensa e em seguida aplicar uma pressão momentânea, cerca de metade da pressão final, e depois aliviada. Em seguida aplicou-se a pressão final. Por fim, a parte inferior do molde foi retirada e depois comprimida para extrair o corpo de prova do mesmo.

**Figura 1** – Matriz metálica



i.

- III. **Medições e secagem:** Após a etapa de prensagem de cada corpo de prova, os mesmos foram submetidos à medição de suas dimensões utilizando um paquímetro digital e pesados em uma balança analítica. Em seguida os corpos de prova foram postos na estufa de 110°C por 24h. Após o período na estufa foram resfriados naturalmente e medidos e pesados novamente (peso seco  $P_s$ ).
- IV. **Queima:** Os corpos de prova, após o procedimento de medição, foram submetidos à etapa de queima. Após a queima foram medidas as dimensões dos corpos de prova e novamente pesados (peso de queima  $P_q$ ) à medida que etapa foi realizada. Com os valores do comprimento após a queima ( $C_q$ ), comprimento seco ( $C_s$ ) o peso seco ( $P_s$ ) foi obtido a retração linear de queima e a porcentagem de perda ao fogo através das seguintes fórmulas:

$$PF\% = \frac{P_s - P_q}{P_s} \times 100$$

$$RLq\% = \frac{C_s - C_q}{C_s} \times 100$$

- V. **Absorção de água e porosidade aparente:** Para realizar o ensaio de imersão, pelo princípio de Arquimedes, todos os corpos de prova foram postos em água, à temperatura ambiente, por 24h. Após esse processo se obteve os valores do peso imerso ( $P_i$ ) e o peso saturado ( $P_{st}$ ). Depois retornaram para estufa de 50°C. Para o cálculo da absorção de água e da porosidade aparente, foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$AA\% = \frac{P_{st} - P_q}{P_q} \times 100$$

$$PA\% = \frac{P_{st} - P_q}{P_{st} - P_i} \times 100$$

VI. Ensaio de flexão: Após os corpos de prova serem secados na estufa, foi realizado o ensaio de flexão na máquina universal de ensaios mecânico (Servopulser/Shimadzu) e como parâmetro, utilizou-se como distância entre os dois pontos de apoio de 40 mm e velocidade de prensagem de 5mm/min. Para o cálculo da tensão de ruptura utilizou-se a seguinte fórmula:

$$TRF(MPa) = \frac{60xF}{LxH^2}$$

F = Força para romper o corpo de prova

L = Largura do corpo de prova após o rompimento

H = Altura do corpo de prova após o rompimento

A Tabela 1 a seguir apresenta os parâmetros utilizados para cada variável durante o processo de experimentação.

**Tabela 1** – Parâmetros utilizados no estudo comparativo das variáveis

Variáveis	Pressão	Com alívio	Tempo de conformação	Peneira	Teor de umidade	Temperatura de queima e velocidade de aquecimento
Teor de umidade	5 ton.	Sim	5 s	#200	4%, 5% e 6%	950°C e 10°C/min
Pressão aplicada	3, 5 e 7 ton.	Sim	5 s	#200	4%	950°C e 10°C/min
Granulometria	5 ton.	Sim	5s	#40, #200, #325	4%	950°C e 10°C/min

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tabelas 2, 3 e 4 contém os resultados das propriedades tecnológicas de acordo com a variação do teor de umidade a pressão aplicada e a granulometria.

**Tabela 2** – Propriedades tecnológicas quando variado o teor de umidade da amostra de argila

Variável			PF%	AA%	PA%	RLq%	TRF(MPa)
Teor de Umidade	4%	Média	5,77±0,99	11,95±1,04	24,05±1,86	0,38±0,05	10,88±1,10
	5%	Média	6,51±0,04	12,45±0,41	24,97±0,63	1,09±0,08	10,68±1,03
	6%	Média	5,92±0,43	10,68±0,56	20,69±1,24	1,19±0,15	10,41±0,41

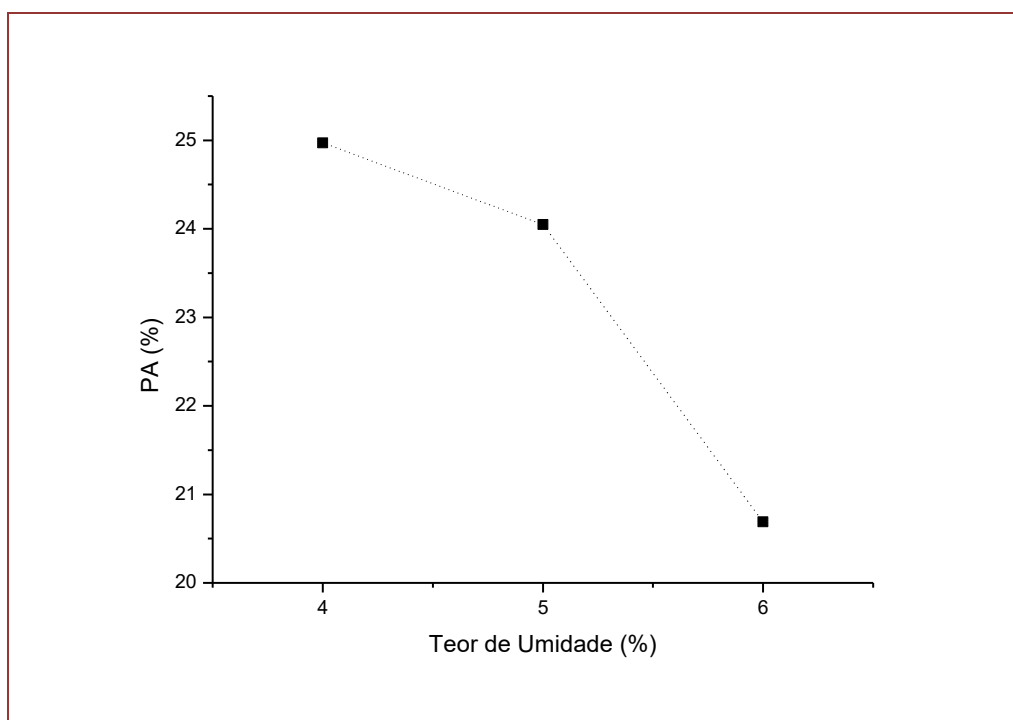
**Tabela 2** – Propriedades tecnológicas quando variado a pressão aplicada da amostra de argila

Variável		PF%	AA%	PA%	RLq%	TRF(Mpa)	
Pressão Aplicada	3 ton.	Média	6,07±0,11	12,63±1,43	24,67±1,97	0,47±0,07	6,42±0,36
	5 ton.	Média	6,51±0,04	12,45±0,41	24,97±0,63	1,09±0,08	10,88±1,10
	7 ton.	Média	6,08±0,12	10,61±0,09	20,48±0,13	0,52±0,08	9,53±0,81

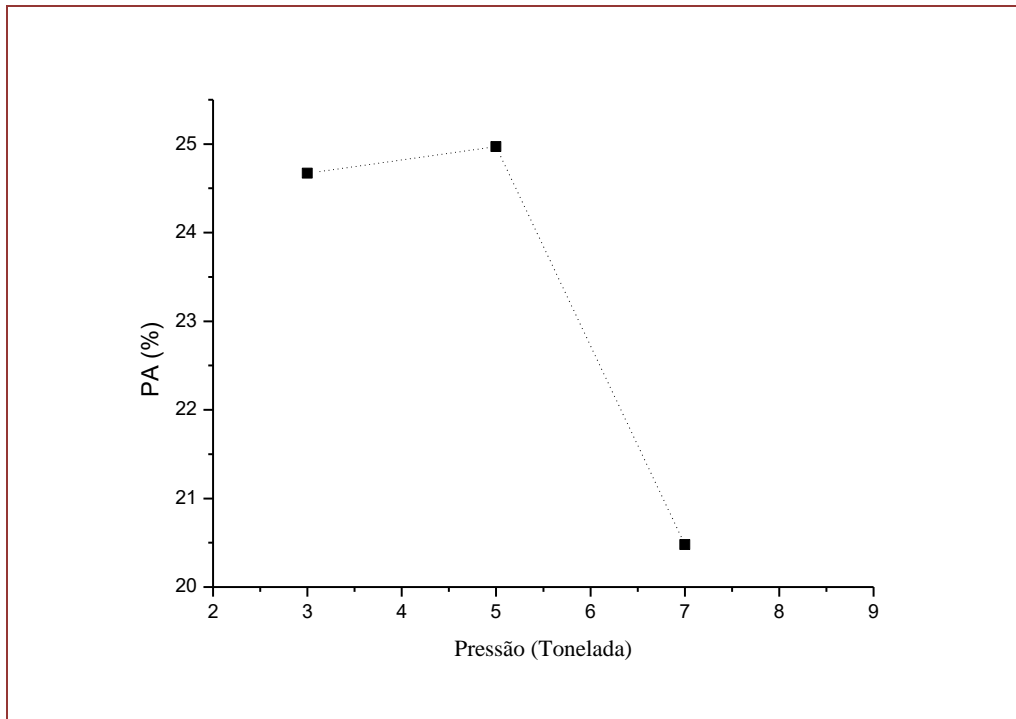
### 3.1. POROSIDADE APARENTE

Esta propriedade tecnológica está relacionada com a porcentagem de poros abertos que são encontrados na estrutura. A relação da variação desta propriedade pode ser relacionada com o padrão de queima das amostras, geralmente a porosidade diminui à medida que o nível de sinterização da estrutura aumenta.

A partir da variação relacionada ao parâmetro da amostra, o teor de umidade em 4, 5 e 6%, pode-se observar que a quantidade de poros aparentes nos corpos de prova ensaiados sofreu um decréscimo significativo (Figura 2). Em 4% a PA obteve uma média de 24,97%, já em 6% se apresentou um valor médio de 20,69%.

**Figura 2** – Porosidade aparente em função do teor de umidade

Quando se variou a pressão utilizada na etapa de conformação dos corpos de prova em 3, 5 e 7 toneladas, a quantidade de poros na estrutura também reduziu na etapa de sinterização (Figura 3). Com a maior compactação do pó na matriz o contato entre as partículas é maior à medida que este parâmetro nesta etapa aumenta. Portanto, verificou-se uma redução considerável quando se variou de 5 para 7 toneladas.

**Figura 3** – Porosidade aparente em função da pressão aplicada

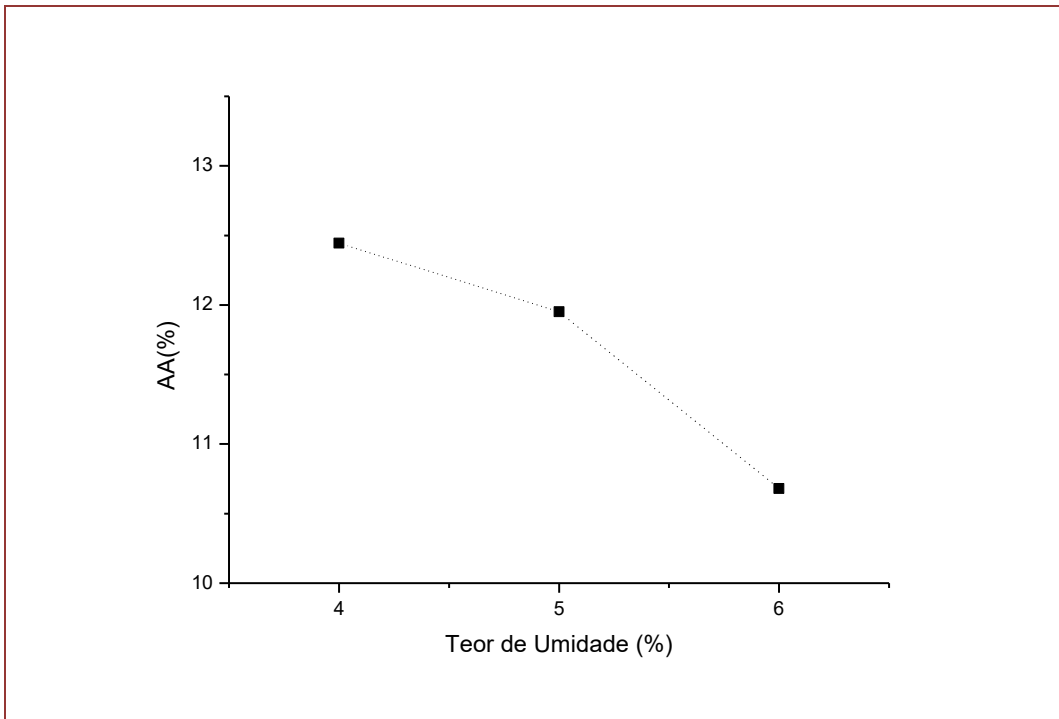
### 3.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água é uma importante propriedade tecnológica a ser mensuradas em amostras argilosas, onde pode ser compreendida como o aumento da sua massa absorvendo a água que a envolve. No processo de sinterização ocorre o fechamento dos poros da estrutura e à medida que o nível desse processo aumenta, a absorção de água diminui devido a sua relação com o volume de poros abertos encontrados.

Com a variação do teor de umidade da amostra de argila durante a absorção de água sofreu um decréscimo quando a mesma foi de 4% a 5% e depois para 6%. Ou seja, a quantidade de água absorvida pelos corpos de prova por meio dos poros presentes foi menor quando teor de umidade variou (Figura 5). Como essa medida está relacionada diretamente com a porosidade aparente, determinada anteriormente, onde também houve uma diminuição dos mesmos na estrutura.

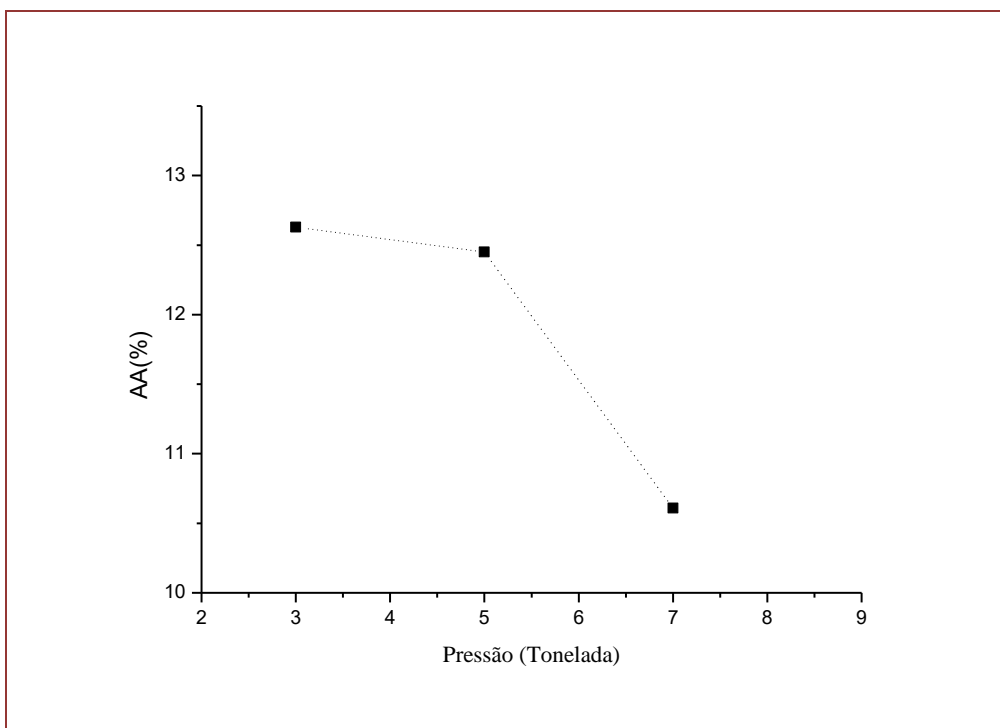


**Figura 5 - Absorção de água em função do teor de umidade**



Assim como quando foi variado o teor de umidade, o aumento da carga aplicada, ou pressão, no período de conformação dos corpos de prova, de 3 para 5 toneladas, e 7 toneladas, acarretou numa diminuição da absorção de água no material (Figura 6).

**Figura 6 - Absorção de água em função da pressão aplicada**

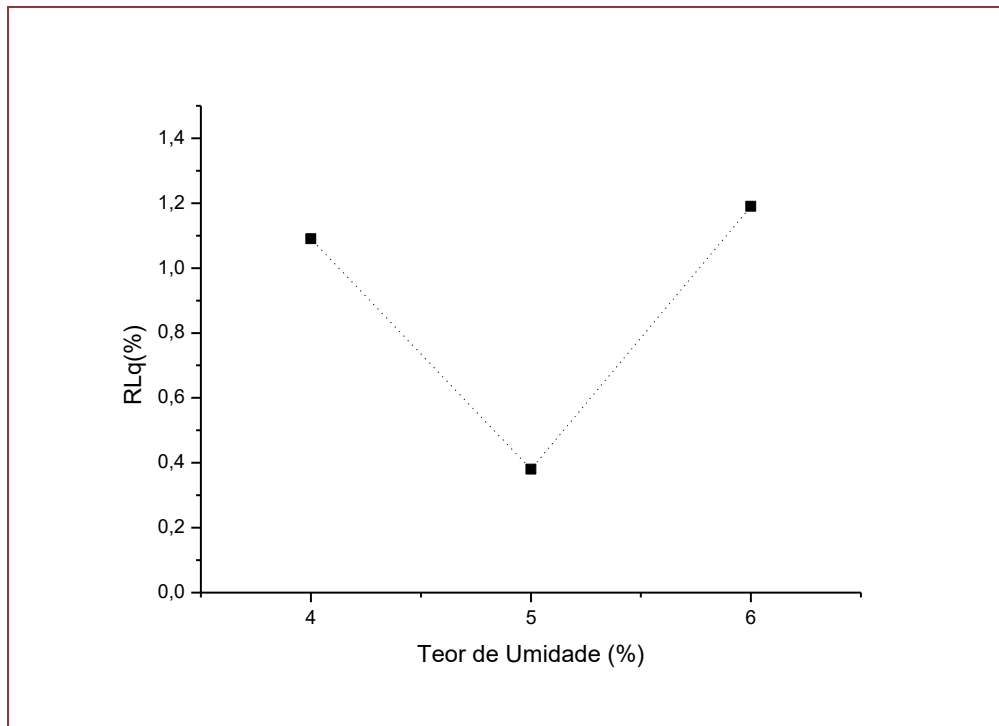


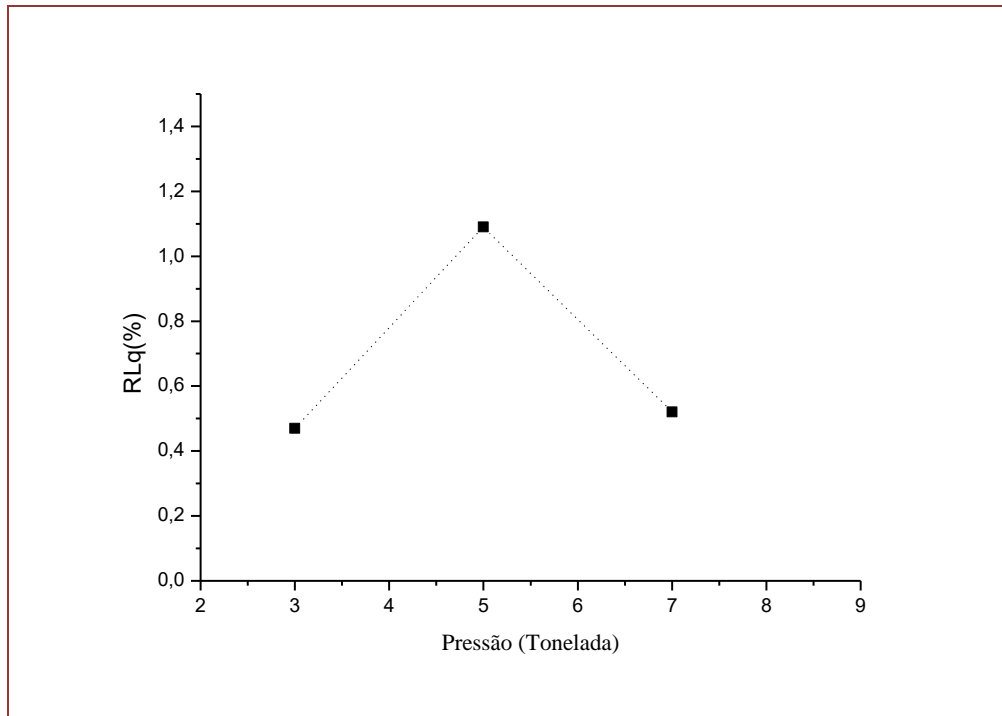
### 3.3. RETRAÇÃO LINEAR APÓS A QUEIMA

Assim como a absorção, a retração linear está diretamente ligada ao nível de sinterização da estrutura. A mesma consiste na variação das dimensões lineares, do corpo de cerâmico, em porcentagem e o seu valor será negativo quando houver expansão e positivo quando houver retração.

Na análise desta propriedade tecnológica não houve influência significativa, ou uma relação direta com a variação tanto para o teor de umidade da amostra (Figura 8), para a pressão aplicada na conformação (Figura 9) e para a granulometria (Figura 10). Para o teor de umidade quando se variou de 4 para 5% a retração linear de queima sofreu uma redução de 1,09% para 0,38%, e um aumento para 1,19% no teor de 6%. Os resultados não foram muito consistentes em relação as duas outras propriedades de absorção de água e porosidade aparente. Na variação da pressão aplicada, houve um aumento, quando passou de 3 para 5 toneladas, na retração de 0,47 para 1,09.

**Figura 8** – Retração linear de queima do teor de umidade



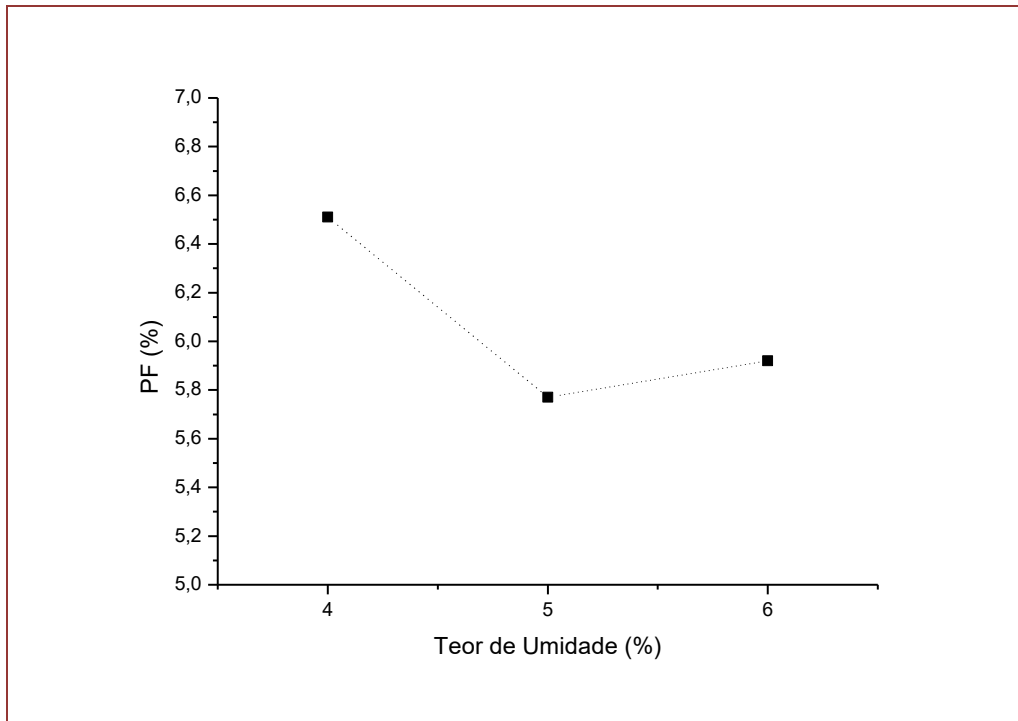
**Figura 9 – Retração linear de queima em função da pressão aplicada**

### 3.4. PERDA AO FOGO

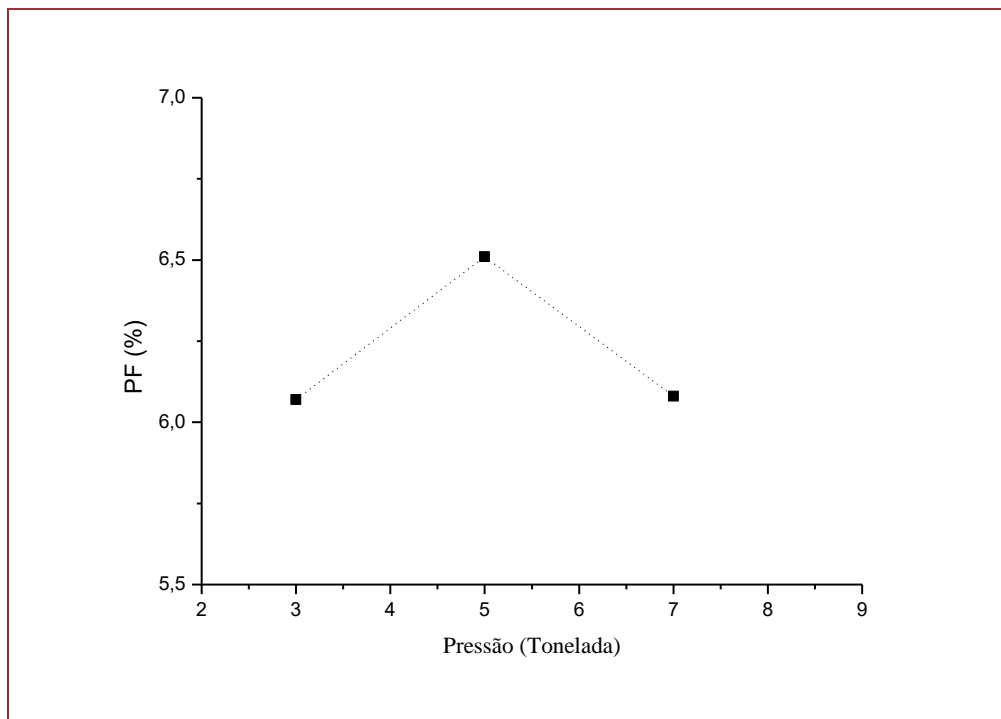
Quando o material é submetido a altas temperaturas está susceptível a perdas de massa ao longo da queima. Nas argilas pode indicar a basicamente o teor da matéria orgânica presente e a quantidade de gás e vapor gerados na etapa de queima, principalmente oriundos da decomposição dos carbonatos.

Com o aumento do teor de umidade da amostra a perda ao fogo reduziu entre 4 e 5% e se manteve quase constante entre 5 e 6% (Figura 11). Para a variável de pressão não foi observado grandes mudanças nesta propriedade, entre 3 e 5 toneladas variou de aproximadamente um valor médio de 6 a 6,5%, voltando a cair para 6% (Figura 12).

**Figura 11** – Perda ao fogo em função do teor de umidade



**Figura 12** – Perda ao fogo em função da pressão aplicada



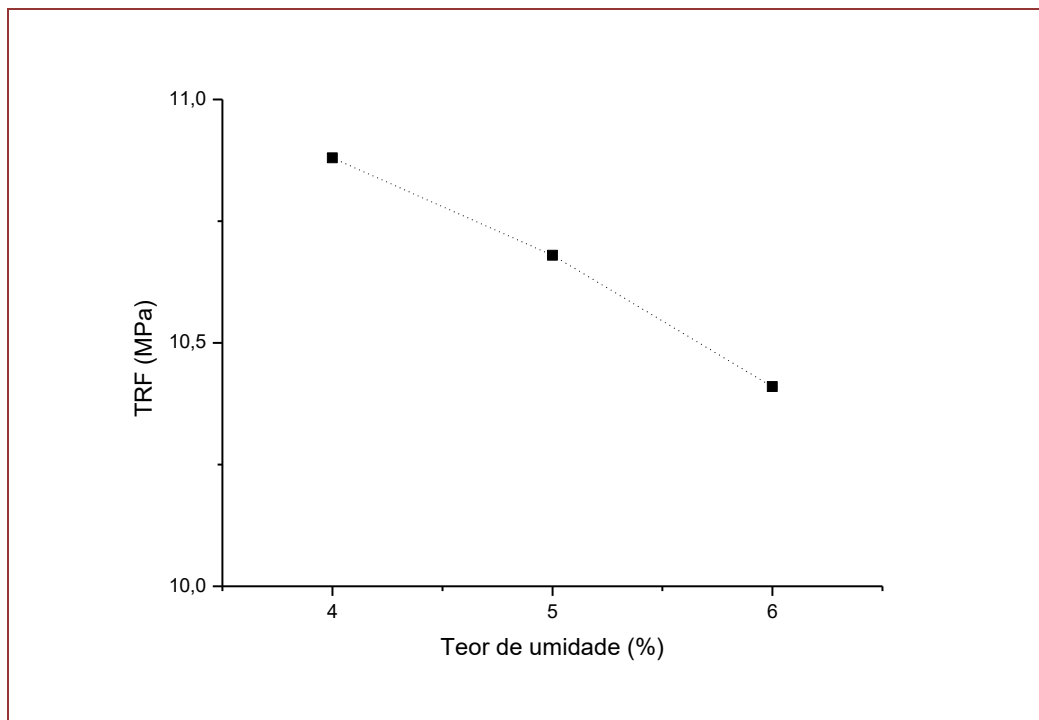
### 3.5. TENSÃO MÁXIMA DE RUPTURA

A realização do ensaio para obtenção dessa propriedade é muito importante, no sentido de que se pode estimar a carga suportada pelo determinado corpo cerâmico quando submetido a certo esforço mecânico <sup>(6)</sup>. A tensão de ruptura, tal como absorção de água e a retração linear, está inter-relacionada com o estado de sinterização da estrutura. O nível

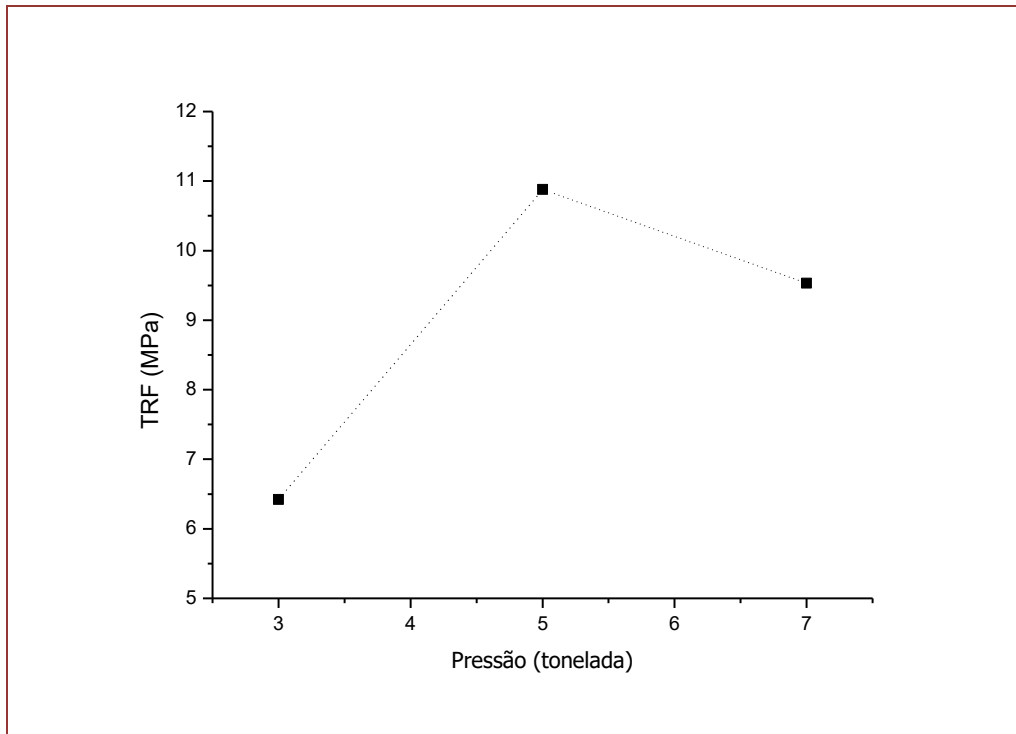
sinterização do material é que vai ditar a quantidade de poros na estrutura <sup>(8)</sup>. Assim quanto mais sinterizado o corpo cerâmico, menos poros irão existir na estrutura e consequentemente a tensão de ruptura irá ser maior.

A figura 14 apresenta o resultado obtido quando foi variado o teor de umidade e verificado a sua influência na tensão máxima de ruptura dos corpos de prova ensaiados. Para os três teores de umidade utilizado a média desta propriedade se manteve dentro dos 10 Mpa, ou seja, não houve quase nenhuma interação dessa variável na tensão máxima de ruptura, apesar da redução dos poros na estrutura.

**Figura 14** - Tensão de ruptura em função do teor de umidade



Para a variação do parâmetro relativo à etapa de prensagem, a pressão aplicada, em função desta propriedade (Figura 15), os resultados obtidos seguiram o que se encontra na literatura, ou seja, com a diminuição da porosidade na estrutura maior é a tensão máxima de ruptura. Como à medida que a pressão aplicada ao pó aumenta a interação partícula/partícula é maior, o que reflete na etapa de sinterização, gerando um maior “fechamento” dos poros.

**Figura 15 – Tensão de ruptura em função da pressão aplicada**

#### 4. CONCLUSÃO

A análise comparativa realizada, utilizando variáveis instrumentais e relativas a característica da amostra, buscou servir de aporte para se desenvolver um manual de caracterização de argilas em relação a técnica de prensagem uniaxial. O intuito principal foi de nortear pesquisas relacionadas ao tema, de maneira que se facilite o entendimento de determinados fenômenos que possa vir a acontecer caso houver mudanças neste parâmetro do ensaio.

As propriedades de absorção de água e porosidade aparente das amostras de argila apresentaram variações consistentes apenas para as variáveis de teor de umidade e pressão aplicada. Em relação a retração linear de queima, a perda ao fogo e a tensão máxima de ruptura, não foi observado grande influência quando estas foram variadas. Portanto, apenas parte das propriedades estudadas sofreram variações significativas durante o estudo da técnica de prensagem uniaxial.

#### REFERÊNCIAS

- [1] CALLISTER, W. D. J.; *Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução*. 7ª Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2008.
- [2] CARAM, R. *Materiais Cerâmicos*. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~caram/6.%20MATERIAIS%20CERAMICOS%20GRAD.pdf>> Acesso: 16/040/13.
- [3] SANTOS, P. S.; *Tecnologia de Argilas, Aplicada às Argilas Brasileiras*, Ed. Edgar Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.
- [4] FAZAN, A. N., et al.; *Aditivos Para Compactação Por Prensagem a Verde de Corpos Cerâmicos*. XVII SICITE, Paraná.
- [5] ALBERO, J. L. A.; *A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte*

*I: O Preenchimento das Cavidades do Molde. Revista Cerâmica Industrial, Setembro/Outubro 2000.*

- [6] DALCIN, G. B.; *Ensaio Mecânicos*. URI – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, curso de Engenharia Industrial Mecânica. Santo Ângelo, 2001.
- [7] ROSA, A. L., SHAREEF, M. Y., NOORT, R. V.; *Efeito das condições de preparação e sinterização sobre a porosidade da hidroxiapatita*. Pesqui Odont Bras, Julho/Setembro, 2000.
- [8] GOMES, U. U.; *Tecnologia dos Pós: Fundamentos e Aplicações*. Editora UFRN, Natal, 1993.
- [9] SHACKELFORD, J. F.; *Ciências dos Materiais*. Ed. Pearson Prentice Hall, 6ª Edição, São Paulo, 2008.
- [10] SEBRAE. *Cerâmica Vermelha para Construção: Telhas, Tijolos e Telhas*. Sebrae/ESPM, Sumário Executivo, 2008.
- [11] BASTOS, F. A.; *Avaliação do Processo de Fabricação de Telhas e Blocos Cerâmicos Visando a Certificação do Produto*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2003.
- [12] PEDROTI, L. G.; *Desenvolvimento de Massas Cerâmica para Blocos Queimados e Prensados*. Revista Cerâmica Industrial, p. 25-30, Janeiro/Fevereiro 2011.
- [13] FEAM – DPED – GRPOD; *Avaliação Energética das Indústrias de Cerâmica Vermelha no Estado de Minas Gerais*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Belo Horizonte-MG, 2012.
- [14] BATISTA, V. R.; 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 3.1, p. 46-61. 2008.
- [15] PINHEIRO, B.C.A; HOLANDA, J. N. F.; *Efeito da Temperatura de Queima em Algumas Propriedades Mecânicas das Cerâmicas Vermelhas*. Rev. Cerâmica 56, p. 237-243. 2010.
- [16] JAHN, T. G.; DADAM, A. P.; NICOLAU, V. P.; *Influência da Temperatura e Velocidade de Queima nas Propriedades de Tijolos Comuns*. Anais 46º Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Paulo, 2002.
- [17] SOUZA, G. C.; NÓBREGA, J. M.; VIANA, J. D.; *Método de Conformação por Extrusão*. Universidade Federal de Campina Grande, Março, 2003.



# Capítulo 8

## *Aperfeiçoamento de secador solar portátil no Semiárido Potiguar*

*Igor Pacífico Xavier da Silva*

*Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella*

**Resumo:** O semiárido potiguar com sua geografia privilegiada que proporciona radiação solar e altas temperaturas durante todo o ano, apresenta-se como um cenário adequado para a implementação de tecnologias sustentáveis como o secador solar. O equipamento estudado no presente trabalho opera com base na convecção natural e exposição direta ao sol, o que representa uma solução de baixo custo para a desidratação de alimentos, sendo particularmente benéfico para as comunidades rurais da região. Foram realizadas modificações, referentes a mobilidade e inclinação do plano de trabalho, em um protótipo de secador solar desenvolvido em Mossoró, Rio Grande do Norte (RN), e posteriormente foram realizados ensaios práticos utilizando alimentos comuns à comunidade local como por ex., batata doce, alho, pimentão, milho, feijão e macaxeira. Através da análise dos resultados pode-se concluir que as alterações realizadas no secador solar resultaram em avanços na sua mobilidade e desempenho operacional.

**Palavras-chave:** Portabilidade, Secagem de alimentos, Secador solar, Energia solar térmica.

## 1. INTRODUÇÃO

A posição geográfica brasileira garante uma abundante incidência de radiação solar durante todo o ano no país, tornando o aproveitamento da energia solar de suma importância na atualidade por ser uma fonte de energia limpa, renovável e que não prejudica o meio ambiente. Entretanto, para a devida utilização dessa forma de energia, faz-se necessário a implantação de tecnologias no ramo [1].

A região Nordeste do Brasil possui os melhores índices de radiação solar anual do país. E com isso, a utilização dessa energia torna-se uma alternativa ambientalmente adequada e sustentável para a aplicação de projetos de baixo custo, com a finalidade de auxiliar pequenos agricultores e famílias de baixa renda [2].

O setor da fruticultura é um dos mais relevantes para o agronegócio brasileiro, no qual o país ocupa o terceiro lugar como maior produtor mundial de frutas, ficando atrás somente da China e da Índia [3]. Contudo, a carência de infraestrutura apropriada, o manuseio inadequado e o armazenamento indevido desses alimentos geram uma grande problemática, como o desperdício [4].

Para tal problemática, o emprego da energia solar apresenta-se como uma solução eficaz na secagem de frutas, grãos, ervas e outros produtos alimentícios, bem como a utilização de secadores solares cuja principal finalidade é a redução/eliminação da umidade dos alimentos a partir da exposição solar. A desidratação prolonga a vida útil dos alimentos, visto que impede a proliferação de microrganismos, e com isso evitando a decomposição, além de manter suas propriedades nutricionais originais. Os produtos desidratados podem servir como matéria-prima para a fabricação de diversos alimentos, como por exemplo, massas, biscoitos, doces, farinhas entre outros. [5].

Posto isso, no presente trabalho será realizado um estudo a partir do secador solar de exposição direta, desenvolvido por [6], com o objetivo de aperfeiçoar a sua mobilidade e desempenho no processo de secagem de alimentos.

Este artigo está baseado em [7], que fez a pesquisa original no âmbito de um Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado em 2024, no curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semiárido.

## 2. SECADOR SOLAR

Os secadores solares são sistemas de energia solar ativa que captam a energia do sol, e a transformam em energia térmica, para fornecer calor ao alimento posto no secador [8]. Estes sistemas são classificados a partir do tipo de exposição ao sol, a saber, exposição direta, quando o alimento é posto diretamente sobre o coletor, de modo que a radiação solar incida diretamente sobre ele; e exposição indireta, quando se faz o uso de uma câmara que separa o material a ser seco do meio externo, e quanto ao regime de operação que pode ser por convecção natural (secagem passiva), onde o ar circula espontaneamente em seu interior; e convecção forçada (secagem ativa), no qual se faz o uso de ventiladores ou bombas para retirar a umidade do interior do secador. Existem também os secadores mistos ou híbridos, que fazem o uso dos dois tipos de exposição e regime de operação citados [8].

Comercialmente, pode-se encontrar tais equipamentos com valores distintos, a depender do tamanho e do processo de funcionamento, podendo variar de US\$78,32<sup>1</sup> a preços em torno de US\$2140,81<sup>2</sup>, valores cotados em setembro de 2024. Logo, torna-se atrativo disseminar o uso de secadores solares de baixo custo utilizando materiais recicláveis e de fácil confecção e uso.

## 2.1. SECADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO

A utilização de materiais de baixo custo permite o desenvolvimento de protótipos que visam a criação de comunidades sustentáveis, ações contra as mudanças climáticas, a saúde e bem estar da sociedade, e a redução de resíduos sólidos gerados a partir do consumo humano [9].

O secador solar de baixo custo surge como alternativa sustentável, podendo ser aplicada em comunidades rurais, por famílias de baixa renda e pequenos agricultores, com o objetivo de realizar a secagem de alimentos e proporcionar melhoria na qualidade de vida. O uso de tecnologias de baixo custo para a secagem de alimentos não só reduzem os impactos ambientais, como também os gastos com energia elétrica.

É importante destacar que, por definição, o alimento considerado seco é o resultado da remoção parcial de água do alimento através de métodos tecnológicos apropriados. Para a obtenção deste produto devem ser utilizadas frutas maduras, saudáveis e limpas. Os alimentos desidratados não podem conter substâncias estranhas em sua composição comum, exceto as previstas em norma e não devem apresentar fermentações. As características sensoriais dos produtos secos, quanto ao aspecto físico, podem ser inteiras ou em pedaços e devem apresentar as mesmas características (cor, cheiro e sabor) do produto antes da secagem. E por fim, com relação à umidade, eles devem ter, no máximo, 25% do teor de umidade (massa úmida) original [10].

O uso e substituição dos materiais utilizados em secadores solares convencionais por materiais de fácil acesso tem sido um desafio na busca pela redução dos custos de produção e implantação desse sistema, e com isso pesquisas sobre os materiais e métodos para este fim tem se tornado uma pauta relevante.

Atualmente, podem-se encontrar secadores solares de baixo custo fazendo o reaproveitamento de materiais que seriam comumente descartados, como restos de madeira, placas metálicas, calhas de alumínio, caixas de papelão, entre outros. Na região Nordeste do Brasil já foram desenvolvidos alguns protótipos de secador solar utilizando materiais alternativos, cada um com as suas particularidades, a fim de diminuir o desperdício de alimentos. A partir disso, a seção 2.2 mostrará algumas tecnologias desenvolvidas<sup>3</sup> e que seguem a mesma linha de pesquisa do presente trabalho.

## 2.2. TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS

Esta subseção irá tratar dos secadores solares alternativos já desenvolvidos, bem como detalhar esses trabalhos quanto aos seus objetivos, metodologia e análise dos resultados,

---

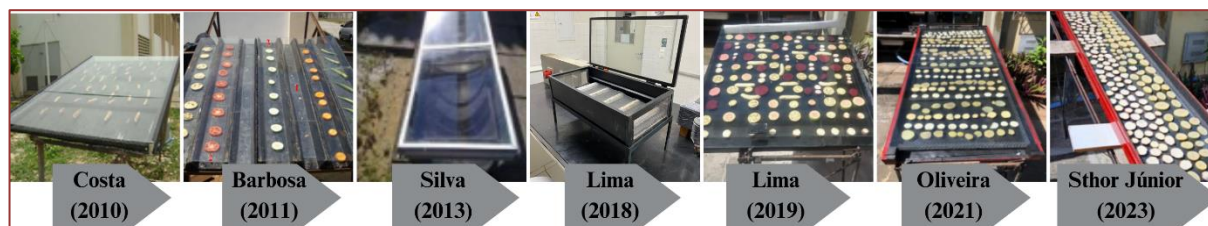
<sup>1</sup> Disponível em: Desidratador De Alimentos Frutas Ariete B-dry 5 Bandejas 110V | MercadoLivre

<sup>2</sup> Disponível em: Desidratador De Alimentos,16 Bandejas,Temporizador De 0-12 Horas | Amazon

<sup>3</sup> As tecnologias desenvolvidas são de exposição direta e possuem funcionamento a partir da convecção natural.

que foram tomados como base para o presente estudo. A Figura 1 ilustra os trabalhos a serem descritos nas subseções seguintes.

**Figura 1.** Trabalhos desenvolvidos no RN [7]



### 2.2.1. COSTA, 2010: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHA DE FRUTAS E VEGETAIS ATRAVÉS DO USO DE UM SISTEMA DE SECAGEM SOLAR DE BAIXO CUSTO

[11] apresentou um estudo a respeito de um sistema de secagem solar de baixo custo com o objetivo de promover a desidratação de frutas, visando massificar seu uso por comunidades carentes do estado do Rio Grande do Norte (RN). O secador foi desenvolvido e instalado nas dependências do Núcleo de Tecnologia Industrial da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). As principais frutas ensaiadas foram caju, manga e banana.

O secador proposto foi construído com materiais de baixo custo e recicláveis, como vidro, metal e madeira. Foi dada preferência por materiais recicláveis, tendo as seguintes dimensões 1,51m de comprimento, 1,0m de largura, 0,07m de altura. Para o ensaio foram utilizadas três amostras de cada produto disposto na entrada, meio e saída do secador e para cada amostra foi analisada a umidade inicial e final. O ensaio para o **caju** foi realizado em um tempo de 16 horas em uma amostra de 2273,5g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 84,7%, um percentual de massa úmida de 15,3% com uma massa final de 347,8g. A amostra de **manga** ensaiada apresentava uma massa inicial de 3423,9g, após 9 horas de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 84,4%, massa final de 534,1g e massa úmida de 15,6%. Após um total de 16 horas de exposição a **banana** apresentou uma perda mássica total de 86,6% e 13,4% de massa úmida, as massas inicial e final respectivamente 2078,4g e 277,7g.

### 2.2.2. BARBOSA, 2011: ESTUDO DA VIABILIDADE DE USO DE SECADORES SOLARES FABRICADOS COM SUCATAS DE LUMINÁRIAS

[12] desenvolveu em sua pesquisa um secador solar de baixo custo a partir de sucatas de luminárias com o objetivo de analisar a eficiência do processo de secagem do mesmo. O protótipo desenvolvido foi montado nas dependências do Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar (LMHES) da (UFRN).

Foram feitos testes de secagem de exposição direta em convecção natural para os alimentos: tomate, berinjela, cenoura, quiabo, goiaba e banana. O quiabo foi ensaiado inteiro e a banana cortada ao meio longitudinalmente e os demais alimentos foram cortados em fatias de 10mm. O ensaio para o **tomate** foi realizado em um tempo de 8h em uma amostra de 730,5g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 85,8%, um percentual de massa úmida de 20% com uma massa final de 103,9g. A amostra de

**berinjela** ensaiada apresentava uma massa inicial de 455,4g, após 8 horas de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 89%, massa final de 50,2g e massa úmida de 4,3%. Após um total de 9h de exposição a **cenoura** apresentou uma perda mássica total de 82,6% e 3% de massa úmida, as massas inicial e final respectivamente 287,7g e 50,5g. O ensaio para o **quiabo** foi realizado em um tempo de 9h em uma amostra de 152,7g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 83,4%, um percentual de massa úmida de 7,3% com uma massa final de 25,3g. A amostra de **goiaba** ensaiada apresentava uma massa inicial de 357,7 g, após 10 horas de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 77,7%, massa final de 79,9g e massa úmida de 8,6%. Após um total de 18h de exposição a **banana** apresentou uma perda mássica total de 63,5% e 9,2% de massa úmida, as massas inicial e final respectivamente 227,7g e 82,7g.

### 2.2.3. SILVA, 2013: ESTUDO DE UM SECADOR SOLAR FABRICADO A PARTIR DE SUCATA DE TAMBOR DE POLIETILENO

O estudo desenvolvido por [13] teve como objetivo construir um secador solar alternativo de exposição direta a partir da sucata de tambor de polietileno (200 litros) e demonstrar a sua eficiência no processo de secagem de diferentes alimentos (abacaxi, banana, mamão, manga e pimentão). O protótipo estudado foi montado nas dependências do LMHES da UFRN. Os ensaios ocorreram durante o mês de julho de 2013 com médias de temperatura e radiação de, respectivamente, 31,8°C e 793 W/m<sup>2</sup>.

Para cada ensaio foram selecionadas três amostras para controle de processo. A amostra 1 foi colocada próximo a entrada de ar do secador, a amostra 2 no meio e a 3, próximo a saída de ar do secador. O ensaio para o **abacaxi** foi realizado em um tempo de 17h em uma amostra de 3126g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 79,4%, um percentual de massa úmida de 7,6% com uma massa final de 642,8g. A amostra de **banana** ensaiada apresentava uma massa inicial de 2020,5 g, após 12 horas de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 64,3%, massa final de 707,5g e massa úmida de 15%. Após um total de 15h de exposição o **mamão** apresentou uma perda mássica total de 82,1% e 5,6% de massa úmida, as massas inicial e final respectivamente 3274,2g e 586,5g. O ensaio para a **manga** foi realizado em um tempo de 18h em uma amostra de 2547g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 76,1%, um percentual de massa úmida de 10% com uma massa final de 608,5g. A amostra de **pimentão** ensaiada apresentava uma massa inicial de 2020,5 g, após 10h de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 89,6%, massa final de 142,1g e massa úmida de 3,6%. O desempenho do secador solar desenvolvido por [13] para a secagem dos alimentos abacaxi, banana, mamão, manga e pimentão foi de, respectivamente, 92,3%, 84,4%, 94,3%, 88,5% e 96,3%.

### 2.2.4. LIMA, 2018: SECADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR: ANÁLISE DO DESEMPENHO

O trabalho desenvolvido por [14] teve como objetivo averiguar o desempenho de um secador solar de baixo custo a partir de melhorias realizadas no protótipo inicialmente desenvolvido por Pereira (2015) e posteriormente modificado por Góis (2016), como também foi analisado o desempenho secador considerando uma mudança na geometria do corte das frutas (maçã, banana e abacaxi). Desenvolvido em Mossoró/RN, o protótipo foi formado por aço 1020, tem dimensões de 65x31x15cm (comprimento, largura e



altura). Ele foi pintado de preto fosco. Possuía aberturas de 24x9cm com telas de aço galvanizado. A cobertura do secador foi feita de vidro de 4mm. A estrutura é inclinada em 4°. As alterações feitas por [14], incluem a pintura interna com tinta preta fosca, para aumentar a absorção de calor, e a adição de uma tela de *nylon* para suporte.

No experimento 1, o corte dos alimentos foi feito com um mandolin a fim de se obter uma fatia mais uniforme, o ensaio para a **maçã** foi realizado em um tempo de 5h em uma amostra de 102g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 84%, um percentual de massa úmida de 16% com uma massa final de 16g. A amostra de **abacaxi** ensaiado apresentava uma massa inicial de 105g, após 5h de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 77%, massa final de 24g e massa úmida de 23%. Após um total de 5h de exposição a **banana** apresentou uma perda mássica total de 69% e 31% de massa úmida, as massas inicial e final respectivamente 90g e 28g. No experimento 2, o fatiamento foi executado com o auxílio de uma faca, o ensaio para a **maçã** foi realizado em um tempo de 5h em uma amostra de 106g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 81%, um percentual de massa úmida de 19% com uma massa final de 20g. A amostra de **abacaxi** ensaiado apresentava uma massa inicial de 108g, após 5h de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 55%, massa final de 27g e massa úmida de 25%. Após um total de 5h de exposição a **banana** apresentou uma perda mássica total de 65% e 32% de massa úmida, as massas inicial e final respectivamente 90g e 29g.

### 2.2.5. LIMA, 2019: ESTUDO DE UM SECADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO PARA DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS

O objetivo da pesquisa desenvolvida por [15] foi demonstrar a viabilidade de utilização de um secador solar de baixo custo na desidratação de alimentos (banana, batata-doce, berinjela, beterraba, coco e goiaba). O equipamento foi montado nas dependências do LMHES da UFRN. O secador do estudo foi construído a partir de uma base de aço abandonada com 3mm de espessura, combinada com o uso de materiais de baixo custo e fácil acesso. Os ensaios ocorreram durante o mês de outubro de 2019 com médias de temperatura e radiação de, respectivamente, 30°C e 767 W/m<sup>2</sup>.

O ensaio para a **banana** foi realizado em um tempo de 12h em uma amostra de 256g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 55,8%, um percentual de massa úmida de 16,8% com uma massa final de 115g. A amostra de **batata doce** ensaiada apresentava uma massa inicial de 397g, após 12 horas de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 50,4%, massa final de 173g e massa úmida de 13,1%. Após um total de 8h de exposição à **berinjela** apresentou uma perda mássica total de 92,4% e 1,4% de massa úmida, as massas inicial e final respectivamente 383g e 29g. O ensaio para a **beterraba** foi realizado em um tempo de 10h em uma amostra de 256g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 44,9%, um percentual de massa úmida de 0,9% com uma massa final de 115g. A amostra de **coco** ensaiada apresentava uma massa inicial de 1000g, após 5h de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 30%, massa final de 700g e massa úmida de 13%. Após um total de 12h de exposição, a **goiaba** apresentou uma perda mássica total de 20,5% e 5,6% de massa úmida, as massas inicial e final respectivamente 408g e 84g. O desempenho do secador solar desenvolvido por [15] para a secagem dos alimentos banana, batata doce, berinjela, beterraba coco e goiaba foi de, respectivamente, 76,6%, 81,2%, 98,5%, 98,9%, 69,8%, 93,4%.

### 2.2.6. OLIVEIRA, 2021: UTILIZAÇÃO DE UM SECADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO PARA DESIDRATAÇÃO DE PESCADO, MACAXEIRA, BATATA DOCE E BATATA INGLESIA

[16] desenvolveu em sua pesquisa um secador solar de baixo custo, produzido em madeira, com o objetivo de analisar a eficiência do processo de secagem do mesmo. O protótipo desenvolvido foi montado nas dependências do Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar (LMHES) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Os ensaios ocorreram durante o mês de agosto de 2021 com médias de temperatura e radiação de, respectivamente, 31°C e 1059 W/m<sup>2</sup>.

Foram feitos testes de secagem de exposição direta em convecção natural para os alimentos: pescado, batata doce, batata inglesa e macaxeira. O ensaio para o **pescado** foi realizado em um tempo de 6h30min em uma amostra de 1481g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 56,6%, um percentual de massa úmida de 26,05% com uma massa final de 642g. A amostra de **batata doce** ensaiada apresentava uma massa inicial de 311g, após 4h30min de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 65,36%, massa final de 107,7g e massa úmida de 5,92%. Após um total de 4h30min de exposição a **batata inglesa** apresentou uma perda mássica total de 81,19% e 2,06% de massa úmida, as massas inicial e final respectivamente 462g e 86,9g. O ensaio para a **macaxeira** foi realizado em um tempo de 4h30min em uma amostra de 444g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 59,75%, um percentual de massa úmida de 3,32% com uma massa final de 178,7g. O desempenho do secador solar desenvolvido por [16] para a secagem dos alimentos pescado, batata doce, batata inglesa e macaxeira foi de, respectivamente, 73,95%, 94,08%, 97,94%, 96,68%.

### 2.2.7. STOHR JÚNIOR, 2023: FABRICAÇÃO E ANÁLISE DE UM SECADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO

O estudo desenvolvido por [17] teve como objetivo analisar a viabilidade e a eficiência do secador solar de exposição direta na secagem de batata inglesa e batata doce foi realizado nas dependências do LMHES da UFRN. Para a montagem do secador foram utilizadas duas prateleiras de estante metálica, de 92 cm de comprimento, 44 cm de largura e 3 cm de espessura. As duas placas unidas pela sua largura geraram um secador com 184 centímetros de comprimento e 44 cm de largura, com uma área de secagem de 88cm<sup>2</sup>. Os ensaios ocorreram durante o mês de novembro de 2023 com médias de temperatura e radiação de, respectivamente, 30°C e 1210 W/m<sup>2</sup>.

As fatias foram padronizadas com 8 gramas, tanto para a batata inglesa quanto para a batata doce. O ensaio para a **batata inglesa** foi realizado em um tempo de 5h30min em uma amostra de 659g, onde o alimento apresentou uma perda de massa total de 70,1%, um percentual de massa úmida de 7,39% com uma massa final de 197g. A amostra de **batata doce** ensaiada apresentava uma massa inicial de 634g, após 5h30min de ensaio o alimento apresentou uma perda mássica de 70%, massa final de 190g e massa úmida de 15,17%. O desempenho do secador solar desenvolvido por [17] para a secagem dos alimentos batata inglesa e batata doce foi de, respectivamente, 90% e 79%.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este artigo foi dividido em 5 etapas conforme ilustrado no fluxograma da Figura 2.

**Figura 2.** Fluxograma metodológico. [7]



A fim de cumprir com objetivo do trabalho, serão realizadas alterações referentes a mobilidade e inclinação do plano de trabalho em um sistema de secagem de alimentos utilizando materiais de baixo custo desenvolvido por [6]. Ademais será realizado uma análise de desempenho do secador solar para a desidratação de alimentos consumidos e cultivados pelas comunidades rurais do semiárido potiguar.

Com isso, os subtópicos da presente seção apresentarão os dados relacionados ao local de pesquisa; os procedimentos das modificações realizados no secador solar, seguindo as recomendações de [6] em seu trabalho; a seleção e padronização das amostras dos alimentos a serem ensaiados; os parâmetros e os instrumentos utilizados para a coleta de dados.

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DA CIDADE DE MOSSORÓ

O estudo foi realizado na cidade de Mossoró, localizado no estado do Rio Grande do Norte, ou seja, na região Nordeste do Brasil. A cidade de Mossoró não apresenta grandes alterações na quantidade de dias de sol ao longo de um ano, isso se deve à sua localização, ou seja, estar situada próxima à linha do Equador. Ademais, a cidade está localizada na mesorregião oeste do Estado (5°11' de latitude Sul e 37°20' de longitude Oeste), e ainda possui uma altitude média de 18 m com relação ao nível do mar e encontra-se a 280 km da capital potiguar [18].

O clima da cidade de Mossoró é seco, por estar localizada na região do semiárido, com altas temperaturas e estação chuvosa durante o verão e outono. Possui uma temperatura média anual de 27,4°C, chegando a atingir 21°C e 36°C, mínima e máxima, respectivamente, tendo o mês de julho sendo o mais frio e dezembro o mês mais quente. Quanto à velocidade média anual dos ventos e a precipitação média anual, essas são, respectivamente, 3,9 m/s e 772,2 mm [18]. Ainda possui uma radiação solar média anual de 5,8 kWh/m<sup>2</sup>dia [19].

Durante o primeiro semestre do ano em Mossoró ocorre a estação chuvosa que estende-se sobretudo entre os meses de fevereiro e maio obtendo-se os maiores índices de precipitação, à vista disso as temperaturas tendem a ser mais amenas durante o período chuvoso, variando entre 24°C e 30°C. A pesar das precipitações, a região ainda recebe uma quantidade significativa de radiação solar, porém com menor intensidade quando

comparado ao segundo semestre. O segundo semestre é marcado pela estação seca, com pouca ou nenhuma precipitação, e conseqüentemente pelo aumento das temperaturas, frequentemente ultrapassando os 30°C, com picos que podem chegar a 35° ou mais. A radiação solar também é mais intensa durante o período de seca, contribuindo então para elevadas taxas de evaporação. [20]

Finalizada a etapa de caracterização da cidade, onde foram realizados os ensaios do secador solar, vale evidenciar que a pesquisa foi desenvolvida na área externa do prédio de Laboratório de Energia da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), localizado no Campus Leste da UFERSA Mossoró/RN. A escolha do local da pesquisa levou em consideração o fato da Instituição possuir os equipamentos necessários para coletar os dados e realizar as observações *in loco*.

### 3.2. PROTÓTIPO E ESTUDO DESENVOLVIDO POR LUCENA (2024)

O sistema desenvolvido por [6]<sup>4</sup> possui 43cmx43cmx15cm (comprimento, largura e profundidade) de dimensão e foi confeccionado em madeira de pinho combinado com outros materiais de baixo custo. A parte superior do protótipo é composta por uma peça de vidro com 4mm de espessura para maximizar a troca de calor entre o meio externo e interno; o seu interior é pintado na cor preto fosco, a fim de aumentar a absorção da energia solar; foi utilizada uma tela de alumínio para acomodação dos alimentos; também foi utilizada uma tela de *nylon* nas entradas e saídas de ar para evitar a entrada indesejada de insetos; e, por fim, utilizou-se um suporte de madeira para apoiar o secador solar durante a realização dos ensaios, que também foi reaproveitada. A Figura 3 ilustra o protótipo desenvolvido por [6].

**Figura 3.** Protótipo desenvolvido por Lucena (2024). (Adaptado de [6])



Em seu estudo, [6] tinha entre seus objetivos validar a funcionalidade e usabilidade do protótipo em condições reais de uso para a secagem dos alimentos: abacaxi, banana e tomate. O fatiamento dos alimentos foi realizado com o auxílio de um mandolin (utensílio de cozinha de fácil acesso) a fim de se obter uma fatia fina e uniforme. A etapa de experimentação ocorreu no início do primeiro semestre do ano de 2024. Os resultados alcançados, apresentados na Tabela 1, foram obtidos por [6] tanto no início quanto ao final da experimentação dos alimentos mencionados.

<sup>4</sup> O secador solar desenvolvido por Lucena (2024) teve um custo total de R\$14,30, referente a compra da tela de alumínio, visto que os demais materiais foram reutilizados.

**Tabela 1.** Resultados obtidos por [6]. [7]

Hora	Massa (g)			Temperatura (°C)		Radiação (W/m <sup>2</sup> )
	Abacaxi	Banana	Tomate	Interna	Externa	
09:00	100	57	90	30,5	30,1	1051
12:00	23	10	12	39,7	31,4	1508

O tempo de secagem, massa inicial e massa final para os alimentos abacaxi, banana e tomate foi de, respectivamente, 3h00min, 100g e 23g, 3h00min, 57g e 10g, 3h00min, 90g e 12g. O teor de umidade final para os alimentos desidratados no Ensaio realizado por [6] foi de, 10,8%, 0% e 8,9% para o abacaxi, banana e tomate, por esta sequência. O desempenho do secador solar em estudo para a desidratação do abacaxi, banana e tomate foi de, respectivamente, 89,2%, 114,7% e 91,1%. A banana apresentou perda de massa úmida total.

### 3.2.1. MODIFICAÇÕES NO PROTÓTIPO ORIGINAL

Uma das modificações realizadas no protótipo original foi referente à mobilidade do mesmo. Assim como sugerido por [6] nas recomendações para futuros trabalhos, foram adicionadas duas alças de couro, com o intuito de melhorar a portabilidade do secador solar que teve um custo de R\$12,00<sup>5</sup>. O couro foi selecionado visto que é um material com alta durabilidade e comumente encontrado na região do semiárido potiguar. Outra modificação realizada refere-se à inclinação do plano de trabalho do secador, que originalmente era plano (0°), e após o ajuste ficou com uma inclinação de 10°. Tal inclinação permite uma maior absorção de energia solar no Rio Grande do Norte e foi realizada colocando-se uma peça de madeira com 7cm de altura na base do protótipo. As modificações estão ilustradas na Figura 4.

**Figura 4.** Modificações realizadas no protótipo original. [7]

Finalizadas as modificações, segue-se com a escolha e padronização dos alimentos para o processo de secagem.

<sup>5</sup> Totalizando um custo de R\$ 26,30 para a confecção do secador solar em estudo (valor gasto na confecção do protótipo original juntamente com a aquisição das alças).

### 3.3. ESCOLHA E PADRONIZAÇÃO DOS ALIMENTOS

Finalizadas as modificações, segue-se com a escolha e padronização dos alimentos para o processo de secagem.

#### 3.3.1. ALIMENTOS CONSUMIDOS E CULTIVADOS PELAS COMUNIDADES RURAIS DO RN

Para a realização da primeira etapa de experimentação do protótipo foram selecionados oito alimentos de fácil acesso e comumente produzidos e consumidos pela população residente em comunidades rurais, segundo a literatura consultada e consulta com os próprios residentes de ambientes rurais, a saber: batata doce, alho, pimentão, milho, feijão e macaxeira. Tais alimentos possuem considerável valor comercial<sup>6</sup> quando desidratados e comercializados em forma de *ships*.

Antes da realizar o fatiamento, os alimentos foram higienizados com uma solução de vinagre e água. Os alimentos batata doce, alho, pimentão e macaxeira foram fatiados com o auxílio de um mandolin (utensílio de cozinha de fácil acesso), a fim de se obter uma fatia com espessura fina e uniforme. Para o milho, foi utilizada uma faca comum para retirar os grãos da espiga (debulhar) visando facilitar o processo de secagem. Para o feijão, foram utilizados grãos frescos. Sequencialmente, padronizou-se amostras de 100g para cada alimento descrito, com o auxílio de uma balança digital de precisão. O teor de umidade contida em 100g de batata doce, alho, pimentão, milho, feijão e macaxeira é de, respectivamente, 69,5%, 67,5%, 93,5%, 63,5%, 87,5% e 61,8% [21].

#### 3.3.2. ALIMENTOS ENSAIADOS POR LUCENA (2024)

Na segunda etapa, com o objetivo de avaliar o desempenho do secador solar em função da angulação da superfície de exposição, conforme mencionado na seção 3.2.1, procedeu-se à realização de um ensaio utilizando os alimentos desidratados e descritos por [6] em sua pesquisa, a saber, abacaxi, banana e tomate. As massa inicial e teor de umidade presente nas amostras de abacaxi, banana e tomate é de, 100g e 86,3%, 57g e 71,9% e 90g e 95,1% [21]. É pertinente enfatizar que o experimento conduzido por [6] foi efetuado durante o primeiro semestre de 2024, período que, de acordo com literatura especializada<sup>7</sup>, corresponde à fase de maior incidência pluviométrica na região do semiárido Potiguar.

### 3.4. DESEMPENHO NO PROCESSO DE SECAGEM

O desempenho do processo de secagem pode ser avaliado através das massas do produto a ser seco. A Equação 1 apresenta os parâmetros necessários para essa determinação. A massa de água é calculada a partir do percentual de umidade de cada produto *in natura*.

<sup>6</sup> Foi verificado no comércio local que 100g de macaxeira desidratada custa em média R\$8,89.

<sup>7</sup> Esperava-se para o mês de janeiro um volume de chuvas de 67,2mm, entretanto houve um acúmulo de 41,7mm o que representa um desvio de -37,9%. Para o mesmo mês foram registrados 10 dias com chuvas. Referente ao mês de fevereiro, era esperado um volume de chuvas de 93,8mm, entretanto houve um acúmulo de 307mm o que representa um desvio de 227,2%. Para o mesmo mês foram registrados 18 dias chuvosos. [22].

$$\varepsilon = \left( \frac{m_i - m_f}{m_{\text{água}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:  $m_{\text{água}} = m_i \times U$

$\varepsilon$  – desempenho do processo de secagem em porcentagem;

$m_i$  – é a massa inicial do alimento (g);

$m_f$  – a massa final do alimento (g);

$m_{\text{água}}$  – é a massa de água inicial contida na amostra;

$U$  – teor de umidade da amostra (%).

Para que fosse possível identificar o horário mais eficiente para a secagem dos alimentos, foram realizadas medições da temperatura interna e externa do secador; da radiação solar e da massa das amostras de cada alimento ensaiado a cada uma hora. Os dados coletados e análises realizadas são detalhados nos subtópicos da seção 4. Para a realização das medições de temperatura e radiação solar global foram utilizados um termômetro digital, do fabricante KLX, modelo HTC-2, e um piranômetro, do fabricante Instrutherm, modelo MES-100, respectivamente. Também foi utilizada uma balança digital de precisão para realizar as medições da massa das amostras.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O processo de tratamento dos alimentos para o ensaio foi realizado conforme descrito na subseção 3.3.1. Nos Ensaio 1 e 2 foi realizado a secagem dos alimentos consumidos e cultivados pela população residente em comunidades rurais do semiárido potiguar. Posteriormente, o Ensaio 3 teve como objetivo analisar o desempenho do secador solar, inicialmente desenvolvido por [6], diante da alteração implementada na angulação da superfície de exposição ao sol citadas no tópico 3.2.1. Em todos os ensaios objetivou-se obter um alimento seco que, conforme [10], deve conter teor de umidade menor que 25% ao final do ensaio.

##### 4.1. ENSAIO 1 (BATATA DOCE, ALHO E PIMENTÃO)

No primeiro ensaio foi realizada a secagem dos alimentos: batata doce, alho e pimentão. Como é sabido, o secador solar em estudo é de pequeno porte e não comporta uma grande quantidade de alimentos. Logo, o pimentão foi ensaiado após a retirada da batata doce do secador. O ensaio teve duração total de 04h00min e foi realizado no dia 08 de julho de 2024 das 09h00min às 13h00min em condições climáticas favoráveis, caracterizadas por céu limpo e ventos estáveis. Os dados referentes às medições de massa antes e após a exposição solar, temperatura e radiação solar estão detalhados na Tabela 2. Na sequência, o Gráfico 1 mostra o comportamento da massa dos alimentos e as temperaturas interna e externa, durante o processo de secagem do Ensaio 1. Por fim, a Figura 5 ilustra o processo de secagem dos alimentos.

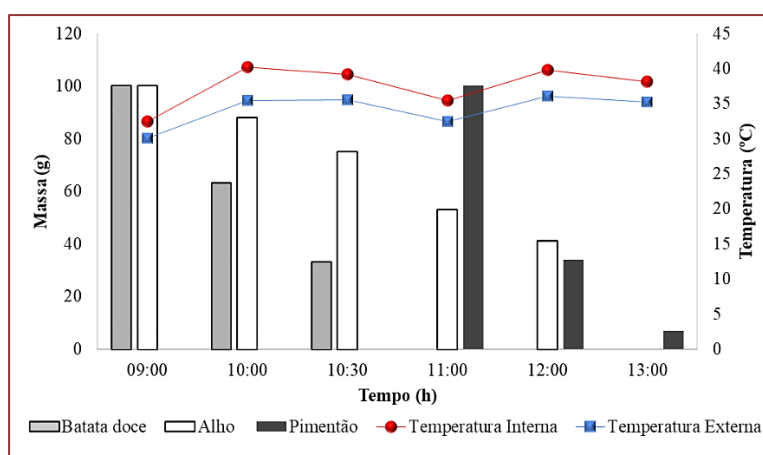


**Tabela 2.** Dados do primeiro ensaio. [7]

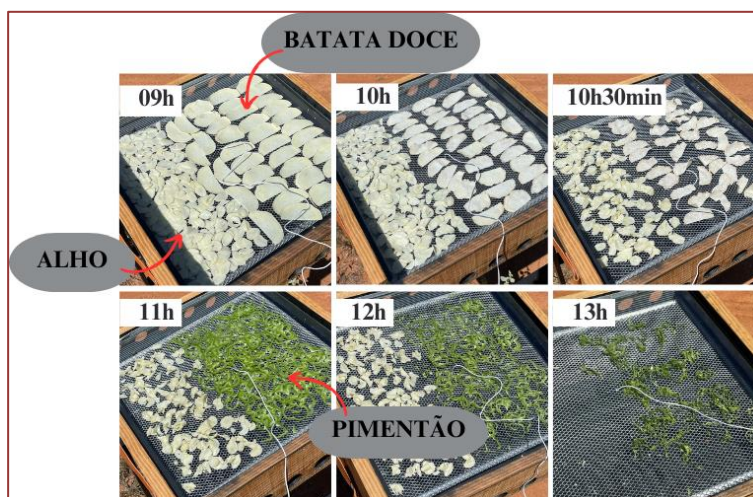
Data	Hora	Massa (g)			Temperatura (°C)		Radiação (W/m <sup>2</sup> )
		Batata doce	Alho	Pimentão	Interna	Externa	
08/07/2024	09:00	100	100	***	32,5	30,1	1237
08/07/2024	10:00	63	88	***	40,2	35,4	1290
08/07/2024	10:30*	33	75	***	39,2	35,6	1321
08/07/2024	11:00	**	53	100	35,5	32,5	1354
08/07/2024	12:00	**	41	34	39,8	36,1	1349
08/07/2024	13:00	**	**	7	38,1	32,5	1327

Nota: \*Foi verificado que a batata doce já havia atingido o percentual de massa úmida ideal. \*\*Não houve medição, pois já havia atingido o resultado esperado. \*\*\*Medição não iniciada.

**Gráfico 1.** Comportamento das massas e temperaturas, interna e externa, durante o ensaio 1. [7]



**Figura 5.** Ensaio 1 - Processo de secagem dos alimentos [7]

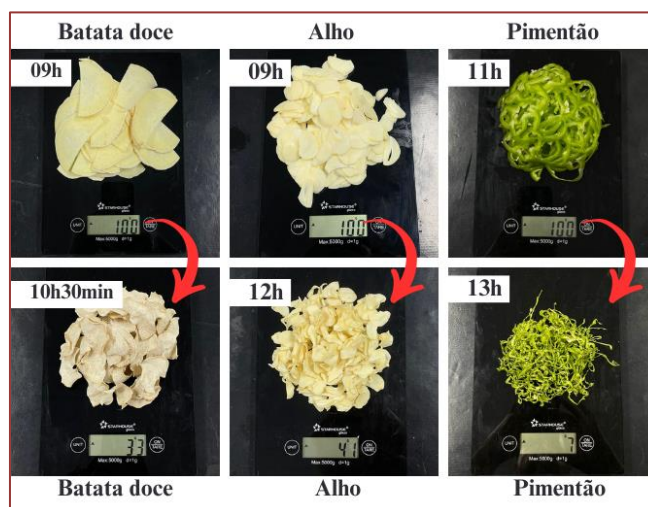


Conforme indicado pelo Gráfico 1, identifica-se que os períodos das 10h00min e das 12h00min representaram os picos de maior eficiência na secagem dos alimentos no decorrer do Ensaio 1. Tal eficácia é atribuída às temperaturas observadas nesses momentos específicos.

Como mencionado anteriormente, o alimento seco deve conter no máximo 25% do teor de umidade original. As massas iniciais para os alimentos ensaiados foram padronizadas em 100g conforme descrito na seção 3.3.1. O tempo de secagem e massa final para os alimentos batata doce, alho e pimentão foi de, respectivamente, 1h30min e 33g, 3h00min e 41g, 2h00min e 7g. O teor de umidade final em cada alimento foi, por esta sequência, 3,6%, 12,6% e 0,5% para a batata doce, alho e pimentão. O desempenho do secador solar em estudo para a desidratação da batata doce, alho e pimentão foi de, respectivamente, 96,4%, 87,4% e 99,5%.

Os resultados obtidos a partir do Ensaio 1 foram satisfatórios, visto que os alimentos ensaiados alcançaram um teor de umidade final menor que 25% conforme [10]. A Figura 6 mostra o comparativo entre as massas dos alimentos antes e após a secagem.

**Figura 6.** Massa dos alimentos antes e após o processo de secagem. [7]



#### 4.2. ENSAIO 2 (MILHO, FEIJÃO E MACAXEIRA)

No segundo ensaio foi realizada a secagem dos alimentos: milho, feijão e macaxeira. O ensaio teve duração total de 07h00min e foi realizado uma semana após a realização do ensaio 1, no caso, no dia 15 de julho de 2024, das 08h00min às 15h00min, em condições climáticas favoráveis, caracterizadas por céu limpo e ventos estáveis. Os dados referentes às medições de massa antes e após a exposição solar, temperatura e radiação solar estão detalhados na Tabela 3. Na sequência, o Gráfico 2 mostra o comportamento da massa dos alimentos e as temperaturas, interna e externa, durante o processo de secagem do Ensaio 2, seguido da Figura 7 que mostra os alimentos em processo de secagem.

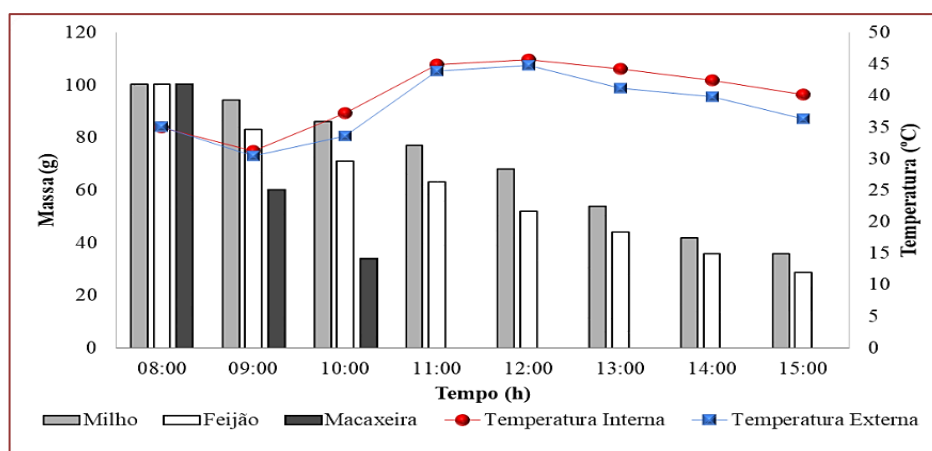


**Tabela 3.** Dados do segundo ensaio [7]

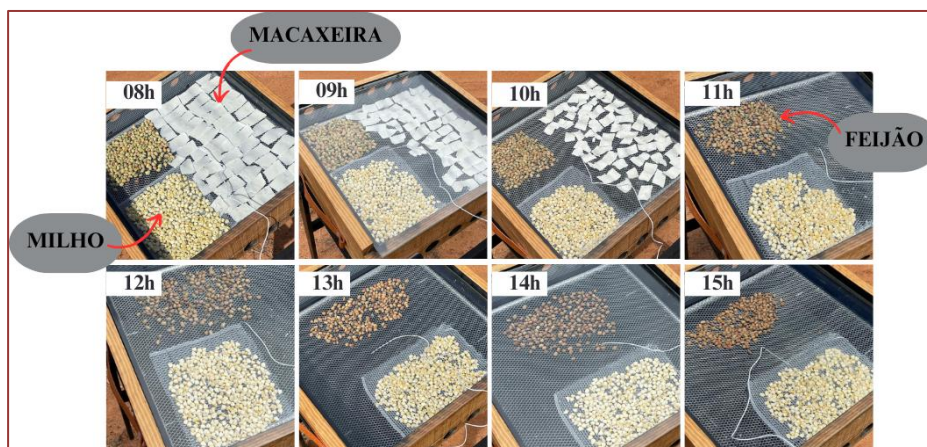
Data	Hora	Massa (g)			Temperatura (°C)		Radiação (W/m <sup>2</sup> )
		Milho	Feijão	Macaxeira	Interna	Externa	
15/07/2024	08:00	100	100	100	35	35,1	1319
15/07/2024	09:00	94	83	60	31,2	30,4	1345
15/07/2024	10:00	86	71	34	37,2	33,6	1555
15/07/2024	11:00	77	63	**	44,9	43,9	1525
15/07/2024	12:00	68	52	**	45,7	44,8	1468
15/07/2024	13:00	54	44	**	44,2	41,2	1463
15/07/2024	14:00	42	36	**	42,4	39,8	1259
15/07/2024	15:00	36	29	**	40,2	36,3	1248

Nota: \*\*Não houve medição, pois já havia atingido o resultado esperado.

**Gráfico 2.** Comportamento das massas e temperaturas, interna e externa, durante o Ensaio 2. [7]



**Figura 7.** Ensaio 2 - Processo de secagem dos alimentos. [7]



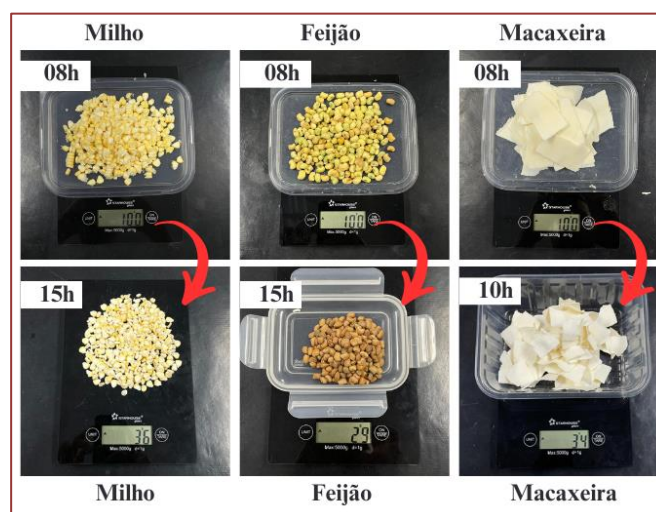
Conforme indicado pelo Gráfico 2, identifica-se que o período das 11h00min às 13h00min representaram o intervalo de maior eficiência na secagem dos alimentos no decorrer do Ensaio 2. Tal eficácia é atribuída às temperaturas observadas nesses

momentos específicos.

Como mencionado anteriormente, o alimento seco deve conter no máximo 25% do teor de umidade original. As massas iniciais para os alimentos ensaiados foram padronizadas em 100g conforme descrito na seção 3.3.1. O tempo de secagem e massa final para os alimentos milho, feijão e macaxeira foi de, respectivamente, 7h00min e 36g, 7h00min e 29g, 2h00min e 34g. O teor de umidade final em cada alimento foi, por esta sequência, 0%, 18,9% e 0% para o milho, feijão e macaxeira. O desempenho do secador solar em estudo para a desidratação do milho, feijão e macaxeira foi de, respectivamente, 100,79%, 81,14% e 106,8%. O milho e a macaxeira apresentaram perda de massa úmida total.

Os resultados obtidos a partir do Ensaio 2 foram satisfatórios, visto que os alimentos ensaiados alcançaram um teor de umidade final menor que 25% conforme [10]. A Figura 8 mostra o comparativo entre as massas dos alimentos antes e após a secagem.

**Figura 8.** Massa dos alimentos antes e após o processo de secagem. [7]



#### 4.3. ENSAIO 3 (ABACAXI, BANANA E TOMATE)

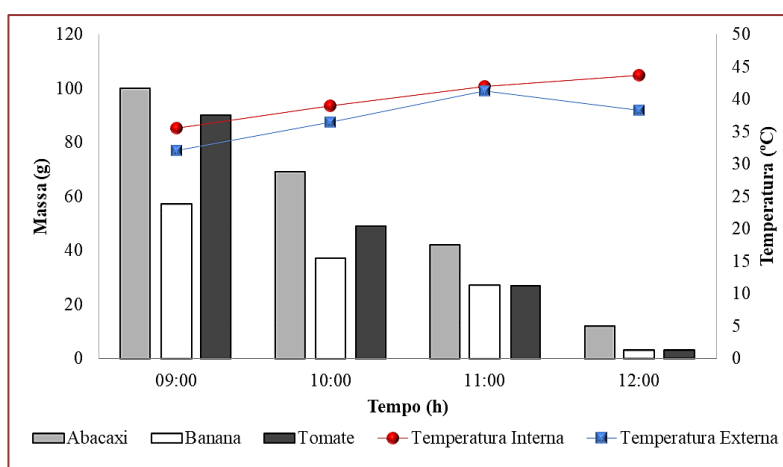
No terceiro ensaio, a fim de verificar o desempenho do secador solar em estudo após a inclinação do plano de trabalho citado no tópico 3.2.1, foi realizada a secagem dos alimentos, a saber, abacaxi, banana e tomate, conforme metodologia descrita por [6].

O ensaio teve duração total de 3h00min e foi realizado no dia 13 de setembro de 2024, das 9h00min às 12h00min, em condições climáticas favoráveis, caracterizadas por céu limpo e ventos estáveis. O processo de fatiamento dos alimentos, que incluiu espécimes de abacaxi, banana e tomate, foi conduzido com o emprego de mesmo equipamento para corte (mandolin) utilizado por [6], assegurando uniformidade metodológica. Os dados referentes às medições de massa durante o período de exposição ao sol, temperatura e radiação solar estão detalhados na Tabela 4. Na sequência, o Gráfico 3 mostra o comportamento da massa dos alimentos e as temperaturas, interna e externa, durante o processo de secagem do Ensaio 3, seguido da Figura 9 que mostra os alimentos em processo de secagem.

**Tabela 4.** Dados do terceiro ensaio [7]

Data	Hora	Massa (g)			Temperatura (°C)		Radiação (W/m <sup>2</sup> )
		Abacaxi	Banana	Tomate	Interna	Externa	
13/09/2024	09:00	100	57	90	35,5	32,1	1036
13/09/2024	10:00	69	37	49	39	36,5	1534
13/09/2024	11:00	42	27	16	41,9	41,43	1605
13/09/2024	12:00	12	3	3	43,7	38,3	1546

**Gráfico 3.** Comportamento das massas e temperaturas, interna e externa, durante o ensaio 2. [7]



**Figura 9.** Ensaio 3 - Processo de secagem dos alimentos. [7]



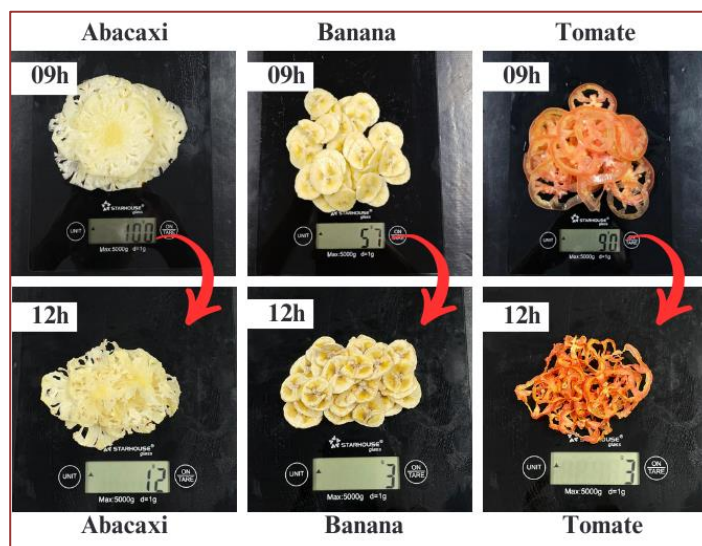
Conforme indicado pelo Gráfico 3, identifica-se que o período das 11h00min às 12h00min representaram o intervalo de maior eficiência na secagem dos alimentos no decorrer do Ensaio 3. Tal desempenho é atribuído às temperaturas observadas nesses momentos específicos.

Como mencionado anteriormente, o alimento seco deve conter no máximo 25% do teor de umidade original. O tempo de secagem, massa inicial e massa final para os alimentos abacaxi, banana e tomate foi de, respectivamente, 3h00min, 100g e 12g, 3h00min, 57g e 3g, 3h00min, 90g e 3g. O teor de umidade final, para os alimentos desidratados no Ensaio 3, abacaxi, banana e tomate, foi, por esta sequência, 0%, 0% e 0%, significando que obteve-se uma perda de massa úmida total. O desempenho do secador solar em estudo para a

desidratação do abacaxi, banana e tomate foi de, respectivamente, 101,97%, 131,18% e 101,95%.

Os resultados obtidos a partir do Ensaio 3 foram satisfatórios, visto que os alimentos ensaiados alcançaram um teor de umidade final menor que 25% conforme [10]. A Figura 9 mostra o comparativo entre as massas dos alimentos antes e após a secagem.

**Figura 10.** Massa dos alimentos antes e após o processo de secagem [7]



#### 4.3.1. ANÁLISE COMPARATIVA COM O TRABALHO DE LUCENA (2024)

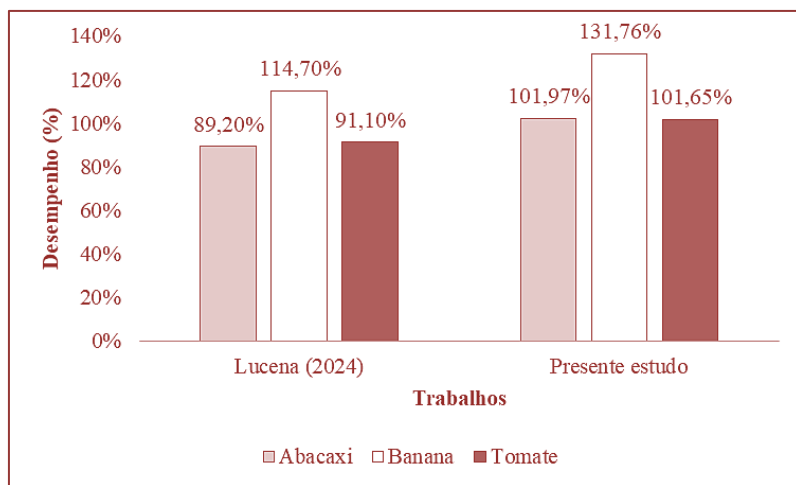
Dando continuidade à análise dos resultados, efetuou-se uma avaliação comparativa do desempenho do secador solar proposto por [6], anterior e posteriormente às alterações na inclinação do plano de trabalho, tal como descrito na seção 3.2.1. A Tabela 5 mostra os dados comparativos, destacando o desempenho do processo de secagem deste estudo em comparação com a pesquisa anterior de [6] e o Gráfico 4 mostra o comparativo do desempenho do secador solar anterior e posteriormente a modificação na inclinação do plano de trabalho.

**Tabela 5.** Desempenho do processo de secagem deste estudo em comparação com a pesquisa anterior de [6] [7]

Trabalhos	Resultados (Desempenho* do processo de secagem para 3h00min de ensaio)			Dados climáticos**		Observações
	Abacaxi	Banana	Tomate	Temperatura*** (°C)	Radiação*** (W/m <sup>2</sup> )	
Lucena (2024)	89,2%	114,7%	91,1%	30,1 – 31,4	1051 - 1508	O trabalho de [6] ocorreu no primeiro semestre do ano onde as temperaturas são mais amenas e a quantidade de dias com chuvas é maior. Contudo, houve pouca variação nos níveis de radiação solar medidos no início e ao final da experimentação.
Presente estudo	101,97%	131,76%	101,65%	32,1 – 38,3	1036 - 1546	

Nota: \*Desempenho do processo de secagem ( $\epsilon$ ). \*\*Referente ao período de experimentação de cada trabalho. \*\*\*Medições realizadas (início – fim) do ensaio.

**Gráfico 4.** Comparativo do desempenho do secador solar anterior e posteriormente a modificação na inclinação do plano de trabalho. [7]



A análise realizada demonstrou que após a alteração na inclinação do plano de trabalho o secador solar apresentou melhora no desempenho para a secagem de abacaxi, banana e tomate de, respectivamente, 12,77%, 17,06% e 10,55%. Estes resultados obtidos indicam uma melhoria considerável no desempenho do equipamento em decorrência da alteração na angulação do plano de trabalho de 0º para 10º como descrito na seção 3.2.1.

#### 4.4. DADOS DA SECAGEM DE CADA ALIMENTO DO PROTÓTIPO DESTA TRABALHO

A Tabela 6 mostra um resumo dos resultados obtidos e desempenho do secador para cada alimento ensaiado no mês de julho do ano de 2024.



**Tabela 6.** Resumo dos resultados obtidos e desempenho do secador solar analisado [7]

Alimento	$U_i$ (%)	$m_i$ (g)	$m_f$ (g)	$m_{perdida}$ (g)	$m_{úmida\ i}$ (g)	$m_{úmida\ f}$ (g)	$U_f$ (%)	$\varepsilon$ (%)	Tempo de secagem
Abacaxi	86,3	100*	12	88	86,3	0,0	0,0	101,97	3h
Alho	67,5	100	41	59	67,5	8,5	12,6	87,4	3h
Banana	71,9	57*	3	54	41,0	0,0	0,0	131,76	3h
Batata doce	69,5	100	33	67	69,5	2,5	3,6	96,4	1h30min
Feijão	87,5	100	29	71	87,5	16,5	18,9	81,14	7h
Macaxeira	61,8	100	34	66	61,8	0,0	0,0	106,8	2h
Milho	63,5	100	36	64	63,5	0,0	0,0	100,79	7h
Pimentão	93,5	100	7	93	93,5	0,5	0,5	99,5	2h
Tomate	95,1	90*	3	87	85,6	0,0	0,0	101,65	3h

Nota: \*Massa padronizada conforme descrito por [6] em seu estudo.

A partir dos dados apresentados na Tabela 6 pode-se observar que o teor de umidade final ( $U_f$ ) para os alimentos desidratados foi menor que 25%, o que significa que os produtos obtidos no final do processo são considerados secos conforme [10]. Tem-se então que a eficiência dos experimentos foi significativa, principalmente ao considerar que o secador é de fabricação caseira e possui uma pequena área de trabalho que opera em regime de convecção natural, o que significa baixa vazão de ar.

#### 4.5. COMPARAÇÃO COM OUTROS TRABALHOS DESENVOLVIDOS

Finalizando as análises, a título de comparação com trabalhos já desenvolvidos e ensaiados no estado do Rio Grande do Norte, mencionados na seção 2.2 deste trabalho, realizados no segundo semestre do respectivo ano de execução<sup>8</sup>, a Tabela 7 apresenta um resumo comparativo, destacando o desempenho superior do processo de secagem do presente estudo em relação aos protótipos supramencionados. O procedimento de corte dos alimentos, incluindo batata doce, pimentão e macaxeira, foi realizado utilizando-se o mesmo equipamento para corte (mandolin) empregado neste estudo, garantindo consistência metodológica.

**Tabela 7.** Resumo comparativo entre o presente estudo e os trabalhos já desenvolvidos no RN. [7]

Trabalhos desenvolvidos	Resultados (Desempenho* do processo de secagem)		
	Batata doce	Pimentão	Macaxeira
Silva (2013)	-	96,4% em 10h00min	-
Lima (2019)	81,2% em 12h00min	-	-
Oliveira (2021)	94,08% em 4h30min	-	96,68% em 4h30min
Stohr Júnior (2023)	79% em 5h30min	-	-
Presente estudo	96,4% em 1h30min	99,5% em 2h00min	107% em 2h00min

Nota: \*Análise feita a partir do desempenho ( $\varepsilon$ ).

<sup>8</sup> Os dados referentes a temperatura e radiação solar, durante os ensaios dos trabalhos já desenvolvidos, estão descritos nas seções 2.2.3, 2.2.5, 2.2.6, 2.2.7.

Em vista dos dados apresentados na Tabela 7 e considerando o contexto climático do segundo semestre no Estado do Rio Grande do Norte, caracterizado por temperaturas elevadas e baixa precipitação, é possível afirmar que o secador solar em questão não apenas superou os protótipos já desenvolvidos no RN, como também se beneficiou das condições ambientais favoráveis a secagem solar.

A uniformidade do corte dos alimentos, assegurada pelo uso do mandolin, contribuiu para a precisão dos ensaios, resultando em um melhor desempenho para o secador solar estudado. Os resultados obtidos reforçam o potencial do secador solar, destacando-se como uma solução viável e eficaz para a secagem e conservação de alimentos cultivados e consumidos pelas comunidades rurais na região do semiárido potiguar, com implicações significativas para a sustentabilidade e economia local.

Para o processo de desidratação do alho, milho e feijão, o protótipo estudado apresentou um desempenho relevante, pois o teor de umidade final estabeleceu-se abaixo de 25%, que conforme [10], é o mínimo para que o alimento seja considerado um alimento desidratado. O secador em estudo apresentou desempenho no processo de secagem do alho, milho e feijão de, respectivamente, 87,4%, 100,7% e 81,14%. Não foram encontrados, na literatura vigente, trabalhos que tratassem da secagem destes alimentos utilizando secadores solares de baixo custo.

## 5. CONCLUSÃO

O estudo realizado demonstrou que o secador solar de exposição direta analisado apresenta considerável desempenho na secagem de alimentos (batata doce, alho, pimentão, milho, feijão e macaxeira) consumidos e cultivados por pequenos produtores rurais do semiárido potiguar. Conforme mostrado, o protótipo é confeccionado em madeira e outros materiais de baixo custo, com construção e montagem simplificada e de fácil manuseio.

O aperfeiçoamento da mobilidade do secador permitiu sua fácil adaptação às necessidades locais. A modificação do ângulo de inclinação do secador solar resultou em um aumento na eficiência do equipamento otimizando não só o processo de secagem mas também contribuindo para a sustentabilidade operacional do sistema. Posto isso, a utilização do protótipo pelas comunidades rurais para a desidratação de alimentos é uma proposta significativa para mitigar o desperdício alimentar, além de gerar uma nova fonte de emprego e renda, fortalecendo a economia local.

Os alimentos desidratados no presente estudo possuem significativo valor de mercado o que permite aos pequenos produtores diversificar suas atividades entre a agricultura familiar e a indústria secundária, potencializando assim a geração de renda alternativa. Além de prolongar a vida útil dos alimentos, a desidratação oferece uma solução viável para os desafios do desperdício pós-colheita e logística, tanto no semiárido potiguar quanto globalmente. Os produtos desidratados desempenham um papel vital na nutrição e são insumos para a criação de itens alimentícios inovadores, contribuindo para o combate à subnutrição e abrindo portas para a produção de snacks e produtos granulados.

A análise de desempenho reforçou as vantagens do secador, cujas características de simplicidade e baixo custo de fabricação se alinham perfeitamente com os princípios de sustentabilidade e acessibilidade. O processo metodológico de desidratação a partir da exposição direta ao sol e convecção natural, provou ser eficiente, resultando em uma redução de massa úmida dos alimentos, quando comparados com outros trabalhos de



mesma natureza. Portanto, o secador solar estudado é uma ferramenta útil para o desenvolvimento sustentável das zonas rurais do semiárido potiguar, com potencial de replicação em outras regiões com desafios semelhantes.

Para trabalhos futuros, sugere-se estudar a usabilidade do secador para a produção de farinhas, como por exemplo, a farinha de mandioca, considerando que é um alimento em abundância na região do semiárido potiguar. Realizar métodos de pré-secagem distintos e analisar a influência dos mesmos na qualidade do produto final. Estudar o desempenho do secador solar do presente artigo na desidratação de proteínas como carnes, peixes e frutos do mar. Por fim, pode-se realizar ainda alterações no protótipo a fim de melhorar a sua portabilidade e desempenho.

## REFERÊNCIAS

- [1] BANDEIRA, F. P. M. **O aproveitamento da energia solar no Brasil – situação e perspectivas**. 2012. 14 f. Consulta Legislativa - Câmara dos Deputados, Brasília, DF.
- [2] TIBA, C. et al. **Atlas solarimétrico do Brasil – banco de dados terrestres**. 2000. 111 f. Universitária – UFPE, Recife, PE.
- [3] EMBRAPA. **Embrapa em números**. 2019. 140 f. Brasília, DF.
- [4] OLIVEIRA, E. A.; RIBEIRO, G. T.; SATURNO, T. R. **A produção e mercado frutífero brasileiro: problemas e soluções**. 2018. 12 f. Artigo – FATEC Baixada Santista, Santos, SP.
- [5] ALMEIDA, I. B.; LIMA, M. M. A.; SOUZA, L. G. M. **Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável**. 2016. 9 f. Artigo – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar, Natal, RN.
- [6] LUCENA, M. M. S. **Análise de desempenho de secador solar portátil de baixo custo**. 2024. 8 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, RN.
- [7] SILVA, I. P. X; VARELLA, F. K. O. M. **Aperfeiçoamento de secador solar portátil no semiárido potiguar**. 2024. 16 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2024.
- [8] BEZERRA, A.M. **Aplicações Térmicas da Energia Solar**. 2001. Editora Universitária - UFPB, João Pessoa, PB.
- [9] NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2024. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: [Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil](#). Acesso: 31, Junho 2024.
- [10] ANVISA, Resolução - CNNPA nº 12. 1978.
- [11] COSTA, J. B. S. **Obtenção e caracterização de farinha de frutas e vegetais através do uso de um sistema de secagem solar de baixo custo**. 2010. 72 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.
- [12] BARBOSA, J. R. P. **Estudo da viabilidade de uso de secadores solares fabricados com sucatas de luminárias**. 2011. 82 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.
- [13] SILVA, T. S. **Estudo de um secador solar fabricado a partir de sucata de tambor de polietileno**. 2013. 87 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.
- [14] LIMA, K. S. **Secador solar de baixo custo no semiárido potiguar: análise do desempenho**. 2018. 11 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró, RN.
- [15] LIMA, R. A. **Estudo de um secador solar de baixo custo para desidratação de alimentos**. 2019. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

- [16] OLIVEIRA, A. B. A. S. **Utilização de um secador solar de baixo custo para desidratação de pescado, macaxeira, batata doce e batata inglesa.** 2021. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.
- [17] STOHR JUNIOR, E. A. **Fabricação e análise de um secador solar de baixo custo.** 2023. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, natal, RN.
- [18] Leitão, M. M. V. B. R.; Moura, M. S. B.; Saldanha, T. R. F. C.; Espínola Sobrinho, J.; Oliveira, G. M. Balanço de radiação sobre um solo descoberto para quatro períodos do ano. **Revista de Ciência e Tecnologia da UNIMEP.** Santa Bárbara d'Oeste, v. 08, n. 15, 2000.
- [19] CRESESB. **Potencial energético. Potencial Solar - SunData v 3.0.** 2024. Disponível em: <<https://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 2 maio. 2024.
- [20] PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar.** 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>
- [21] TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos.** 4. ed. 2011. 164 f. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- [22] MORENO, E. Chuvas em Mossoró ficam 53% acima do esperado em 2024, aponta relatório. **De Fato.** Mossoró, RN.

# Capítulo 9

## *Controle de vibrações utilizando LMIs aplicado a uma viga flexível*

*Matheus Rincon Modesto Maroni*

*Edson Hideki Koroishi*

**Resumo:** O presente trabalho dedica-se ao estudo e implementação de controle ativo de vibrações aplicado a uma viga flexível engastada utilizando atuadores eletromagnéticos e controladores projetados através de LMIs. As etapas do trabalho foram divididas em montagem da estrutura, caracterização dos parâmetros físicos da estrutura através do problema inverso em conjunto com o Algoritmo Genético, modelagem matemática, projeto do controlador através de LMIs, simulação numérica realizada em ambiente virtual através do software MatLab/Simulink e validação experimental. O controle experimental apresentou resultados satisfatórios e comprovaram a validade da metodologia proposta.

**Palavras-chave:** controle ativo de vibrações, viga flexível, atuador eletromagnético, LMI.

## 1. INTRODUÇÃO

Os elementos estruturais desempenham um papel crucial no projeto e construção de máquinas, equipamentos, estruturas e sistemas mecânicos. Esses elementos são responsáveis por fornecer suporte, resistência e estabilidade, contribuindo para o funcionamento adequado dos equipamentos. Exemplos comuns incluem chassis de veículos, estruturas de suporte de equipamentos, estruturas de máquinas, caixas de engrenagens, eixos, vigas e longarinas (Dowling, 2018). Dentre esses elementos, as vigas têm uma importância significativa, pois garantem a resistência e a estabilidade dos sistemas mecânicos.

Um dos grandes problemas encontrados em vigas flexíveis refere-se à existência de elevados níveis de vibrações mecânicas, as quais, por sua vez, desempenham um papel crucial no projeto e análise de sistemas e estruturas na área da engenharia mecânica.

As vibrações mecânicas são caracterizadas por apresentar movimento oscilatório natural e estão presentes em estruturas e equipamentos. No entanto, quando um sistema exibe um alto nível de propagação de vibração, está sujeito a sérios problemas, como o comprometimento de sua eficiência e até mesmo colapso da estrutura (Santos, 2018). Diante destes problemas, foram desenvolvidas técnicas de controle de vibrações em estruturas.

Entre estas técnicas de controle, destaca-se o Controle Ativo, que é o método mais avançado para atenuação de vibrações, sendo composto por sensores, atuadores e um sistema de controle. O Controle Modal tem-se destacado no Controle Ativo, principalmente porque reduz consideravelmente o custo computacional necessário, visto que utiliza um modelo matemático reduzido que representa a estrutura. Este modelo reduzido descreve satisfatoriamente o comportamento dinâmico devido ao uso de um número limitado de modos que compõem seu modelo matemático (Koroishi, 2013).

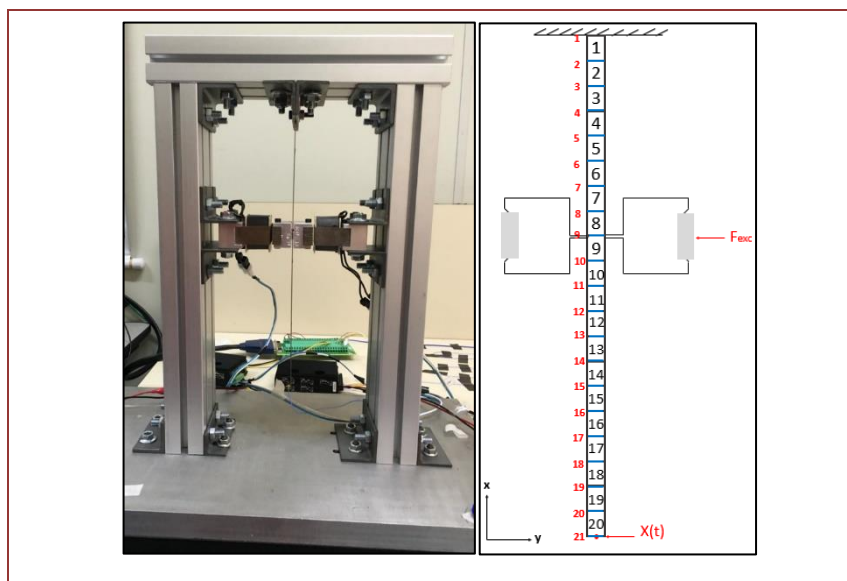
O presente trabalho foi desenvolvido para estudar técnicas de controle ativo de vibração, numericamente e experimentalmente, utilizando atuadores eletromagnéticos em um protótipo de viga flexível.

## 2. METODOLOGIA E MATERIAIS

### 2.1. VIGA FLEXÍVEL

Este trabalho dedicou-se ao controle ativo de vibração em uma viga flexível, apresentada na Figura 1 (a), utilizando atuadores eletromagnéticos e controladores projetados através de Desigualdades Matriciais Lineares (LMIs do inglês *Linear Matrix Inequalities*). A Figura 1 (b) apresenta o modelo esquemático da viga, cujas dimensões são 300 mm de comprimento, 26,5mm de largura e 1mm de espessura, e foi dividida em 20 elementos finitos com 15 mm de comprimento.

**Figura 1.** (a) Viga Flexível (b) Modelo esquemático



Fonte: Autoria própria.

Uma força impulsiva foi aplicada no nó 9 pelos próprios atuadores e um acelerômetro foi posicionado no nó 21. A viga possui uma massa pontual de 264,07 g no nó 9, que representam o par de “I” dos atuadores.

## 2.2. MODELO MATEMÁTICO

A Equação (1) representa a equação de movimento da viga flexível, em que  $[M]$ ,  $[K]$  e  $[C_a]$  representam as matrizes de massa, rigidez e amortecimento, as quais foram obtidas via o Método dos Elementos Finitos.  $\{x\}$  é o vetor deslocamento,  $\{F_{exc}(t)\}$  é a força aplicada a estrutura e  $\{F_{cont}(t)\}$  é a força devido os atuadores eletromagnéticos.

$$[M]\{\ddot{p}(t)\} + [C_a]\{\dot{p}(t)\} + [K]\{p(t)\} = \{F_{exc}(t)\} + \{F_{cont}(t)\} \quad (1)$$

As matrizes elementares utilizadas para a determinação das matrizes  $[M]$  e  $[K]$  são da forma:

$$[K_e] = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[M_e] = \frac{\rho SL}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22L & 54 & -13L \\ 22L & 4L^2 & 13L & -3L^2 \\ 54 & 13L & 156 & -22L \\ -13L & -3L^2 & -22L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

A matriz de amortecimento foi obtida considerando o amortecimento proporcional:

$$[C_a] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (4)$$

As matrizes  $[M_e]$  e  $[K_e]$  dependem apenas do módulo de elasticidade  $E$ , do momento de inércia  $I$ , da massa específica  $\rho$ , da seção transversal  $S$ , e do comprimento  $L$ , enquanto a matriz  $[C_a]$  depende ainda de  $\alpha$  e  $\beta$ , que são escalares reais, e correspondem as constantes de proporcionalidade de massa e rigidez, respectivamente. Os parâmetros  $S$  e  $L$  podem ser facilmente medidos com o auxílio de um paquímetro e o parâmetro  $I$  pode ser calculado. No entanto, os parâmetros  $E$ ,  $\rho$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  não podem ser calculados diretamente. Assim sendo, faz-se necessário o uso de métodos de otimização para aproximar os valores de tais parâmetros. Foi utilizado do Algoritmo Genético como meio de otimização.

Uma vez definido a equação de movimento, para transformá-la para o modelo em espaço de estados, de acordo com Ogata (2007), e considerando os estados  $\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} p \\ \dot{p} \end{Bmatrix}$ , obtém-se:

$$\begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & [I] \\ -[M]^{-1}[K] & -[M]^{-1}[C_a] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ [M]^{-1} \end{bmatrix} \{F_{exc}(t)\} + \begin{bmatrix} 0 \\ [M]^{-1} \end{bmatrix} \{F_{cont}(t)\} \quad (5)$$

$$\{y\} = [C] \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

A representação em espaço de estados pode ser simplificada considerando as equações (7) e (8), na qual  $[A]$  é a matriz dinâmica,  $[B_{exc}]$  é a matriz de entrada de excitação,  $[B_{cont}]$  é a matriz de entrada de controle,  $[C]$  é a matriz de saída, enquanto  $\{x(t)\}$  corresponde ao vetor de estados. A Equação (8) é a equação de saída.

$$\{\dot{x}(t)\} = [A]\{x(t)\} + [B_{exc}]\{F_{exc}(t)\} + [B_{cont}]\{F_{cont}(t)\} \quad (7)$$

$$\{y\} = [C]\{x\} \quad (8)$$

### 2.3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

Para a obtenção do modelo matemático, que é parte fundamental do estudo de sistemas dinâmicos, utilizou-se a metodologia do problema inverso, que consiste em aplicar uma entrada no sistema e medir sua saída, gerando assim sua Função Resposta em Frequência (FRF). A partir da FRF e utilizando o problema inverso, pode-se determinar os valores desconhecidos dos parâmetros do sistema.

Neste trabalho utilizou-se então o Algoritmo Genético (AG) como meio de otimização, visando minimizar a diferença entre a FRF experimental e a FRF numérica. O algoritmo genético é um método de busca baseados nos princípios da seleção natural e da genética (Fraser, 1957).

Os valores dos parâmetros identificados são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Parâmetros identificados do sistema

Parâmetros			
E (Pa)	$\rho(Kg/m^3)$	$\alpha$	$\beta$
$2,3971 \times 10^{12}$	$2,2442 \times 10^4$	0,2964	$2,9873 \times 10^{-5}$

Fonte: Autoria própria.

## 2.4. TÉCNICAS DE CONTROLE

As técnicas de controle utilizam dados de saídas de sistemas dinâmicos e utilizam controladores para tomar as decisões necessárias com esses dados, comparando as saídas com valores pré-definidos. Em seguida, o controlador envia os esforços de controle ao atuador, o qual agirá para corrigir o erro, a fim de melhorar o desempenho do sistema e obter uma saída satisfatória (Pinheiro, 2009).

Dentre as técnicas de controle, destaca-se o controle através de LMIs, a qual foi apresentada por (Aguirre, 2007) e é demonstrada a seguir. O problema inicia-se pela resolução da Equação (9):

$$\begin{aligned} [A]'P + A[P] &< 0 \\ [P] &> 0 \end{aligned} \quad (9)$$

sendo  $[P] = [P]'$ .

Para o projeto do controlador, considera-se a força de controle como sendo:

$$\{F_{cont}(t)\} = -[K_g]\{x(t)\} \quad (10)$$

Substituindo a Equação (10) na Equação (7), obtém-se a matriz de controlabilidade  $[A] - [B_{cont}][K_g]$ . Substituindo a matriz de controlabilidade na matriz  $[A]$  da Equação (9) e após manipulações matemáticas:

$$\begin{aligned} [A][X] - [B_{cont}][G] + [X][A]' - [G]'[B_{cont}]' &< 0 \\ [X] &> 0 \end{aligned} \quad (11)$$

sendo  $[X] = [X]'$ . Resolvendo a Equação (11), pode-se determinar o ganho do controlador, o qual é dado por  $[K_g] = [G][X]^{-1}$ .

Segundo (Aguirre, 2007), o projeto de um controlador robusto dá-se de maneira semelhante ao de um controlador LMI, diferenciando apenas que este possui incertezas politrópicas. Assim, de acordo com (Aguirre, 2007), as LMIs ficam do tipo:

$$\begin{aligned} [A_1][X] - [B_{cont}][G] + [A_1]'[X] - [G]'[B_{cont}]' &< 0 \\ [A_2][X] - [B_{cont}][G] + [A_2]'[X] - [G]'[B_{cont}]' &< 0 \\ &\vdots \\ [A_m][X] - [B_{cont}][G] + [A_m]'[X] - [G]'[B_{cont}]' &< 0 \\ [X] &> 0 \end{aligned} \quad (12)$$

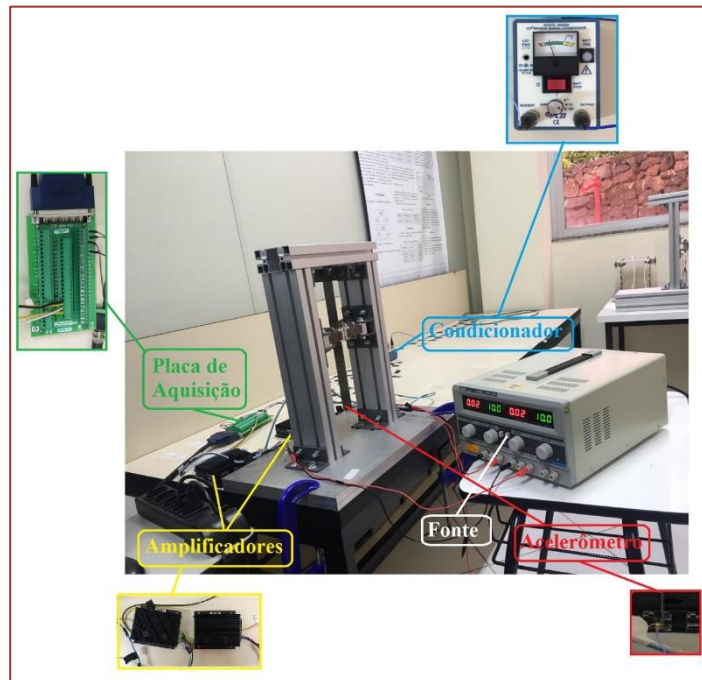
Para o desenvolvimento deste trabalho, as incertezas analisadas foram consideradas na matriz dinâmica  $[A]$  do sistema apresentado pela Equação (7), e os testes de robustez foram realizados no ensaio experimental, considerando variação de zero (0) até trinta (30) por cento para mais e para menos em torno dos parâmetros da matriz dinâmica  $[A]$ .



## 2.5. BANCADA EXPERIMENTAL

O controle experimental foi realizado em uma bancada de testes, e os equipamentos foram montados conforme apresentado pela Figura (2).

**Figura 2.** Bancada experimental



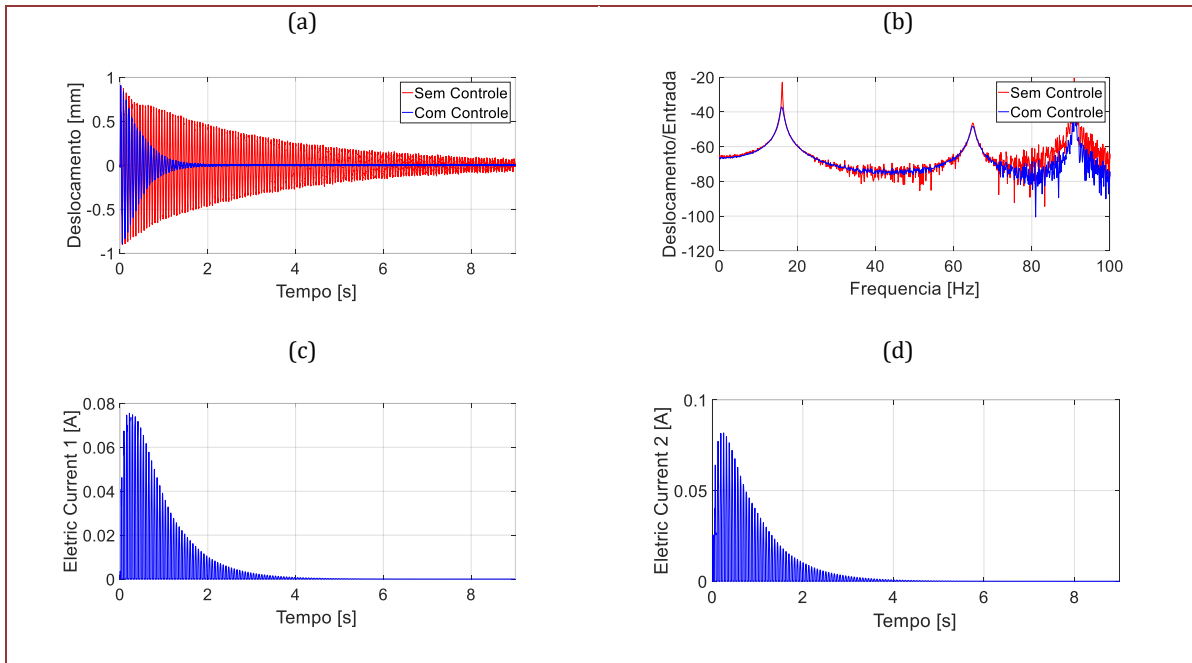
Fonte: Autoria própria.

A força de entrada aplicada pelos atuadores eletromagnéticos faz com que a viga apresente um sinal de deslocamento que é medido pelo acelerômetro. Então, este sinal é transmitido para um condicionador de sinal, a fim de melhorar a precisão dos valores medidos que são conduzidos para a placa de aquisição. A função dos amplificadores é converter o sinal de tensão de saída da placa em corrente elétrica que alimentará os atuadores.

## 3. RESULTADOS

Os resultados numéricos do controlador LMI são apresentados pela Figura (3).

**Figura 3.** Resultado numérico (a) Deslocamento (b) FRF (c) (d) Corrente Elétrica 1 e 2

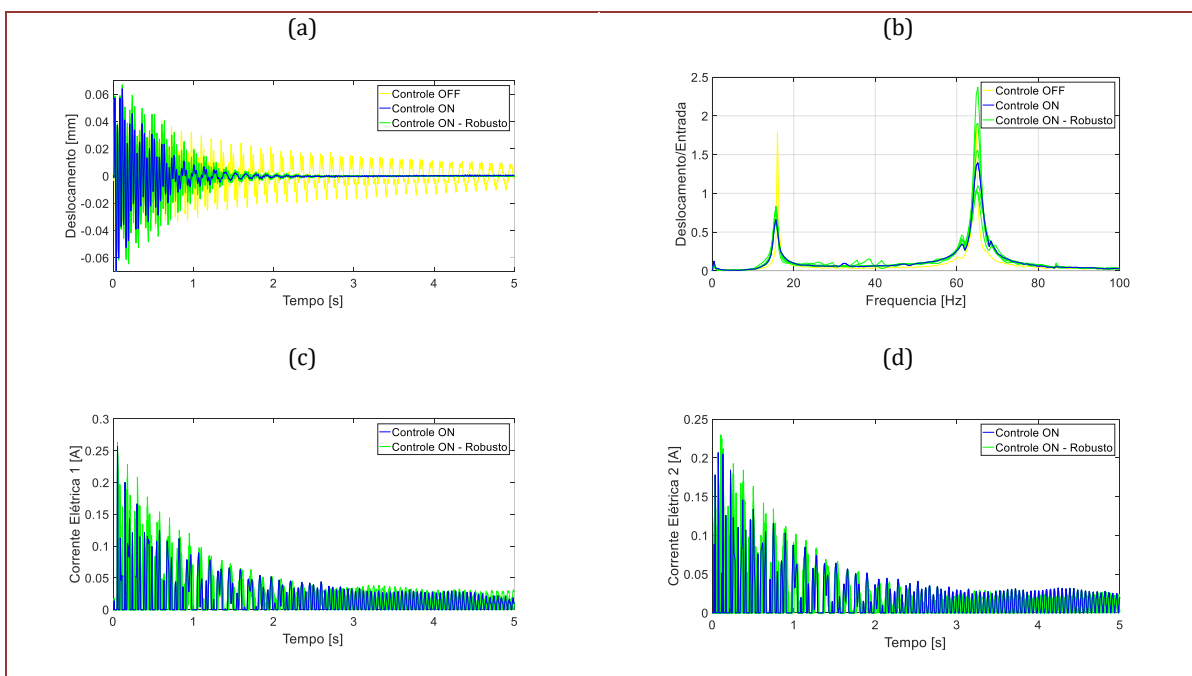


Fonte: Autoria própria.

O controlador LMI apresentou um ótimo desempenho numérico. Observa-se que apresentou um tempo de acomodação de cerca de 1,4s. e uma redução de 21,2 dB no primeiro modo e de 2,5 dB no segundo modo, enquanto o pico máximo de corrente elétrica foi de 0,082 A.

Os resultados experimentais são apresentados pela Figura (4).

**Figura 4.** Resultado experimental (a) Deslocamento (b) FRF (c) (d) Corrente Elétrica 1 e 2



Fonte: Autoria própria.

O controlador LMI apresentou um ótimo desempenho experimental. Conforme esperado, o desempenho do controlador diminuiu quando a estrutura é submetida a incertezas. O segundo modo apresentou amplitudes de deslocamento muito elevadas tanto no sistema padrão quanto no robusto. Entretanto, mesmo assim a resposta robusta foi muito boa comparada com a resposta padrão. A Tabela 2 apresenta os resultados experimentais do controlador LMI.

**Tabela 2 – Resultado Experimental**

Controlador	Análise	Tempo Ac. [s]	Redução FRF [dB]		Corr. 1 [A]	Corr. 2 [A]
			1º Modo	2º Modo		
LMI	Controle ON	1,1	1,13	0,5	0,256	0,2
	Controle ON - Robustez	1,5	0,95	-0,5	0,263	0,23

Fonte: Autoria própria.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento dinâmico de uma viga flexível e também avaliar a eficiência da aplicação de técnicas de controle ativo de vibrações utilizando atuadores eletromagnéticos projetados através de LMIs. De modo geral, pode-se concluir que a metodologia proposta e as ferramentas utilizadas apresentaram resultados satisfatórios, tornando possível sua utilização para melhorar o desempenho de controle ativo de vibrações em estruturas flexíveis.

#### REFERÊNCIAS

- [1] AGUIRRE, L. A. Enciclopédia de automática: controle e automação. 1. ed. São Paulo: *Blucher*, 2007.
- [2] DOWLING, Norman. Comportamento Mecânico dos Materiais. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2017. E-book. p.i. ISBN 9788595153493. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595153493/>. Acesso em: 08 out. 2024.
- [3] FRASER, A.S. Simulation of Genetic Systems by Automatic Digital Computers. *Australian Journal of Biological Sciences* 10, 1957.
- [4] KOROISHI, E. H. Controle de Vibrações em Máquinas Rotativas utilizando Atuadores Eletromagnéticos, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2013.
- [5] OGATA, K., 2003, Engenharia de Controle Moderno, Prentice-Hall do Brasil, São Paulo, Brasil.
- [6] PINHEIRO, B., Sistema de controle tempo real embarcado para automação de manobra de estacionamento. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- [7] SANTOS, W. F; Silva, C. A. X.; REPINALDO, J. P. ; KOROISHI, E. H. Controle ativo de vibrações em uma viga flexível utilizando desigualdades matriciais lineares. In: VII Simpósio Paranaense de Engenharia Mecânica - SIPEM 2018. 2018, Cornélio Procópio.

# Capítulo 10

## *A brief review of multicomponent alloys*

*Raphael Basilio Pires Nonato*

*Thomaz Augusto Guisard Restivo*

*José Carlos Machado Junior*

**Abstract:** The requirement for materials with improved relation mechanical properties/cost becomes increasingly evident. In the branch of metallic materials, an exemplary category is metal alloys. The current thresholds from the conventional alloys boosted the development of the so-called multicomponent alloys, which is a vast research area to be explored, with promising results. Therefore, this paper presents a brief review of multicomponent metal alloys, including their historical, and recent advances and trends. An introduction to the state of the art of multicomponent metal alloys is made, highlighting the comparison with conventional metal alloys. The subsequent sections present the brand new progress in this research field, the combinations of elements, and the dependence relation between the manufacturing routes and the mechanical properties. The penultimate section addresses a discussion about opportunities and trends in this vast and yet unexplored research field. The last section reports some conclusions about this research.

**Keywords:** Multicomponent metal alloys, Metal alloy design, Conventional metal alloys.

## 1. INTRODUCTION

The challenging solutions required throughout the ages justify an increasing demand for new materials. Recent research has shown that mechanical properties and cost are notably the main drivers of materials design. Given this, the alloying elements involved, their molar fraction, and their processing route impact the microstructure, which affects the mechanical properties. In the branch of metals, they are constituted of one or more metallic elements and/or non-metallic elements. Therefore, they can be divided into two main categories: (a) pure metals (with only one metallic element); and (b) metal alloys (with at least one metallic element, being a blend of two or more elements). Given the limitations of pure metals in terms of mechanical properties, metal alloys have broken this paradigm by enlarging current properties limits. In other words, the mechanical properties of pure metals can be enhanced by forming alloys with other metals or non-metallic elements (Razuan *et al.*, 2013). The designation of conventional alloys refers to a maximum of two alloying elements (Shun *et al.*, 2012).

In the universe of conventional alloys, the base metal generally dictates the main properties while having some modified features. In a complementary view, a wide variety of combinations of alloying elements can be effectively promoted to enhance the alloy properties, such as ductility, hardness, fracture toughness, density, and thermal stability, among others. Although the information about conventional alloys is relatively more available, the limitations in properties restrict their application to a certain range.

Wider ranges of properties were only reached when the paradigm changed to the so-called multicomponent alloys. The multicomponent alloys correspond to three or more main alloying elements. Thenceforth, this solution allowed the improvement of performance in current applications and the arising of new ones. Some multicomponent alloys may form intermetallic compounds, metallic glasses, solid solutions, or elemental phases. These scenarios can be predicted through calculation/simulation to avoid unnecessary expenditure with experiments. The distinction in what refers to the configurational entropy addresses: (a) low-entropy alloys (LEAs); (b) medium-entropy alloys (MEAs); and (c) high-entropy alloys (HEAs). Let  $R$  be the universal gas constant ( $R = 8.314 \text{ J / mol K}$ ). Low-entropy category corresponds to a configurational entropy lower than  $0.69 R$ ; the second one addresses a configurational entropy between  $0.69 R$  and  $1.61 R$ ; the latter one corresponds to a configurational entropy higher than  $1.61 R$ .

Among the three categories, HEAs is the most explored category due to the possibility in terms of the combination of elements, and, therefore, properties. HEAs' design needs at least five main elements (each molar fraction ranges from 5 to 35%) up to 13 main elements, besides other minor elements in molar fractions lower than 5%. HEAs' denomination refers to their high entropic effects in the solidification process, thus tending to promote random solid solutions, which benefits manufacturing and application.

In the branch of alloy design, four of them stand out: (a) molecular dynamics (MD) simulations (Gao; Alman, 2013) (Xie *et al.*, 2013); (b) calculation phase diagrams (Calphad) (Zhang *et al.*, 2012) (Zhang *et al.*, 2014); (c) machine learning, which is a technique to extrapolate the design space (Butler *et al.*, 2018), and (d) parametric approach, which applies a set of parameters and criteria (Tazuddin *et al.*, 2016) (Tazuddin *et al.*, 2017).

The former approach addresses the predicted properties of the simulated alloys from specific tools. The boundary conditions, pressure, temperature, initial velocities, and

positions of each atom are defined by an MD box (Zhou; Liu, 2022). The path of each atom is governed by Newton's equations of motion when the system reaches thermal equilibrium. The accuracy of the simulated atom trajectory benefits the prediction of nucleation and defects in the lattice (Car *et al.*, 2005). Moreover, distinct boundary conditions can be imposed on deformation mechanisms, and the establishment of the relationship between the stacking fault energy and the deformation mechanisms. Although MD simulations address a high computational cost, their prediction accuracy may compensate for the time spent.

Calphad, the second approach, corresponds to phase diagrams of alloys in thermal equilibrium that define the phase transformations based on composition, temperature, and pressure (LI *et al.*, 2020). These diagrams are the main source in studying crystal formation and solidification, where the main principle relies on the minimization of the total Gibbs free energy. Calphad is based on binary and ternary combinations of thermodynamic data, which may not be available for some pairs and triplets. Given this, one of the cons is the requirement for large design spaces with an eventual lack of a thermodynamic database.

Machine learning, the third approach, allows simulations of possible solutions in the alloy design space through statistical techniques. Phases and/or properties can be predicted through artificial neural networks, support vector machines, and decision trees, among others (Yang *et al.*, 2022). In ML, the quality of input data determines the prediction accuracy. The greater the number of variables the greater the accuracy, and so does the computational cost. ML can be feasible or more efficient, for example, if variables with high correlation coefficients are discarded.

The latter approach, parametric, addresses the calculation of parameters and criteria that distinguish solid solution formation from multiphase structure (Nonato, R. B. P.; Restivo, T. A. G., 2022) (Nonato, R. B. P.; Restivo, T. A. G., 2023). The quantum physical laws are the base of the parameters already reported. Each reported research applies a distinct set of parameters according to the proposed objectives. Moreover, each combination of elements may result in a specific prediction according to the alloy being designed. Given the relative difficulty in the selection of the most adequate set of parameters and criteria for a specific situation, often the most reported are applied. The high capacity of prediction is associated with unnecessary experimental data (Ikeda *et al.*, 2019). However, as the main disadvantage, to scan the large alloy design space a high computational capacity is demanded.

## 2. STATE OF THE ART ON MULTICOMPONENT ALLOYS

Several multicomponent alloys may be applied even without post-processing, i.e. in the as-cast condition, which represents an advantage in terms of time and cost. As an example, the as-cast eutectic multicomponent alloy  $\text{Ni}_{30}\text{Co}_{30}\text{Cr}_{10}\text{Fe}_{10}\text{Al}_{18}\text{W}_2$  (at%) with a tensile strength of 1266.5 MPa and elongation of 20.3% was obtained in two ingots, which were obtained via raw powder with purity of 99.95% via vacuum arc melting (getter Ti with Ar atmosphere). The alloy was remelted four times in a water-cooled copper mold (Wu *et al.*, 2019). The advantage of obtaining eutectic multicomponent alloys relies on lower melting points and narrower solidification intervals.

As an example of a single-phase multicomponent alloy,  $\text{Pt}_2\text{AuCuNiSn}$  was obtained by solid-state reaction at low temperatures. An agate mortar was applied in the



homogenization of the powders, and the product was obtained as 4 mm diameter-pressed flat pellets. Before sealing the silica glass tubes, Ar was used to flush the pellets three times (Winkler *et al.*, 2021).

Hard multicomponent alloys are also part of the scope of research when wear is the main issue. An example of hardness as a design objective refers to WC-5TiC-10Co, where the mechanical synthesis of W and Ti carbides was performed in a sealed pot ball milling, resulting in a hard metal alloy obtained via mechanochemical and spark plasma sintering (SPS). A 1484 HV-alloy was obtained, besides a bending strength limit of up to 1924 MPa, full densification, and a relatively fast process (13 minutes) (Buravlev *et al.*, 2021).

Substitutions of elements yet in the alloy design stage are implemented, resulting in cheaper commercially available products, as in (Da Silva *et al.*, 2021). To substitute WC-Co, SPS ultrafine WC-6.4Fe3.6Ni alloy was produced. The increased sintering temperature enhanced the microstructure, and therefore hardness, yielding a lower fracture toughness. A high-energy milling machine was applied to increase the homogeneity and the sinterability to obtain 99.8% densification in the posterior sintering. The high value of densification was explained by the wettability of milled Fe-Ni binder during heating in the SPS. Lowering the binder-free path resulted in a decrease in fracture toughness.

Metal alloys with high yield strength were obtained through a novel strategy: multi-strength mechanisms were applied to design a multicomponent alloy ( $\text{Co}_{21}\text{Cr}_{11}\text{Fe}_{49}\text{Mn}_4\text{Ni}_4\text{V}_2\text{C}_1\text{Mo}_3\text{Si}_5$ ). The mechanisms encompass: (a) the addition of V and Mo; (b) nanoscale precipitation hardening; (c) grain refinement; and (d) induced martensite transformation. Calphad was the selected design approach, and the as-cast ingots were fabricated by vacuum induction melting with elements with a purity of 99.9%. Thus, the homogenization of these ingots was conducted at 1200°C in Ar atmosphere for 24 hours and subsequently water quenched. Posteriorly, they were cold rolled at room temperature, annealed, and water quenched another time (Do *et al.*, 2022).

Magnetic characteristics and properties are of main concern in the study of multicomponent alloys when they are required to participate in a magnetic field, for example. FeCoNiMnV multicomponent alloy had its behavior investigated in what refers to phase formation as the milling time varies. After 48 hours of powder milling, the magnetic properties were measured, in which FCC and BCC phases coexist. Therefore, the multicomponent alloys were classified as semi-hard magnetic (Alijani *et al.*, 2019).

A parametric study was reported for amorphous multicomponent alloys as a function of two updates: (a) atomic radius modification; and (b) crystalline structure of alloying elements. The so-called conventional parametric approach does not allow the accounting of small compositional changes, a small number of available data points, and kinetic effects. For example, in the case of 92TiZrHfM, TiZrHfMM, and TiZrHfMMM (M=Fe, Cr, Ni, V, Nb, Al, Ag, Cu), obtained via melt spinning, the atomic radii modification approach revealed to be more accurate in predicting the formation of amorphous and crystalline alloys than the conventional parametric one. Moreover, the crystal structures of the alloying elements have a high influence on the amorphous phase formation (HU *et al.*, 2017).

Most of the hardest metal alloys ever fabricated are amorphous and brittle, conditions that diminish their possibilities of application. On the contrary, metallic diamonds (MDs), whose design concept is based on lattice occupation, have a BCC structure most of the time. MD's design structure admits up to nine different alloying elements. Given this, the atomic radii difference between the alloying elements may promote severe deformed



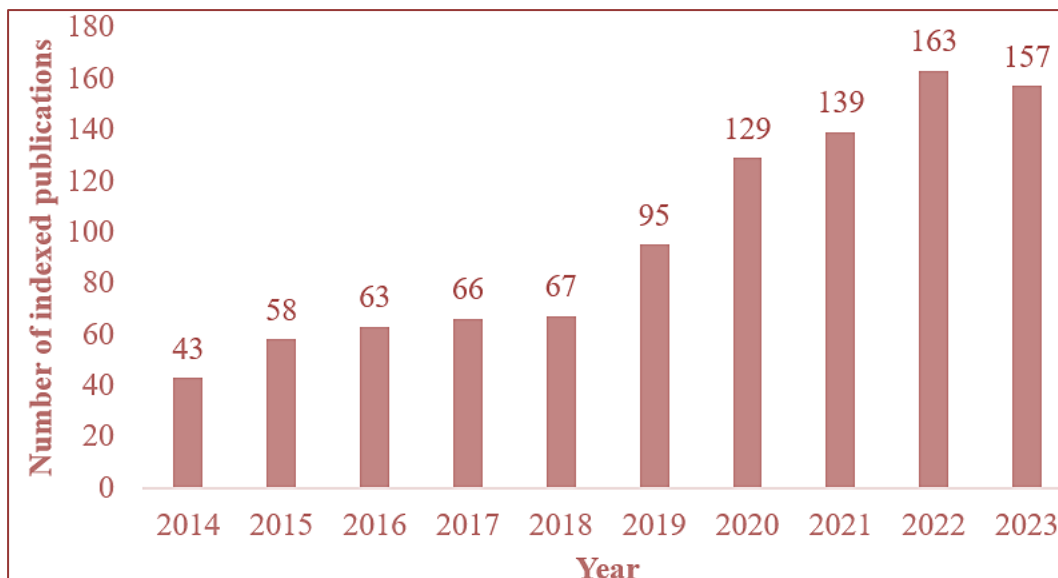
atomic configurations, changing the symmetry of the unit cell, which may be hardened via solid solution. Thenceforth, even in preliminary research, MDs show as-cast hardnesses ranging from 850-1420 HV. In the carburized state, the reported hardnesses range from 1247 to 2507 HV (Restivo, T. A. G.; Restivo, G. M. G., 2021) (Restivo *et al.*, 2023). Therefore, MDs are the hardest metal alloys ever discovered. Other distinguishable hard metal alloys refer to: (a) Fe<sub>49.7</sub>Cr<sub>17.7</sub>Mn<sub>1.9</sub>Mo<sub>7.4</sub>W<sub>1.6</sub>B<sub>15.2</sub>C<sub>3.8</sub>Si<sub>2.4</sub> (1660 HV) (Gutierrez-Noda *et al.*, 2019); (b) AlCrMnMoNiZrB<sub>0.1</sub> (1330 HV) (Ren *et al.*, 2011); (c) WC-5TiC-10Co (1484 HV) (Buravlev *et al.*, 2021); and (d) WB<sub>4</sub>, ReB<sub>2</sub>, YB<sub>12</sub>, and ZrB<sub>12</sub> (2447 HV) (Dovale-Farelo *et al.*, 2021). As in the case of hardness, in the context of multicomponent alloys, new thresholds yet undiscovered may now be achieved via specific design and manufacturing methods.

### 3. DISCUSSION

This section reports possible trends and opportunities in the field of multicomponent metal alloys from the bibliometric research conducted and analysis of the collected data behavior.

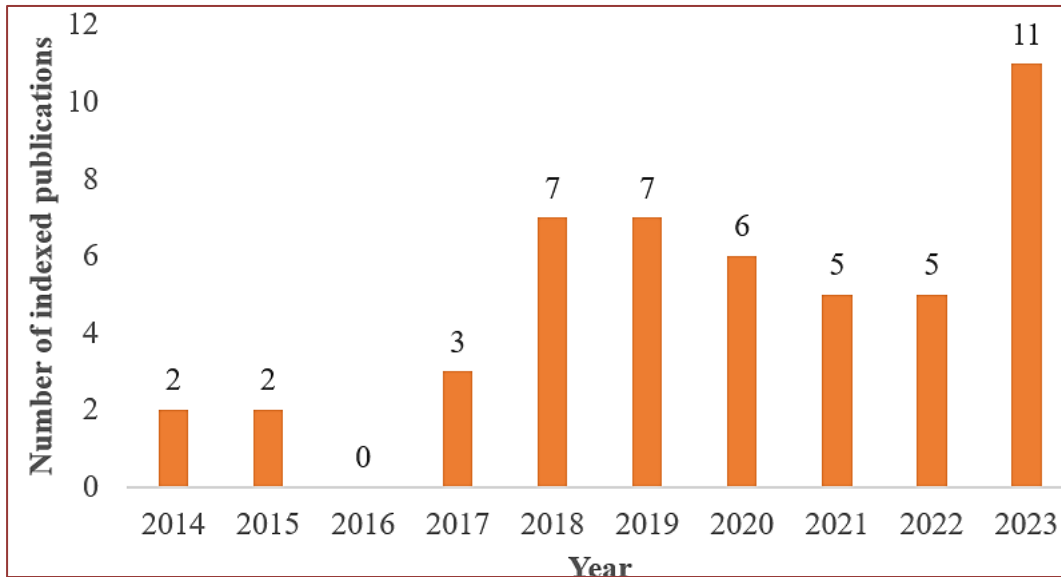
To check the relevance of the research words and capture eventual research gaps and contribution opportunities, the following bibliometric research was conducted, which yielded the next eight figures (Figs. 1 to 8). All plots encompass the ten years from 2014 to 2023 and correspond to the number of indexed publications in related to the search word in CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, 2024) information repository. “multicomponent metal alloy”, “hard multicomponent metal alloy”, “multicomponent metal alloy manufacturing”, “equiatomic multicomponent metal alloy”, “low-entropy alloy”, “medium-entropy alloy”, “high-entropy alloy”, and “multicomponent metal alloy coating” were the searched words, which are presented in Figura. 1, Figura. 2, Figura. 3, Figura. 4, Figura. 5, Figura. 6, Figura. 7, and Figura. 8, respectively.

**Figure 1:** Number of indexed publications containing “multicomponent metal alloy (MCMA)” in the abstract or title fields



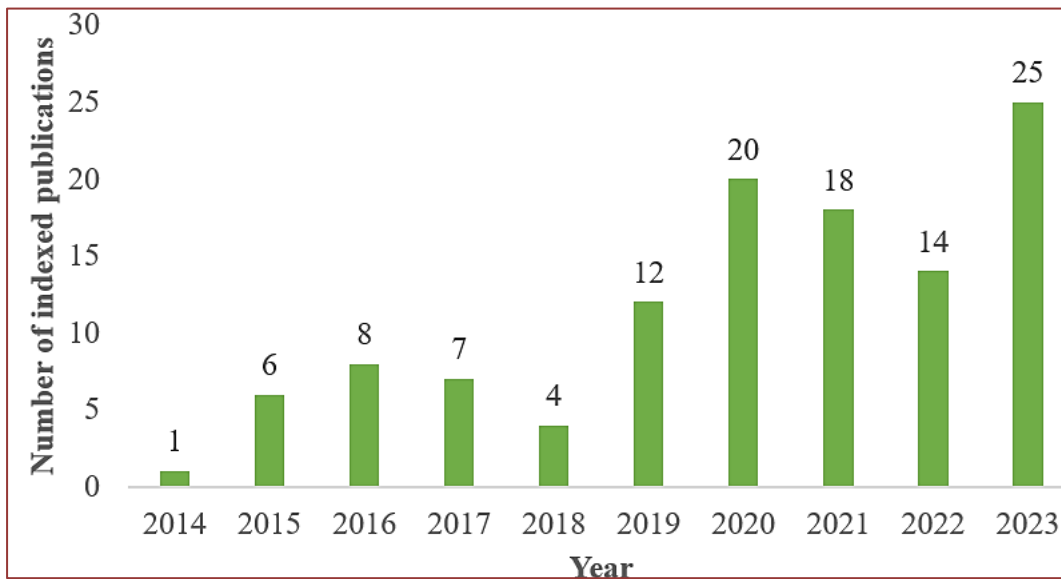
Source: CAPES, 2024.

**Figure 2:** Number of indexed publications containing “hard multicomponent metal alloy (HMCMA)” in the abstract or title fields



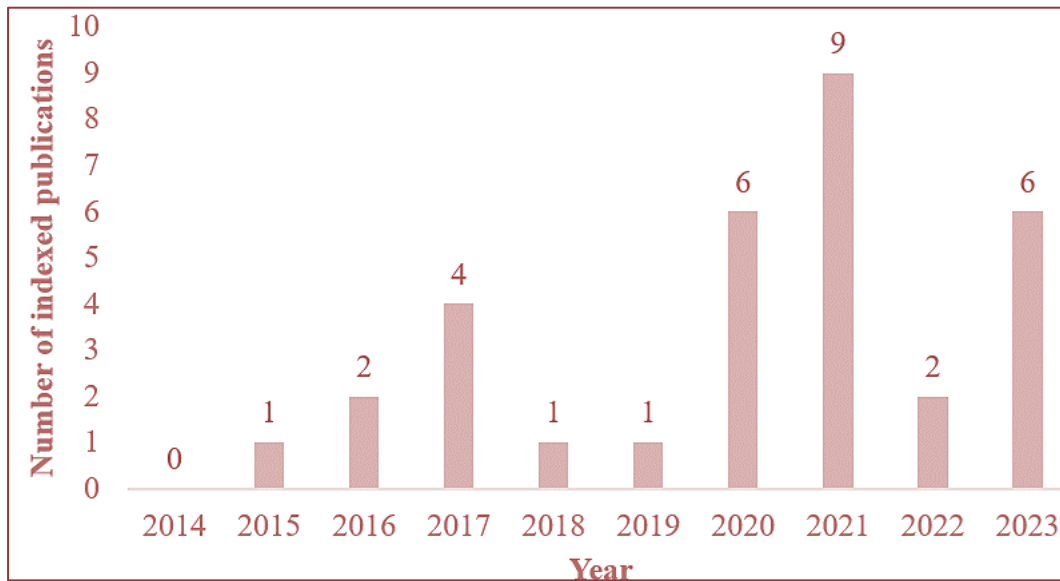
Source: CAPES, 2024.

**Figure 3:** Number of indexed publications containing “multicomponent metal alloy manufacturing (MCMAM)” in the abstract or title fields



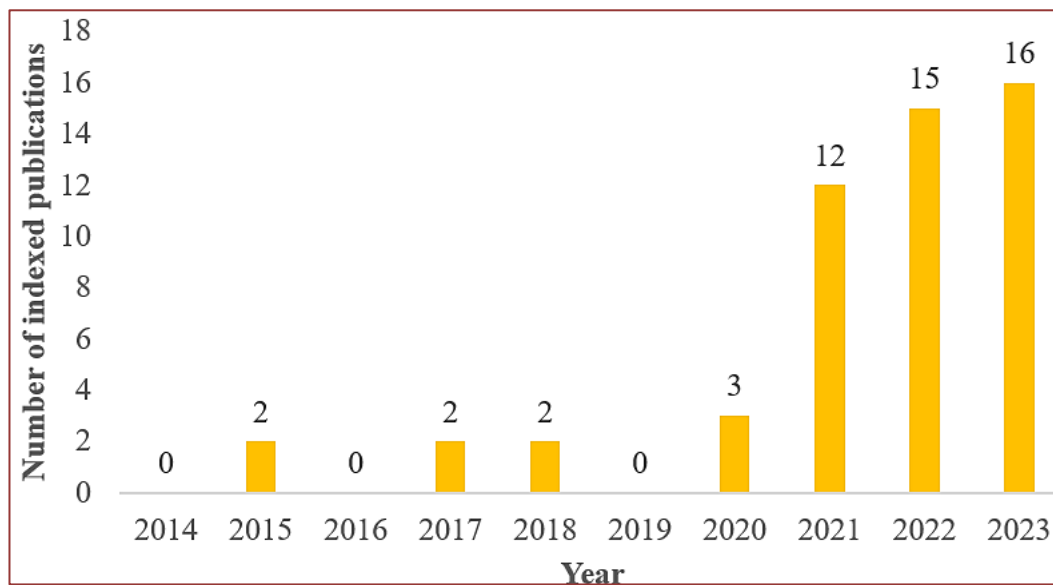
Source: CAPES, 2024.

**Figure 4:** Number of indexed publications containing “equiatomic multicomponent metal alloy (EMCMA)” in the abstract or title fields



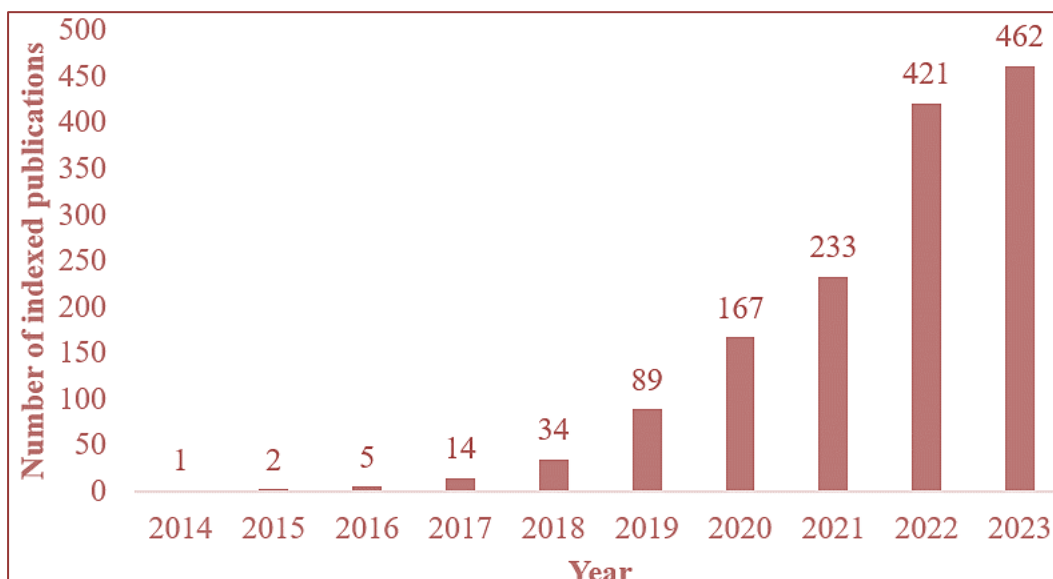
Source: CAPES, 2024.

**Figure 5:** Number of indexed publications containing “low-entropy alloy (LEA)” in the abstract or title fields



Source: CAPES, 2024.

**Figure 6:** Number of indexed publications containing “medium-entropy alloy (MEA)” in the abstract or title fields



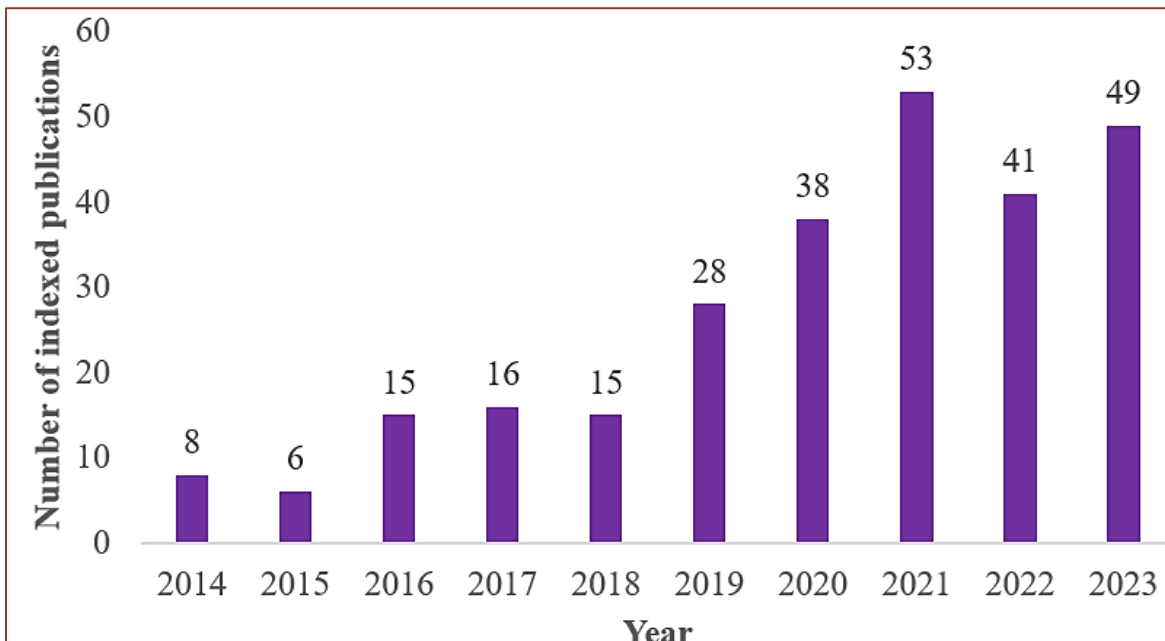
Source: CAPES, 2024.

**Figure 7:** Number of indexed publications containing “high-entropy alloy (HEA)” in the abstract or title fields



Source: CAPES, 2024.

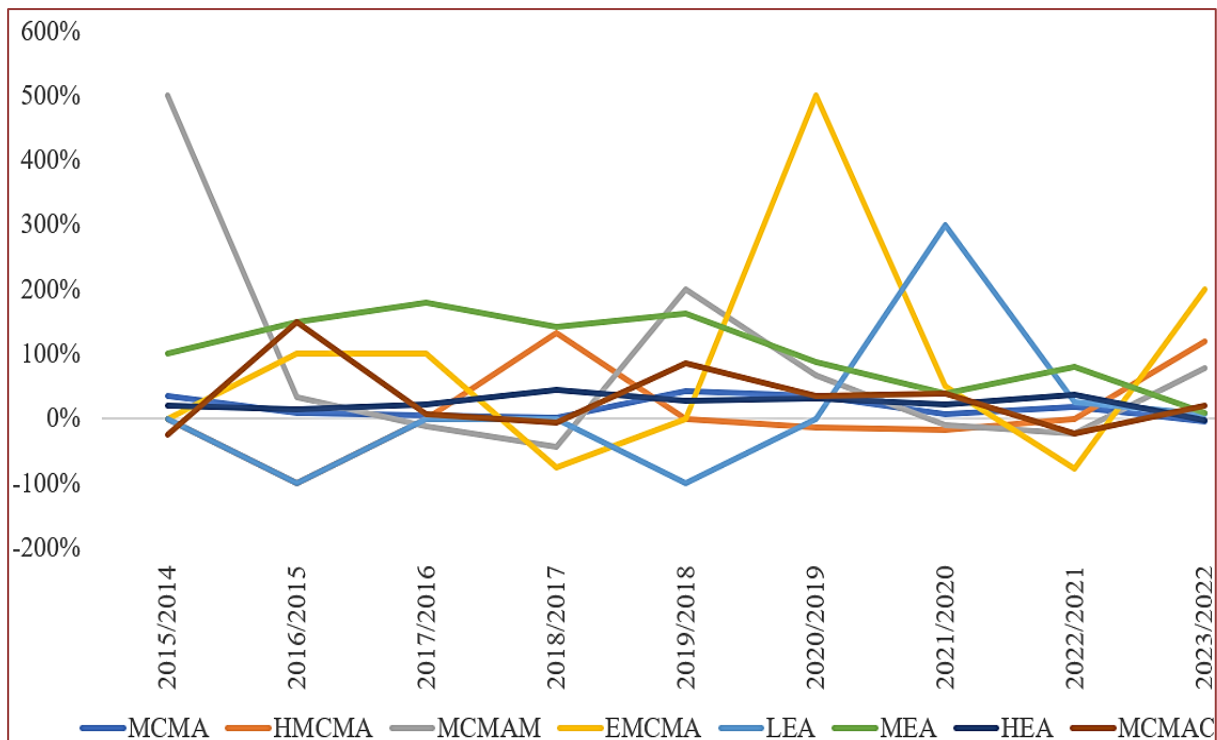
**Figure 8:** Number of indexed publications containing “multicomponent metal alloy coating (MCMAC)” in the abstract or title fields



Source: CAPES, 2024.

In most of the selected research words, there is at least the tendency to increase the activity through the last years. As can be observed, Fig. 4 (equiatomic multicomponent metal alloy) may be the only exception in the growing trends observed in the other plots. Particularly, it is highlighted that when “equiatomic multicomponent metal alloy” is the research term, the results over the researched ten-year period do not lead to a conclusive report on the growing tendency. Indeed, Fig. 4 shows that there was a decrease in the number of indexed publications in 2023. Despite this exception, in the other seven researched terms there is a trend to increase the number of indexed publications, turning the research area even more promising. Fig. 9 presents the percentual variation in the number of indexed publications from the previous year to the current year. Considering the entire period reported, the highest variation (500%) corresponds to “eutectic multicomponent metal alloy (EMCMA)” in 2020 related to 2019, while the lowest variation observed (-500%) refers to “multicomponent metal alloy manufacturing (MCMAM)” in 2016 related to 2015.

**Figure 9:** Percentual variation in the number of indexed publications from the current year to the current year



Source: Own authorship, 2024.

#### 4. CONCLUSIONS

This work presented a brief review of multicomponent metal alloys. This comprised a short presentation of the state of the art in this research area, along with the advances undertaken, trends, and opportunities. The fundamental concept refers to the configurational entropy of these alloys, the molar fraction of each alloying element, and the adopted processing route.

The definition of multicomponent metal alloys was presented, and they were also compared to pure metals and to conventional alloys in what refers to mechanical properties. The new possibilities in terms of properties were then highlighted, which can enhance the performance of a material or allow a wider range of applications.

The number of indexed publications from the ten years (2014-2023) were reported in what refers to the most probable research terms, allowing the analysis of trends, variation in time, and perspectives of each research term. Based on the data reported herein, although a large number of works have been published to widen the knowledge boundaries related to multicomponent metal alloys, this research area still has great growth potential. This is due to its large universe of possible combinations of alloying elements to achieve a wider range of mechanical properties, and in terms of optimization to reach the required and predicted properties (preventing unnecessary and/or expensive experiments).

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would acknowledge the event organizers for the opportunity to share this work. The authors also acknowledge the research councils CNPq (proj. 408406/2021-6), CatalisaICT Sebrae (proj. 29083\*128) and FAPESP (proj. 2020/09736-3) for financial support.

## REFERENCES

- [1] ALIJANI, F., REIHANIAN, M., GHEISARI, K. Study on phase formation in magnetic FeCoNiMnV high entropy alloy produced by mechanical alloying, *Journal of Alloys and Compounds*, v. 773, pp. 623-630, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.09.204>.
- [2] BURAVLEV, I. Y., SHICHALIN, O. O., PAPYNOV, E. K., GOLUB, A. V., GRIDASOVA, E. A., BURAVLEVA, A. A., YAGOFAROV, V. Y., DVORNIK, M. I., FEDORETS, A. N., REVA, V. P., YUDAKOV, A. A., SERGIENKO, V. I. WC-5TiC-10Co hard metal alloy fabrication via mechanochemical and SPS techniques, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 94, n. 105385, p. 623-630, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105385>.
- [3] BUTLER, K. T., DAVIES, D. W., CARTWRIGHT, H., ISAYEV, O., WALSH, A. Machine learning for molecular and materials science, *Nature*, v. 559, p. 547-555, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0337-2>.
- [4] CANTOR, B. Multicomponent and high entropy alloys, *Entropy*, v. 16, p. 4749-4768, 2014. <https://doi.org/10.3390/e16094749>.
- [5] CAR, R., DE ANGELIS, F., GIANNOZZI, P., MARZARI, N. First-principles molecular dynamics. In: Yip S, editor. *Handbook of Materials Modeling*. Dordrecht: Springer; 2005. pp. 59-76. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3286-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3286-8_5).
- [6] DA SILVA, E. N., DOS SANTOS, A. A. A., DO NASCIMENTO, R. M., ALVES, S. M., GUIMARÃES, R. S., FILGUEIRA, M. Investigation of characteristics and properties of spark plasma sintered ultrafine WC-6.4Fe3.6Ni alloy as potential alternative WC-Co hard metals, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 101, n. 105669, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2021.105669>.
- [7] DO, H.-S., JANG, T. J., KIM, K. J., SOHN, S. S., LEE, B.-J. A novel high-entropy alloy with multi-strengthening mechanisms: Activation of TRIP effect in C-doped high-entropy alloy, *Materials Science and Engineering: A*, v. 859, n. 144220, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.144220>.
- [8] DANIEL, J., SOUCEK, P., BERNÁTOVÁ, K., ZÁBRANSKÝ, L., STUPAVSKÁ, M., BURSÍKOVÁ, V., VASINA, P. Investigation of the influence of Ni doping on the structure and hardness of Ti-Ni-C coatings, *Journal of Nanomaterials*, v. 2017, p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/6368927>.
- [9] GAO, M. C., ALMAN, D. E. Searching for next single-phase high-entropy alloy compositions, *Entropy*, v. 15, p. 4504-4519, 2013. <http://dx.doi.org/10.3390/e15104504>.
- [10] GUTIERREZ-NODA, L., CAO-MOREU, C. A., PEREZ-ACOSTA, O., LORENZO-BONET, P., ZAMBRANO-ROBLEDÓ, P., HERNANDES-RODRIGUEZ, M. A. L. The effect of a boride diffusion layer on the tribological properties of AISI M2 steel, *Wear*, v. 426-427, p. 1667-1671, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.089>.
- [11] HU, Q., GUO, S., WANG, J. M., YAN, Y. H., CHEN, S. S., LU, D. P., LIU, K. M., ZOU, J. Z., ZENG, X. R. Parametric study of amorphous high-entropy alloys formation from two New Perspectives: Atomic Radius Modification and Crystalline Structure of Alloying Elements, *Scientific Reports*, v. 7, n. 39917. <http://dx.doi.org/10.1038/srep39917>.
- [12] IKEDA, Y., GRABOWSKI, B., KÖRMANN, F. Ab initio phase stabilities and mechanical properties of multicomponent alloys: a comprehensive review for high entropy alloys and compositionally complex alloys, *Mater Charact*, v. 147, p. 464-511, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.06.019>.
- [13] LI, R., XIE, L., WANG, W. Y., LIAW, P. K., ZHANG, Y. High-throughput calculations for high-entropy alloys: a brief review, *Front Mater.*, v. 7, n. 290, p. 1-12, 2020. <http://dx.doi.org/10.3389/fmats.2020.00290>.



- [14] NONATO, R. B. P.; RESTIVO, T. A. G. A multiparametric and multicriteria software to evaluate the design of ultra-hard metal alloys. In: Reinaldo Cardoso; João Batista Quintela. (Org.). Open Science Research X. 1ed. Guarujá: Científica Digital, 2023, v. 1, p. 1464-1483.
- [15] NONATO, R. B. P.; RESTIVO, T. A. G. Software Solution for Ultra-hard Metal Alloy Design. Engenharia, Gestão e Inovação. 1ed. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2022, v. 3, p. 179-187.
- [16] RAZUAN, R., JANI, N. A., HARUN, M. K., TALARI, M. K. Microstructure and hardness properties investigation of Ti and Nb added FeNiAlCuCrTixNby high entropy alloys, Transactions of the Indian Institute of Metals, v. 66, n. 4, p. 309-312, 2013, <https://doi.org/10.1007/s12666-013-0265-7>.
- [17] REN, B., LIU, Z. X., SHI, L., CAI, B., WANG, M. X. Structure and properties of (AlCrMnMoNiZrB<sub>0,1</sub>)<sub>Nx</sub> coatings prepared by reactive DC sputtering, Applied Surface Science, v. 257, p. 7172-7178, 2011, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.03.083>.
- [18] RESTIVO, T. A. G.; NONATO, R. B. P.; FIGUEIRA, R. R.; FERREIRA, O. A.; PADOVANI, C.; ARANHA, N.; BALDO, D.; SILVA, C. G.; DURAZZO, M. Sintering of metallic diamond alloy powders, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 1, p. 1-11, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12260-8>.
- [19] RESTIVO, T. A. G., RESTIVO, G. M. G. Development of ultra-hard multicomponent alloys, Journal of Materials Research, p. 1-12, 2021. <http://dx.doi.org/10.1557/s43578-021-00195-5>.
- [20] HUN, T.-T., CHANG, L.-Y., SHIU, M.-H. Microstructures and mechanical properties of multiprincipal component CoCrFeNiTix alloys, Materials Science & Engineering A, v. 556, p. 170-174, 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2012.06.075>.
- [21] TAZUDDIN, A., BISWAS, K., GURAO, N.P. Deciphering micro-mechanisms of plastic deformation in a novel single phase fcc-based MnFeCoNiCu high entropy alloy using crystallographic texture, Materials Science & Engineering A, v. 657, p. 224-233, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2016.01.065>.
- [22] TAZUDDIN, A., GURAO, N.P., BISWAS, K. In the quest of single-phase multi-component multiprincipal high entropy alloys, Journal of Alloys and Compounds, v. 697, p. 434-442, 2017.
- [23] WINKLER, B., JUAREZ-ARELLANO, E. A., MORGENROTH, W., BARKOV, A., DIPPEL, A.-C., ZIMMERMANN, M.V., IVASHKO, O., GUTOWSKI, O. Pt<sub>2</sub>AuCuNiSn, a new noble metal single-phase high entropy alloy, Journal of Solid State Chemistry, v. 294, n. 121837, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2020.121837>.
- [24] WU, Q., WANG, Z., ZHENG, T., CHEN, D., YANG, Z., LI, J., KAI, J., WANG, J. A casting eutectic high entropy alloy with superior strength-ductility combination, Materials Letters, v. 253, 2019, p. 268-271. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.06.067>.
- [25] XIE, L., BRAULT, P., THOMANN, A.-L., BAUCHIRE, J.-M. AlCoCrCuFeNi high-entropy alloy cluster growth and annealing on silicon: A classical molecular dynamics simulation study, Applied Surface Science, v. 285P, p. 810-816, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.08.133>.
- [26] YANG, C., REN, C., JIA, Y., WANG, G., LI, M., LU, W. A machine learning-based alloy design system to facilitate the rational design of high entropy alloys with enhanced hardness, Acta Mater., v. 222, n. 117431, p. 1-10, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2021.117431>.
- [27] ZHANG, C., ZHANG, F., CHEN, S., CAO, W. Computational thermodynamics aided high-entropy alloy design, JOM, v. 64, n. 7, p. 839-845, 2012, <http://dx.doi.org/10.1007/s11837-012-0365-6>.
- [28] ZHANG, F., ZHANG, C., CHEN, S. L., ZHU, J., CAO, W. S., KATTNER, U. R. An understanding of high entropy alloys from phase diagram calculations. CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry, v. 45, p.1-10, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.calphad.2013.10.00>.
- [29] ZHOU, K., LIU, B. Molecular dynamics simulation: fundamentals and applications, Amsterdam: Academic Press, 2022. 345 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-04711-0>.

# Capítulo 11

## *Contribuições preliminares sobre biomimética e modelagem paramétrica*

*Ercilia de Stefano*

*Flávia Bastos de Oliveira Mattos*

*Natália Fernandes da Motta*

*Alberto Eduardo Besser Freitag*

*Marcos Martins Borges*

**Resumo:** A necessidade de soluções inovadoras e sustentáveis no planejamento e projetos de produtos, pelo bojo da engenharia, tem impulsionado o desenvolvimento de metodologias interdisciplinares. Uma abordagem promissora é a integração da biomimética modelagem paramétrica com o intuito de entregar design sustentável, pois interagem várias disciplinas (biologia, matemática, entre outras) com teorias e métodos próprios. Inspirando-se em processos e sistemas naturais, a biomimética tem se mostrado como diferencial na engenharia de produtos num mundo orientado por dados e para o desenvolvimento sustentável, notadamente ao que implica a agenda 2030 e os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável (ods) em nível global. Portanto, o objetivo geral foi verificar como a modelagem paramétrica se relaciona com a biomimética, principalmente considerando projetos bioinspirados. A pesquisa, de caráter exploratória, baseia-se em: (a) revisão de escopo realizada na base científica web of science); (b) análise textual, utilizando o suporte do software voyant tools. As evidências científicas, permitem nos resultados: (a) caracterizar a interface e (b) subsidiar uma agenda de pesquisa interdisciplinar que compreenda três grandes temas transversais: i- sustentabilidade; ii – modelagem computacional e interdisciplinaridade; iii – otimização do design.

**Palavras-chave:** biomimética, modelagem paramétrica, projeto de produto bioinspirado, inovação sustentável.

## 1. INTRODUÇÃO

Na engenharia do produto, mais especificamente no planejamento e projeto deste, observa-se que a natureza tem servido como uma fonte inesgotável de inspiração para o design, oferecendo soluções inovadoras que vão desde formas e estruturas até a otimização de funções. A biomimética, disciplina que estuda padrões e processos naturais para aplicá-los em soluções humanas, revela uma diversidade rica de composições, texturas e interações morfológicas que podem ser analisadas através de uma lógica matemática e seu pressuposto é a interdisciplinaridade. Estes padrões, uma vez parametrizados, permitem o desenvolvimento de métodos e sistemas de design que ampliam as opções de escolha e possibilitam melhorias sistemáticas (Júnior e Guanabara, 2005; Fagundes, 2020).

No campo do design de produtos, a morfologia exerce um papel fundamental ao investigar as formas e estruturas dos organismos. Por outro lado, na natureza, ao longo de sua evolução, desenvolveu-se características que podem ser transferidas ao se planejar o design deste. Observa-se que sistemas naturais, influenciados pelo ambiente, ampliam formas e comportamentos específicos para adaptar-se e sobreviver. Esses aspectos morfológicos e adaptativos são frequentemente encontrados em projetos inspirados em elementos do reino animal, como esqueletos ósseos, e do reino vegetal, como troncos e galhos de árvores (Antoenlli, 2020).

A integração de princípios biomiméticos no design de produtos é particularmente relevante para o desenvolvimento de soluções sustentáveis, sobretudo num mundo orientado pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável propostos pela Organização das Nações Unidas em 2015, com a Agenda 2030 (UN, 2015). Em outras palavras, um mundo onde existe um compromisso vigente em prol da sobrevivência humana com combates a questões macros tais como: mudanças climáticas e pobreza.

Na Engenharia de produtos, observa-se que edifícios e produtos que se adaptam ao seu ambiente podem melhorar sua performance e sustentabilidade, reduzindo a demanda energética e utilizando recursos de maneira mais eficiente (Fagundes, 2020). A resiliência, definida como a capacidade de um sistema de se recuperar de mudanças e responder a condições variáveis, é uma característica essencial para a eficiência a curto e longo prazo (Badarnah, 2017), o que demanda planejamento.

Nesse sentido, a modelagem paramétrica surge como uma ferramenta permitindo que sistemas sejam regenerados a partir de parâmetros definidos, sem a necessidade de redesenhos completos. Na prática, *softwares* paramétricos como *Grasshopper* utilizam linguagens visuais para criar diagramas ou gráficos que representam algoritmos e facilitam a apresentação de objetos que podem ser controlados por parâmetros. Esta abordagem permite que partes de um projeto mudem de forma coordenada, estabelecendo uma geometria associativa e possibilitando a criação de modelos alternativos com facilidade (Júnior e Guanabara, 2005; Fagundes, 2020).

Portanto, o problema de pesquisa interdisciplinar se configura da seguinte forma: Como a modelagem paramétrica se relaciona com a biomimética, especialmente ao que tange aos projetos bioinspirados? Para tanto, o trabalho apresenta objetivos geral e específicos, sendo o geral: Verificar como a modelagem paramétrica se relaciona com a biomimética, notadamente considerando projetos bioinspirados. Já os objetivos específicos são: (a) caracterizar a interface entre biomimética e modelos paramétricos; (b) subsidiar uma agenda de pesquisa interdisciplinar para a inovação do design sustentável de projetos de produtos, da concepção até a execução de produtos de engenharia bioinspirados.

A pesquisa teve caráter exploratório e descritivo, de natureza qualitativo e quantitativo, sendo realizada através de: (a) Revisão de Escopo, com consulta na Web of Science (2024); (b) Análise Textual, com suporte do software Voyant Tools (2024). O trabalho está organizado em cinco seções além desta Introdução, e os resultados contribuem decisivamente para o avanço do conhecimento interdisciplinar sobre engenharia de produtos orientados para o desenvolvimento de maneira sustentável.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA CONCEITUAL

Esta seção se subdivide em princípios biomiméticos (2.1) e modelos paramétricos (2.2).

### 2.1. PRINCÍPIOS BIOMIMÉTICOS

A biomimética pode ser definida, segundo a International Organization for Standardization (ISO) 18458 de 2015, como (ISO, 2015, tradução nossa):

(...) a aplicação de pesquisa e o desenvolvimento de abordagens de interesse para aplicações práticas, as quais utilizem conhecimento ganho através da análise de sistemas biológicos para encontrar soluções para problemas, criar novas invenções e inovações, e transferir esse conhecimento para os sistemas técnicos. A ideia de transferir princípios biológicos à tecnologia é o elemento central da biomimética (ISO,2015).

Este conceito encontra suas raízes da inovação inspirado na natureza, conforme defendido por Janine Benyus, biomimeticista, fundadora do movimento Ask Nature, projeto da Biomimicry Institute, uma organização sem fins lucrativos dedicada a promover a prática de buscar inspiração na natureza para resolver problemas de design de maneira regenerativa. Benyus defende a adoção da biomimética como uma mudança revolucionária de paradigma nas práticas científicas e industriais, enfatizando a importância de imitar os projetos e processos da natureza para desenvolver projetos técnicos inovadores e ecologicamente corretos (Benyus, 2002).

Portanto, observa-se que o design biomimético é baseado no funcionamento e organização de processos e fenômenos da natureza, guiando-se pelos seguintes aspectos norteadores, por exemplo: funcionar por meio da luz solar; usar apenas a energia necessária; adequar forma à função; reciclar componentes; recompensar cooperação. Esses aspectos provocam mudança nas relações científicas e tecnológicas, levando à exploração da inovação sustentável em vários setores, como agricultura, energia, ciência dos materiais e medicina (Benyus, 2002). Aliando uma discussão sobre sustentabilidade, Freitas e Arruda (2018) ressaltam novas estratégias da biomimética de maneira interdisciplinar, aliando *biodesign* e bioarquitetura. Assim, é inegável que pesquisadores em nível global vêm incorporando a biomimética às suas investigações baseados em constatações tais como:

Num mundo biomimético, fabricaríamos da mesma forma que os animais e as plantas, utilizando o sol e compostos simples para produzir fibras, cerâmicas, plásticos e produtos químicos totalmente biodegradáveis. [...] Para encontrar novos medicamentos ou culturas, consultaríamos animais e insectos que utilizaram plantas durante milhões de anos para se manterem saudáveis e nutridos. [...] Em cada caso, a natureza forneceria os modelos: células solares copiadas de folhas, fibras de aço tecidas em

estilo de aranha, cerâmica inquebrável extraída de madrepérola, [...] grãos perenes inspirados em grama alta, computadores que sinalizam como células. [...] uma economia de circuito fechado que tira lições das sequoias, dos recifes de coral e das florestas de carvalhos e nogueiras. [...] Os biomimistas estão descobrindo o que funciona no mundo natural e, mais importante, o que dura. Após 3,8 mil milhões de anos de investigação e desenvolvimento, os fracassos são fósseis e o que nos rodeia é o segredo da sobrevivência. Quanto mais o nosso mundo se parecer e funcionar como este mundo natural, maior será a probabilidade de sermos aceites nesta casa que é nossa, mas não apenas nossa (tradução nossa de Benyus, 2002).

Com abordagens interdisciplinares, tais avanços estão cada vez mais presentes na engenharia de projetos, sendo que a ideia e o planeamento de produtos bioinspirados deriva dessas inovações tecnológicas desenvolvidas a partir da observação e imitação de processos, estruturas e sistemas biológicos do meio natural.

Como mencionado, esta abordagem busca replicar a eficiência e a funcionalidade encontradas na natureza para criar soluções inovadoras e sustentáveis, integrando essas alternativas encontradas à tecnologia avançada. Exemplos: (a) aerofólios inspirados nas asas das corujas, que reduzem o ruído em aeronaves; adesivos baseados nas patas das lagartixas, utilizados em aplicações industriais; (b) Bio-flexi, placa de fibra biocomposta fabricada a partir de resíduos agrícolas; (c) emulação do bico do guarda-rios, um pássaro, na parte frontal dos trens de alta velocidade no Japão, feito para eliminar a acumulação de pressão atmosférica à medida que o trem passa pelos túneis.

Esses exemplos ilustram como a bioinspiração, baseada em fenômenos biológicos, observações e análises do meio natural pode levar a avanços significativos em diversas áreas, como engenharia mecânica, médica e nanotecnologia, promovendo desenvolvimento sustentável. Isto, coloca a engenharia de projetos mais alinhada aos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, quando o ODS 11 que enfoca a construção de cidades e comunidades sustentáveis, o ODS 12 que foca no consumo e produções responsáveis, entre outros (UN, 2015).

Portanto, alinhado à Agenda 2030, produtos bioinspirados derivam de uma investigação metódica da natureza como um meio de desenvolver qualquer coisa, desde objetos individuais até grandes sistemas tecnológicos e até cidades inteiras, de forma sustentável do ponto de vista ambiental (Fisch, 2017). Conforme Benyus (2002) nota-se que a premissa central dessa abordagem é que, ao longo de seus 3,8 milhões de anos de evolução, a natureza criou soluções para muitos desafios de design semelhantes aos que a humanidade enfrenta hoje. Ao observar como os organismos vivos funcionam, percebemos que a natureza constrói, processa, otimiza espaços, impermeabiliza, aquece e refaz estruturas de maneira eficiente e sem poluir. A natureza realiza tudo isso com alta eficiência energética, ensinando-nos a tornarmos seus aprendizes.

Fisch (2017) destaca que a biomimética é um movimento crescente na ecologia que busca derivar designs inovadores e ambientalmente corretos a partir de sistemas orgânicos. Por outro lado, Benyus (2002) promove a biomimética como uma ciência da natureza, onde a natureza é uma fonte de design inovador que pode ser emulado em aparatos tecnológicos. Essa perspectiva, porém, é vista por ele como limitadora, ao valorizar excessivamente a forma orgânica e exigir uma separação rígida entre natureza e tecnologia.



Em contraste, Fisch (2017) destaca que Neri Oxman adota a biomimética como uma tecnologia da natureza, promovendo uma interação neomaterialista com materiais orgânicos que desafiam a tradicional separação entre natureza e tecnologia. Segundo o autor, Oxman integra design de moda com conhecimento acadêmico avançado, tratando materiais como organismos vivos e explorando suas interações com o ambiente. A pesquisadora propõe compreender como é possível auxiliar os materiais a expressarem suas propriedades de forma consciente. Ressalta-se que esta é uma abordagem que remonta a ideias do século XIX, quando arquitetos e biólogos começaram a ver paralelos entre espécies biológicas e materiais.

No entanto, no entendimento de Oxman, a revolução industrial interrompeu essa linha de pensamento ao fragmentar o processo de produção, separando concepção, análise e fabricação. Ainda, Oxman sugere um modelo emergente de morfogênese, declara Fisch (2017), onde a forma surge de processos integrados e dinâmicos da matéria, sem uma pré-concepção intelectual. Seu projeto emblemático, o Pavilhão de Seda (*Silk Pavillion*), exemplifica essa abordagem, utilizando a observação da natureza não apenas como um modelo a ser imitado, mas como uma plataforma computacional para a fabricação. Este projeto desafia a noção tradicional da biomimética ao questionar se a tecnologia pode replicar a complexidade e eficiência dos processos naturais, como o tecer de um ninho de pássaro influenciando o design de um tear. Oxman não apenas propõe uma integração mais profunda entre design, engenharia e fabricação, mas também uma transformação ética e ambiental na produção de objetos e estruturas, alinhando-se mais de perto aos princípios de sustentabilidade e eficiência presentes na natureza (Fisch, 2017).

Do mais generalista ao mais específico, incluindo antecedentes, nota-se que existem distintos exemplos para ilustrar esse debate teórico conceitual, por exemplo: (a) Stiny (1980) já discutia questões relativas a *shape grammars*; (b) Soares (2016) tratou a biomimética e a geodésica na perspectiva do biodesign; (c) Kanda *et al.* (2018) realçaram a relevância de se compreender a matriz morfológica e biomimética no contexto de projetos alternativos em design. Assim, dentre as muitas possibilidades de referências e inspirações para se planejar um projeto na perspectiva da engenharia de projetos, a biomimética oferece uma abordagem revolucionária para o design sustentável, inspirando-se na eficiência e funcionalidade da natureza para desenvolver soluções tecnológicas inovadoras.

Conforme evidenciado por Benyus (1997), ao imitar os processos e estruturas naturais, é possível criar produtos que não apenas atendem às necessidades humanas, mas também respeitam e preservam o meio ambiente. Entende-se que esta perspectiva é expandida pela visão neomaterialista de Neri Oxman, que promove uma integração profunda entre design e biologia (Fisch, 2017), e desafia a separação tradicional entre natureza e tecnologia. Sumarizando, tanto a abordagem de Benyus (1997 e 2002) quanto a de Oxman (*apud* Fish, 2017) se destacam por oferecerem uma perspectiva inovadora e sustentável para o design, promovendo uma integração harmoniosa entre natureza e tecnologia, com foco na sustentabilidade. É neste ponto, que em termos práticos, é necessário compreender a modelagem paramétrica sob a perspectiva interdisciplinar, ou seja, advinda da área das exatas para se integrar a biológica, em prol de um novo humanismo.

## 2.2. MODELAGEM PARAMÉTRICA (MP)

Atualmente, no século XXI, o uso de computadores tem revolucionado a capacidade de calcular fórmulas matemáticas, viabilizando o cálculo de geometrias e estruturas mais

complexas. No desenvolvimento de projetos de produtos bioinspirados, essa tecnologia permitiu o surgimento de novas possibilidades, especialmente no que diz respeito à criação e manipulação de formas complexas e superfícies curvas tão presentes no meio natural.

O design paramétrico consiste em definir parâmetros que orientam os resultados do projeto. Segundo Wang e Chen (2022) o projeto paramétrico envolve a parametrização dos resultados do design, ou seja, a definição de variáveis-chave que afetam o desenvolvimento do projeto. Inicialmente, um fator que influencia o design é identificado, e ele é analisado de maneira qualitativa e quantitativa. Em seguida, o computador é introduzido no processo para compilar um programa que estabelece uma conexão interna entre esses fatores e o resultado final. Através de cálculos matemáticos, diferentes valores dos fatores são substituídos, gerando múltiplos cenários e permitindo a criação de diversos modelos de design (Wang e Chen, 2022). Esse processo facilita a exploração de variações e otimizações no projeto, garantindo que o produto final seja ajustado de acordo com os parâmetros estabelecidos.

Ao contrário da modelagem CAD convencional, em que as entidades são tratadas de forma independente e sem interconexão, a modelagem paramétrica (MP) possibilita explorar múltiplas configurações, permitindo ajustes rápidos nos parâmetros sem a necessidade de reiniciar o processo. Conforme observado por Florio (2009), essa metodologia oferece a vantagem de construir um modelo mais sofisticado, no qual as relações e hierarquias entre os elementos são codificadas no design. Dessa forma, durante o desenvolvimento do projeto, é possível alterar variáveis e as interações entre os componentes, promovendo a modificação das geometrias e favorecendo o entendimento espacial (Jabi, 2013). Geralmente, ao criar e desenvolver um projeto bioinspirado, as características específicas das partes desenhadas são revisadas e frequentemente alteradas.

Para responder a esse problema de projeto no bojo interdisciplinar foi desenvolvida a metodologia paramétrica, implementada em softwares gráficos, que oferece uma grande flexibilidade para gerar diversas versões de um projeto, permitindo ajustar livremente dimensões, proporções e formas. A relação hierárquica entre os componentes do modelo define como essas alterações se propagam, facilitando a exploração de diversas soluções de projeto (Florio, 2007).

A MP, ao contrário dos métodos tradicionais de CAD, não se limita a um conjunto predefinido de formas primitivas. Ao invés disso, as geometrias são construídas a partir de um conjunto de pontos, permitindo uma grande flexibilidade na criação de formas complexas. Essa abordagem, como destacado por Goldberg (2006), possibilita a geração de um número quase infinito de variações de um mesmo objeto, tornando o processo de design mais exploratório e menos limitado.

Ferramentas de modelagem paramétrica como o Grasshopper, integrado ao Rhinoceros, oferecem um ambiente de programação visual que permite a criação de algoritmos complexos de forma intuitiva, sem a necessidade de uma profunda compreensão de linguagens de programação. Essa abordagem, como apontado por Schumacher (2018), permite a geração de geometrias complexas de forma rápida e eficiente, tornando o processo de design mais ágil e criativo.

O projeto paramétrico implica em um novo paradigma de projeto através da propagação da diferença e a repetição da variação, conforme Florio (2009) cita Goldberg (2006). Os primeiros resultados de pesquisas sobre MP têm surgido no século XXI, Kolarevic (2003) tem divulgado pesquisas realizadas por engenheiros e arquitetos, assim como diretas



aplicações em edifícios recém construídos. Observa-se que arquitetos como Zaha Hadid, Patrick Schumaker, Ali Rahim, Mark Burry, Greg Lynn e os engenheiros do Arup and Partners (particularmente Cecil Balmond) têm concebido propostas, cujas formas são derivadas de manipulações paramétricas, apontando novos rumos para a produção de projetos para exemplificar a aplicação de ferramentas paramétricas.

A aplicação de ferramentas paramétricas e biomimética na arquitetura contemporânea pode ser observada no Estádio Nacional de Pequim, projetado por Herzog & de Meuron. Inspirada em um ninho de pássaro, sua fachada foi gerada parametricamente, unindo elementos estéticos e funcionais, conforme aponta Schumacher (2009). Da mesma maneira, o Louvre Abu Dhabi, projetado por Jean Nouvel, utiliza o design paramétrico para desenvolver uma estrutura de telhado perfurada, que filtra a luz natural de forma semelhante ao sombreamento proporcionado pelas árvores, evocando ainda traços da arquitetura árabe tradicional. Já o Eastgate Centre, em Harare, idealizado por Mick Pearce, se baseia no sistema de ventilação natural dos cupinzeiros para regular a temperatura interna do edifício, diminuindo a necessidade de sistemas mecânicos de alta demanda energética. Esses projetos ilustram como a biomimética e a modelagem paramétrica podem ser combinadas para resolver desafios arquitetônicos, promovendo soluções funcionais e sustentáveis nas edificações.

A modelagem paramétrica, essa técnica que utiliza algoritmos para manipular os parâmetros definindo uma forma ou estrutura, permite, portanto, a criação de modelos altamente flexíveis e adaptáveis, que podem ser facilmente modificados para atender a critérios específicos. *Softwares* paramétricos permitem que sistemas se regenerem ao invés de redesenhar ou editar projetos. Assim, no desenvolvimento de um projeto de produto bioinspirado sustentável, ela possibilita a exploração de múltiplas variantes de um projeto, testando e refinando soluções para minimizar o desperdício de materiais e maximizar a eficiência. A seguir é detalhada a metodologia adotada no presente estudo.

### 3. METODOLOGIA

A pesquisa é exploratória e descritiva pois visa a observação de um fenômeno, qual seja os princípios biomiméticos e a modelagem paramétrica no contexto interdisciplinar tendo como área de estudo a engenharia de produtos. Gil (2002) explica que a familiarização com um problema de pesquisa é o que caracteriza a pesquisa do tipo exploratória.

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) pode ser de vários tipos, cabe esclarecer que neste estudo utilizou-se a revisão de escopo por ser uma primeira aproximação com o tema em questão. Para tanto, foi efetuada uma consulta no dia 13 de julho de 2024 a base científica Web of Science (WoS) se identificou n=63 (materiais entre artigos, revisões, entre outros), adotando o *string* de busca que está descrito na Etapa 2 do Quadro 1.

Os resultados advindos do corpus textual permitiram tanto caracterizar a interface entre biomimética e modelos paramétricos; quanto ao submeter a análise textual no *software* Voyant Tools (2024), justificar por evidências científicas quantitativas (frequência e coocorrência de termos) e qualitativas (sentido dos termos) o desenho de uma futura agenda interdisciplinar de pesquisa sobre a temática. As etapas da pesquisa foram descritas no Quadro 1 com as respectivas fontes de pesquisa e suportes:

**Quadro 1.** Abordagem metodológica

Etapas	Descrição	Fontes & Suportes
Revisão Narrativa	Com o objetivo de fundamentar as categorias teóricas conceituais: (a) Biomimética; (b) Modelagem Paramétrica.	Google Acadêmico (2024)
Revisão Sistemática	Com o objetivo de identificar parte significativa do estado da arte a partir de uma Revisão de Escopo com o seguinte <i>string</i> de busca em inglês: <i>biomimetic* OR bioinspir* (Titulo) AND parametric* model (Tópico), sendo o resultado n=63</i> . O termo (*) indica truncamento para a raiz da palavra, abrangendo mais termos, tais como: <i>biometrics</i> .	Web of Science (2024)
Análise Textual	Foi realizada a partir de dois tipos de resultados: (a) Cirrus que permite identificar a frequência, de maneira comparativa, numa nuvem de palavras; (b) Link: permite verificar a ligação entre os termos de interesse.	Voyant Tools (2024)

Fonte: Elaboração própria.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados implicam tanto em caracterizar a interface sobre biomimética e modelo paramétrico a partir da literatura científica da área (4.1), quanto fazer uma proposição de agenda de pesquisa interdisciplinar sobre a temática (4.2) ambos a partir das evidências científicas encontradas com a análise do corpus textual identificado na busca na Web of Science (n=63 materiais), com suporte do software Voyant Tools (2024).

##### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA INTERFACE

Ficou evidente a partir da revisão narrativa que estabeleceu as categorias de análise: biomimética e modelo paramétrico que desafios de projetos relativos ao ambiente construído colocam frente a frente uma série de outras questões transversais de ordem complexa em processos de tomada de decisão, e que urge o alinhamento com os princípios do desenvolvimento sustentável, notadamente aqueles orientados pela Agenda 2030 das Nações Unidas, UNs (2015). Na Figura 1, ficou evidente que o termo mais frequente no corpus textual analisado foram, respectivamente: *model/modelo* (f=85), *design* (f=69), *parametric/paramétrico* (f=59), *biomimetic/biomimética* (f=57), demonstrando que há um alinhamento teórico, conceitual e metodológico na literatura científica sobre a temática.



Portanto, conforme os links, pode-se caracterizar a relação entre os termos *biomimética* e o modelo paramétrico a partir da relevância que isto assume para o design, e é neste ponto que o tema é relevante para a engenharia de projetos, seja na parte de planejamento, seja na parte de execução. Isto fica mais evidente cientificamente a partir desta busca, quando o termo modelo se liga com os termos desenvolvimento (fase de planejamento) e uso (fase da execução) dos projetos. Nesse sentido, cabe a proposição de uma agenda de pesquisa, de cunho interdisciplinar, que avance para além do estado da arte atual, indo ao encontro notadamente da sustentabilidade.

#### 4.2. PROPOSIÇÃO DA AGENDA DE PESQUISA INTERDISCIPLINAR

Embora na Figura 1, os termos da interface estejam alinhados, ou seja biométrica e modelo paramétrico, nota-se que os termos derivados de sustentável ou sustentabilidade não foram evidentes no corpus textual examinado. Nesse sentido, isto corrobora para a primeira proposição baseada em evidências científicas, qual seja uma agenda futura de pesquisa deve investir na compreensão da sustentabilidade como um elemento chave. Cabe balizar isto com a literatura científica. Por exemplo, quando Gago (2016) explica que a biomimética na arquitetura não se limita à estética bioinspirada, mas abrange a funcionalidade, eficiência energética e adaptação ao ambiente local. Essa abordagem holística não só melhora a qualidade de vida dos ocupantes dos espaços construídos, mas também promove um impacto positivo no meio ambiente, reduzindo o desperdício e maximizando a eficiência dos recursos disponíveis. Portanto, é preciso incentivar que projetos, no bojo da Engenharia, cumpram o papel de atender aos princípios da sustentabilidade.

Uma agenda de pesquisa interdisciplinar no contexto da Engenharia de projetos torna-se essencial para se entregar planejamento e execução articulados com um futuro sustentável, orientado pela Agenda 2030 da UN (2015). Assim, com base nas evidências científicas identificadas a partir do corpus textual é possível indicar grandes temas transversais para esta futura agenda de pesquisa interdisciplinar, descritas no Quadro 2:

**Quadro 2.** Proposições para uma futura agenda a partir de evidências científicas

Grandes temas transversais	Descrição
I - Sustentabilidade	Estimular que os projetos de pesquisa se sustentem com um maior diálogo com os princípios da sustentabilidade, notadamente a Agenda 2030 proposta pelas Nações Unidas, UN (2015).
II – Modelagem computacional e interdisciplinaridade	Compreender que modelos paramétricos são essenciais para o desenvolvimento do design articulado com a biomimética para prover projetos no bojo das Engenharias, considerando a interdisciplinaridade.
III – Otimização do design	Visualizar que a otimização do design deve ser <i>pari passus</i> a tecnologia e a natureza, observando convergências para o processo de planejamento e execução de soluções inovadoras.

Fonte: Elaboração própria.

Além da complexidade da relação identificada no item 4.1, nota-se que o termo design oferece pistas robustas, ao se ligar com outros termos na Figura 2, quais sejam: (1) *Process/Processos*; (2) *Parameters/Parâmetros*; (3) *Biomimetic/Biomimética*; (4) *Optimization/Otimização*. Parece que a valorização do processo de planejamento e execução do design é relevante para a otimização. Como há o aprendizado com a natureza,

a otimização e o processo devem criar a liga entre a tecnologia e a natureza, ou seja, estes não estão em oposição, vide Oxman (vide Fisch, 2017).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta revisão, foi explorado como a integração de modelos, sistemas e processos baseados na biomimética pode revolucionar o processo de planejamento e projetos para produtos, notadamente inseridos no contexto que demanda soluções inovadoras e sustentáveis. Como afirmado por Benyus (1997), a biomimética não apenas oferece *insights* profundos sobre estratégias evolutivas adaptativas encontradas na natureza, mas também sugere princípios fundamentais que podem ser aplicados para resolver desafios contemporâneos de design de forma eficiente e sustentável, contudo isto precisa estar mais evidente, e portanto foi evidenciado no Quadro 2, especialmente na proposição I.

Assim como, ao imitar processos naturais, como a auto-organização e a adaptação a condições ambientais variáveis, os projetos inspirados na biomimética não apenas otimizam o uso de recursos, mas também promovem soluções arquitetônicas inovadoras e ecologicamente conscientes como o trabalho da cientista Neri Oxman, exemplo o Silk Pavillion, contudo é preciso compreender o papel dos modelos paramétricos, e por isso a proposição II do Quadro 2 é realçada pelas evidências científicas encontradas na literatura consultada.

Cabe ressaltar que a pesquisa sobre a aplicação de princípios biomiméticos por meio de avançadas ferramentas de modelagem paramétrica não apenas evidencia um campo promissor para a inovação no design sustentável, mas também representa um passo significativo rumo a um futuro onde o design humano se integra de maneira mais harmoniosa aos sistemas naturais, de maneira interdisciplinar. Constatou-se por evidências científicas que ao integrar ciência, tecnologia e a própria natureza, não só é possível criar produtos mais eficientes, como também estabelecer um novo paradigma de desenvolvimento que respeita e se inspira nos padrões e processos encontrados na natureza, promovendo soluções que são tanto tecnicamente avançadas quanto ecologicamente conscientes.

Por fim, esta pesquisa exploratória e descritiva cumpriu ao objetivo geral, verificando como a modelagem paramétrica se relaciona com a biomimética, contudo as evidências sobre os projetos precisam de maiores investigações, utilizando inclusive outros métodos de pesquisa, tal qual coleta e organização de dados primários, como entrevistas e questionários junto a acadêmicos, planejadores e gestores. Neste cenário em que a inteligência artificial (IA) ganha notoriedade no século XXI, compreender estas contribuições preliminares é um diferencial para avanços em engenharia de projetos.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANTONELLI, P. (2020). The natural evolution of Architecture. In: Antonelli, P. Burckhardt, A. **The Neri Oxman Material Ecology Catalogue**. Museum of Modern Art, New York. Nova York: Artbook,
- [2] ADARNAH, L. (2017). Form follows environment: Biomimetic approaches to building envelope design for environmental adaptation. **Buildings**, 7(2), 40.
- [3] BENYUS, J. (1997). Innovation inspired by nature: Biomimicry. *New York: William Morrow & Co.*
- [4] BENYUS, J.M. (2002). **Biomimicry: Innovation inspired by nature**. Rio de Janeiro: Paperback,
- [5] FAGUNDES, H.A.V. (2020). Superfícies bioinspiradas: estudo de caso para aplicações em painéis

para fachadas de edifícios. **Educação Gráfica**, Rio Grande do Sul, v. 24, n. 3, p. 161-179, dez.

- [6] FISCH, M. (2017). The Nature of Biomimicry. **Science, Technology, & Human Values**, [S.L.], v. 42, n. 5, p. 795-821, 23 jan. 2017. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0162243916689599>.
- [7] FLORIO, W. (2007). Contribuições do Building Information Modeling no Processo de Projeto em Arquitetura. **Anais do III Encontro Tecnologia da Informação na Construção Civil**, TIC 2007, Porto Alegre.
- [8] FLORIO, W. (2009). Modelagem paramétrica no processo de projeto em arquitetura. **Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, SBPQ**, p. 571-582.
- [9] FREITAS, T.L. de; ARRUDA, A.J.V. de (2018). Novas estratégias da Biomimética: as analogias no biodesign e na bioarquitetura. **Mix Sustentável**, [S.L.], 4 (1), p. 73-82.
- [10] GAGO, R.M. (2016). Architectural Design through the Geometrical Principles of Biological Growth. **Periodica Polytechnica Architecture**, [S.L.], v. 47, n. 1, p. 8-13, 3 nov. 2016. Periodica Polytechnica Budapest University of Technology and Economics. <http://dx.doi.org/10.3311/ppar.9891>.
- [11] GIL, A. C. (2002). **Como classificar as pesquisas. Como elaborar projetos de pesquisa**, 4(1), 44-45.
- [12] GOOGLE ACADÊMICO (2024). **Scholar**. Disponível em < <https://scholar.google.com.br/>>. Acessado em: jul. 2024.
- [13] ISO (2015). **ISO18458:2015: biomimetics - terminology, concepts and methodology**. Genebra: ISO.
- [14] JABI, Wassim. **Parametric design for architecture**. Hachette UK, 2013.
- [15] JUNIOR, W.K., & GUANABARA, A.S. (2005). Metodologia para projeto de produto baseada no estudo da biônica. **Materials & Design**, 26 (2), 149-155.
- [16] KANDA, G. B., SOUZA, R. de O., & BARROS de HELD, M. S. (2018). Matriz morfológica e biomimética: geração de alternativas em design. *Projetica*, 9(1), 53-68. <https://doi.org/10.5433/2236-2207.2018v9n1p53>
- [17] KOLAREVIC, B. (2003). Architecture in the digital age. **Design and Manufacturing**. Nueva York-Londres: Spon Press-Taylor & Francis Group.
- [18] ROYALL, Emily. Defining biomimicry: architectural applications in systems and products. In: **UTSoA-Seminar in Sustainable Architecture**. 2010. p. 1-3.
- [19] SCHUMACHER, P. (2018). Design as 2nd Nature, London 2018 Published in: Zaha Hadid Architects – Diseno como segunda naturaliza. **Exhibition catalogue: MUAC – El Museo Universitario Arte Contemporaneo**, Mexico City.
- [20] SOARES, T.L.F. (2016). **A biomimética e a geodésica de Buckminster Fuller: uma estratégia de biodesign**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- [21] STINY, G. (1980). Introduction to shape and shape grammars. **Environment And Planning B: Planning and Design**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 343-351 SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1068/b070343>.
- [22] UN (2015). **United Nation. SDGS**. Disponível em: < <https://sdgs.un.org/goals>> Acessado em: jul. de 2024
- [23] VOYANT TOOLS (2024). **Voyant Tools**. Disponível em < <https://voyant-tools.org/>> . Acesso em: jul. 2024.
- [24] WANG, Yanxia; CHEN, Leiyi. [Retracted] Architectural and Landscape Garden Planning Integrated with Artificial Intelligence Parametric Analysis. **Security and Communication Networks**, v. 2022, n. 1, p. 8577269, 2022.
- [25] WEB OF SCIENCE (2024). **Web of Science**. Disponível em <<https://acesse.one/KTkpi>> . Acesso em: jul. 2024.



# Capítulo 12

## *A utilização da manufatura aditiva no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias no Brasil: uma revisão sistemática*

*Miguel Olimpio de Paula Netto*

*Camila Souza Carvalho*

*Tatiana Tavares Rodriguez*

*Ercilia de Stefano*

*Moisés Luiz Lagares Júnior*

*José Alberto Barroso Castanõn*

**Resumo:** A manufatura aditiva (MA), ou impressão 3D, tem crescido significativamente nas últimas décadas, revolucionando diversos setores ao possibilitar a criação de peças complexas com menor desperdício de material. O presente artigo tem como objetivo analisar o uso da MA no Brasil, focando em suas aplicações no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias, além de identificar os principais desafios e tendências de pesquisa. Neste artigo, uma revisão sistemática de literatura foi realizada, a partir de 55 artigos publicados entre os anos de 2014 e 2024, categorizados por áreas de aplicação, como educação, saúde, construção civil, tecnologias assistivas e industriais, além da identificação dos processos e materiais mais empregados na atualidade. Os resultados mostram que a MA no país ainda é dominada por tecnologias consolidadas, como FDM/FFF, com destaque para a saúde e o setor industrial. No entanto, a exploração de materiais e técnicas mais avançadas permanece limitada devido à falta de investimentos e de mão de obra qualificada. O estudo conclui que, para o Brasil avançar no campo da MA, é necessário diversificar as pesquisas com novos materiais e tecnologias emergentes, além de investir na capacitação de profissionais. Esses fatores são essenciais para que a manufatura aditiva se torne uma alternativa mais competitiva e sustentável no desenvolvimento de produtos e inovações no país.



## 1. INTRODUÇÃO

Embora a manufatura aditiva seja comumente associada a um processo de fabricação recente, tendo ganhado relevância em meados de 2010, ela surgiu em 1983 no Japão como um processo conhecido como Stereolithography. Desde então, esse processo vem ganhando notoriedade devido à sua ampla gama de aplicações e ao seu potencial tecnológico no quesito versatilidade e agilidade de fabricação de produtos únicos e customizáveis (Kocovic, 2017).

Apesar de o processo ainda apresentar limitações, há inúmeras vantagens associadas. Segundo Priarone, Catalano e Settineri (2023), a redução de até 69% no peso de componentes utilizados na indústria automotiva resultou em uma economia significativa de energia e na redução da pegada de carbono, gerando impactos ambientais extremamente positivos. Além disso, Wu e EL-Refaie (2020) destaca que a manufatura aditiva permite a construção de máquinas elétricas com propriedades mecânicas, eletromagnéticas e térmicas superiores às obtidas por processos de fabricação convencionais, tornando o processo não apenas mais limpo, mas também mais eficiente.

A versatilidade e a capacidade adaptativa da manufatura aditiva estão principalmente associadas à sua habilidade de fabricar geometrias complexas (Wohlers; Caffrey, 2013), incluindo designs intrincados de microcanais em componentes. Essa característica torna a manufatura aditiva o único processo capaz de produzir tais geometrias (Panara et al., 2022).

Outro aspecto relevante é a capacidade da manufatura aditiva de transitar por diversas áreas. Na área metal-mecânica, por exemplo, (Zhang et al., 2018) fabricou peças utilizando pó de carbeto de tungstênio (WC) e pó de cobalto (Co), materiais essenciais na produção de aços e ferramentas. Essas peças apresentaram propriedades mecânicas superiores às fabricadas com os mesmos materiais por métodos convencionais. Na área biomédica, Duan et al. (2022) fabricou tecidos ósseos sintéticos biocompatíveis, com excelentes propriedades mecânicas, para auxiliar no reparo de ossos danificados. Vale ressaltar que este é um exemplo de fabricação de geometria complexa.

Inúmeros estudos na literatura indicam a versatilidade e o elevado potencial tecnológico da manufatura aditiva, especialmente quanto à capacidade de produzir peças de alta qualidade com baixo investimento e elevada agilidade no processo de confecção. Contudo, pouco se aborda na literatura brasileira sobre o impacto desse processo de fabricação na academia e nas indústrias, em especial nos processos de engenharia do produto. Embora a manufatura aditiva represente um avanço significativo nesse campo, é necessário verificar os rumos que a academia e as indústrias brasileiras têm seguido.

Diante disso, o presente trabalho propõe realizar uma revisão abrangente e sistemática sobre os impactos da manufatura aditiva no contexto industrial e acadêmico brasileiro, com o objetivo de identificar os principais produtos, tendências de pesquisa e metodologias desenvolvidas no cenário nacional. Além disso, serão analisados os desafios associados ao uso das técnicas aditivas apontados pela literatura, assim como suas vantagens e desvantagens. A partir desse contexto, formula-se a seguinte hipótese:

O uso da manufatura aditiva no Brasil tem o potencial de transformar significativamente o desenvolvimento de produtos e tecnologias em diversos setores, como saúde, construção civil, educação e tecnologia assistiva, tornando os processos de fabricação mais eficientes, sustentáveis e acessíveis. Contudo, o avanço dessa tecnologia está

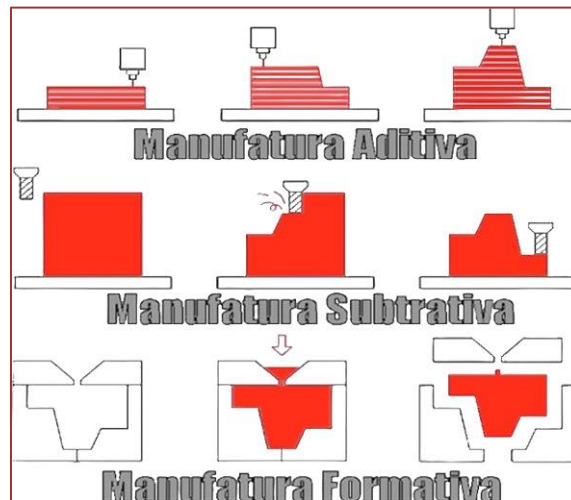
limitado pela falta de investimento e mão de obra qualificada. Com base nessa hipótese, as questões de pesquisa que norteiam este estudo são:

*Como a manufatura aditiva está sendo aplicada no Brasil no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias? Quais tendências de pesquisa emergentes podem alavancar o uso de tecnologias aditivas no Brasil?*

Diante disso, o presente trabalho propõe realizar uma revisão abrangente e sistemática sobre os impactos da manufatura aditiva no contexto industrial e acadêmico brasileiro. O objetivo principal é responder a questões como: quais são os estudos realizados, visando identificar os produtos desenvolvidos, as tendências de pesquisa emergentes, as tecnologias e os materiais mais utilizados, além das metodologias aplicadas no cenário nacional. Para alcançar esses objetivos, a revisão foi conduzida da seguinte forma: o referencial teórico é apresentado na Seção 2, onde são discutidos os principais conceitos e avanços relacionados à manufatura aditiva, com ênfase no cenário global e em aplicações que possam influenciar o contexto brasileiro. A Seção 3 trata da metodologia e dos processos adotados na revisão sistemática, detalhando os critérios de seleção dos estudos, os procedimentos de coleta de dados e as ferramentas de análise utilizadas. Na Seção 4, são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa, com foco no uso da manufatura aditiva no Brasil. A Seção 5 explora o contexto nacional e as tendências de pesquisa emergentes, destacando as áreas com maior potencial de crescimento. Por fim, as conclusões e recomendações para futuras pesquisas e aplicações são apresentadas na Seção 6.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Os processos de fabricação podem ser amplamente categorizados em três principais abordagens: manufatura subtrativa, formativa e a aditiva. Conforme descrito por Wiltgen e Lopes (2022), a manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, constrói objetos camada por camada, adicionando material até que a geometria desejada seja formada, sendo ideal para a criação de geometria complexa com precisão e mínimo desperdício. A manufatura subtrativa, por sua vez, envolve a remoção de material de um bloco sólido por meio de processos como fresagem, torneamento ou usinagem, esculpindo a peça final a partir de um material maior. A manufatura formativa molda materiais em formas específicas por meio de processos como forjamento, estampagem ou moldagem por injeção, aplicando forças externas para dar forma ao material sem adição ou remoção significativa. Cada uma dessas abordagens oferece vantagens e aplicações distintas, conforme os requisitos do projeto e as propriedades desejadas do produto final, conforme ilustrado na Figura 1, onde uma breve representação de cada processo pode ser visualizada junto ao processo intitulado.

**Figura 1** – Processos de fabricação

Fonte: Wiltgen e Lopes (2022).

Em relação aos processos convencionais de fabricação, Gade, Vagge e Rathod (2023) realizou uma revisão sistemática com o objetivo de discutir as vantagens da manufatura aditiva em comparação aos métodos subtrativos, destacando a capacidade de evitar deformações e tensões internas. O estudo evidenciou benefícios em termos de tempo, custo e qualidade na prototipagem de componentes funcionais, revelando a superioridade do método aditivo. Outro estudo relevante é a revisão sistemática realizada por Pant et al. (2021), que explora como a manufatura aditiva supera os processos subtrativos na indústria aeroespacial, permitindo a criação de peças mais leves, com melhores propriedades mecânicas e maior eficiência de combustível. Além disso, Belgiu, Turc e Carausu (2020) avaliou as vantagens e desvantagens da manufatura aditiva em comparação com a subtrativa, concluindo que a manufatura aditiva oferece maior eficiência e custo-benefício na prototipagem de produtos poliméricos. Outro destaque é o estudo de Cecchel e Cornacchia (2024), que demonstrou a manufatura aditiva como uma solução superior para a produção rápida de moldes de areia, apresentando propriedades mecânicas superiores em comparação aos métodos de fundição tradicionais.

No que se refere aos impactos causados pelo processo aditivo na indústria, Aguiar et al. (2023) apresenta uma revisão sobre o uso da prototipagem rápida por meio da impressão 3D no desenvolvimento de produtos, explorando as vantagens e desvantagens dessa tecnologia no processo produtivo. O estudo propôs diversas melhorias para otimizar os processos e destacou como principais vantagens a personalização de produtos, o uso eficiente de materiais e a possibilidade de criar geometrias complexas. Essas características possibilitam a produção de peças leves e funcionais, inviáveis de serem fabricadas por métodos tradicionais. Contudo, foram explicitadas algumas desvantagens, como o alto custo dos equipamentos, a limitação de materiais disponíveis e a carência de mão de obra qualificada para manutenção e operação. O estudo concluiu que a prototipagem rápida por impressão 3D é uma tecnologia inovadora, com potencial para melhorar significativamente o desenvolvimento de produtos ao otimizar o tempo e os recursos. No entanto, a expansão dessa tecnologia ainda enfrenta desafios, como a necessidade de reduzir os custos dos equipamentos e ampliar a variedade de materiais disponíveis.

No que se refere às tendências de pesquisas acadêmicas, Sonkamble e Phafat (2023) discute as capacidades atuais e as perspectivas futuras da Tecnologia de Feixe de Elétrons (EBT), um processo de manufatura aditiva (AM) de metais utilizado para produzir componentes metálicos diretamente a partir de dados eletrônicos da geometria desejada. Suas aplicações destacam-se principalmente nas indústrias aeroespacial e biomédica. Complementando essa discussão, Alkunte et al. (2024) examina os avanços e desafios no campo dos materiais funcionalmente graduados (FGMs) fabricados por métodos aditivos, abordando as diferentes técnicas de fabricação e os materiais utilizados, além de explorar suas aplicações em áreas como engenharia estrutural, automotiva, biomédica, robótica, eletrônica, impressão 4D e metamateriais. Além disso, Garofalo et al. (2024) contextualiza o uso crescente da manufatura aditiva em empresas e instituições marítimas, que inicialmente aplicaram essa tecnologia para prototipagem e desenvolvimento de produtos, e agora estão começando a expandir seu uso para a produção de peças de uso final e ferramentas. O estudo também destaca que a lenta adoção da manufatura aditiva no setor marítimo é atribuída principalmente à falta de educação em tecnologia e estratégias aditivas.

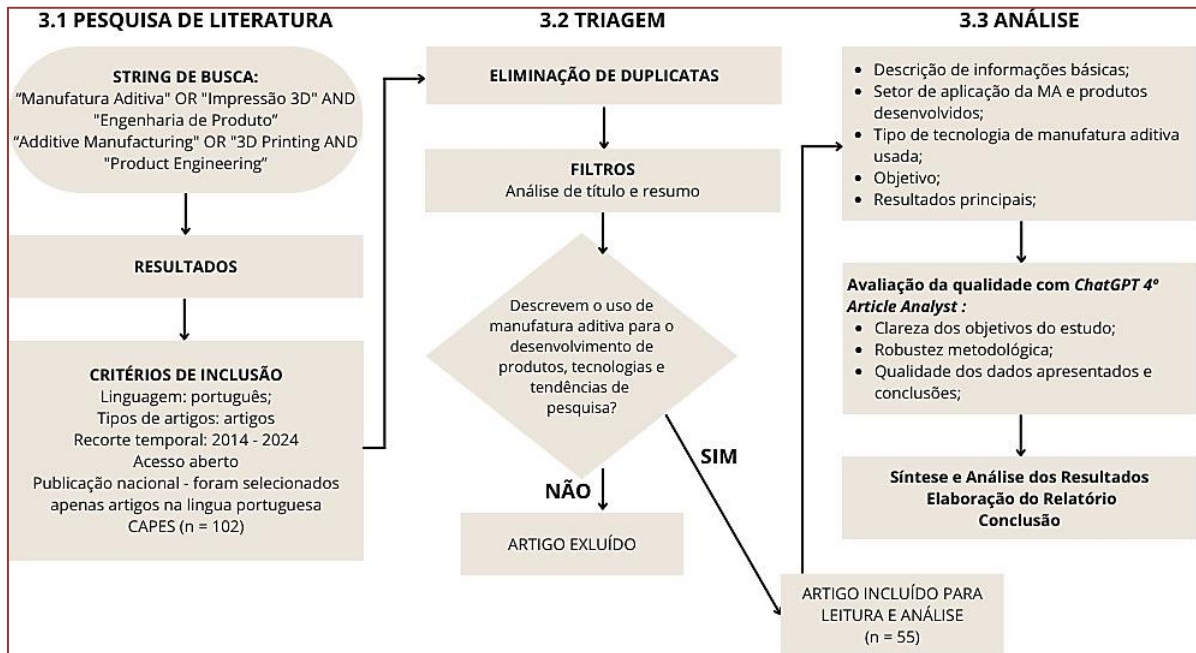
No que se refere às tecnologias utilizadas no campo da manufatura aditiva, Peng et al. (2021) revisa tecnologias de pós-processamento destinadas à melhoria da qualidade superficial e das propriedades mecânicas de peças produzidas por impressoras 3D que utilizam o processo de Fused Deposition Modeling (FDM), o método mais amplamente utilizado em impressoras 3D disponíveis no mercado. Complementarmente, Mohamed e Surmen (2024) explora o uso da manufatura aditiva em soluções biomiméticas, destacando tecnologias como FDM, sinterização seletiva a laser (SLS), jateamento de aglutinante, estereolitografia e fusão seletiva a laser (SLM). Por fim, Vafadar et al. (2021) analisa os principais processos de manufatura aditiva voltados para metais, como fusão por leito de pó (PBF), deposição de energia dirigida (DED), jateamento de ligante (BJ) e jateamento de nanopartículas (NPJ), oferecendo uma análise detalhada das aplicações industriais e dos desafios enfrentados por essas tecnologias. No contexto atual, essas são as principais tecnologias presentes no campo da manufatura aditiva, embora outros processos possam existir, a maioria deles se enquadrariam em algum dos métodos descritos anteriormente, com variações pontuais.

Com base na revisão brevemente discutida, é evidente a ampla gama de aplicações da manufatura aditiva e sua crescente relevância tanto na academia quanto nas indústrias. Esse crescimento é impulsionado pelas inúmeras vantagens associadas ao processo e pelo elevado potencial tecnológico que a manufatura aditiva oferece. Atualmente, essa tecnologia está sendo amplamente utilizada e estudada em diversos setores e áreas do conhecimento, especialmente no que se refere aos processos de fabricação e ao desenvolvimento de produtos como evidenciado anteriormente, reforçando assim sua importância no cenário industrial e acadêmico.

### 3. METODOLOGIA

Tendo em vista que o principal objetivo desta revisão sistemática de literatura é analisar como o Brasil tem utilizado a manufatura aditiva no desenvolvimento de produtos e tecnologias, identificando as principais áreas de aplicação, os desafios enfrentados e as tendências de pesquisa, a presente investigação configura-se como uma pesquisa de revisão bibliográfica, conforme Gil (2022). A estruturação do estudo é apresentada de forma visual no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Processos de fabricação



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 3.1. PESQUISA DE LITERATURA

O primeiro passo envolveu a busca por literatura relevante no banco de dados CAPES, devido à sua ampla cobertura de publicações científicas no Brasil. Para a pesquisa, foram utilizadas as seguintes sequências de palavras-chave:

**Palavras-chave em língua portuguesa:** "Manufatura Aditiva"OR "Impressão 3D"AND "Engenharia de Produto"

**Palavras-chave em língua inglesa:** "Additive Manufacturing"OR "3D Printing AND "Product Engineering".

As sequências de palavras-chave foram cuidadosamente selecionadas para garantir o retorno de estudos científicos que abordem os temas definidos, tais como: verificação do contexto nacional sobre processos aditivos, metodologias aplicadas no Brasil, e as tendências de pesquisa. Além disso, os seguintes critérios foram adotados:

**Data de publicação:** O filtro temporal utilizado abrange publicações entre os anos de 2014 e 2024.

**Disponibilidade:** Os estudos deveriam estar disponíveis na base de dados com acesso aberto.

**Origem:** Foram considerados apenas estudos publicados em âmbito nacional.

**Revisados por pares:** Foram considerados apenas estudos revisados por pares.

Os critérios aplicados foram selecionados para alcançar um número significativo de estudos que descrevessem o panorama da manufatura aditiva no Brasil e auxiliassem na interpretação do cenário nacional em relação aos processos de fabricação aditivos.



### 3.2. TRIAGEM

O próximo passo envolve a triagem dos itens de pesquisa. Foram excluídos deste estudo os artigos que não abordam o uso da manufatura aditiva para o desenvolvimento de produtos ou tecnologias em setores industriais e acadêmicos, bem como publicações de opinião, revisões sem análises qualitativas ou quantitativas, publicações sem dados empíricos e trabalhos que não possuam o texto completo. Além disso, os artigos foram filtrados com base nos seguintes critérios:

**Título e resumo:** Artigos cujos títulos e resumos não remetessem diretamente ao tema foram descartados.

**Conteúdo:** Com base no contexto apresentado nos títulos e resumos, foi realizada uma breve leitura parcial dos principais pontos dos estudos, como resultados e conclusões, descartando aqueles que não cumprissem os requisitos previamente delineados.

**Duplicatas:** Artigos duplicados foram removidos da análise.

A pesquisa inicial identificou artigos, sendo 102 em língua portuguesa e 226 em língua inglesa, que foram analisados e filtrados com base nos critérios previamente estabelecidos. A análise de filtragem foi realizada por toda a equipe, de forma separada para cada estudo. Os estudos selecionados passaram por uma aprovação majoritária entre os revisores, garantindo assim que somente os artigos relevantes, de acordo com os critérios estabelecidos, fossem incluídos na pesquisa.

### 3.3. ANÁLISE

Após o processo de filtragem, foi realizada a análise dos artigos selecionados, com a extração e categorização dos dados conforme sua área de atuação e contexto de aplicação. Os estudos foram então subdivididos de acordo com os seguintes fatores:

**Setor de aplicação:** Identificação e apresentação concisa do setor de aplicação abordado no estudo.

**Tipo de tecnologia de manufatura aditiva:** Classificação do tipo de tecnologia de manufatura aditiva utilizado nos estudos analisados.

**Descrição do objetivo do estudo:** Breve descrição dos objetivos principais de cada estudo, ressaltando as metas dos pesquisadores.

Essa categorização permitiu uma análise detalhada do cenário de aplicação da manufatura aditiva no Brasil, oferecendo uma visão abrangente dos setores e tecnologias envolvidos. Os dados foram organizados e apresentados em formato de tabelas, contendo as informações previamente descritas.

Durante o processo de análise da qualidade dos estudos selecionados, sendo o número de revisores par, eventuais discordâncias surgiram quanto à qualidade metodológica e ao contexto dos trabalhos analisados. Para resolver tais divergências, foi utilizado o ChatGPT 4.0 Article Analyst, uma ferramenta desenvolvida por usuários do ChatGPT (2024), que analisa artigos no formato PDF quanto à sua metodologia, relevância e resultados alcançados. Para refinar o uso da ferramenta, foi inserido o seguinte input:

"Analisar o artigo avaliando sua qualidade metodológica e relevância, baseando-se em: Clareza dos objetivos do estudo, Robustez metodológica e Qualidade dos dados apresentados, além de resultados e conclusões."



Após a extração e análise dos dados, foi realizada uma síntese narrativa dos resultados, destacando o panorama geral do uso da manufatura aditiva no Brasil, incluindo as principais tendências, setores mais envolvidos, e os tipos de produtos ou tecnologias desenvolvidas. Além disso, foram analisados os desafios e benefícios identificados no uso dessa tecnologia. Os resultados foram organizados em um relatório final, seguindo as diretrizes da metodologia PRISMA, que inclui etapas como a identificação de estudos relevantes, triagem com critérios de inclusão e exclusão, extração de dados de forma padronizada e a elaboração de uma síntese clara e objetiva dos achados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES DA METODOLOGIA APLICADA

Conforme descrito na seção anterior, a pesquisa realizada na base de dados Periódicos Capes resultou na identificação de 102 artigos em língua portuguesa e 226 em língua inglesa. Os artigos em inglês foram excluídos com base nos critérios previamente estabelecidos. Os artigos selecionados foram, então, organizados de acordo com suas áreas de aplicação, sendo divididos em seis principais categorias: desenvolvimento de produtos educacionais, produtos voltados para a área da saúde, produtos para o setor da construção civil, tecnologias assistivas, desenvolvimento industrial, e produtos em áreas diversas.

O processo de seleção e filtragem dos artigos em língua portuguesa está detalhado na Tabela 1, de forma genérica. A tabela apresenta o número total de estudos inicialmente encontrados nas bases de dados, o número de estudos descartados após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, e o número final de estudos selecionados para análise.

**Tabela 1** – Artigos analisados em língua portuguesa

Área	total	Selecionados	Descartados
Todos os artigos analisados	102	55	47
Desenvolvimento de produtos na área da educação	21	12	9
Desenvolvimento de produtos na área da saúde	27	14	13
Desenvolvimento de produtos na área de construção civil	4	4	0
Desenvolvimento de produtos – tecnologias assistivas	15	8	7
Desenvolvimento de produtos em tecnologias industriais	18	11	7
Desenvolvimento de produtos em áreas variadas	17	6	11

Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise dos resultados e a apresentação dos artigos selecionados são aprofundadas nas subseções subsequentes, proporcionando uma visão mais detalhada e abrangente de cada uma das áreas delimitadas, onde os artigos foram divididos.

##### 4.1. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA ÁREA DA EDUCAÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, nesta subseção foram analisados um total de 21 estudos, dos quais 9 foram descartados. A área de aplicação analisada abrange conteúdos relacionados ao desenvolvimento de produtos ou metodologias voltados para o apoio ao ensino básico e superior em escolas e universidades. Esses estudos se concentraram em soluções inovadoras que utilizam a manufatura aditiva para criar ferramentas

educacionais, promovendo melhorias nos processos de ensino-aprendizagem, tanto no ambiente acadêmico quanto no pedagógico, e podem ser visualizados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Desenvolvimento de produtos na área educacional**

Área Educacional		
Nome	Artigo	Tecnologia e material
Impressão 3D e o Desenvolvimento de Produtos Educacionais	(Onisaki; Vieira, 2019)	Fabricação por Filamento Fundido (FFF) - PLA
Simulador de dreno de tórax: desenvolvimento de modelo de baixo custo para capacitação de médicos e estudantes de medicina	(Bettega et al., 2019)	Não especificado
Reconstrução e impressão 3D do neurocrânio de cão com o uso de tomografia computadorizada como ferramenta para auxiliar no ensino da anatomia veterinária	(Santos; Andrade, 2020)	Fabricação por Filamento Fundido (FFF) - termoplástico em filamento
Impressão 3D como Recurso para o Desenvolvimento de Material Didático: Associando a Cultura Maker à Resolução de Problemas	(Berti; Silveira; Neto, 2020)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA ou ABS
Desenvolvimento de um Educador Vaginal Através do Processo de Manufatura Aditiva (Impressão 3D)	(Martins et al., 2017)	Fabricação por Filamento Fundido (FFF) - PLA
Representação tridimensional de dentes de mamíferos e sua utilização como recurso didático na formação de professores de Ciências e Biologia	(Silva et al., 2023)	Não especificado
Desenvolvimento de Modelos Impressos em 3D para o Ensino de Ciências	(Palaio; Almeida; Patreze, 2018)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA
Aplicação de modelos de impressão 3D como ferramenta para atividades práticas experimentais no ensino de Física	(Capeloto et al., 2023)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA
Aprendizagem ativa por meio da prototipagem rápida em um Curso de Graduação em Engenharia de Energia	(Ferreira; Freitas-Gutierrez, 2022)	FDM (Fused Deposition Modeling) - Não especificado
Modelo didático para o ensino de Ciências, construção por meio de impressão 3D: análise e avaliação no processo de ensino-aprendizagem	(Oliveira; Ferreira; Martins, 2022)	FDM (Fused Deposition Modeling) - ABS
Aprendizagem de Anatomia Vertebral Humana por Meio do Uso de Modelos Vertebrais Lombares 2D e 3D	(Bona et al., 2020)	FDM (Fused Deposition Modeling) - Não especificado
Impressão 3D na Avaliação de Pericardite Constrictiva	(Abrantes et al., 2024)	FDM (Fused Deposition Modeling) - Filamentos termoplásticos

Fonte: Elaborada pelos autores.

O primeiro artigo selecionado, desenvolvido por Onisaki e Vieira (2019), trata da aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de produtos educacionais, destacando o uso da Fabricação por Filamento Fundido (FFF) com termoplásticos como PLA. A tecnologia foi utilizada para criar e personalizar materiais didáticos em disciplinas como ciências, história, artes e tecnologia, oferecendo flexibilidade para atender às necessidades específicas do ensino. O estudo delimita sua área de aplicação na criação de ferramentas pedagógicas inovadoras.

O segundo artigo, de Bettega et al. (2019), foca no uso da impressão 3D no desenvolvimento de um simulador de baixo custo para o ensino da técnica de drenagem torácica. A tecnologia foi utilizada para criar um modelo anatômico da caixa torácica humana, empregando diferentes materiais para simular estruturas corporais, destacando a importância na capacitação médica.

O terceiro artigo, de Santos e Andrade (2020), aborda a impressão 3D no ensino de anatomia veterinária, permitindo a criação de modelos tridimensionais do neurocrânio de cães. Utilizando tomografias computadorizadas, os modelos serviram como ferramentas educativas e auxiliaram no planejamento cirúrgico.

Berti, Silveira e Neto (2020) explora o uso da impressão 3D em uma escola pública da Paraíba, Brasil, integrando a cultura maker e a resolução de problemas com metodologias ativas como Design Thinking. A tecnologia utilizada foi a impressora Winbo Mini, oferecendo novas formas de engajar alunos com protótipos e materiais personalizados.

O quinto artigo, de Martins et al. (2017), aplica a impressão 3D na fisioterapia e saúde da mulher, especificamente no desenvolvimento de um educador vaginal para o tratamento de disfunções do assoalho pélvico, destacando o uso de poliácido láctico (PLA) para o processo de impressão.

O sexto estudo, de Silva et al. (2023), aborda a criação de modelos anatômicos de dentes de mamíferos para o ensino de zoologia e biologia, usando impressão 3D como recurso didático. O processo utilizou a tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling) com filamento de ABS.

O sétimo artigo, de Palaio, Almeida e Patreze (2018), analisa a criação de modelos tridimensionais de microalgas para o ensino de ciências, utilizando impressão 3D com filamento PLA para auxiliar no estudo da diversidade biológica.

Capeloto et al. (2023) aplica a impressão 3D no ensino de Física, desenvolvendo modelos tridimensionais para experimentos práticos em escolas. O processo foi realizado com a impressora XYZ – Da Vinci 1.0 Pro, utilizando filamento de PLA para criar materiais seguros e eficazes.

O nono artigo, de Ferreira e Freitas-Gutierrez (2022), utiliza a impressão 3D no ensino de Engenharia de Energia, permitindo que os alunos desenvolvam projetos práticos e funcionais em sala de aula, promovendo um aprendizado mais ativo e colaborativo.

Oliveira, Ferreira e Martins (2022) foca na criação de um modelo anatômico do sistema circulatório para o ensino de ciências, destacando o uso de impressão 3D FDM com polímero ABS e modelagem no software SolidWorks para construir um modelo em tamanho real.

O décimo primeiro artigo, de Bona et al. (2020), aplica a impressão 3D na medicina veterinária para o tratamento de osteossarcoma vertebral em cães, utilizando o material

PETG para criar um espaçador vertebral após a remoção de um tumor, contribuindo para a estabilidade pós-cirúrgica.

O décimo segundo artigo, de Abrantes et al. (2024), usa a impressão 3D para avaliar e planejar cirurgias relacionadas à pericardite constrictiva, com foco na criação de modelos anatômicos para facilitar a educação e a prática médica. A tecnologia FDM foi utilizada para imprimir modelos cardíacos a partir de imagens tomográficas.

A análise dos artigos revela uma forte tendência no cenário brasileiro de integrar a impressão 3D ao desenvolvimento de produtos educacionais, destacando sua aplicação em diversas disciplinas, como ciências, biologia, física e saúde. A Fabricação por Filamento Fundido (FFF), especialmente com o uso de PLA e ABS, surge como a tecnologia mais utilizada, devido à sua acessibilidade, segurança e versatilidade na criação de materiais didáticos personalizados. O uso de modelagem 3D em softwares como SolidWorks e Blender tem se mostrado essencial no processo de criação dos modelos, enquanto a abordagem maker e metodologias ativas, como Design Thinking, reforçam o caráter interativo e colaborativo das práticas educacionais. Mesmo em campos como a medicina veterinária e a fisioterapia, os estudos são voltados para a capacitação educacional, demonstrando uma convergência no uso da impressão 3D para aprimorar o ensino e facilitar o aprendizado por meio de recursos tangíveis e interativos. Essa tendência aponta para um caminho onde a impressão 3D se consolida como uma ferramenta crucial no desenvolvimento de soluções educacionais inovadoras, que atendem tanto às necessidades de capacitação profissional quanto às demandas de ensino em diferentes níveis e áreas do conhecimento.

#### **4.2. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA ÁREA DA SAÚDE**

Conforme mencionado anteriormente, nesta subseção foram analisados um total de 27 estudos, dos quais 13 foram descartados. A área de aplicação abordada envolve o desenvolvimento de produtos e metodologias voltados para a área da saúde, com foco em soluções inovadoras utilizando a manufatura aditiva. Esses estudos exploraram a criação de ferramentas e tecnologias aplicadas no campo da medicina hospitalar, promovendo avanços nos processos de tratamento médico, além de desenvolver equipamentos capazes de resolver desafios presentes tanto em ambientes acadêmicos quanto hospitalares. As contribuições analisadas dessa área de pesquisa podem ser visualizadas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Desenvolvimento de produtos na área da saúde**

Área Médica		
Nome	Artigo	Tecnologia e material
Utilização de membros protéticos fabricados a partir de impressão 3D para amputados	(Rodrigues; Stocco, 2020)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA e ABS
Impressão 3D de protetores faciais para proteção de profissionais da saúde contra a infecção do COVID-19	(Andrade et al., 2020)	Fused Deposition Modeling (FDM) - ABS
Tomografia Computadorizada Multidetectors com Ultra Baixa Dose de Radiação e Impressão 3D como Auxiliares para Cirurgia Guiada em Implantodontia	(Rodrigues et al., 2020)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA
Planejamento pré-operatório de correção de deformidades supramaleolares através de impressão 3D: Relato de Caso	(Baumfeld et al., 2021)	FDM (Fused Deposition Modeling) - PLA
Artroplastia Parcial de Ombro Guiada por Prototipagem Tridimensional	(Maia et al., 2024)	sinterização seletiva a laser (SLS), poliamida PA 12
Desenvolvimento de design de mascara como equipamento de proteção individual por meio de impressão 3D	(Ramos; Lopes; Teixeira, 2023)	FDM (Fused Deposition Modeling) - TPE e PLA
Impressão 3D de Separador Magnético: Uma Abordagem Acessível para o Preparo de Amostras no Diagnóstico da COVID-19	(Silva-Neto et al., 2023)	FDM (Fused Deposition Modeling) - PLA
Bioimpressão 3D de Tecidos e Órgãos: uma prospecção tecnológica	(É et al., 2020)	bioimpressão de géis - polímeros biodegradáveis e hidrogéis celulares
Aplicação da tecnologia de impressão 3D no tratamento da pseudartrose da fratura de Hoffa	(Mendonça et al., 2022)	FDM (Fused Deposition Modeling) - ABS
Uso da impressão tridimensional para auxílio diagnóstico e terapêutico das fraturas de pilão tibial	(Wustro et al., 2024)	FDM (Fused Deposition Modeling) - Não especificado
Navegação em software livre e impressão 3D aplicada ao tratamento de osteoma mandibular	(Silva et al., 2023)	FDM (Fused Deposition Modeling) - PLA e SLA
Tratamento da Consolidação Viciosa do Rádio Distal: Osteotomia Corretiva Mediante Planejamento com Prototipagem em Impressão 3D	(Belloti et al., 2021)	FDM (Fused Deposition Modeling) - PLA
Órtese com impressão 3D para ombro: relato de caso	(Assad et al., 2017)	Fused Deposition Modeling (FDM) - ABS Plus
Navegação em software livre e impressão 3D: princípios básicos e simulações em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais	(Guidolin et al., 2022)	FDM (Fused Deposition Modeling) - CPE+ (Chlorinated PolyEthylene)

Fonte: Elaborada pelos autores.

O primeiro artigo selecionado, desenvolvido por Rodrigues e Stocco (2020), explora a aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de próteses para amputados, utilizando a tecnologia Fused Deposition Modeling (FDM) com materiais como PLA e ABS. A principal vantagem destacada foi a criação de dispositivos de baixo custo e personalizáveis, capazes de substituir parcialmente ou totalmente as funções dos membros perdidos. O estudo delimita sua área de atuação no desenvolvimento de produtos de saúde, com a possibilidade de integrar sistemas mioelétricos para aumentar a funcionalidade.

O segundo artigo, desenvolvido por Andrade et al. (2020), investiga a aplicação da impressão 3D na produção de protetores faciais durante a pandemia de COVID-19. A tecnologia foi usada para suprir a escassez de EPIs em hospitais, com a criação de suportes plásticos de ABS para folhas de acetato. O estudo se concentrou na área da saúde, mais especificamente na proteção de profissionais durante a crise sanitária.

O terceiro artigo, desenvolvido por Rodrigues et al. (2020), aborda o uso da impressão 3D na odontologia, especificamente na produção de guias cirúrgicos personalizados para implantodontia. A tecnologia FDM, com PLA, foi utilizada para criar guias a partir de imagens tomográficas, melhorando a precisão dos implantes dentários. O foco do estudo é o desenvolvimento de ferramentas médicas para aplicação em cirurgias dentárias.

O quarto artigo, de Baumfeld et al. (2021), destaca a impressão 3D no planejamento cirúrgico ortopédico, criando modelos 3D do tornozelo para cirurgias de correção de deformidades. A tecnologia FDM com PLA permitiu o planejamento preciso de osteotomias, contribuindo para maior eficiência cirúrgica. O estudo é focado na saúde ortopédica.

O quinto artigo, de Maia et al. (2024), explora a criação de modelos anatômicos para artroplastias de ombro, utilizando sinterização seletiva a laser (SLS) com poliamida. O objetivo foi otimizar o planejamento cirúrgico e a personalização de próteses. O estudo delimita sua área de aplicação na ortopedia.

O sexto artigo, de Ramos, Lopes e Teixeira (2023), aborda a produção de máscaras faciais reutilizáveis para proteção contra o SARS-CoV-2, com design inovador utilizando filamentos de TPE e PLA, visando conforto e eficiência na vedação. O estudo se concentra em soluções de saúde pública.

O sétimo artigo, de Silva-Neto et al. (2023), descreve a criação de um separador magnético de baixo custo para a extração de RNA, aplicado no diagnóstico da COVID-19. O dispositivo foi desenvolvido com impressão 3D FDM, utilizando PLA, para agilizar o preparo de amostras clínicas.

O oitavo artigo, de É et al. (2020), trata da bioimpressão 3D para medicina regenerativa, abordando o uso de polímeros biodegradáveis e células-tronco na criação de tecidos biomiméticos para transplantes, com foco na redução da rejeição e no tempo de espera.

O nono artigo, de Mendonça et al. (2022), explora a impressão 3D no planejamento cirúrgico de fraturas do côndilo femoral, utilizando biomodelos para simulações pré-operatórias e melhorando a precisão na colocação de implantes. O estudo se concentra na ortopedia.



O décimo artigo, de Wustro et al. (2024), investiga a impressão 3D no diagnóstico e planejamento de fraturas de pilão tibial, criando modelos tridimensionais das fraturas que foram comparados com tomografias para auxiliar no tratamento ortopédico.

O décimo primeiro artigo, de Silva et al. (2023), aplica a impressão 3D no planejamento cirúrgico buco-maxilo-facial, criando biomodelos para a remoção de osteomas mandibulares, com o uso de softwares livres e impressão 3D FDM e SLA.

O décimo segundo artigo, de Belloti et al. (2021), aborda a impressão 3D no tratamento de consolidações viciosas de fraturas do rádio distal, utilizando modelos anatômicos para o planejamento cirúrgico e melhoria na visualização das deformidades.

O décimo terceiro artigo selecionado, desenvolvido por Assad et al. (2017), trata da aplicação da impressão 3D na saúde, com foco no desenvolvimento de órteses para estabilização de ombro. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D por Fused Deposition Modeling (FDM), utilizando termoplástico ABS Plus, que oferece maior resistência mecânica. O escaneamento 3D foi feito com o scanner Sense da 3D Systems, e a modelagem foi realizada com softwares Solid Edge e Magics.

O decimo quarto artigo selecionado, desenvolvido por Guidolin et al. (2022), trata da aplicação da impressão 3D na Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais, auxiliando no planejamento cirúrgico e na construção de biomodelos para guias cirúrgicos personalizados. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com o material CPE+ (Chlorinated PolyEthylene) para a criação de modelos anatômicos e guias cirúrgicos. Softwares livres, como 3D Slicer, 3D Builder e Meshmixer, foram utilizados no processo de modelagem e segmentação de imagens obtidas via tomografia computadorizada.

A análise dos artigos revela que o cenário brasileiro tem adotado amplamente a impressão 3D como uma ferramenta essencial no desenvolvimento de soluções voltadas para a medicina hospitalar, com foco em planejamento cirúrgico, próteses personalizadas e dispositivos médicos. As técnicas mais utilizadas são a Fused Deposition Modeling (FDM), destacada pelo uso de materiais como PLA e ABS, e a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), que se mostrou fundamental em aplicações ortopédicas e de bioimpressão. Esses estudos evidenciam a versatilidade da manufatura aditiva tanto na criação de bio- modelos anatômicos quanto na fabricação de equipamentos de proteção individual (EPIs) e dispositivos para diagnóstico, como separadores magnéticos. A tendência de integrar softwares livres para o planejamento cirúrgico também se destaca, permitindo a execução de cirurgias mais complexas em ambientes com recursos limitados. O desenvolvimento de produtos médicos por meio de impressão 3D segue uma trajetória de inovação e personalização, demonstrando o compromisso da pesquisa nacional em otimizar tratamentos e diagnósticos com soluções acessíveis e eficazes para o sistema de saúde.

### 4.3. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA ÁREA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Conforme mencionado anteriormente, nesta subseção foram analisados um total de 4 estudos. A área de aplicação abordada concentra-se no desenvolvimento de produtos e metodologias voltados para a construção civil, utilizando a manufatura aditiva como principal ferramenta de inovação. Esses estudos exploraram a criação de soluções tecnológicas aplicadas ao setor, visando melhorar os processos construtivos e desenvolver equipamentos inovadores capazes de resolver desafios tanto em ambientes acadêmicos quanto nos canteiros de obras. As contribuições dessa área de pesquisa podem ser visualizadas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Desenvolvimento de produtos em áreas de construção

Áreas Construtivas		
Nome	Artigo	Tecnologia e material
Estudo da Viabilidade de Fabricação de Filamento Compósito Sustentável para Impressão 3D a partir de uma Matriz PLA Reforçada com Resíduos de Fibras de Madeira	(Spohr; Sánchez; Marques, 2021)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA + Pó de madeira
Impressão 3D com materiais cimentícios: uma análise comparativa de projetos residenciais	(Carbonari et al., 2023)	Extrusão - Cimento
A Industrialização da Construção com Terra Através da Impressão 3D	(Taparello, 2016)	Não especificada – terra compactada
Utilização do resíduo de mármore para aplicação como carga de filamentos de PLA visando aplicação na impressão 3D	(Siqueira et al., 2024)	FDM (Fused Deposition Modeling) - PLA

Fonte: Elaborada pelos autores.

O primeiro artigo selecionado, desenvolvido por Spohr, Sánchez e Marques (2021), trata da aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de filamentos sustentáveis para a fabricação de produtos voltados para a construção civil. O estudo investiga a viabilidade de produzir um filamento compósito a partir de uma matriz de PLA reforçada com resíduos de fibras de madeira, buscando criar um material mais ecológico e com propriedades mecânicas aprimoradas. A tecnologia utilizada foi a Fused Filament Fabrication (FFF), também conhecida como Fused Deposition Modeling (FDM), utilizando resíduos da indústria moveleira para agregar sustentabilidade ao processo de manufatura aditiva.

O segundo artigo selecionado, desenvolvido por Carbonari et al. (2023), trata da aplicação da impressão 3D na construção civil, com foco no desenvolvimento de projetos residenciais utilizando materiais cimentícios. A tecnologia visa acelerar o processo construtivo, reduzir custos e desperdícios, além de promover a sustentabilidade por meio do uso de materiais reciclados e sistemas inovadores. A principal tecnologia empregada foi a impressão 3D por extrusão de materiais cimentícios, utilizando métodos como Contour Crafting, D-Shape e Concrete Printing, permitindo a construção de casas e elementos arquitetônicos por meio da deposição em camadas.

O terceiro artigo selecionado, desenvolvido por Taparello (2016), explora a aplicação da impressão 3D na construção civil, especificamente na construção com terra. O estudo investiga o uso do solo como material principal para a criação de edificações, destacando suas vantagens ambientais e econômicas, como o baixo custo, sustentabilidade e conforto térmico. A tecnologia discutida envolve a impressão 3D com terra compactada, utilizando robôs e máquinas automatizadas para empilhar camadas de solo e formar estruturas. O estudo delimita sua área de aplicação no desenvolvimento de métodos sustentáveis para a construção civil.

O quarto artigo selecionado, desenvolvido por Siqueira et al. (2024), trata da aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de filamentos compósitos sustentáveis, especificamente PLA reforçado com resíduos de mármore. O estudo tem como objetivo melhorar as propriedades mecânicas do PLA e reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte de resíduos de mármore. A tecnologia empregada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), onde o compósito PLA/mármore foi obtido por meio de moagem de alta energia e mistura com solventes, resultando em um material adequado para futura extrusão e aplicação em impressão 3D. O estudo delimita sua área de aplicação na construção civil sustentável.

A análise dos artigos revela uma tendência crescente no cenário brasileiro de integrar a impressão 3D no desenvolvimento de soluções sustentáveis para a construção civil, com foco em materiais alternativos e tecnologias inovadoras. As pesquisas apontam para o uso predominante de Fused Deposition Modeling (FDM) e técnicas de extrusão de materiais cimentícios e compósitos, como PLA reforçado com resíduos de madeira ou mármore. Esses estudos demonstram um forte compromisso com a sustentabilidade, ao buscar alternativas que reduzam o impacto ambiental e otimizem o processo construtivo, promovendo a reutilização de resíduos industriais e a eficiência na construção de edificações. Além disso, a aplicação da impressão 3D com materiais naturais, como o solo, reforça a viabilidade de novas abordagens ecológicas para a construção, aliando baixo custo e conforto térmico. Assim, o desenvolvimento de produtos voltados para a construção civil por meio da manufatura aditiva sinaliza um caminho promissor, no qual a inovação tecnológica e a sustentabilidade se consolidam como pilares fundamentais no setor.

#### **4.4. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS EM TECNOLOGIAS ASSISTIVAS**

Conforme mencionado anteriormente, nesta subseção foram analisados um total de 15 estudos, sendo 7 descartados. A área de aplicação concentra-se no desenvolvimento de produtos e metodologias voltadas para tecnologias assistivas. Embora este campo possa compartilhar algumas características com a área da saúde e educação, o foco principal está em demonstrar como a manufatura aditiva pode ser utilizada como uma ferramenta inovadora para solucionar problemas relacionados a deficiências físicas e outras necessidades assistivas. Esses estudos exploraram a criação de soluções tecnológicas voltadas para a melhoria da qualidade de vida de pessoas com deficiência, bem como o desenvolvimento de equipamentos inovadores que podem ser aplicados tanto em contextos acadêmicos quanto em outras situações práticas. As contribuições dessa área de pesquisa podem ser visualizadas na Tabela 5.

**Tabela 5 – Desenvolvimento de produtos - tecnologias assistivas**

Área Tecnologia Assistiva		
Nome	Autor	Tecnologia e material
Dispositivo óptico vestível para o auxílio de deficientes visuais na sala de aula	(Borges et al., 2020)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA
O desenvolvimento de um dispositivo de tecnologia assistiva/ortoprótese para a reabilitação de pacientes com hanseníase e presença de mão em garra e/ou reabsorção óssea	(Júnior et al., 2021)	Não especificado - fibra de vidro, couro natural e chapas galvanizadas
Digitalização de estruturas biológicas no design de material instrucional tátil para pessoas com deficiência visual	(Junior et al., 2023)	FDM (Fused Deposition Modeling) - PLA
Prototipagem rápida no desenvolvimento de produtos: construção do protótipo de um adaptador para escrita	(Serra et al., 2020)	Fused Filament Fabrication (FFF) - ABS
Combinando: um material para ensino de análise combinatória a estudantes cegos	(Basniak; Dombrowski, 2023)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA
Prototipagem Rápida: Um Apoio de Pés Ergonômico para Auxiliar o Retorno Venoso	(Pereira; Santos, 2021)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA e ABS
Utilização do displacement map na criação de recursos auxiliares à educação inclusiva para Pessoas com Deficiência Visual	(Monteiro; Garcia, 2022)	Fused Deposition Modeling (FDM) - Não especificado
Ensino de Geografia e Transtorno do Espectro Autista: Proposição de Material 3D	(Silva; Silva, 2023)	FDM (Fused Deposition Modeling) - ABS

Fonte: Elaborada pelos autores.

O primeiro artigo selecionado, desenvolvido por Borges et al. (2020), trata da aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de um dispositivo óptico vestível para o auxílio de deficientes visuais em salas de aula. A tecnologia foi utilizada para criar as peças estruturais do dispositivo por meio de Fused Deposition Modeling (FDM), utilizando ABS Plus. O dispositivo permite capturar imagens e transmiti-las para smartphones, onde são ampliadas e filtradas para melhorar a visibilidade. O estudo delimita sua área de aplicação no desenvolvimento de produtos voltados para a educação e tecnologia assistiva, promovendo inclusão no ambiente escolar.

O segundo artigo selecionado, desenvolvido por Júnior et al. (2021), trata do desenvolvimento de um dispositivo de tecnologia assistiva para a reabilitação de pacientes com hanseníase que apresentam deformidades nas mãos, como mão em garra e reabsorção óssea. O dispositivo visa melhorar a função manual desses pacientes. Embora o artigo compare a ortoprótese desenvolvida com métodos tradicionais de impressão 3D, a fabricação foi feita com materiais alternativos de baixo custo, como fibra de vidro, couro natural e chapas galvanizadas, com o objetivo de manter o custo acessível. O estudo delimita sua área de aplicação na reabilitação e tecnologia assistiva.

O terceiro artigo selecionado, desenvolvido por Junior et al. (2023), trata da aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de materiais didáticos táteis para pessoas com deficiência visual. O estudo se concentra na criação de modelos de estruturas biológicas, como crânios, cabeças, escamas e caudas de serpentes, visando tornar o ensino de ciências mais acessível por meio do toque. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com o uso de PLA devido à sua facilidade de uso e custo-benefício. Os modelos digitais foram gerados por escaneamento 3D com o Scanner EinScan-SE, editados no GOM Inspect e impressos em uma BIQU B1. O estudo delimita sua área de aplicação no desenvolvimento de tecnologia assistiva para a educação inclusiva.

O quarto artigo selecionado, desenvolvido por Serra et al. (2020), trata da aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de produtos assistivos, com foco na construção de um adaptador para escrita destinado a crianças com restrições motoras nas mãos. A tecnologia utilizada foi a Fused Filament Fabrication (FFF), empregando uma impressora 3D Ultimaker 2 com filamento ABS. O processo incluiu a modelagem CAD e a prototipagem de dois modelos, com ajustes feitos após o primeiro teste de impressão para otimização do design.

O quinto artigo selecionado, desenvolvido por Basniak e Dombrowski (2023), aplica a impressão 3D na educação matemática inclusiva, com foco no desenvolvimento de um material pedagógico para o ensino de Análise Combinatória (Princípio Fundamental da Contagem) destinado a estudantes cegos. O estudo promove a acessibilidade ao tornar o aprendizado de matemática mais interativo e manipulável. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com materiais como PLA, escolhido por sua biodegradabilidade e resistência. O material foi modelado no software Blender e impresso em uma impressora Cliever CL1 - Black Edition.

O sexto artigo selecionado, desenvolvido por Pereira e Santos (2021), aplica a impressão 3D no design ergonômico, com foco no desenvolvimento de um apoio de pés com movimentação ativa para melhorar o retorno venoso dos membros inferiores de pessoas que passam longos períodos sentadas. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), empregando materiais como ABS para a base, PLA para o pedal e nylon para a camada texturizada, escolhidos por suas propriedades de resistência e aderência. O estudo delimita sua área de aplicação na ergonomia e saúde ocupacional.

O sétimo artigo selecionado, desenvolvido por Monteiro e Garcia (2022), aplica a impressão 3D na educação inclusiva, com foco no desenvolvimento de recursos educacionais táteis para pessoas com deficiência visual (PDV). O estudo explora o uso da técnica de displacement map para converter imagens 2D em modelos 3D, criando materiais acessíveis que facilitam o aprendizado de alunos com deficiência visual por meio do tato. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com uma impressora SETHI3D S4X para produzir os modelos tridimensionais a partir de imagens vetorizadas, permitindo uma compreensão tátil de símbolos e formas.

O oitavo artigo selecionado, desenvolvido por Silva e Silva (2023), aplica a impressão 3D no ensino de geografia para alunos com Transtorno do Espectro Autista (TEA). O estudo foca no desenvolvimento de recursos didáticos impressos em 3D para facilitar o aprendizado de geomorfologia e cartografia, promovendo inclusão escolar e auxiliando na compreensão espacial dos temas. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com filamentos de ABS, e os modelos tridimensionais foram obtidos de plataformas como Thingiverse e MyMiniFactory, proporcionando uma abordagem didática diferenciada e interativa.

A análise dos artigos revela uma forte tendência no cenário brasileiro em utilizar a **impressão 3D** como ferramenta-chave para o desenvolvimento de tecnologias assistivas, com destaque para a educação inclusiva, reabilitação e ergonomia. As pesquisas focam na criação de dispositivos personalizados e acessíveis, como materiais táteis, órteses, adaptadores e dispositivos ópticos, visando melhorar a inclusão de pessoas com deficiência em ambientes escolares e profissionais. A tecnologia Fused Deposition Modeling (FDM), utilizando principalmente PLA e ABS, aparece como a técnica mais empregada devido à sua versatilidade, custo-benefício e propriedades mecânicas. Além disso, há uma crescente integração de softwares de modelagem 3D e ferramentas de digitalização para a personalização dos dispositivos, permitindo a adaptação de soluções específicas para cada usuário. Esse movimento evidencia um caminho promissor para o Brasil, onde a inovação tecnológica está sendo aplicada para promover maior acessibilidade e inclusão, ampliando o acesso a produtos assistivos de qualidade, com foco em soluções sustentáveis e de baixo custo.

#### **4.5. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS EM TECNOLOGIAS INDUSTRIAIS**

Conforme mencionado anteriormente, nesta subseção foram analisados um total de 18 estudos, sendo 7 descartados. A área de aplicação concentra-se no desenvolvimento de produtos e metodologias voltados para tecnologias aplicáveis à indústria. O foco principal está em demonstrar como a manufatura aditiva pode ser utilizada como uma ferramenta inovadora para solucionar problemas específicos de diversos campos industriais. Esses estudos exploraram a criação de soluções tecnológicas direcionadas à melhoria de processos industriais e ao desenvolvimento de equipamentos inovadores, aplicáveis tanto em contextos acadêmicos quanto em operações industriais práticas. As contribuições dessa área de pesquisa podem ser visualizadas na Tabela 6.

O primeiro artigo selecionado, desenvolvido por Zucca et al. (2018), trata da aplicação da impressão 3D no meio rural, com foco no desenvolvimento de peças de reposição e protótipos para máquinas agrícolas. O estudo aborda como a prototipagem rápida pode ser utilizada para resolver problemas de fabricação de peças em propriedades rurais, otimizando os processos produtivos e reduzindo custos e tempo. A tecnologia empregada foi a impressão 3D por Fused Deposition Modeling (FDM), permitindo a produção de peças mecânicas customizadas de maneira rápida e eficiente. O estudo delimita sua área de aplicação no desenvolvimento de tecnologias voltadas para a indústria agrícola e rural.



**Tabela 6 – Desenvolvimento de produtos em áreas industriais**

Áreas Metal-Mecânica e Tecnologias Industriais		
Nome	Artigo	Tecnologia e material
Estudo da Viabilidade do Uso de Prototipagem Rápida 3D em Processos Produtivos no Meio Rural	(Zucca et al., 2018)	Fused Deposition Modeling (FDM) - Não especificado
Criação de Artefato Poka Yoke por Impressão 3D para Inspeção do Diâmetro ao Longo do Comprimento dos Tubos de Seção Circular	(Dias; Galhardi, 2023)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PETG
Entre o Virtual e o Tangível: Parametria de Mobiliário para Promover Processos Colaborativos em Contextos de Habitação de Interesse Social	(Silva; Nunes; Medvedovski, 2021)	Não especificado
Design, Ergonomia e Impressão 3D: Um Exercício Prático de Projeto para Protetores de Tomada	(Sousa et al., 2022)	Fused Deposition Modeling (FDM) - ABS
Equipamentos de Proteção Individual Impressos em 3D por Instituições de Ensino Federais para o Enfrentamento da COVID-19	(Santos et al., 2020)	Fused Deposition Modeling (FDM) - para protetores faciais e filamentos plásticos
A importância das metodologias 4.0 no desenvolvimento de uma pequena empresa: Estudo de caso sobre a utilização de impressão 3D em uma empresa Metalúrgica	(Morais; Santos; Morais, 2021)	Fused Deposition Modeling (FDM) - Não especificado
Processo de prototipagem rápida como alternativa para o re-design de componentes de equipamentos: estudo de caso de uma hélice para exaustor de ar impressa em 3D	(Mergener; Silva, 2021)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA
Utilização da Reengenharia, Aliada à Prototipagem, na Manutenção de Equipamentos Laboratoriais da UNESP – Campus de Guaratinguetá	(Mattos et al., 2023)	Fused Deposition Modeling (FDM) - ABS
Aviamentos Impressos em 3D para Pequenas Marcas de Moda	(Hornburg et al., 2022)	Fabricação por Filamento Fundido (FFF) - PLA, PETG, TPU e ABS
Impressão 3D para vestuário: novos paradigmas de design e consumo	(Gomes et al., 2020)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA e FilaFlex
Desenvolvimento de uma estufa de baixo custo para filamentos de impressoras 3D	(Baêta; Silva, 2023)	Não especificado

Fonte: Elaborada pelos autores.

O segundo artigo selecionado, desenvolvido por Dias e Galhardi (2023), trata da aplicação da impressão 3D na indústria metal-mecânica, com foco na criação de artefatos Poka Yoke para a inspeção de diâmetros de tubos de aço. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com filamento de PETG, escolhido por sua resistência mecânica, química e térmica, ideal para protótipos funcionais.

O terceiro artigo selecionado, desenvolvido por Silva, Nunes e Medvedovski (2021), aplica tecnologias digitais, como impressão 3D e design paramétrico, no desenvolvimento de soluções para habitação de interesse social (HIS). O estudo foca na criação de mobiliário customizado e na adaptação de espaços habitacionais, promovendo processos colaborativos entre técnicos e moradores para requalificação de moradias. A fabricação digital por impressão 3D foi combinada com interfaces tangíveis e o uso de ferramentas de design paramétrico, como o software Grasshopper, para gerar mobiliário adaptado às necessidades das HIS.

O quarto artigo selecionado, desenvolvido por Sousa et al. (2022), trata da aplicação da impressão 3D no design de produto e ergonomia, com foco no desenvolvimento de protetores de tomada para ambientes domésticos, visando aumentar a segurança e prevenir acidentes elétricos, especialmente com crianças. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), utilizando o material ABS, escolhido por sua resistência mecânica e segurança no contato com a rede elétrica.

O quinto artigo selecionado, desenvolvido por Santos et al. (2020), trata da aplicação da impressão 3D na saúde pública, com foco no desenvolvimento de equipamentos de proteção individual (EPIs) durante a pandemia de COVID-19. Instituições federais de ensino no Brasil utilizaram impressoras 3D para fabricar protetores faciais, máscaras similares ao modelo N-95 e outros dispositivos de proteção para profissionais de saúde. A tecnologia empregada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), utilizando materiais como acetato e filamentos plásticos, seguindo padrões de código-aberto, como o modelo desenvolvido pela Prusa Research.

O sexto artigo selecionado, desenvolvido por Moraes, Santos e Moraes (2021), trata da aplicação da impressão 3D no setor metalúrgico, com foco na implementação das tecnologias da Indústria 4.0 em uma pequena empresa. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com a fabricação de peças simples, como arruelas e suportes de alinhamento, complementando os métodos tradicionais de usinagem.

O sétimo artigo selecionado, desenvolvido por Mergener e Silva (2021), trata da aplicação da impressão 3D na indústria de ventilação e exaustão, com foco no redesign de hélices para exaustores de ar em cabines de aplicação de adesivos. A tecnologia empregada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com filamento de PLA, sendo o protótipo da hélice comparado a modelos metálicos para avaliar sua eficiência.

O oitavo artigo selecionado, desenvolvido por Mattos et al. (2023), trata da aplicação da impressão 3D na manutenção de equipamentos laboratoriais, com foco na recuperação de botões de acionamento de reguladores de tensão para os laboratórios de Física da UNESP. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com filamento de ABS, escolhido por sua resistência mecânica. O processo envolveu modelagem no SolidWorks e preparação para impressão no Simplify3D, resultando na fabricação de 120 botões.

O nono artigo selecionado, desenvolvido por Hornburg et al. (2022), trata da aplicação da impressão 3D na indústria da moda, com foco na criação de aviamentos personalizados, como botões, plaquetas e argolas, para pequenas marcas de moda. A tecnologia utilizada foi a Fused Filament Fabrication (FFF), com impressão em materiais como PLA, PETG, TPU e ABS. O processo foi realizado com as impressoras Cliever CL1 Black Edition e Systemprime Delta, permitindo a criação de aviamentos com diferentes níveis de detalhes e resistência.

O décimo artigo selecionado, desenvolvido por Gomes et al. (2020), trata da aplicação da impressão 3D na indústria da moda, com foco no desenvolvimento de peças de vestuário, acessórios e calçados. A tecnologia utilizada foi a Fused Deposition Modeling (FDM), empregando termoplásticos como PLA e Filaflex para a criação de peças flexíveis e personalizadas.

O décimo primeiro artigo selecionado, desenvolvido por Baêta e Silva (2023), trata da aplicação da impressão 3D na preservação de filamentos usados em impressoras do tipo FDM (Fused Deposition Modeling). O estudo desenvolve uma estufa de baixo custo para melhorar a durabilidade e a qualidade dos filamentos, mantendo-os secos e prontos para uso. A tecnologia utilizada foi um protótipo de estufa com sistema de controle PID para regular a temperatura, utilizando componentes acessíveis como lâmpadas H4, placas Arduino Uno, sensores LM35, e isolamento térmico com isopor e papel alumínio. O estudo delimita sua área de aplicação na otimização do uso de filamentos na impressão 3D.

A análise dos artigos revela uma tendência crescente no cenário brasileiro de utilizar a impressão 3D como uma ferramenta estratégica para o desenvolvimento de tecnologias industriais, com foco em modernização de processos, redução de custos e personalização de produtos. As pesquisas mostram o predomínio da técnica Fused Deposition Modeling (FDM), com a aplicação de materiais como PLA, ABS e PETG, que oferecem boa resistência mecânica e versatilidade para diversas indústrias. O uso da impressão 3D abrange desde a fabricação de peças de reposição e protótipos para o setor agrícola e metalúrgico até o desenvolvimento de soluções ergonômicas, aviamentos para a moda e preservação de filamentos. Os estudos também destacam a incorporação das tecnologias da Indústria 4.0, demonstrando o potencial da impressão 3D para otimizar processos produtivos em pequenas e grandes empresas, promovendo inovação e sustentabilidade. Esse panorama evidencia que o Brasil está adotando a manufatura aditiva como uma aliada na busca por eficiência e flexibilidade nos mais variados setores industriais.

#### **4.6. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS EM ÁREAS VARIADAS**

Conforme mencionado anteriormente, nesta subseção foram analisados um total de 17 estudos, sendo 11 descartados. A área de aplicação concentra-se no desenvolvimento de produtos e metodologias voltados para tecnologias aplicáveis a áreas variadas. O foco principal está em demonstrar como a manufatura aditiva pode ser utilizada como uma ferramenta inovadora e versátil para solucionar problemas específicos de diversos campos. Esses estudos exploraram a criação de soluções tecnológicas direcionadas à melhoria de processos e desenvolvimento de equipamentos inovadores, aplicáveis em diversos contextos acadêmicos e operações práticas. As contribuições dessa área de pesquisa podem ser visualizadas na Tabela 7.

**Tabela 7 – Desenvolvimento de produtos em áreas variadas**

Áreas Variadas		
Nome	Artigo	Tecnologia e material
A Impressão 3D no Âmbito das Representações Cartográficas	(Graça et al., 2021)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA
Desenvolvimento de um Projeto Para Impressão 3D Multimaterial Utilizando um Módulo Extrusor Duplo Para Impressões Pessoais	(Prado et al., 2020)	Fused Deposition Modeling (FDM) - PLA e ABS
Aplicação da manufatura aditiva em Ciências Forenses: novas tecnologias a serviço da justiça e da sociedade	(Matos et al., 2023)	Não especificado
Utilização da manufatura aditiva (Impressão 3D) no tratamento de osteossarcoma vertebral em cão submetido a vertebrectomia lombar: Relato de caso	(Santos; Siqueira; Thizen, 2022)	(FDM) Fused Deposition Modeling - PETG
Avaliação por câmera termográfica de implante de co-poliâmida associado a elastômero termoplástico em traqueia de coelho	(Bini et al., 2021)	(FDM) Fused Deposition Modeling - PCTPE
Abordagem de Especificação de Requisitos para Modelagem 3D do Robô Otto para Sessões de Terapia com Crianças Autistas	(Rebouças et al., 2024)	(FDM) Fused Deposition Modeling - PLA

Fonte: Elaborada pelos autores.

O primeiro artigo selecionado, desenvolvido por Graça et al. (2021), trata da aplicação da impressão 3D no campo da cartografia, com foco na criação de modelos tridimensionais de mapas. A tecnologia foi utilizada para gerar representações físicas de terrenos e outros dados espaciais, facilitando a visualização e compreensão de mapas, especialmente em contextos educacionais e de acessibilidade, como a criação de mapas táteis para deficientes visuais. A tecnologia empregada foi a Fused Deposition Modeling (FDM), utilizando filamentos como PLA para imprimir mapas em relevo. O estudo delimita sua área de aplicação no desenvolvimento de produtos voltados para tecnologias e aplicações variadas.

O segundo artigo selecionado, desenvolvido por Prado et al. (2020), trata da aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de sistemas de extrusão para impressoras 3D pessoais, com foco na impressão multimaterial. O projeto visa expandir as capacidades de impressoras 3D de baixo custo, permitindo a impressão simultânea de dois materiais diferentes, como plásticos estruturais e solúveis. A tecnologia utilizada foi a Fused Deposition Modeling (FDM), com o desenvolvimento de um módulo extrusor duplo, permitindo maior precisão e versatilidade nas impressões. O estudo delimita sua área de aplicação no aprimoramento de impressoras 3D pessoais para uso multimaterial.

O terceiro artigo selecionado, desenvolvido por Matos et al. (2023), trata da aplicação da impressão 3D nas Ciências Forenses, com foco na identificação humana e na recriação de evidências, como ossos, dentes e trajetórias de projéteis. A tecnologia é utilizada para produzir réplicas precisas de evidências forenses a partir de varreduras, facilitando a visualização por jurados e reduzindo a necessidade de manuseio das provas originais.

Embora o artigo explore várias técnicas de impressão 3D, não especifica detalhadamente um único método. O estudo delimita sua área de aplicação no desenvolvimento de novas tecnologias para auxiliar a justiça e a sociedade.

O quarto artigo selecionado, desenvolvido por Santos, Siqueira e Thizen (2022), trata da aplicação da impressão 3D no campo da medicina veterinária, com foco no tratamento de osteossarcoma vertebral em cães. A tecnologia foi utilizada para fabricar um espaçador vertebral impresso em 3D, que foi inserido durante uma cirurgia de vertebrectomia para estabilizar a coluna do cão após a remoção de um tumor. A técnica de Fused Deposition Modeling (FDM) foi empregada, utilizando o material PETG, que oferece alta resistência, biocompatibilidade e baixo custo. O estudo delimita sua área de aplicação no uso de impressão 3D para tratamentos veterinários avançados.

O quinto artigo selecionado, desenvolvido por Bini et al. (2021), trata da aplicação da impressão 3D na medicina veterinária, com foco no uso de próteses traqueais em coelhos. O estudo visa avaliar a biocompatibilidade e os processos inflamatórios na reconstrução da traqueia, utilizando implantes impressos em 3D. A tecnologia utilizada foi a Fused Deposition Modeling (FDM), empregando náilon associado a elastômero termoplástico PCTPE. A impressão foi realizada com uma impressora Prusa i3, e a biocompatibilidade foi avaliada por meio de imagens termográficas. O estudo delimita sua área de aplicação no uso de manufatura aditiva para intervenções cirúrgicas veterinárias.

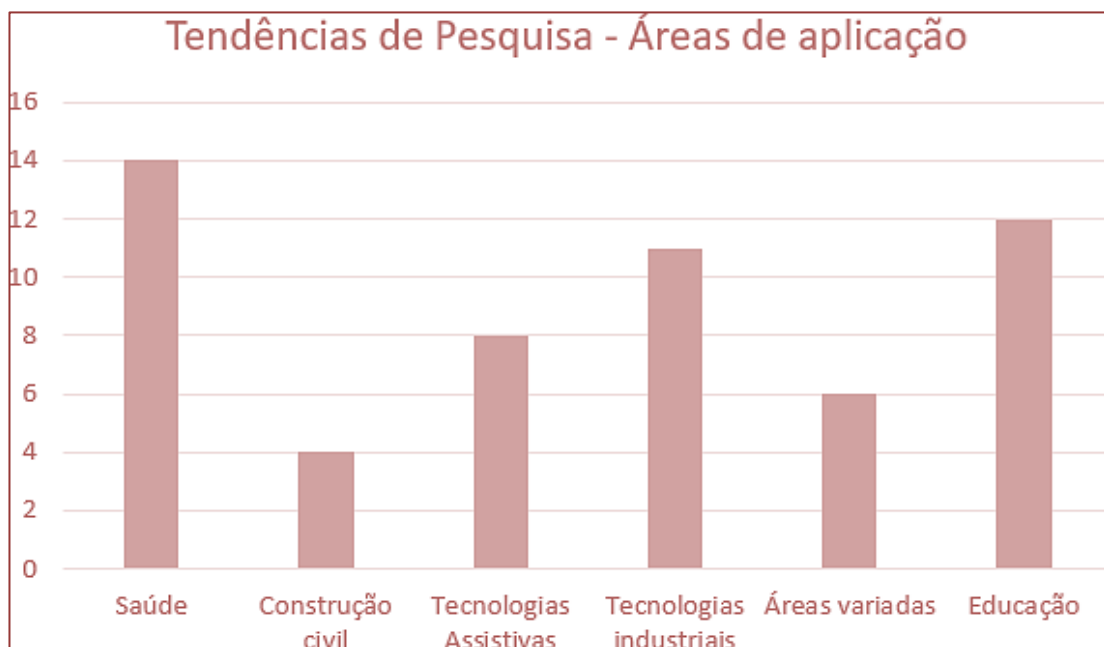
O sexto artigo selecionado, desenvolvido por Rebouças et al. (2024), trata da aplicação da impressão 3D na terapia assistida por robôs, com foco no tratamento de crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA). O estudo apresenta o desenvolvimento do robô Otto, projetado para facilitar a interação social e a comunicação durante sessões terapêuticas. A tecnologia utilizada foi a impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com filamentos PLA, visando criar um brinquedo terapêutico robusto, acessível e de baixo custo, com um design simplificado e lúdico. O estudo delimita sua área de aplicação na utilização de robôs em terapias para crianças com TEA.

A análise dos estudos revela uma crescente utilização da impressão 3D como ferramenta versátil para o desenvolvimento de produtos em áreas variadas, incluindo cartografia, ciências forenses, medicina veterinária e terapias assistidas por robôs. A técnica Fused Deposition Modeling (FDM) aparece como a mais utilizada, com materiais como PLA, PETG e náilon, que se destacam por sua resistência, biocompatibilidade e custo-benefício. A impressão 3D tem sido aplicada para criar soluções que facilitam a visualização de dados complexos, promovem acessibilidade, e oferecem avanços na área médica e tecnológica. O cenário brasileiro tem adotado essa tecnologia para resolver problemas específicos em diversos campos, desde o aprimoramento de impressoras 3D pessoais até a criação de ferramentas terapêuticas e de suporte na medicina veterinária, destacando seu papel fundamental na inovação e na adaptação a diferentes necessidades industriais, educacionais e sociais.

## 5. CONTEXTO NACIONAL DA MANUFATURA ADITIVA

O cenário nacional relacionado à manufatura aditiva tem demonstrado um crescimento expressivo a partir do ano de 2020, considerando que apenas 7 dos 55 artigos analisados são anteriores a essa data. Em relação às tendências de pesquisa, o contexto nacional apresenta uma distribuição variada entre diferentes áreas de aplicação. Cerca de 25,45% das pesquisas são voltadas para a área da saúde, 21,81% voltadas para área educacional, 7,27% para a construção civil, 14,54% para o desenvolvimento de tecnologias assistivas, 20% estão focadas no desenvolvimento de tecnologias industriais, e 10,9% abrangem áreas diversas, incluindo desde a medicina veterinária até a medicina forense, aplicada à resolução de casos criminais. Essa diversidade reflete a versatilidade e a ampla aplicabilidade dos processos aditivos, como pode ser visualizado na Figura 3.

**Figura 3 – Tendências de Pesquisas**

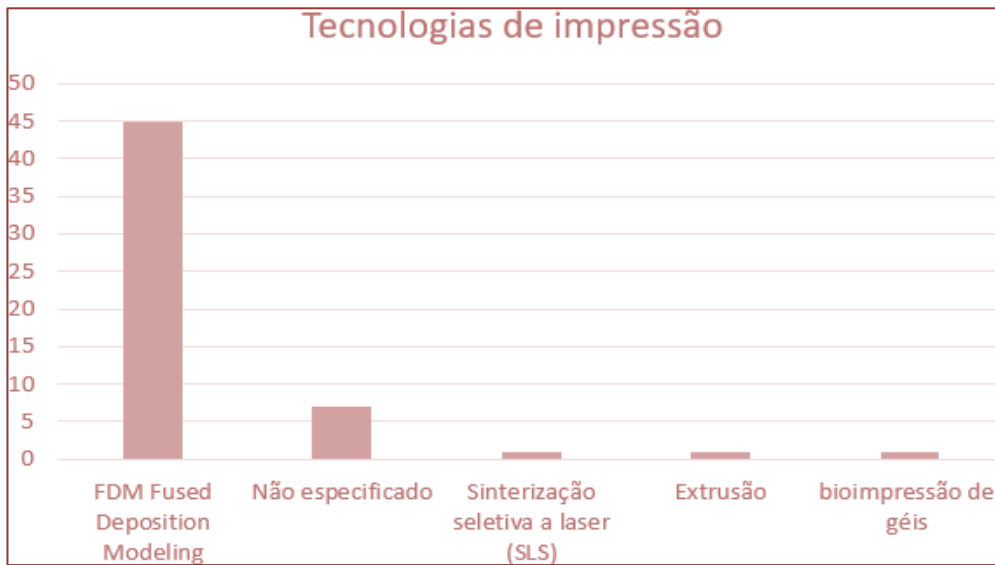


Fonte: Elaborada pelos autores.

Apesar desse avanço, o Brasil ainda se restringe, em grande parte, às tecnologias de manufatura aditiva mais consolidadas no mercado. Aproximadamente 82% dos estudos analisados utilizam a tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling) ou FFF (Fused Filament Fabrication), que são equivalentes. A escassez de pesquisas que empregam tecnologias menos convencionais destaca um desafio no contexto nacional. Embora a manufatura aditiva seja vista como um processo de fabricação de baixo custo, as tecnologias menos difundidas exigem investimentos mais elevados e mão de obra especializada, o que limita seu uso e estudo. As tecnologias mais utilizadas no Brasil podem ser visualizadas na Figura 4.



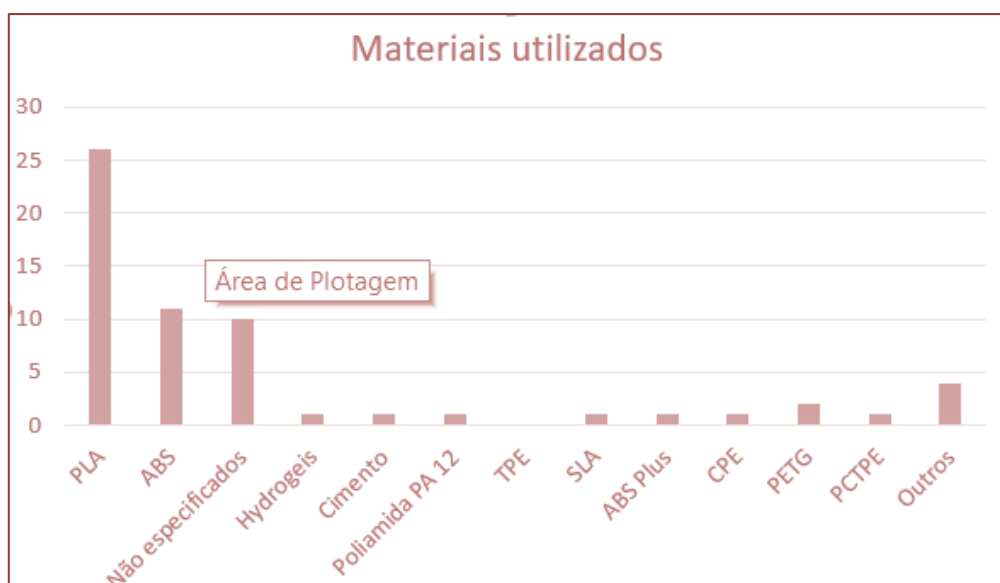
**Figura 4 – Tecnologias Utilizadas nos Estudos**



Fonte: Elaborada pelos autores.

Outro obstáculo relevante é a falta de mão de obra qualificada e investimentos necessários para explorar diferentes tipos de materiais. Os materiais convencionais, como PLA (poliácido láctico) e ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), dominam os estudos, sendo utilizados em cerca de 32 dos 55 artigos analisados. A predominância desses materiais limita o desenvolvimento de pesquisas que poderiam explorar materiais mais avançados ou específicos para determinadas aplicações. A distribuição dos materiais utilizados nas pesquisas pode ser observada na Figura 5.

**Figura 5 – Materiais Utilizados nos Estudos**



Fonte: Elaborada pelos autores.

Em suma, embora o Brasil tenha apresentado um crescimento notável em pesquisas relacionadas à manufatura aditiva, o país ainda enfrenta limitações significativas em termos de tecnologias de impressão e materiais utilizados. Esse cenário decorre do fato de a manufatura aditiva ser um processo relativamente novo no país e o investimento inicial, embora não exorbitante, continua a ser uma barreira para pesquisas mais aprofundadas, especialmente em tecnologias menos convencionais.

## 6. CONCLUSÃO

Este estudo sistemático revisou o uso da manufatura aditiva (MA) no Brasil, com o objetivo de identificar os produtos desenvolvidos, as tendências de pesquisa emergentes, as tecnologias e os materiais mais utilizados, além das metodologias aplicadas no cenário nacional. A análise revelou um crescimento significativo das pesquisas relacionadas à manufatura aditiva no Brasil a partir de 2020, com a maioria dos estudos concentrados em setores como saúde, educação e indústria.

As tecnologias de impressão 3D mais utilizadas no Brasil são o Fused Deposition Modeling (FDM) e a sinterização seletiva a laser (SLS). O FDM foi a tecnologia predominante, sendo empregada em aproximadamente 82% dos estudos revisados. A preferência por essa tecnologia reflete seu custo acessível e sua ampla disponibilidade no mercado, mas também destaca uma limitação no uso de tecnologias mais avançadas e menos convencionais, que demandam maior investimento e mão de obra qualificada. No setor de saúde, foram analisados 14 artigos, com destaque para o uso de impressoras 3D na criação de próteses personalizadas, biomodelos anatômicos e ferramentas de diagnóstico, evidenciando a crescente adoção da tecnologia no ambiente hospitalar.

Na área educacional, 12 estudos abordaram o uso da manufatura aditiva para melhorar o ensino básico e superior, com o desenvolvimento de modelos tridimensionais voltados para práticas pedagógicas inovadoras. No setor industrial, 11 estudos destacaram-se na modernização de processos e no desenvolvimento de produtos sustentáveis. Além disso, 8 estudos focaram em tecnologias assistivas, visando facilitar a vida de pessoas com deficiências. As áreas diversas, incluindo a construção civil, estiveram representadas em 10 artigos, demonstrando a versatilidade da manufatura aditiva no contexto nacional.

Em termos de materiais, o PLA (poliácido láctico), ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) e PETG foram amplamente utilizados, aparecendo em 32 dos 55 artigos revisados. A predominância de materiais convencionais, como o PLA e o ABS, e a escassez de pesquisas que exploram alternativas mais avançadas refletem uma limitação significativa no desenvolvimento de novos materiais no Brasil.

Portanto, embora o país tenha demonstrado um crescimento expressivo no uso da manufatura aditiva, seu avanço é limitado por fatores como a falta de investimento e a carência de mão de obra qualificada. A superação desses desafios passa pela expansão do uso de materiais inovadores, a adoção de técnicas avançadas de manufatura e o investimento na capacitação profissional. A metodologia aplicada nos estudos revisados foi variada, envolvendo desde estudos experimentais até a aplicação de simulações computacionais, mostrando um avanço nas práticas de pesquisa no cenário brasileiro.

Para que a manufatura aditiva se torne uma alternativa competitiva e sustentável no Brasil, é essencial que os setores acadêmico e industrial ampliem seus esforços na adoção de tecnologias emergentes e na formação de profissionais capacitados, garantindo que o país acompanhe a evolução global dessa tecnologia.

## REFERÊNCIAS

- [1] Juliana Cadilho Abrantes and Fernanda Turque and Bernardo Fróes Demier and Daniel Gama Neves and Davi Shunji Yahiro and Tadeu Takao Almodovar Kubo and Leonardo Canale and Claudio Tinoco Mesquitaauthor, Impressão 3d na avaliação de pericardite constritiva, *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 121, n. 2, p. e20220866, 2024, Disponível em: <<https://doi.org/10.36660/abc.20220866>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.
- [2] Samuel Leite Aguiar and Frederico Romel Maia Tavares and Francisca Jeanne Sidrim de Figueiredo Mendonça and Cícero Eduardo de Matos Cassiano and Ana Karine Gomes Duarteauthor, Estudo sobre o uso da prototipagem rápida em impressão 3d aplicada ao desenvolvimento de produtos: Uma revisão sistemática da literatura, *XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Fortaleza, Ceará, Brasil, Outubro 2023, <https://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegepa=2023c=46123>. Citado na página 4.
- [3] Alkunte, Suhas and Fidan, Ismail and Naikwadi, Vivekanand and Gudavasov, Shamil and Ali, Mohammad Alshaiikh and Mahmudov, Mushfig and Hasanov, Seymour and Cheepu, Muralimohanauthor, Advancements and challenges in additively manufactured functionally graded materials: A comprehensive review, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, v. 8, n. 1, 2024, ISSN 2504-4494, Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2504-4494/8/1/23>>. Citado na página 4.
- [4] Marco Antônio Bertoncini Andrade and Charlene da Silva and Jéssika Valeska da Silva Cella and Matheus Brum Marques Bianchi Saviauthor, Impressão 3d de protetores faciais para proteção de profissionais da saúde contra a infecção do covid-19, *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 16, n. 44, p. 59–66, 2020, Disponível em: <<https://periodicos.utfrpr.edu.br/rts/article/view/12207>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.
- [5] Danielle Aline Barata Assad and Valeria Meirelles Carril Elui and Vincent Wong and Carlos Alberto Fortulanauthor, Órtese com impressão 3d para ombro: relato de caso, *Acta Fisiátrica*, v. 24, n. 3, p. 154–159, 2017, Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/0104-7795.20170029>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.
- [6] Maria Ivete Basniak and André Felipe Dombrowskiauthor, Combinando: um material para ensino de análise combinatória a estudantes cegos, *ACTIO: Revista de Extensão e Cultura*, v. 8, n. 1, p. 1–23, 2023, Disponível em: <<https://periodicos.utfrpr.edu.br/actio>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- [7] Tiago Baumfeld and Ricardo Fernandes Rezende and Luiza Helena Oliveira e Araújo and Marco Antonio Percope de Andrade and Daniel Baumfeld and Rudolf Huebnerauthor, Planejamento pré-operatório de correção de deformidades supramaleolares através de impressão 3d: Relato de caso, *Medicina (Ribeirão Preto)*, v. 54, n. 3, p. e172832, 2021, Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.rmrp.2021.172832>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.
- [8] Cláudio Fortes Baêta and Eric Valero Carvalho da Silvaauthor, Desenvolvimento de uma estufa de baixo custo para filamentos de impressoras 3d, *Research, Society and Development*, v. 12, n. 6, p. e1912641857, 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v12i6.41857>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 19.
- [9] G. Belgiu and C.G. Turc and C. Carausuauthor, Selection of subtractive manufacturing technology versus additive manufacturing technology for rapid prototyping of a polymeric product, *Mater. Plast.*, v. 57, n. 4, p. 343–352, 2020, Disponível em: <<https://doi.org/10.37358/MP.20.4.5434>>. Citado na página 3.
- [10] João Carlos Belloti and Bernardo Vaz Peres Alves and Nicola Archetti and Luis Renato Nakachima and Flavio Faloppa and Marcel Jun Sugawara Tamaokiauthor, Tratamento da consolidação viciosa do rádio distal: Osteotomia corretiva mediante planejamento com prototipagem em impressão 3d, *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 56, n. 3, p. 384–389, 2021, Disponível em: <<https://doi.org/10.1055/s-0040-1718510>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.
- [11] J.V.P. Bertti and E.E. Silveira and A.C. Assis Netoauthor, Reconstrução e impressão 3d do neurocrânio de cão com o uso de tomografia computadorizada como ferramenta para auxiliar no ensino da anatomia veterinária, *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Universidade Federal de Minas Gerais, v. 72, n. 5, p. 1653–1658, 2020, Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-4162-11209>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.
- [12] Ana Luísa Bettega and Luis Fernando Spagnuolo Brunello and Guilherme Augusto Nazar and

Giovanni Yuji Enomoto de-Luca and Lucas Mansano Sarquis and Henrique de Aguiar Wiederkehr and José Aguiomar Foggiatto and Sylvania Klug Pimentelauthor, Simulador de dreno de tórax: desenvolvimento de modelo de baixo custo para capacitação de médicos e estudantes de medicina, *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões, Colégio Brasileiro de Cirurgiões*, v. 46, n. 1, p. e2011, 2019, Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0100-6991e-20192011>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

[13] Isabella Fernanda Bernardo Bini and Laise Michi Yamashiro and Cléber Kazuo Ido and Juliana de Oliveira Ribeiro and Gabriel Luiz Montanhim and Josiane Morais Pazzini and Thiago André Savitti de Sá Rocha and Luis Gustavo Gosuen Gonçalves Dias and Paola Castro Moraesauthor, Avaliação por câmera termográfica de implante de co-poliâmida associado a elastômero termoplástico em traqueia de coelho, *Veterinária e Zootecnia*, v. 28, p. 001–011, 2021. Citado na página 20.

[14] Cristiane de Bona and Tatiane Sabriela Camozzato and Charlene da Silva and Patrícia Fernanda Dorow and Matheus Savi Brumauthor, Aprendizagem de anatomia vertebral humana por meio do uso de modelos vertebrais lombares 2d e 3d, *Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 18, n. 1, p. 1–20, 2020, Disponível em: <<https://jems.sbc.org.br/jems2/index.php?r=person/view&id=236138>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

[15] André Fiel Borges and Judson Ferreira dos Santos Junior and Leticia Oliveira Sousa and Renan Cavalcante Souza and Rafael Cavalcante Duarte Galvão and Vinícius Campos Tinoco Ribeiro and Vitor Rodrigues Greati and Ivanovitch Medeiros Dantas da Silva and Francisco Irochima Pinheiroauthor, Dispositivo óptico vestível para o auxílio de deficientes visuais na sala de aula, *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, p. e930997623, 2020, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7623>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

[16] Otávio Augusto Capeloto and Cristiana Nunes Rodrigues and Adriano Pereira Guilherme and Klenicy Kazumy de Lima Yamaguchiauthor, Aplicação de modelos de impressão 3d como ferramenta para atividades práticas experimentais no ensino de física, *Revista de Ciências e Tecnologia*, v. 6, n. 6, p. 710–722, 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.12345/rct.v6i6.2023>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

[17] Luana Toralles Carbonari and Berenice Martins Toralles and Livia Fernanda Silva and Lisiane Ilha Librelotto and Thalita Gorban Ferreira Giglioauthor, Impressão 3d com materiais cimentícios: uma análise comparativa de projetos residenciais, *Mix Sustentável*, v. 9, n. 4, p. 27–39, August 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n4.27-39>>. Citado na página 13.

[18] Cecchel, Silvia and Cornacchia, Giovannaauthor, Additive manufacturing for rapid sand casting: Mechanical and microstructural investigation of aluminum alloy automotive prototypes, *Metals*, v. 14, n. 4, 2024, ISSN 2075-4701, Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2075-4701/14/4/459>>. Citado na página 4.

[19] ChatGPTauthor, Article Analyst Conversation, 2024, accessed: 2024-07-16, Disponível em: <<https://chatgpt.com/g/g-jwYhftH3M-article-analyst/c/df568dde-25f4-45b8-8474-75d762b60fd3>>. Citado na página 6.

[20] Leandro Antunes Dias and Antonio César Galhardiauthor, Criação de artefato poka yoke por impressão 3d para inspeção do diâmetro ao longo do comprimento dos tubos de seção circular, *Revista Foco*, v. 16, n. 2, p. e1040, 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n2-133>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

[21] Jing Duan and Huiping Shao and Jialei Wu and Hongyuan Liu and Siqi Wang and Tao Linauthor, Effect of sio2 in situ cross-linked cs/pva on srfe12o19 scaffolds prepared by 3d gel printing for targeting, *Ceramics International*, v. 48, n. 20, p. 30307–30316, 2022, ISSN 0272-8842, Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884222023379>>. Citado na página 2.

[22] Cristiano Corrêa Ferreira and Luiz Fernando Freitas-Gutierrezauthor, Aprendizagem ativa por meio da prototipagem rápida em um curso de graduação em engenharia de energia, *Revista Thema*, v. 21, n. 3, p. 776–795, 2022, Disponível em: <<https://doi.org/10.15536/thema.V21.2022.776-795.2197>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

[23] S. Gade and S. Vagge and M. Rathodauthor, A review on additive manufacturing – methods, materials, and its associated failures, *Advances in Science and Technology Research Journal*, v. 17, n. 3, p. 40–63, 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.12913/22998624/163001>>. Citado na página 3.

[24] Garofalo, James and Shah, Raj and Thomas, Gavin and Shirvani, Khosro and Marian, Max and Rosenkranz, Andreasauthor, Additive Manufacturing in the Maritime Industry: A Perspective on Current Trends and Future Needs, *Journal of Ship Production and Design*, v. 40, n. 01, p. 36–43, 02 2024, ISSN

2158-2866, Disponível em: <<https://doi.org/10.5957/JSPD.05230005>>. Citado na página 4.

[25] Gil, Antonio Carlosauthor, Como fazer pesquisa qualitativa, 1 ed. ed., Barueri[SP]: Atlas, 2022, ISBN 978-65-5977-048-9. Citado na página 5.

[26] Juliana Neves Gomes and Suzana Helena de Avelar Gomes and Sirlene Maria da Costa and Silgia Aparecida da Costaauthor, Impressão 3d para vestuário: novos paradigmas de design e consumo, *ModaPalavra e-periódico*, v. 13, n. 29, p. 136–156, 2020, Disponível em: <<https://doi.org/10.5965/1982615x13292020136>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

[27] Alan José Salomão Graça and Juliana Moulin Fosse and Luís Augusto Koenig Veiga and Mosar Faria Botelhoauthor, A impressão 3d no Âmbito das representações cartográficas, *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 73, n. 3, p. 809–826, 2021, Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/rbcv73n3-56659>>.Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

[28] Leandro Rios Guidolin and André Frotta Müller and Mateus Samuel Tonetto and Amália Pletsch Furlanetto and Edela Puricelli and Alexandre Silva de Quevedo and Deise Ponzoniauthor, Navegação em software livre e impressão 3d: princípios básicos e simulações em cirurgia e traumatologia buco-maxilo-faciais, *Research, Society and Development*, v. 11, n. 1, p. e57811125324, 2022, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25324>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

[29] Lais Estefani Hornburg and João Eduardo Chagas Sobral and Danilo Corrêa Silva and Rosinei Batista Ribeiroauthor, Aviaamentos impressos em 3d para pequenas marcas de moda, *DATJournal*, v. 7, n. 4, p. 319–333, 2022, Disponível em: <<https://www.datjournal.univille.br>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

[30] Mauro Inácio Alves Junior and Livia Cristina Ambrósio and Lígia Souza Lima Silveira da Mota and Fausto Orsi Medola and Luis Carlos Paschoarelliauthor, Digitalização de estruturas biológicas no design de material instrucional tátil para pessoas com deficiência visual, *DATJournal*, v. 8, n. 4, p. 100–123, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

[31] Jorge Lopes Rodrigues Júnior and Helder Clay Fares dos Santos Júnior and Estéfane Costa da Silva and Jorge Lopes Rodrigues Neto and Adriano Prazeres de Miranda and Nonato Márcio Custódio Maia Sá and Marília Brasil Xavierauthor, O desenvolvimento de um dispositivo de tecnologia assistiva/ortoprótese para a reabilitação de pacientes com hanseníase e presença de mão em garra e/ou reabsorção óssea, *Research, Society and Development*, v. 10, n. 16, p. e449101623742, 2021, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23742>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

[32] Petar Kocovicauthor, History of additive manufacturing, In: *3D Printing and Its Impact on the Production of Fully Functional Components: Emerging Research and Opportunities*, IGI Global, 2017, p. 1–24, Disponível em: <<https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2289-8.ch001>>. Citado na página 2.

[33] Lucas Maia and Kennedy Tavares Ladeia and Bernardo Figueira Althoff and Adriano Marchetto and Diego Meneghel and Guilherme Valdir Baldoauthor, Artroplastia parcial de ombro guiada por prototipagem tridimensional, *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 59, n. S1, p. e73–e77, 2024, Disponível em: <<https://doi.org/10.1055/s-0042-1749625>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.

[34] Ketinly Yasmyne Nascimento Martins and Rodolfo Ramos Castelo Branco and Katiuska Duarte de Andrade and Josivânia Bezerra da Silva and Maria de Lourdes Fernandes de Oliveiraaauthor, Desenvolvimento de um educador vaginal através do processo de manufatura aditiva (impressão 3d), *Revista Pesquisa em Fisioterapia*, v. 7, n. 1, p. 20–23, February 2017, Disponível em: <<https://doi.org/10.17267/2238-2704rpf.v7i1.1239>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

[35] Iolanda Augusta Fernandes de Matos and Vitoria Bonan Costa and Mariely Araújo de Godoi and Clemente Maia da Silva Fernandes and Mônica da Costa Serraaauthor, Aplicação da manufatura aditiva em ciências forenses: novas tecnologias a serviço da justiça e da sociedade, *Research, Society and Development*, v. 12, n. 1, p. e28412139725, 2023, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39725>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

[36] Vitoria de Oliveira Mattos and Renan Augusto Sigaud Ferraz and Rafael Issao Fukai and Denise Gabriele Lourenzoni de Carvalho Sousa and João Pedro Monterani Laguna and Lucas Ramos Marques and Higor Augusto Alves Pedro and Daniel Julien Barros da Silva Sampaio and Marcelo Sampaio Martinsauthor, Utilização da reengenharia, aliada à prototipagem, na manutenção de equipamentos laboratoriais da unesp – campus de guaratinguetá, *Revista Foco*, v. 16, n. 1, p. e793, 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n1-083>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

[37] Celso Júnio Aguiar Mendonça and Sidney Carlos Gasoto and Ivan Moura Belo and João Antônio



Palma Setti and Jamil Faissal Soni and Bertoldo Schneider Júniorauthor, Aplicação da tecnologia de impressão 3d no tratamento da pseudartrose da fratura de Hoffa, *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 58, n. 2, p. 303–312, 2022, Disponível em: <<https://doi.org/10.1055/s-0042-1750760>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 12.

[38] Diego Mergener and Fábio Pinto da Silvaauthor, Processo de prototipagem rápida como alternativa para o re-design de componentes de equipamentos: estudo de caso de uma hélice para exaustor de ar impressa em 3d, *Projética*, v. 12, n. 1, p. 88–113, 2021, Disponível em: <<https://doi.org/10.5433/2236-2207.2021v12n1p88>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

[39] Mohamed, Mohamed Yassin and Surmen, Hasan Kemalauthor, In: , Brojo Kishore Mishraeditor (Ed.), *Fostering Cross-Industry Sustainability With Intelligent Technologies*, IGI Global, 2024, p. 499–520, Disponível em: <<https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1638-2.ch030>>. Citado na página 4.

[40] Hércules M. S. Monteiro and Lucas J. Garciaauthor, Utilização do displacement map na criação de recursos auxiliares à educação inclusiva para pessoas com deficiência visual, *Revista Design & Tecnologia*, v. 12, n. 25, p. 1–17, 2022, Disponível em: <<https://www.pgdesign.ufrgs.br/det2022iss25pp01-17>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

[41] Marcos de Oliveira Morais and Osmildo Sobral dos Santos and Gabriel Alves Moraisauthor, A importância das metodologias 4.0 no desenvolvimento de uma pequena empresa: Estudo de caso sobre a utilização de impressão 3d em uma empresa metalúrgica, *Research, Society and Development*, v. 10, n. 1, p. e56710112218, 2021, Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.12218>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

[42] Cíntia Rochele Alves de Oliveira and Cristiano Corrêa Ferreira and Claudete da Silva de Lima Martinsauthor, Modelo didático para o ensino de ciências, construção por meio de impressão 3d: análise e avaliação no processo de ensino-aprendizagem, *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, v. 32, p. 44–53, 2022, Disponível em: <<https://doi.org/10.24215/18509959.32.e5>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

[43] Hadassa Harumi Castelo Onisaki and Rui Manoel de Bastos Vieiraauthor, Impressão 3d e o desenvolvimento de produtos educacionais, *Educitec*, Educitec, Manaus, v. 05, n. 10, p. 128–137, March 2019, edição especial. Citado na página 8.

[44] Sueny Calazans dos Santos Palaio and Marcus Vinicius Lima de Almeida and Camila Maistro Patrezeauthor, Desenvolvimento de modelos impressos em 3d para o ensino de ciências, *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista*, v. 8, n. 3, p. 70–82, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

[45] SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS, Additive Manufacturing Bearing Design for Performance Improvement and Carbon Footprint Reduction, Day 2 Tue, November 01, 2022 de Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, (Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Day 2 Tue, November 01, 2022), D022S158R004 p., Disponível em: <<https://doi.org/10.2118/211837-MS>>. Citado na página 2.

[46] Pant, M. and Pidge, P. and Nagdeve, L. and Kumar, H.author, A review of additive manufacturing in aerospace application, *Revue des Composites et des Matériaux Avancés-Journal of Composite and Advanced Materials*, v. 31, n. 2, p. 109–115, 2021, Disponível em: <<https://doi.org/10.18280/rcma.310206>>. Citado na página 3.

[47] Peng, Xing and Kong, Lingbao and Fuh, Jerry Ying Hsi and Wang, Haoauthor, A review of post-processing technologies in additive manufacturing, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, v. 5, n. 2, 2021, ISSN 2504-4494, Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2504-4494/5/2/38>>. Citado na página 4.

[48] Juliana Fernandes Pereira and João Eduardo Guarnetti dos Santosauthor, Prototipagem rápida: Um apoio de pés ergonômico para auxiliar o retorno venoso, *Revista Conhecimento Online*, v. 13, n. 2, p. 114–129, 2021, Disponível em: <<https://doi.org/10.25112/rco.v2i0.2543>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

[49] Vaner José do Prado and Leonardo Cardoso de Freitas and Fernanda Muller Jesuíno and Euclério Barbosa Ornellas Filhoauthor, Desenvolvimento de um projeto para impressão 3d multimaterial utilizando um módulo extrusor duplo para impressões pessoais, *Research, Society and Development*, v. 9, n. 4, p. e62942853, 2020, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2853>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

[50] Paolo C. Priarone and Angioletta R. Catalano and Luca Settineriaauthor, Additive manufacturing for



the automotive industry: on the life-cycle environmental implications of material substitution and lightweighting through re-design, *Progress in Additive Manufacturing*, v. 8, n. 6, p. 1229–1240, 2023, ISSN 2363-9520, Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40964-023-00395-x>>. Citado na página 2.

[51] Carlos M. C. Ramos and Jorge R. Lopes and Raquel B. Teixeiraauthor, Desenvolvimento de design de máscara como equipamento de proteção individual por meio de impressão 3d, *Revista Design & Tecnologia*, v. 13, n. 26, p. 183–193, 2023, Disponível em: <<https://www.pgdesign.ufrgs.br>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.

[52] Gabriel Ribeiro Bastos de Sousa Rebouças and Thais Reggina Kempner and Luciana Correia Lima de Faria Borges and Eunice Pereira dos Santos Nunesauthor, Abordagem de especificação de requisitos para modelagem 3d do robô otto para sessões de terapia com crianças autistas, *Projética*, v. 15, n. 1, p. 1–24, 2024, Disponível em: <<https://doi.org/10.5433/2236-2207.2024.v15.n1.48223>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

[53] Renan Alves Rodrigues and Thiago Domingues Stoccoauthor, Utilização de membros protéticos fabricados a partir de impressão 3d para amputados, *Archives of Health Sciences, Universidade Santo Amaro*, v. 27, n. 1, p. 65–69, 2020, Disponível em: <<https://doi.org/10.17696/2318-3691.27.1.2020.1640>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.

[54] Ricardo Bidart de Leon Rodrigues and Eva Aguiar Almeida Campos Castro Torriani and Giuliano Omizzolo Giacomini and Gustavo Nogara Dotto and Gabriela Salatino Liedkeauthor, Tomografia computadorizada multidetectores com ultra baixa dose de radiação e impressão 3d como auxiliares para cirurgia guiada em implantodontia, *RFO UPF*, v. 25, n. 2, p. 241–246, 2020, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5335/rfo.v25i2.9579>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.

[55] Amanda Ferreira dos Santos and Iulas de Souza Ramos and Ana Clara Silva dos Santos and Grasiely Faccin Borges and Ita de Oliveira e Silva and Jane Mary de Medeiros Guimarãesauthor, Equipamentos de proteção individual impressos em 3d por instituições de ensino federais para o enfrentamento da covid-19, *Cadernos de Prospecção*, v. 13, n. 5, p. 1237–1250, 2020, Disponível em: <<https://doi.org/10.9771/cp.v13i5.38373>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

[56] César Augusto Ramos dos Santos and Emerson Gonçalves Martins de Siqueira and Guilherme Thizenauthor, Utilização da manufatura aditiva (impressão 3d) no tratamento de osteossarcoma vertebral em cão submetido a vertebrectomia lombar: Relato de caso, *Veterinária e Zootecnia*, v. 29, p. 001–006, 2022, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.01.078>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

[57] Jarles Tarsso Gomes Santos and Adja Ferreira de Andradeauthor, Impressão 3d como recurso para o desenvolvimento de material didático: Associando a cultura maker à resolução de problemas, *Revista Novas Tecnologias na Educação, CINTED-UFRGS*, v. 18, n. 1, p. 1–15, July 2020, Disponível em: <<https://doi.org/10.1000/renote2020>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

[58] Mayanne Camara Serra and André Leonardo Demaison Medeiros Maia and Patrício Moreira de Araujo Filho and Eduardo Mendonça Pinheiroauthor, Prototipagem rápida no desenvolvimento de produtos: construção do protótipo de um adaptador para escrita, *Projética*, v. 11, n. 1, p. 108–133, 2020, Disponível em: <<https://doi.org/10.5433/2236-2207.2020v11n1p108>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

[59] Adriane Borda Almeida da Silva and Cristiane dos Santos Nunes and Nirce Saffer Medvedovskiaauthor, Entre o virtual e o tangível: Parametria de mobiliário para promover processos colaborativos em contextos de habitação de interesse social, *Revista Pixo*, v. 17, n. 5, p. 195–211, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

[60] Jadson Lisboa da Silva and Vinícius Matheus Szydoski and Edela Puricelli and Deise Ponzoniauthor, Navegação em software livre e impressão 3d aplicada ao tratamento de osteoma mandibular, *Research, Society and Development*, v. 12, n. 14, p. e33121444507, 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v12i14.44507>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

[61] Habdias A. Silva-Neto and Gerson F. Duarte-Junior and Gabriela Silvério Bazílio and Juliana Alves Parente-Rocha and Diego B. Colugnati and Clayton L. Borges and Wendell K. T. Coltroauthor,

[62] Impressão 3d de separador magnético: Uma abordagem acessível para o preparo de amostras no diagnóstico da covid-19, *Química Nova*, v. 46, n. 5, p. 476–481, 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230023>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 12.

[63] Regiane Guimarães da Silva and Alcides Loureiro Santos and Marcelo Loureiro da Silva and Yuri Karaccas de Carvalhoauthor, Representação tridimensional de dentes de mamíferos e sua utilização como

recurso didático na formação de professores de ciências e biologia, ENCITEC - Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista, v. 13, n. 1, p. 78–97, 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.31512/encitec.v13i1.796>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

[64] Silvana de Sousa Silva and Elane do Socorro Oliveira da Silvaauthor, Ensino de geografia e transtorno do espectro autista: Proposição de material 3d, Revista Ensino de Geografia (Recife), v. 6, n. 1, p. 115–129, 2023, Disponível em: <<https://doi.org/10.51359/2594-9616.2023.256876>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

[65] Vicente Castilho Rozado Siqueira and Mariana Barbosa Mendes de Sousa and Julianna dos Santos da Silva Ferreira and Eric Ribeiro da Cunha and João Victor Nicolini and Simone Pereira Taguchi Borgesauthor, Utilização do resíduo de mármore para aplicação como carga de filamentos de pla visando aplicação na impressão 3d, The Journal of Engineering and Exact Sciences (jCEC), v. 10, n. 1, p. 171–184, 2024, Disponível em: <<https://doi.org/10.18540/jcecvl10iss1pp17140>>. Citado na página 13.

[66] Sonkamble, Vijayalaxmi and Phafat, Nitinauthor, A current review on electron beam assisted additive manufacturing technology: recent trends and advances in materials design, Discover Mechanical Engineering, v. 2, n. 1, p. 1, 2023, ISSN 2731-6564, Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s44245-022-00008-x>>. Citado na página 4.

[67] Ferdinan Sousa and Nayana Gatinho and André Demaison and Livia Flávia Camposauthor, Design, ergonomia e impressão 3d: Um exercício prático de projeto para protetores de tomada, Revista de Design e Ergonomia, v. 5, p. 168–179, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

[68] Daniel Lauxen Spohr and Felipe Antônio Lucca Sánchez and André Canal Marquesauthor, Estudo da viabilidade de fabricação de filamento compósito sustentável para impressão 3d a partir de uma matriz pla reforçada com resíduos de fibras de madeira, Mix Sustentável, v. 7, n. 4, p. 115–126, September 2021, Disponível em: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n4.115-126>>. Citado na página 13.

[69] Gladys I. K. Taparelloauthor, A industrialização da construção com terra através da impressão 3d, Mix Sustentável, Revista de Arquitetura, p. 87–92, 2016, Disponível em: <<https://doi.org/10.12345/impressao3d-construcao-terra>>. Citado na página 13.

[70] Vafadar, Ana and Guzzomi, Ferdinando and Rassau, Alexander and Hayward, Kevinauthor, Advances in metal additive manufacturing: A review of common processes, industrial applications, and current challenges, Applied Sciences, v. 11, n. 3, 2021, ISSN 2076-3417, Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/1213>>. Citado na página 4.

[71] Wiltgen, Filipe and Lopes, Marceloauthor, Artigo: Manufatura aditiva e subtrativa na construção de moldes mecânicos híbridos para aplicação em manufatura formativa paper: Additive and subtractive manufacturing in the construction of hybrid mechanical molds for application in formative manufacturing, Revista de Tecnología, v. 15, p. 45–63, 10 2022. Citado na página 3.

[72] Terry T. Wohlers and Tim Caffreyauthor, Wohlers report 2013: additive manufacturing and 3d printing state of the industry: annual worldwide progress report, In: Semantic Scholar, [s.n.], 2013, Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:108186451>>. Citado na página 2.

[73] Wu, Fan and EL-Refae, Ayman M.author, Toward additively manufactured electrical machines: Opportunities and challenges, IEEE Transactions on Industry Applications, v. 56, n. 2, p. 1306–1320, 2020. Citado na página 2.

[74] Leonardo Wustro and João Luiz Vieira da Silva and Bruno Arnaldo Bonacin Moura and Helena Squizzato Schoenberger and Debora Takito and Júlio César Honório D'Agostiniauthor, Uso da impressão tridimensional para auxílio diagnóstico e terapêutico das fraturas de pilão tibial, Revista Brasileira de Ortopedia, v. 59, n. 3, p. e456–e461, 2024, Disponível em: <<https://doi.org/10.1055/s-0044-1785514>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

[75] Zhang, Xinyue and GUO, Zhimeng and CHEN, Cunguang and YANG, Weiweiauthor, Additive manufacturing of wc-20co components by 3d gel-printing, International Journal Of Refractory Metals And Hard Materials, Elsevier BV, v. 70, p. 215–223, 2018. Citado na página 2.

[76] Rafael Zucca and Rodrigo Couto Santos and Juliano Lovatto and Felipo Lovatto and Arthur Carniato Sanchesauthor, Estudo da viabilidade do uso de prototipagem rápida 3d em processos produtivos no meio rural, Enciclopédia Biosfera, v. 15, n. 28, p. 517–532, 2018, Disponível em: <[https://doi.org/10.18677/EnciBio\\_2018B45](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018B45)>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

[77] Gutiele do Nascimento do É and Graziela Parente Peduti and Allyson Moises Lopes de Carvalho and Ananda dos Santos Rabelo and Michely Correia Dinizaauthor, Bioimpressão 3d de tecidos e Órgãos: uma prospecção tecnológica, *Cadernos de Prospecção*, v. 13, n. 5, p. 1383–1393, 2020, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.9771/cp.v13i5.33571>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 12.

# Capítulo 13

## *Inovação tecnológica na construção civil*

*Ercilia de Stefano*

*Michelle Nascimento Costa*

*Júlia Martins Carrara*

*Alberto Eduardo Besser Freitag*

*Tatiana Tavares Rodriguez*

*João Carlos Barreto Santos*

*José Cristiano Pereira*

**Resumo:** A construção civil representa uma parcela significativa da geração de renda do Brasil, sendo fundamental para a economia do país. Entretanto, é um setor da indústria que contém grandes dificuldades em implementar mudanças e inovações tecnológicas, sendo fundamentada ainda nos dias atuais em produção manual e arcaica. Assim, o artigo tem como objetivo apresentar a importância das inovações tecnológicas no setor da construção civil, discriminando algumas das ferramentas e dispositivos que podem ser utilizados. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de autores que abordam a temática envolvida e que foram selecionados a partir de meios eletrônicos de busca de trabalhos acadêmicos. Assim, a partir desta pesquisa, pode-se observar que as inovações tecnológicas podem facilitar a elaboração, execução e gerenciamento de projetos da construção civil, reduzindo custos, prazos e, principalmente, desperdícios, contribuindo para a sustentabilidade do meio ambiente.

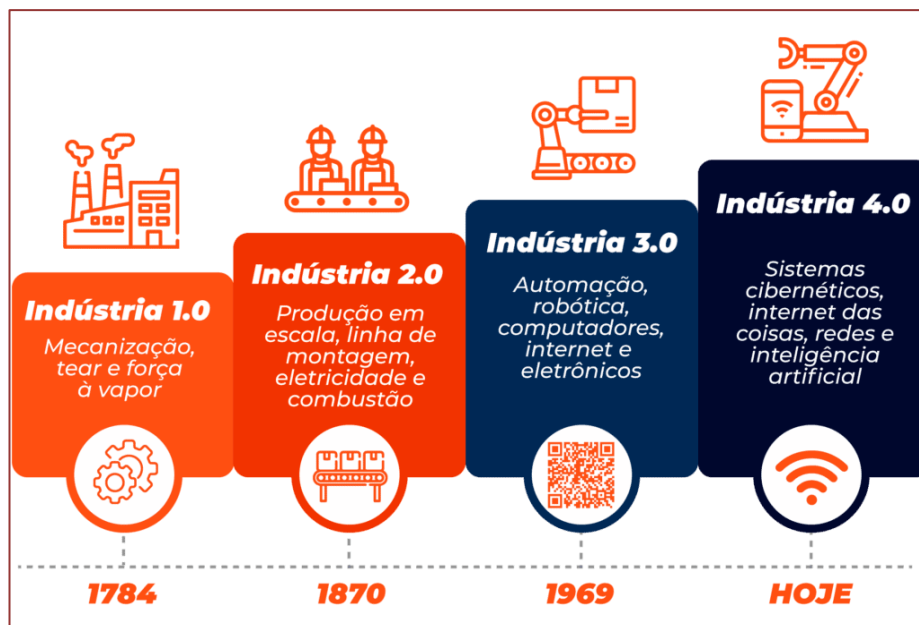
**Palavras-chave:** inovação, tecnologia, construção civil.

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor da economia que, apesar de ser artesanal, está englobado na indústria (Leal, 2020). Entretanto, as metodologias produtivas da indústria da construção civil divergem de outros setores industriais que foram evoluindo e aprimorando conforme o desenvolvimento de novas tecnologias. Na indústria farmacêutica e automobilística, por exemplo, os resultados almejam alta produtividade, grande controle de qualidade e baixo desperdício, e esses resultados não são obtidos de maneira semelhante na construção civil. Dessa forma, “[...] enquanto nas últimas décadas a indústria tem evoluído a passos largos, a construção ainda utiliza métodos arcaicos que eram aplicados ainda no século 19, que ancoram sua produtividade em patamares inaceitáveis para o século 21.” (Leal, 2020, p.14).

Ao longo da história, a indústria passou por mudanças e revoluções à medida que evoluções foram ocorrendo no sistema de produção. Logo, conforme retratado na Figura 1, a Indústria 1.0 surge em 1784 após a implementação de máquinas a vapor nos serviços que anteriormente eram realizados de maneira manual. Em 1870 ocorreu a chamada 2ª Revolução Industrial, que teve como destaque a inserção da eletricidade e do petróleo que passou a ser utilizado como combustível. A 3ª Revolução Industrial ocorreu em meados do século XX e foi marcada pela inserção da internet e robótica, que foram fundamentais para a indústria chegar ao que hoje é chamada de Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial) onde a inteligência artificial rege os sistemas atuais (De Carvalho; De Carvalho, 2022).

**Figura 1 - Fases da indústria**



Fonte: Rodrigues (2022).

Todavia, apesar das dificuldades inerentes ao setor, nos últimos anos, o mercado da construção civil tem passado por transformações significativas impulsionadas pela busca de métodos mais eficientes, sustentáveis e econômicos (Costa, 2023). Dessa forma, com o rápido crescimento das tecnologias, a construção civil também tem se desenvolvido, a

partir das inovações tecnológicas que surgem com o passar dos anos e inserido no conceito de Indústria 4.0.

A Indústria 4.0 vivenciada no panorama atual, é um conceito que se relaciona à indústria inteligente e dispõe-se da utilização de recursos para planejar, controlar, gerenciar e moderar, de maneira otimizada, grande porção de informações no tempo mais limitado através dos componentes e máquinas inteligentes ligados pela internet (Ruiz, 2022). Dessa forma, a Indústria 4.0 caracteriza-se pela inovação tecnológica no mercado.

A construção civil é um setor que contribui ativamente no desenvolvimento socioeconômico do Brasil. De acordo com os dados de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) na Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC), foram gerados R\$439,0 bilhões em valor de incorporações, obras e/ou serviços da construção, além de empregar 2,3 milhões de pessoas (IBGE, 2022). O setor ocupa uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) e exerce papel fundamental no crescimento do país.

Diante deste cenário, o mercado da construção civil mostra-se altamente competitivo e exige que as empresas dediquem esforços contínuos para garantir posicionamento no mercado, com estratégias que possibilitem a obtenção de vantagens competitivas (Duarte, 2022). Dessa forma, observa-se a necessidade de tornar a indústria civil mais ágil e eficiente para atender a demandas do mercado e da sociedade.

No entanto, o setor ainda se mostra resistente à mudanças e apresenta desafios significativos como prazos apertados, margens de lucro reduzidas e concorrência acirrada (Almeida, 2023). Ademais, problemáticas como a produção artesanal e arcaica, a mão de obra precária, o conservadorismo do método construtivo convencional e o desperdício de materiais, impactam diretamente na gestão eficiente de projetos na construção civil.

Neste contexto, observa-se a necessidade de trazer inovação tecnológica para o setor da construção de forma mais efetiva, buscando automação e facilitadoras na gestão, organização e processos. Os resultados podem além de facilitar a gestão e produção, minimizar o impacto ambiental e fomentar o setor da construção civil com foco na sustentabilidade.

Assim, busca-se analisar a inclusão das inovações tecnológicas na construção civil através do panorama geral vivenciado pelo setor e de seus desafios, bem como a caracterização das inovações tecnológicas e da prática sustentável. O presente artigo destaca algumas ferramentas e tecnologias como o BIM, a impressão 3D, a utilização de drones e a realidade virtual como meios de modernização e facilitadores na Engenharia.

Dessa forma, considera-se a hipótese de que a implementação de tecnologias como BIM, Impressão 3D, drones e Realidade Virtual na construção civil contribui significativamente para melhorar a eficiência dos processos, reduzir custos e minimizar impactos ambientais, ao mesmo tempo em que atende às exigências de inovação e sustentabilidade impostas pelo mercado. O estudo apresenta resposta a seguinte pergunta: Como as tecnologias emergentes, como BIM, Impressão 3D, drones e Realidade Virtual, impactam a eficiência, sustentabilidade e competitividade da construção civil, atendendo às crescentes demandas do mercado e diferentes contextos de implementação?

O presente artigo apresenta na Introdução, de forma sintetizada, a importância e o tema a ser tratado. O segundo capítulo apresenta a revisão de literatura. O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada neste artigo e, por fim, o quarto e quinto capítulos



tratam da discussão dos resultados e conclusão sobre a aplicabilidade das tecnologias apresentadas e as conclusões, respectivamente.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

O setor de construção tem observado avanços significativos nos últimos anos, impulsionados por inovações tecnológicas e uma ênfase crescente na sustentabilidade. Esta revisão de literatura explora a interseção dessas três áreas principais: tecnologias, modelos de inovação e sustentabilidade na construção. Esta revisão da literatura se aprofundará nesses tópicos, explorando as pesquisas e os estudos de caso mais recentes para entender como as tecnologias, os modelos de inovação e a sustentabilidade estão moldando o futuro do setor de construção.

### **2.1. TECNOLOGIAS E MODELOS DE INOVAÇÕES**

O setor de construção passou por avanços significativos nos últimos anos, impulsionados pela integração de tecnologias inovadoras e pela adoção de novas abordagens à inovação. Esta revisão da literatura explora as principais tecnologias e modelos de inovação que estão moldando o futuro do setor de construção. A inovação tecnológica na construção civil é fundamental para enfrentar os desafios da atualidade, como a demanda por maior eficiência, redução de custos, e sustentabilidade, de forma que, conforme Duarte (2022), a inovação promove a modernização dos processos e gera competitividade no mercado. Desse modo, o estudo a seguir apresenta algumas tecnologias e modelos de inovação que podem contribuir para a adequação da construção civil à Indústria 4.0 e demandas mais exigentes do mercado, seja nos quesitos de celeridade na execução do empreendimento, qualidade, sustentabilidade e economia de recursos, o que evita ao máximo desperdícios, infelizmente muito comum em empreendimentos.

#### **2.1.1. BUILDING INFORMATION MODEL - BIM**

A Building Information Modeling (BIM) surge no início dos anos 1970 com o objetivo claro de melhorar a tomada de decisão em um ambiente que passava pelo desenvolvimento tecnológico, envolvendo segurança, certificações e até sustentabilidade, essa última ainda incipiente. Ao longo do tempo, o BIM ganhou destaque na construção civil como uma tecnologia essencial para o desenvolvimento de projetos mais eficientes e sustentáveis, pois pode ser utilizado em qualquer momento da edificação, desde a fase de projeto, passando pela obra e até demolição. Ele é uma metodologia que possibilita a criação do modelo digital integrado, no qual todas as informações da construção são centralizadas e acessíveis para todas as partes envolvidas, desde o planejamento até a execução e manutenção do edifício.

Segundo Almeida (2023), o BIM é um modelo digital que permite a criação e a gestão de informações detalhadas de um projeto de construção. A tecnologia utilizada abrange além da terceira dimensão e são consideradas como: 2D (Desenho no plano), 3D (Modelo tridimensional), 4D (Cronograma de obra), 5D (Orçamento), 6D (Sustentabilidade) e 7D (Manutenção) (Gonçalves, 2020). Ressalta-se o potencial da dimensão 6D (Sustentabilidade) como uma das mais promissoras do modelo digital, pois permite através de suas análises, tendo em voga fatores ambientais, econômicos e sociais, a fim de atingir o equilíbrio do projeto.

Nesse contexto, através da metodologia BIM, é possível obter maior integração de projetos em um único modelo visual, melhorar a interoperabilidade e comunicação entre os colaboradores, reduzir possíveis erros e aumentar a eficiência da construção nos âmbitos de gestão, viabilidade e produtividade. De acordo com Coelho (2017), a implementação do BIM nas empresas de arquitetura e engenharia proporcionou uma melhoria significativa na comunicação entre os profissionais, além de otimizar o processo de projeto, o que evita erros e retrabalhos. O BIM possibilita a compatibilização entre as diferentes disciplinas (arquitetura, estrutura, elétrica, hidráulica), o que é essencial para a redução de conflitos e otimização do tempo de execução.

Além disso, Barros (2017) destaca a utilização do BIM integrado à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que possibilita a análise detalhada dos impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. O uso dessa ferramenta computacional permite que decisões relacionadas à sustentabilidade sejam feitas já na fase de projeto, o que otimiza a escolha de materiais e processos e resulta em construções mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Logo, considera-se uma tendência promissora que acompanha todo o ciclo de vida e processo na construção conforme a Figura 2.

**Figura 2 - Ciclo BIM**



Fonte: Barros (2017).

Para adotar a metodologia BIM, é necessário a utilização de diversos softwares que atendam as especificidades de cada profissional, demanda e aplicação. A Figura 3 lista os softwares de utilização mais frequente em função do tipo de aplicação.

**Figura 3 - Lista de softwares com base BIM**

Empresa	Software	Utilização
Autodesk	Revit Architecture	Modelação de arquitetura
	Revit Structure	Modelação de estruturas
	Revit MEP	Modelação de redes de sistemas (mecânica, elétrica e hidráulica)
	Navisworks	Construção (visualização, análise, simulação e orçamentação)
	Synchro Professional	
	Green Building Studio	Análise de desempenho energético e de sustentabilidade
Graphisoft	ArchiCAD	Modelação de arquitetura
	MEP Modeler	<i>Plugin</i> para a modelação de sistemas (mecânica, elétrica e hidráulica)
	EcoDesigner	Análise de desempenho energético e de sustentabilidade
	ArchiFM	Gestão e manutenção
Bentley	Bentley Architecture	Modelação de arquitetura
	Structural Modeler	Modelação de estruturas
	ConstrucSim	Construção (visualização, análise, simulação e orçamentação)
	Bentley Facilities	Gestão e manutenção
Tekla	Tekla Structures	Modelação de estruturas
	Tekla BIMSight	Construção (visualização e análise)
VicoSoftware	Vico Office Suite	Construção (visualização, análise, simulação e orçamentação)
Solibri	Model Checker	Visualização e análise

Fonte: Coelho (2017).

Apesar dos benefícios evidentes do BIM, sua implementação na construção civil ainda enfrenta desafios significativos. Segundo Coelho (2017), a principal barreira é a falta de capacitação técnica dos profissionais, que muitas vezes não possuem o conhecimento necessário para utilizar plenamente as ferramentas do BIM. Ademais, o custo inicial de implantação da tecnologia pode ser elevado, dificultando a adoção por empresas de menor porte.

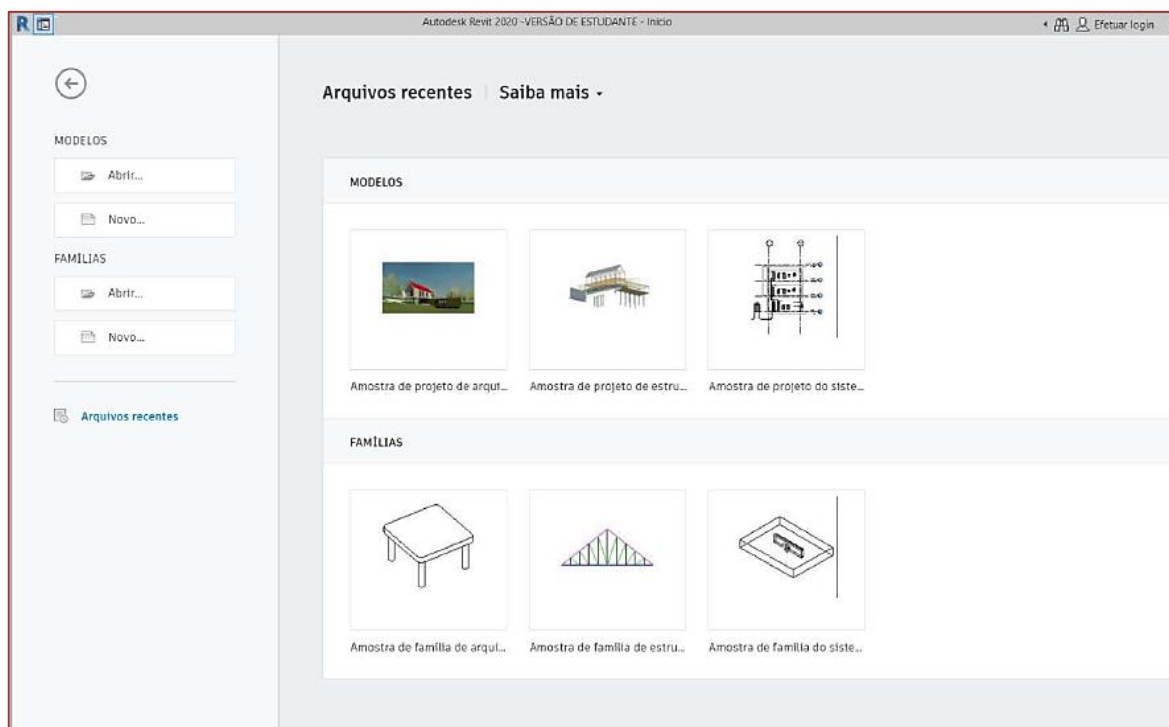
Dentre os softwares citados, o Revit é um dos mais que se destaca pela usabilidade mais acessível e facilitada, utilizado para projetos de arquitetura, projeto estrutural, construção e mecânica, elétrica e hidráulica.

Duarte et al. (2023) ressaltam que muitas empresas do setor resistem à mudança e que preferem os métodos tradicionais de gestão de projetos. Essa resistência está frequentemente relacionada à falta de cultura organizacional externa para a inovação, limitando o potencial transformador do BIM. Outro obstáculo importante é a ausência de padronização entre os softwares utilizados, comprometendo a interoperabilidade entre as diferentes disciplinas envolvidas no projeto e dificulta a integração total do processo.

No Brasil, a utilização do BIM é incentivada pelo governo através do Plano Nacional de Construção e do Plano de Aceleração do Crescimento, além da norma técnica NBR 15965, da ABNT, que estabelece como tema o Sistema de Classificação da Informação da Construção (Duarte, 2023). Assim, os métodos de incentivo se tornam de suma

importância para que o mercado acompanhe os avanços tecnológicos e os apliquem como ferramenta facilitadora na gestão de projetos e canteiros.

**Figura 4 - Interface gráfica do Revit**



Fonte: Autodesk (2022).

Além disso, o impacto positivo do BIM na sustentabilidade é amplamente discutido na literatura. Segundo Barros e Librelotto (2017), a possibilidade de realizar simulações ambientais e calcular os impactos de diferentes materiais e técnicas construtivas antes da execução do projeto é uma das grandes contribuições dessa tecnologia. Isso permite que os projetos se alinhem ao critério de sustentabilidade e eficiência energética, que são cada vez mais importantes na construção civil.

Desse modo, o BIM está em constante evolução, com novas funcionalidades sendo integradas para melhorar o desempenho ambiental das edificações. O uso de ferramentas de simulação térmica e energética, por exemplo, pode contribuir para a criação de edifícios mais eficientes, que consumam menos recursos ao longo de seu ciclo de vida.

### **2.1.2. IMPRESSÃO 3D**

A impressão 3D, ou manufatura aditiva, proporciona uma revolução no setor da construção civil ao permitir a criação de estruturas complexas de maneira mais rápida e precisa. Conforme Ruiz (2022), essa tecnologia possibilita a fabricação de componentes diretamente no local da obra, o que reduz o tempo de execução e os custos de transporte. Além disso, a impressão 3D minimiza o desperdício de materiais e contribui para a sustentabilidade no setor. As aplicações da impressão 3D na Indústria da Construção se dão através das mais variadas formas, desde impressões de pequenas peças e

componentes utilizando plástico como material-base, até impressões de estruturas utilizando concreto (Santos, 2022).

Conforme Silva et al. (2020), a manufatura aditiva é “[...] definida como os processos de fabricação com o objetivo de se criar um objeto tridimensional por camadas a partir de um modelo virtual”. Dessa maneira, o uso de softwares de modelagem BIM, auxiliam na elaboração dos projetos para fabricação dos objetos tridimensionais.

Assim, para Formiga et al. (2021), com a evolução da manufatura aditiva e a construção através de impressão tridimensional,

[...] em breve será possível ter continuidade e maior controle sobre todas as fases do projeto, desde a concepção até a produção de componentes do edifício. Isso simplificará a produção industrial de formas complexas não convencionais, permitindo uma crescente personalização de produtos na indústria da construção.

Desse modo, Ford et al. (2016) citam vantagens do uso da manufatura aditiva, como a criação de figuras novas e complexas; produção conforme demanda e necessidade do cliente, o que reduz custos e desperdícios a partir de maior interação entre o produtor e o consumidor; flexibilidade na elaboração e alteração dos projetos a partir de modelos computacionais; e economia de material e resíduos, através da reciclagem e reutilização de insumos.

Contudo, devido ao seu caráter inovador, é válido salientar a inexistência de normativas que regulamentam a implementação da impressão 3D na Indústria da Construção Civil, o que pode tornar sua aplicação inviável (Silva et al., 2020). Ademais, no que diz respeito aos aspectos econômicos, o custo de aplicação da impressão 3D ainda é relativamente alto devido a necessidade de mão de obra especializada e do custo elevado dos equipamentos e insumos.

Outro fator determinante que implica na adoção da impressão 3D ou manufatura aditiva na construção civil é a adoção cultural, por conta da relutância dos profissionais em permanecer utilizando os métodos tradicionais. Posto isto, treinar a mão de obra e oferecer incentivo de estudos, são de suma necessidade para facilitar a utilização da impressão 3D como uma ferramenta na indústria da construção civil (Ford et al., 2016).

Portanto, a utilização da impressão 3D na construção civil detém um grande potencial no que diz respeito à redução de tempo, sustentabilidade e personalização. Entretanto, para alcançar a mudança de paradigma, é fundamental que sejam feitas normativas que regulamentam sua utilização, assim como sejam desenvolvidos cursos de capacitação e investimento em pesquisa em universidades, para que a adoção da tecnologia seja feita de forma eficiente e segura.

### **2.1.3. DRONE**

Popularmente conhecido como drone, o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é uma aeronave capaz de voar sem a presença de tripulação e quando atrelada à construção civil, pode produzir resultados extremamente eficientes. Segundo Gouveia et al. (2021), os drones permitem a captura de dados em tempo real, o que auxilia no acompanhamento do progresso da construção, na detecção de possíveis erros e na verificação da segurança no local. Essa tecnologia é especialmente útil em grandes obras, onde o acesso a

determinadas áreas pode ser dificultado. Desse modo, a utilização de drones na construção civil está transformando o monitoramento e a gestão de obras.

Em vista disso, o dispositivo é capaz de fornecer imagens de diferentes ângulos, auxiliar no levantamento topográfico, mapear áreas, verificar danos estruturais, inspecionar telhados e fornecer registros usados nos softwares CAD ou BIM (Gouveia *et al.*, 2021).

Na literatura, foram identificados alguns estudos, no âmbito nacional e internacional, que descrevem os objetivos e resultados da utilização de drones na construção civil conforme a Figura 4 (Nery *et al.*, 2021).

**Figura 4 - Pesquisas que utilizam drones na construção civil**

Pesquisas internacionais		
Autor (ano)	Objetivo	Resultado
Umar (2020)	Investigar as aplicações de drones relacionando com a segurança do trabalhador nos países do conselho de cooperação do Golfo.	A aplicação mais comum de drones foi a fotografia para fins de marketing, seguida da aplicação de levantamento e inspeções de qualidade. A mobilidade da câmera era o recurso técnico de alta de qualidade exigido para inspeções relacionadas à segurança.
Li e Liu (2019)	Investigar as aplicações atuais dos Drones multi rotores, seus benefícios e explorar seu potencial na indústria da construção da Austrália.	Demonstrou-se que as principais contribuições são a segurança do trabalho, o custo benefício e a redução das emissões de carbono.
Yeon(2019)	Disponibilizar informações em imagem dos ambientes do canteiro de obras na Coreia para uma gestão eficiente.	Os gerentes puderam verificar visualmente o desenvolvimento das atividades do canteiro de obras bem como o status de conclusão, ajudando a tomar decisões orçamentais e prevenindo acidentes do trabalho.
Kim e Kim (2018)	Propor o uso de um sistema de um drone quadricóptero para monitorar o status das atividades e a comunicação entre os gerentes da construção.	Desenvolvimento de um sistema denominado primeira visão pessoal (FVP) nas obras da Coreia do Sul.
Pesquisas Nacionais		
Autor (ano)	Objetivo	Resultado
Ballesteros, Lordsleem e Junior (2021)	Realizar um estudo experimental do uso de drones para inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edifícios	Observou-se viabilidade da técnica e eficácia da inspeção em que as imagens produzidas pelos drones foram efetivas para detecção de manifestações patológicas
Nascimento, Gonçalves e Cintra (2018)	Investigar como os drones podem aperfeiçoar o setor de segurança no canteiro de obras	Os drones forneceram gerenciadores de segurança com rapidez com imagens e vídeos em tempo real
Melo Júnior et al. (2018)	Aplicar uma metodologia de geração automática de mapa de danos em ortomagens de fachadas de edifícios utilizando VANT para captura de imagens	O uso de VANT demonstrou ser uma ferramenta eficaz para inspecionar fachadas
Álvares et al. (2016)	Avaliar o uso do VANT para mapeamentos 3D para edificações e canteiros	Os mapeamentos 3D mostraram para atividades gerenciais

Fonte: Nery et al. (2021).



Nery et al. (2021) acrescentam que os drones também são usados para gerar imagens e mapas detalhados, o que facilita no planejamento e na tomada de decisões ao longo do projeto. Isso resulta em uma redução significativa de custos com deslocamentos e tempo, além de aumentar a precisão das informações obtidas durante as inspeções. Posto isso, a longo prazo, a integração com a inteligência artificial pode contribuir para que sejam desenvolvidas análises de dados em tempo real e seja uma ferramenta aliada para empresas do ramo.

Nesse ínterim, observa-se grande potencial de desenvolvimento dos veículos aéreos não tripulados para fins da construção civil. A segurança e flexibilidade, a facilidade de operação, o custo acessível e a mobilidade, são algumas vantagens que contribuem para a eficácia da utilização dos drones no setor da construção civil.

#### 2.1.4. REALIDADE VIRTUAL

Realidade virtual (RV) é definida como um ambiente tridimensional gerado em computador, com possibilidade de imersão e interação do utilizador com o ambiente gerado (Sousa *et al.*, 2022). Assim, com os avanços tecnológicos e com o acesso facilitado a programas e aplicativos, a realidade virtual tende a ser considerada grande aliada no setor da construção civil, pois compreende grande diferencial e destaque diante das exigências e concorrências do mercado. Desse modo, permite a imersão dos usuários em um ambiente virtual, oferecendo visualização mais precisa e interativa dos projetos de construção.

A aplicação da tecnologia de realidade virtual em coordenação de projetos é integrada ao universo BIM (*Building Information Modeling*), que permite trazer nos diversos âmbitos projetuais, uma comunicação clara e eficiente entre engenharia, arquitetura e construção (Júnior *et al.*, 2020). Dessa forma, a nova tecnologia atua como eficiente ferramenta dentro da metodologia BIM, possibilitando a compatibilização de projetos, identificação de erros, planejamento e dimensionamento de layout de canteiros, bem como a gestão dos processos.

Destaca-se a utilização da realidade virtual como uma excelente ferramenta para a compreensão de projetos arquitetônicos. Dessa maneira, o cliente tem a possibilidade de interagir em ambiente virtual imersivo, através da experimentação e construção de sensações, o que auxilia na melhor comunicação entre profissionais e contratados e garante maior qualidade projetual (Sousa *et al.*, 2022). Júnior et al. (2020) destacam que o uso da RV tem se mostrado uma ferramenta valiosa durante a fase de planejamento e desenvolvimento dos projetos, pois possibilita que engenheiros, arquitetos e clientes experimentem o projeto antes mesmo da construção física.

Entretanto, apesar da realidade virtual apresentar impactos positivos no setor da construção civil, observa-se alguns desafios para tal implementação, como: o tradicionalismo e a resistência em implementar novas tecnologias, a mão de obra pouco instruída tecnologicamente e o conflito entre execução e projeto (Júnior *et al.*, 2020).

Diante da dinâmica vivenciada na construção civil e com avanços tecnológicos, a realidade virtual oferece benefícios de visualização de projetos, assim como a gestão de trabalho. Sousa et al. (2020) reforçam que, além da visualização, a RV permite simulações e testes de viabilidade, como o impacto de mudanças no design e no uso de materiais. Dessa forma, a tecnologia contribui para a redução de retrabalhos e para a otimização dos processos de

construção, promovendo um planejamento mais eficiente e sustentável. Assim, cabe ao profissional utilizar os recursos de forma clara e objetiva (Júnior *et al*, 2020).

## 2.2. INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade tornou-se uma preocupação fundamental no setor de construção, pois as atividades do setor têm um impacto significativo no meio ambiente, na economia e na sociedade. Esta revisão da literatura explora os principais problemas e desafios de sustentabilidade enfrentados pelo setor de construção, bem como as abordagens e estratégias inovadoras que estão sendo implementadas para promover práticas sustentáveis.

A inovação tecnológica, além de ser facilitadora no gerenciamento da indústria da construção civil, impacta, também, na eficiência e na sustentabilidade do setor. Segundo Almeida *et al.* (2023, p.28), “a inovação na construção civil também inclui a adoção de materiais e métodos construtivos mais sustentáveis”. Assim, para Almeida *et al* (2023), a implementação de novas tecnologias e práticas inovadoras são capazes de auxiliar o mercado da construção civil a reduzir seus custos, aprimorar a qualidade e execução dos projetos e minimizar o impacto ambiental.

Rozenfeld *et al.* (2006) sugerem o uso das tecnologias como propulsoras no entendimento das necessidades do mercado aliadas à inovação, classificadas em quatro tipos:

- Radical, nas inovações que podem alterar componentes padrões ou na combinação deles;
- Modular, na inovação significativa, mas restrita a parte do processo;
- Incremental, na inovação chamada melhoria e otimização do processo;
- Arquitetural, na inovação sem afetar o princípio básico do processo.

No ambiente da construção civil, a inovação é parte inerente de um processo que precisa da tecnologia para se desenvolver e, ao mesmo tempo, não pode deixar de lado o ambiente físico. O uso da tecnologia BIM facilita a atividades de desenvolvimento de projetos com as mais variadas simulações disponíveis e, assim, contribui para os envolvidos, desde a construtora, passando pelo arquiteto e alcançando o usuário do espaço. Algo positivo para toda a sociedade na busca de redução de desperdício e menor agressão ao meio ambiente.

Os estudos apresentados nos itens 2.1 e 2.2 mostram que o setor de construção passou por uma mudança transformadora nos últimos anos, impulsionada por avanços tecnológicos e uma ênfase crescente na sustentabilidade. Esta revisão da literatura explorou a interseção dessas três áreas principais: tecnologias, modelos de inovação e sustentabilidade. As principais conclusões indicam que a adoção de tecnologias como BIM, impressão 3D e drones melhorou significativamente a eficiência, a precisão e a sustentabilidade dos projetos de construção. Além disso, os modelos de inovação, como a inovação aberta e a construção enxuta, facilitaram o desenvolvimento de novas soluções e práticas. Uma tendência notável é a crescente integração de tecnologia e sustentabilidade. O BIM, por exemplo, permite que arquitetos e engenheiros avaliem o impacto ambiental das decisões de projeto, levando a edifícios mais sustentáveis. Da mesma forma, a impressão 3D oferece oportunidades de construção personalizada e eficiente, reduzindo o desperdício e o consumo de materiais. Embora tenha havido um progresso significativo, ainda há vários desafios. Esses desafios incluem a necessidade de

maior padronização no uso de novas tecnologias, uma força de trabalho qualificada capaz de adotar essas inovações e a abordagem dos altos custos iniciais associados a algumas tecnologias.

### 3. METODOLOGIA

Uma pesquisa qualitativa foi realizada conforme os princípios estabelecidos por Lozada e Nunes (2019). A pesquisa foi realizada por meio de um levantamento bibliográfico de caráter descritivo e documental, seguindo a classificação de Gil (2022). Esse tipo de pesquisa se fundamenta na análise de material já publicado, buscando descrever e interpretar fenômenos a partir da revisão de literatura existente.

As fontes consultadas incluem artigos científicos, monografias, dissertações, teses, livros, anais de congressos e publicações disponíveis em bases de dados eletrônicas, como o Portal de Periódicos da CAPES, Google Scholar e ResearchGate. Para garantir a relevância e atualidade dos dados, o recorte temporal abrangeu estudos publicados nos últimos cinco anos, focando em autores e obras que abordam o uso de inovações tecnológicas na construção civil.

Os critérios de seleção dos materiais incluíram o uso de palavras-chave específicas, como "BIM", "impressão 3D", "drone", "realidade virtual", "sustentabilidade na construção civil", entre outros termos relacionados. Além disso, foi feita a escolha criteriosa de autores reconhecidos na área de inovação e construção civil, com base na sua relevância e contribuição para o campo de estudo.

Durante o processo de análise, foram aplicados critérios de exclusão para materiais que não atendiam aos parâmetros metodológicos definidos, como artigos fora do recorte temporal ou com enfoque limitado em áreas que não dialogam diretamente com o objetivo da pesquisa. Todos os dados coletados foram organizados e classificados de acordo com a temática central do estudo, que permite uma abordagem analítica e crítica do material.

Por fim, a análise dos dados seguiu uma abordagem qualitativa, que utiliza técnicas de interpretação de conteúdo para identificar padrões, tendências e lacunas na literatura existente. O processo foi realizado de forma sistemática, assegurando a validade e a consistência dos achados, com o objetivo de responder à problemática central da pesquisa. As etapas de coleta, seleção e análise de dados foram conduzidas de maneira rigorosa, garantindo que o trabalho seja robusto e alinhado aos padrões científicos.

### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Tratando-se da indústria da construção civil, da mesma forma que a tecnologia se aprimora com o passar dos anos, as metodologias construtivas também precisam se adaptar e se inserir neste contexto de evolução e inovação. Assim, a partir desta pesquisa, pôde-se observar que as inovações tecnológicas podem facilitar na elaboração, execução e gerenciamento de projetos da construção civil, na redução de custos, prazos e, principalmente, desperdícios, o que contribui para a sustentabilidade do meio ambiente.

O uso do BIM, conforme apontado por Duarte et al. (2023) e Gonçalves (2020), representa um dos avanços mais expressivos na construção civil. Ao integrar informações multidimensionais sobre tempo (4D) e custos (5D), o BIM possibilita uma gestão mais precisa, otimizando a compatibilização de projetos e a alocação de recursos. Isso responde diretamente à exigência do mercado por soluções mais eficientes e econômicas,

especialmente em projetos complexos. Além disso, como sugerido por Barros (2017), a integração do BIM com a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) potencializa a sustentabilidade dos projetos, proporcionando um controle ambiental mais rigoroso, o que está em linha com as demandas crescentes por edificações mais sustentáveis.

Assim, o BIM destaca-se como uma ferramenta poderosa na construção civil, o que permite a criação e gestão de informações detalhadas de um projeto em um modelo digital integrado. Com a capacidade de operar em múltiplas dimensões (2D a 7D), o BIM proporciona uma maior integração e interoperabilidade entre os diferentes profissionais envolvidos, reduzindo erros e aumentando a eficiência na gestão e execução das obras.

Na prática, um projeto de construção que adota o BIM pode ver uma melhora significativa na coordenação entre arquitetos, engenheiros e construtores. Por exemplo, durante a fase de planejamento, o BIM permite a visualização tridimensional detalhada do edifício, o que facilita na identificação de possíveis conflitos entre sistemas estruturais, elétricos e hidráulicos antes mesmo do início da construção. Ademais, a dimensão 4D (cronograma de obra) ajuda a planejar as etapas da construção com precisão, enquanto a 5D (orçamento) permite uma gestão financeira mais rigorosa e transparente. Mazzione (2013) apresentou uma classificação do uso da tecnologia BIM em atividades distintas da construção para ratificar a sua importância.

**Quadro 1:** Classificação para utilização da BIM nas fases especificadas

Atividade	Ação	Considerações
Projeto	Visualização	Visualização Projetos com visualização em 3D Controle de ciclos de revisões Documentação e detalhamento Escaneamento de edifício com raio <i>laser</i> Fotogrametria Representação realística Realidade virtual Realidade aumentada
	Análise	Análise Verificações de requisitos de normas Estimativas de custo Análises estruturais por elementos finitos Simulação de fogo e fumaça Análises de luminotecnica Levantamentos de quantitativos Análises de implantação do terreno Estudos de radiação solar Coordenação espacial e análise de interferências Análise estrutural Análises de sustentabilidade Análises energéticas Análises térmicas Estudos do impacto do vento
Construção	Execução	Viabilidade técnica Construção virtual Segurança do trabalho Especificações da construção Projetos de sistemas construtivos Tecnologias móveis para uso no canteiro Planejamento e controle da produção Licitações e contratações

**Quadro 1:** Classificação para utilização da BIM nas fases especificadas

Atividade	Ação	Considerações
Construção	Pré-fabricação	Estruturas metálicas Estruturas em concreto pré-moldado
	Aquisição	Coordenação dos suprimentos Preparação de pacotes de compras
Operação	Gerenciamento	Rastreamento dos ativos Manutenção dos ativos Monitoramento de ativos por GPS Gerenciamento dos espaços Gerenciamentos de reformas
	Simulação	Gestão dos sistemas Planejamento para situações de emergência Análises do consumo energético Rastreamento da ocupação
Otimização dos processos		<i>Leanconstruction</i> Gestão da cadeia de suprimentos Análises de valor Melhoria do processo de comunicação

Fonte: Succar citado por Manzione (2013, p. 41-42).

A aquisição de software especializado e a atualização de hardware para suportar o BIM exige investimentos consideráveis. Além disso, as licenças de software e a necessidade contínua de atualizações podem aumentar os custos operacionais. Outro desafio crucial é a capacitação dos profissionais que requer habilidades técnicas específicas que ainda não são amplamente difundidas no setor, de modo que essa necessidade de capacitação pode atrasar a adoção do BIM e aumentar os custos de implementação. De maneira geral, a implementação do BIM implica uma mudança profunda na forma de trabalhar, exigindo a adaptação aos processos e a reestruturação organizacional. Muitos profissionais e empresas podem mostrar resistência em abandonar métodos tradicionais em favor de novas tecnologias, dificultando a adoção do BIM.

A Impressão 3D também tem mostrado um grande potencial de transformação. O estudo de Ruiz (2022) revela que essa tecnologia pode acelerar os processos construtivos e reduzir o desperdício de materiais, atendendo tanto à necessidade de otimização de prazos quanto à busca por soluções mais sustentáveis. No entanto, desafios como a padronização dos materiais e a viabilidade econômica em larga escala ainda precisam ser superados para que a Impressão 3D se consolide como uma solução amplamente adotada. Silva et al. (2020) também reforçam que, apesar dos desafios, os benefícios para a sustentabilidade são evidentes, especialmente em termos de redução de resíduos e consumo de energia.

Na construção de uma casa, por exemplo, a impressão 3D pode ser utilizada para produzir elementos estruturais como paredes e pilares diretamente no local, contribuindo para a redução do tempo e do custo de construção. Entretanto, o custo inicial de aquisição das impressoras 3D e dos materiais específicos é elevado e exige investimento significativo das empresas do setor, além de gastos para operação e manutenção, as habilidades técnicas que ainda não são amplamente difundidas na construção civil. Por fim, a escala de aplicação ainda é uma dificuldade considerável. Embora a impressão 3D seja eficiente para componentes menores e elementos estruturais específicos, a sua aplicação em construções de grande escala apresenta desafios logísticos e de tempo. Outrossim, a integração desses componentes impressos com métodos de construção tradicionais pode

ser complexa e exigir ajustes e adaptações. Ressalta-se ainda a necessidade da criação de normativas que estabeleçam parâmetros de trabalhabilidade da tecnologia na indústria da construção civil.

Os drones, por sua vez, introduzem um novo patamar de precisão no monitoramento de obras. Como destacado por Gouveia et al. (2021) e Nery et al. (2021), o uso dessa tecnologia permite que obras sejam monitoradas em tempo real, proporcionando dados mais precisos e agilidade no processo de inspeção e controle. Esse avanço atende à necessidade do mercado por soluções que promovam segurança, reduzam custos operacionais e aumentem a eficiência das operações. Além disso, a possibilidade de realizar levantamentos topográficos com maior rapidez e precisão mostra-se essencial para a gestão de projetos em larga escala ou em terrenos de difícil acesso, ampliando as possibilidades de atuação no setor.

Assim, em um projeto de grande escala, como a construção de um estádio, drones podem ser usados para mapear o terreno antes do início das obras, além de garantir a compreensão precisa das condições do solo. Durante a construção, drones equipados com câmeras de alta resolução podem inspecionar estruturas elevadas, como telhados e fachadas, garantindo a segurança dos trabalhadores e a qualidade da construção sem a necessidade de andaimes ou outros equipamentos de acesso difíceis e perigosos. Todavia, as limitações tecnológicas dos drones também são uma preocupação. A autonomia de voo limitada, a susceptibilidade a condições climáticas adversas e a necessidade de frequente manutenção podem restringir a eficiência e a utilidade dos drones em certos contextos de construção. Além disso, as normas e regulamentações para o uso de drones variam entre diferentes regiões e países, as empresas precisam garantir que operam dentro das leis locais, o que pode incluir restrições de voo, necessidade de licenças e permissões específicas.

Por fim, a realidade virtual proporciona experiência imersiva, permitindo que os envolvidos no projeto visualizem e interajam com o modelo tridimensional do edifício antes de sua construção. Isso facilita a comunicação entre os diferentes profissionais e com os clientes, além de melhorar a compreensão do projeto e a identificação de possíveis problemas. Isso contribui significativamente para a redução de erros e a melhoria no processo decisório, uma vez que os profissionais envolvidos no projeto podem visualizar detalhadamente os ambientes e fazer ajustes ainda na fase de planejamento. Essa capacidade de antecipação responde à necessidade do mercado por entregas mais assertivas e ajustadas às expectativas dos clientes, além de minimizar retrabalhos e custos adicionais. No desenvolvimento de um centro comercial, por exemplo, a RV pode ser utilizada para criar um tour virtual pelo futuro edifício, permitindo que os investidores e clientes explorem os espaços internos e externos antes da construção. Isso não só ajuda a detectar e corrigir falhas no design, mas também é uma poderosa ferramenta de marketing, demonstrando o valor e a viabilidade do projeto de uma maneira envolvente e convincente. Entretanto, também apresenta dificuldades com o custo para adquirir equipamentos e softwares, além da capacitação dos profissionais e resistência às mudanças por parte dos profissionais, das empresas e do mercado.

Cabe observar que já existem facilitadores que podem ser implementados de maneira imediata em novos projetos e construções, como o uso de softwares BIM e drone, já estão disponíveis no mercado e são de fácil acesso. Entretanto, algumas tecnologias ainda precisam ser estudadas e evoluídas de modo a serem capazes de atender demandas principalmente em grandes escalas, como o caso da impressão 3D. Além disso, essas tecnologias, ao serem adotadas de maneira integrada, transformam não apenas os



processos técnicos da construção civil, mas também a dinâmica de mercado. Segundo Almeida et al. (2023), empresas que incorporam inovações tecnológicas tendem a ser mais competitivas por conseguirem entregar soluções mais rápidas, com menor custo e maior controle de qualidade.

O setor de construção está passando por uma mudança de paradigma impulsionada pelos avanços tecnológicos. Esta pesquisa demonstrou que tecnologias como BIM, impressão 3D, drones e realidade virtual têm o potencial de revolucionar a maneira como projetamos, construímos e gerenciamos edifícios. Essas inovações oferecem benefícios significativos, incluindo maior eficiência, melhor qualidade e maior sustentabilidade. O BIM, em particular, surgiu como uma pedra angular da construção moderna, fornecendo uma representação digital abrangente de um edifício. Ao integrar informações de várias disciplinas, o BIM permite uma melhor coordenação, reduz erros e otimiza a alocação de recursos. A integração do BIM com outras tecnologias, como a impressão 3D e a RV, aprimora ainda mais seus recursos, permitindo processos de projeto e construção mais sofisticados. A impressão 3D é uma promessa imensa para o setor de construção, oferecendo o potencial de fabricação personalizada no local e redução de resíduos. Os drones, por sua vez, revolucionaram o monitoramento e a inspeção do local, fornecendo dados em tempo real e melhorando a segurança. A realidade virtual transformou a maneira como visualizamos e vivenciamos os ambientes construídos, facilitando uma melhor comunicação e colaboração entre as partes interessadas. Embora essas tecnologias ofereçam vantagens significativas, sua adoção generalizada é prejudicada por vários desafios. Os altos custos iniciais, a falta de mão de obra qualificada e a resistência à mudança são barreiras comuns. Além disso, a integração dessas tecnologias aos fluxos de trabalho existentes pode ser complexa e demorada. Olhando para o futuro, é provável que o futuro da construção seja caracterizado por maior automação, maior sustentabilidade e um grau mais alto de personalização. À medida que essas tecnologias continuarem a evoluir, o setor de construção precisará se adaptar para permanecer competitivo e atender às necessidades em evolução da sociedade. Ao adotar esses avanços tecnológicos e enfrentar os desafios associados, o setor de construção pode criar ambientes construídos mais sustentáveis, eficientes e inovadores.

## 5. CONCLUSÃO

A pesquisa destaca a necessidade de adaptação e inovação na indústria da construção civil para acompanhar o avanço tecnológico. As inovações, como o BIM, impressão 3D, drones e realidade virtual, apresentam soluções promissoras para a elaboração, execução e gerenciamento de projetos, contribuindo significativamente para a redução de custos, prazos e desperdícios. O BIM demonstra ser uma ferramenta poderosa, melhorando a coordenação e eficiência dos projetos. No entanto, a sua implementação enfrenta desafios como altos custos e necessidade de capacitação.

A impressão 3D oferece rapidez e economia na construção de componentes, mas enfrenta obstáculos relacionados aos altos custos iniciais, à integração com métodos tradicionais e à validação por meio de normas regulamentadoras. Drones e realidade virtual melhoram a precisão e a comunicação nos projetos, embora também apresentem limitações tecnológicas e de regulamentação.

Apesar dessas barreiras, algumas dessas tecnologias, como o BIM e drones, já estão prontamente disponíveis e podem ser implementadas de imediato, enquanto outras, como a impressão 3D, ainda precisam evoluir para atender demandas em maior escala.

A adoção não só das referidas tecnologias, mas de outras inovações se tornam inevitáveis e essenciais para a evolução da construção civil. A inovação traz consigo a promessa de projetos mais eficientes, sustentáveis e integrados. No entanto, o sucesso dessa transformação depende da disposição das empresas em investir em novos sistemas e na formação de seus profissionais, bem como na superação de barreiras culturais e resistências às mudanças, bem como a quebra de paradigmas. As empresas de construção civil que conseguirem se adaptar a essa nova realidade estarão à frente no mercado, e certamente, irão desfrutar de significativas vantagens competitivas.

Assim, a hipótese proposta neste estudo sugere que a adoção de tecnologias emergentes como BIM, Impressão 3D, Drones e Realidade Virtual na construção civil pode transformar significativamente o setor, atendendo às exigências de um mercado cada vez mais competitivo e às distintas realidades do ambiente construído. Ao longo da pesquisa, foi possível identificar evidências robustas que corroboram essa hipótese, demonstrando como essas tecnologias impactam positivamente a gestão de projetos, os processos construtivos e a sustentabilidade do setor.

Em resposta a questão de pesquisa — como as tecnologias BIM, Impressão 3D, Drones e Realidade Virtual podem transformar a construção civil e atender às crescentes exigências do mercado? — os resultados indicam que essas inovações tecnológicas introduzem melhorias significativas em eficiência, controle de custos, segurança e sustentabilidade, além de contribuírem para a redução de prazos e a mitigação de desperdícios.

A pesquisa mostra que o setor de construção está passando por uma profunda transformação, impulsionada pela rápida evolução tecnológica. Inovações como BIM, impressão 3D, drones e realidade virtual oferecem um potencial significativo para otimizar processos, reduzir custos e aumentar a eficiência na construção. O BIM, em particular, destaca-se como uma ferramenta versátil que integra informações e facilita a coordenação entre os vários estágios do projeto. A impressão 3D promete revolucionar a fabricação de componentes de construção, enquanto os drones e a realidade virtual melhoram a coleta de dados, a visualização e o gerenciamento de projetos. No entanto, a adoção dessas tecnologias enfrenta desafios como os altos custos de implementação, a necessidade de treinamento especializado e a resistência à mudança. Além disso, a falta de normas e padrões pode dificultar a integração dessas tecnologias em projetos de grande escala. Apesar desses obstáculos, as empresas que investirem em inovação e treinamento de seus profissionais estarão mais bem preparadas para enfrentar os desafios do mercado e obter uma vantagem competitiva. A pesquisa mostra que a hipótese inicial, de que as tecnologias emergentes podem transformar o setor de construção, é corroborada pelos resultados obtidos. A adoção dessas ferramentas contribui para a construção de projetos mais eficientes, sustentáveis e personalizados, atendendo às demandas de um mercado cada vez mais exigente. No entanto, é essencial que o setor continue investindo em pesquisa e desenvolvimento para superar os desafios atuais e explorar novas possibilidades. Em resumo, o setor de construção está em um momento de transição, no qual a tecnologia está desempenhando um papel cada vez mais central. As empresas que adotarem essas inovações estarão mais bem preparadas para construir um futuro mais sustentável e eficiente.

## REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, Mateus Souza Jatobá de et al. **A relação entre sistemas de gestão e sucesso em empresas de construção civil: uma análise de práticas de gestão e inovação**. 2023. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/13011>. Acesso em: 05 jun. 2024.
- [2] BARROS, Roberta Augusta Menezes Lopes De & Librelotto, Lisiane. 2017. **A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de edificações integrada a Modelagem da Informação da Construção (BIM): O uso de ferramentas computacionais como abordagem para o processo de projeto**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/340279094\\_A\\_Avaliacao\\_do\\_Ciclo\\_de\\_Vida\\_ACV\\_de\\_edificacoes\\_integrada\\_a\\_Modelagem\\_da\\_Informacao\\_da\\_Construcao\\_BIM\\_O\\_uso\\_de\\_ferramentas\\_computacionais\\_como\\_abordagem\\_para\\_o\\_processo\\_de\\_projeto](https://www.researchgate.net/publication/340279094_A_Avaliacao_do_Ciclo_de_Vida_ACV_de_edificacoes_integrada_a_Modelagem_da_Informacao_da_Construcao_BIM_O_uso_de_ferramentas_computacionais_como_abordagem_para_o_processo_de_projeto). Acesso em: 09 jun. 2024
- [3] COELHO, Karina Matias. **A Implementação e o uso da Modelagem da Informação da Construção em Empresas de Projeto de Arquitetura**. 2017. Disponível em: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407770020546207/Dissertacao%20\(versao%20final\)%20-%20Eduardo%20Coelho.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407770020546207/Dissertacao%20(versao%20final)%20-%20Eduardo%20Coelho.pdf). Acesso em: 08 jun. 2024.
- [4] COSTA, Sâmio Rodrigues et al. **O avanço da industrialização da Construção Civil: a importância da construção modular no Brasil para os próximos anos e seus impactos**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/2474>. Acesso em: 06 jun. 2024.
- [5] DE CARVALHO, Isabella Pereira; DE CARVALHO, Clecilene Gomes. DOS PRIMORDIOS DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL A INDÚSTRIA 4.0. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 3, n. 11, p. e3112179-e3112179, 2022.
- [6] DUARTE, Carolina Mendonça de Moraes. **Gestão da inovação em empresas construtoras e incorporadoras**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=551186>. Acesso em: 07 jun. 2024.
- [7] DUARTE, Phillipe Dias et al. **Aplicação da tecnologia BIM na gestão de projetos na construção civil**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/65137>. Acesso em: 06 jun. 2024.
- [8] FORD, Simon et al. 2016. **Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges**. Journal of Cleaner Production. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/302589689\\_Additive\\_manufacturing\\_and\\_sustainability\\_an\\_exploratory\\_study\\_of\\_the\\_advantages\\_and\\_challenges](https://www.researchgate.net/publication/302589689_Additive_manufacturing_and_sustainability_an_exploratory_study_of_the_advantages_and_challenges). Acesso em: 09 jun. 2024.
- [9] GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 7 ed. Barueri [SP]: Atlas, 2022. ISBN978-65-597-7164-6.
- [10] GONÇALVES, Maria Isadora Messias Bezerra. **Uso da terceira e quinta dimensão do BIM na compatibilização de projetos e geração de quantitativos**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstreams/72e105d2-ba25-4d72-9ec5-ed4ec3f6f54b/download>. Acesso em: 08 jun. 2024.
- [11] GOUVEIA, Alan Apolinário de et al. **Inovação tecnológica na construção civil-Utilização de drone para gerenciamento de obra. Tópicos em construção civil: Tecnologia, inovação e metodologias aplicadas**. 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/349931395\\_Inovacao\\_tecnologica\\_na\\_construcao\\_civil\\_-\\_Utilizacao\\_de\\_drone\\_para\\_gerenciamento\\_de\\_obra](https://www.researchgate.net/publication/349931395_Inovacao_tecnologica_na_construcao_civil_-_Utilizacao_de_drone_para_gerenciamento_de_obra). Acesso em: 07 jun. 2024.
- [12] JÚNIOR, Álvaro Ricardo Saez Esteves et al. Realidade virtual e aumentada em projetos de construção civil. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 17, p. 11-11, 2020. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucacao/article/view/255/199>. Acesso em: 0 jun. 2024.
- [13] LEAL, Thomás Laydner Quinteiro Vasconcellos. **Desenvolvimento de tecnologia de produção de vigas pré-fabricadas com otimização topológica**. 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/218047>. Acesso em: 06 jun. 2024.
- [14] LOZADA, Gisele; NUNES, Karina S. Metodologia científica. [S. l.]: Grupo A, 2019. E-book. ISBN 9788595029576.
- [15] MANZIONE, L. Proposição de uma estrutura conceitual de gestão de processo de projeto colaborativo com o uso da BIM. **Tese de Doutorado**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São

Paulo, 2013.

[16] NERY, Lucas Mateus da Costa et al. O uso de veículos aéreos não tripulados na construção civil e suas contribuições no Brasil. **SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA**, v. 3, p. 558-565, 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/singeurb/article/view/1085/1566>. Acesso em: 07 jun. 2024.

[17] RODRIGUES, Jamerson. **O que é a Indústria 4.0: saiba mais sobre esse conceito**. 2022. Disponível em: <https://blog.culte.com.br/o-que-e-a-industria-4-0-saiba-mais-sobre-esse-conceito/>. Acesso em: 09 jun. 2024.

[18] ROZENFELD, H et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria de processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

[19] RUIZ, Felipe Pessoa. **Estudo de viabilidade da aplicação de impressão 3D em empreendimentos na construção civil**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/6818c1a8-53e6-46fa-ac18-863534c93a84>. Acesso em: 07 jun. 2024.

[20] SANTOS, Gustavo Soares. Novas Tecnologias Aplicadas na Construção Civil: Conceitos da Indústria 4.0. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 8, 2022. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rct/article/view/7276/3746>. Acesso em: 07 jun. 2024.

[21] SILVA, Pedro Coelho et al. **Manufatura aditiva: Revisão sistemática da literatura**. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19274>. Acesso em: 09 jun. 2024.

[22] SOUSA, Leopoldo et al. Aplicações de Realidade Virtual em Coordenação de Projeto de Engenharia Civil. **Livro de Atas PTBIM**, p. 773-783, 2020. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/cd13/3d8cbc2d05d4d0c94322492c6171186ce4f8.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2024.

# Capítulo 14

## *Evidências científicas interdisciplinares para uma nova agenda sobre os desafios de gestão de operações em ambiente construído no Brasil*

*Natália Fernandes da Motta*

*Ercília de Stefano*

*Tatiana Tavares Rodriguez*

*José Alberto Barroso Castanon*

*Alberto Eduardo Besser Freitag*

**Resumo:** **Objetivo:** O objetivo foi identificar evidências científicas da dimensão jurídica da Inteligência Artificial (IA) no Brasil, como suporte para orientações de uma nova agenda sobre os desafios da gestão de operação num recorte específico, o da propriedade intelectual (PI) universitária relativas ao ambiente construído. **Referencial Teórico:** Foram abordados dois eixos teóricos: (1) Inovação e a dimensão jurídica da IA e (2) Propriedades intelectuais (PI) em âmbito universitário. **Método:** A pesquisa foi exploratória e descritiva, de natureza qualitativa e quantitativa, executada por: (a) pesquisa bibliográfica; (b) pesquisa empírica, com análise textual. Utilizou-se o *software Voyant Tools*. **Resultados e Discussão:** Os resultados da Análise Textual, Cirrus e Link, revelaram seis evidências científicas, permitindo elaborar um conjunto robusto de orientações sobre a temática. **Implicações da Pesquisa:** A pesquisa forneceu insights que subsidiaram a proposta de uma nova agenda que retroalimenta teoria e prática sobre a temática. **Originalidade/Valor:** O avanço interdisciplinar sobre a temática marca a originalidade da pesquisa. O valor está em ampliar o debate sobre gestão em ambiente construído, implicando o protagonismo da IA e PI universitária, temas de grande potencial para contribuir com inovações no fluxo bidirecional entre academia e mundo do trabalho.

**Palavras-chave:** Gestão de operação, Ambiente construído, Interdisciplinar, Propriedade intelectual universitária, Inteligência Artificial, Dimensão Jurídica.



## 1. INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) é um termo que é, ao mesmo tempo, inovador e discutível, uma vez que existem pesquisadores que delinham que esta inteligência: “não é inteligente e nem artificial”. Nicoletis (2023) explica que nenhum sistema digital cria, pois a inteligência é uma propriedade de organismos, o que há é uma estatística com grande bases de dados para gerar previsões sobre o futuro com base no passado). Contudo, independente do debate sobre o mito de origem da inteligência artificial, observa-se que a IA é um novo paradigma popularizando-se na segunda década do século XXI em diversas áreas, incluindo as inovações na educação, conforme apontou Gómez (2023). Portanto, isto coloca a educação numa espécie de “*turning point*”, ou seja, a virada na perspectiva do ensino e aprendizagem. Nos mais diversos níveis, incluindo o universitário - graduação e pós-graduação - nota-se que o papel que a IA assume ou pode assumir frente à construção do conhecimento científico é uma questão central do debate relativo à educação na atualidade.

Em contrapartida, a universidade também é convocada a se repensar no que tange o papel que assume na sociedade contemporânea em termos de inovação. Neste ponto, as transferências de conhecimento científicos e tecnológicos para o restante da sociedade, a partir das propriedades intelectuais (PIs), assumem protagonismo. Sobre esse protagonismo, Fasi (2023) analisou as tendências de transferência no contexto das universidades tanto dos Estados Unidos, quanto da China.

O ambiente construído exige uma visão multidisciplinar e inovadora, implicando não somente as Engenharias, mas também em outras áreas do conhecimento, e nesse sentido a engenharia de produção com os desafios de gestão de operações é essencial para que processos de tomada de decisão em termos de planejamento e gestão sejam cada vez mais consistentes. A IA tem transversalmente sido apresentada como parte do processo de tomada de decisões orientada por dados. Nesse ponto nevrálgico, que as PIs universitárias relativas ao ambiente construído se encontram com os desafios de inovação da IA, incluindo o debate jurídico, oriundo do Direito que deve suportar os novos desafios e oportunidades de gestão de operações em ambientes construídos que estimulam a criação de PI e a transferência do conhecimento universitário para o setor produtivo do ambiente construído.

Assim, o ensino da pós-graduação universitária é um celeiro repleto de oportunidades para inovação que pode se beneficiar de uma nova agenda baseada em evidências científicas relativas ao que há de mais contemporâneo em termos de debate jurídico a respeito de IA no Brasil, ou seja, o Projeto de Lei (PL) de 2023 (Brasil, 2023). Inclusive neste PL, o inciso IX do Art. 2 sublinha que: “a promoção da pesquisa e do desenvolvimento com a finalidade de estimular a inovação nos setores produtivos e no poder público”, o que sublinha, mesmo que indiretamente, o protagonismo papel que a Universidade como promotora de pesquisa e inovações deve assumir quanto a IA no Brasil. Ainda, na Seção III deste documento, tem-se as medidas para fomentar as inovações no contexto da IA (Brasil, 2023).

Nesse sentido, visando dar voz e solidificar um canal de comunicação sobre propriedades intelectuais universitárias no âmbito de inovações na gestão de operações em ambientes construído e IA, o objetivo geral foi identificar evidências científicas da dimensão jurídica da Inteligência Artificial (IA) no Brasil, como suporte para orientações de uma nova agenda sobre os desafios da gestão de operação num recorte específico, o da propriedade intelectual (PI) universitária relativas ao ambiente construído. Já os objetivos específicos



foram: (a) compreender a dimensão jurídica da IA no contexto da inovação; (b) o papel da IA na gestão de operações, tendo como foco a propriedade intelectual e a transferência de conhecimento no contexto universitário, notadamente relativo à pós-graduação em ambiente construído no Brasil.

A pesquisa é exploratória, descritiva, de natureza qualitativa e quantitativa, sendo realizada a partir de duas etapas, quais sejam: teórica conceitual, com revisão bibliográfica do tipo narrativa, e, empírica, com suporte do software online Voyant Tools (2024) para a análise do Projeto de Lei de 2023, vide Brasil (2023).

O trabalho está organizado em três seções além desta Introdução e das Considerações Finais, sendo uma que se dedica a fundamentação teórica conceitual (seção 2), outra que apresenta a metodologia adotada (seção 3), e por fim, uma que apresenta e discute os resultados (seção 4).

## **2. GESTÃO DE OPERAÇÕES EM AMBIENTE CONSTRUÍDO**

### **2.1. INOVAÇÃO E A DIMENSÃO JURÍDICA DA IA**

Analisar a dimensão jurídica da IA na perspectiva das inovações, requer evidenciar o recorte teórico conceitual sobre gestão de operações no ambiente construído uma vez que o tema dimensão jurídica da IA é de abrangência geral imerso no fato da IA ser um novo paradigma que orienta os novos caminhos da humanidade no século XXI. Contudo, antes disso é relevante compreender a diferença entre variados tipos de inovação. Exemplificando, a inovação incremental corresponde à melhoria de produto, serviço, processo que já existe; por outro lado, a inovação radical implica mudanças profundas, estruturais. Christensen (1997) sublinhou um outro tipo de inovação, a disruptiva. Para esse autor, este tipo de inovação se relaciona em oferecer algo mais prático e barato e geralmente trazendo mais benefícios para a sociedade e não somente para partes específicas interessadas. Isto ainda permanece atual, quando na literatura científica Ataman, Myhr e Nistor (2023) tratam a inovação disruptiva para criar um modelo conceitual, por exemplo.

Nessa direção, o ambiente construído, enquanto área multidisciplinar, que envolve desde planejamento até gestão da produção, é inerente a noções sobre, por exemplo, os princípios cíclicos e ininterruptos do planejamento e gestão. Marshall Jr. et al. (2012) sublinham, por exemplo, Planejar, Fazer, Checar e Agir (do idioma Inglês, tem-se a sigla PDCA), enquanto ferramentas da administração da produção que visam qualidade. Logo, inovações incrementais podem auxiliar numa perspectiva horizontal que implica aqueles que já estão a par dos produtos, serviços e processos; as radicais numa perspectiva vertical, que inclui mudar a relação bidirecional entre produtores e consumidores; contudo, nota-se que a inovação disruptiva, tem um papel diagonal podendo envolver vários setores da sociedade em prol de benefícios multidirecionais.

Em termos de gestão de marketing, Kotler (2000) tratou a base para o marketing no século XXI, destacando o papel que tecnologias de informação e comunicação poderiam assumir na sociedade contemporânea, logo as inovações que se utilizam da IA na atualidade podem ter sido cunhadas como disruptivas, mas se colocaram ao longo do tempo apenas como incremental ou mesmo radicais. Portanto, perceber o ciclo de vida imbricado das inovações torna-se relevante para se compreender parte da complexidade em voga aos problemas e soluções da gestão do ambiente construído e o papel que as propriedades intelectuais via universitária podem assumir na sociedade atual.

A complexidade inerente ao planejamento e gestão do ambiente construído, quando transversal pela Inteligência Artificial (IA), tem no Direito um adicional ao debate que se justifica não somente pela legislação em vigor ou em vistas de vigorar, mas o que pode ser compreendido pela ótica do que popularmente ficou conhecido como Pirâmide de Kelsen. Por exemplo, Seixas (2022) ao tratar o uso de inteligência artificial em decisões judiciais, no que tange a garantia de direitos fundamentais, usou a metáfora da Pirâmide de Kelsen. Esta é composta por níveis hierárquicos, do topo para a base da pirâmide haveria uma ordem: Constituição Federal, Emendas Constitucionais, Leis e medidas provisórias, Decretos, Resoluções, Instruções Normativas e Portarias. No Brasil, o debate jurídico sobre a IA perpassa o Projeto de Lei (PL) de 2023 (vide Brasil, 2023). Este dispõe sobre o uso de IA em território nacional, cujo o objetivo é criar uma normatização geral visando o:

(...) desenvolvimento, implementação e uso responsável de sistemas de inteligência artificial (IA) no Brasil, com o objetivo de proteger os direitos fundamentais e garantir a implementação de sistemas seguros e confiáveis, em benefício da pessoa humana, do regime democrático e do desenvolvimento científico e tecnológico” (Art 1o do PL de 2023, Brasil, 2023).

Ao se analisar o primeiro artigo deste Projeto de Lei, compreende-se que a centralidade do mesmo é na pessoa humana, inserindo o regime democrático brasileiro e sublinhando o desenvolvimento científico e tecnológico. Nesse sentido, a transferência de conhecimento das universidades, a partir da criação de PI, para a sociedade têm extrema relevância. Portanto, a seguir abordaremos as PI universitárias no contexto do ambiente construído, entendendo que a dimensão jurídica nacional tem um papel chave em vários níveis, sejam estes constitucionais ou mesmo na definição de futuras portarias que orientaram a teoria e a prática do desenvolvimento científico e tecnológico relativo ao ambiente construído, transversal pela IA no Brasil.

## **2.2. PROPRIEDADES INTELECTUAIS EM ÂMBITO UNIVERSITÁRIO**

Num mundo globalizado, em que inovações (incrementais, radicais e disruptivas) têm se firmado a partir de soluções orientadas por dados computacionais, observa-se que as propriedades intelectuais nos âmbitos universitários são um tema emergente e de impacto sócio econômico afetando várias áreas do conhecimento, incluindo a gestão de operações em ambiente construído.

Assim, observa-se que a transferência de conhecimento científico e tecnológico, por meio de PI, para o restante da sociedade, quanto por haver uma série de questionamentos quando isto se relaciona com os avanços da Inteligência Artificial. Fato que tem exigido legislações específicas em vários países. Fasi (2023) estudou o contexto dos Estados Unidos e China, duas economias bastante distintas, e com bases ideológicas quanto ao Direito igualmente variadas, mas que competem num cenário global quanto a vários setores econômicos, incluindo ao que tange a construção civil, como parte do ambiente construído, entre outros.

Em linhas gerais, as questões de PI no ambiente universitário são analisadas em escalas geográficas específicas, implicando países ou blocos de países, como no caso da União Europeia. Assim como estudos comparativos para a troca de experiências entre países

com realidades socioeconômicas diversas (vide Fasi, 2023). Isto ocorre, pois a criação de PI e a transferência do conhecimento científico e tecnológico da universidade para o restante da sociedade está no bojo de legislações específicas em escalas geográficas distintas, indo do local ao global. Por outro lado, existem áreas científicas e tecnológicas mais proeminentes no desencadeamento de PI, e neste ponto o ambiente construído pode aprender com áreas que aparentemente não seriam tão óbvias do ponto de vista interdisciplinar, tais como as PI das áreas de biotecnologia.

Contudo, são justamente alguns avanços em biotecnologia que podem elevar a gestão de operações em ambiente construído para outro nível de se projetar e gerir projetos que impliquem tomadas de decisão orientadas por dados biológicos. A prova disso são as abordagens de Neri Oxman quando cria um modelo teórico para se refletir sobre a relação imbricada entre ciência, tecnologia, arte e design (Antonelli, 2020).

Logo, discutir PI universitárias no contexto dos desafios de gestão de operações em ambientes construídos requer se despir de preconceitos disciplinares. Nesse ponto nevrálgico, que Direito (vide seção 2.1) e Computação, notadamente IA formam um suporte chave para se criar uma orientação em prol do arcabouço teórico conceitual sobre o papel da dimensão jurídica da IA para o contexto específico da PI universitária, quando os desafios são estimular inovações sobre gestão de produção em ambiente construído no Brasil. Portanto, a próxima seção apresenta a metodologia adotada neste estudo que parece ser seminal sobre a intersecção entre Ambiente Construído, IA e Direito.

### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é de caráter exploratório e descritivo por se tratar da observação de um fenômeno contemporâneo, qual seja o papel da IA no contexto da gestão de produção em ambiente construído, notadamente o que implica criação de PI e transferência de conhecimento científico e tecnológico da universidade para o restante da sociedade.

Essa aproximação interdisciplinar sobre um objeto de pesquisa, compreendendo a interface entre Engenharia, Computação e Direito exige uma tática em termos de coleta e tratamento de dados igualmente inovadora.

Ao ter natureza qualitativa e quantitativa, o suporte do *software* de análise textual chamado Voyant Tools (2024) permitiu instrumentalizar as orientações relativas ao objeto de estudo, qual seja: o Projeto de Lei de 2023 a partir de mineração de dados textuais. Para tanto foi essencial compreender a partir da revisão narrativa tanto o que se entende por dimensão jurídica da IA (subseção 2.1) quanto PI universitária (subseção 2.2) no contexto do ambiente construído.

O Quadro 1 detalha as etapas metodológicas que apresentam um ordenamento lógico da pesquisa:

**Quadro 1 - Etapas da Pesquisa**

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Suportes</b>
Pesquisa Bibliográfica	Revisão narrativa para definir e conceituar a inovação e dimensão jurídica da IA; As PIs universitárias, tendo como enfoque a gestão de operações em ambiente construído.	Pesquisa no Google Acadêmico (2024) (b) utilizando palavras chaves tais como: Inteligência Artificial; Direito; Ambiente Construído.
Pesquisa Empírica	Análise textual do Projeto de Lei de 2023 (a) para formação do corpus textual. Ajustes no corpus textual.	Utilização do <i>software</i> online Voyant Tools (2024) (c), a partir de dois recursos de visualização: (1) Cirrus; e (2) Links;

Fonte: Elaboração própria com base em: (a) Brasil (2023); (b) Google Acadêmico (2024) ; (c)Voyant Tools (2024).

Os ajustes executados no corpus textual foram: (a) tornar singular o termo Direito; (b) A seguir, com a execução da metodologia adotada, são detalhados os resultados e discussões, com orientações para suportar a criação de uma nova agenda sobre PI universitárias que estejam no bojo da gestão de operações de ambientes construídos, tendo em vista a relevância da dimensão jurídica sobre inteligência artificial.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Na presente seção tem-se a apresentação e resultados do processamento de dados textuais da Projeto de Lei de 2023 (Brasil, 2023) a partir do *software* online Voyant Tools (2024), notadamente as evidências científicas encontradas quanto a: (a) Cirrus, limitando a 25 termos mais frequentes; (b) Links, limitando a “Art.”, “Direito” e “Lei”; (subseção 4.1). Para então, cumprir o objetivo geral do estudo, qual seja criar orientações, mesmo que iniciais, para uma futura proposição de agenda sobre a temática (subseção 4.2).

### **4.1. ANÁLISE TEXTUAL**

A partir do Quadro 2, tem-se as Figuras 1 e 2 que respectivamente apresentam visualmente os resultados encontrados a partir do uso da ferramenta de suporte Voyant Tools (2024). Nessa direção nota-se que o contexto geral da PL de 2023 rege a relação sobre Inteligência Artificial (IA) (f=141) pela perspectiva do “sistema” (f=81).

Para além disto, os termos risco (f=44) dados (f=43) apresentam proeminência no corpus textual, assim é possível inferir que apesar de haver uma centralidade em pessoas (f=4) como sugerido no art. 1o, isto ocorre em função dos riscos de dados, que implicam as pessoas pelos sistemas de inteligência artificial.

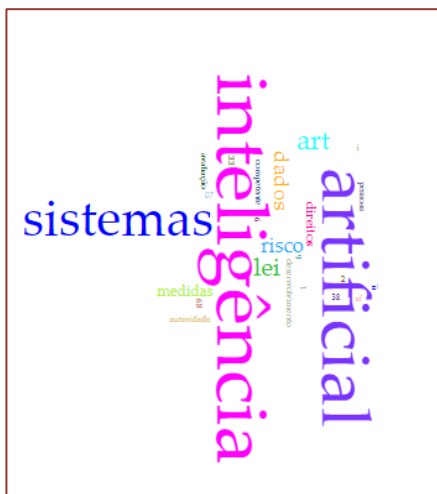
**Quadro 2 - Evidências científicas**

Método	Evidências científicas
Cirrus	Ficou evidente termos com maior frequência (f), tais como:: Inteligência (f=141), Artificial (f=141); Sistemas (f=81); Riscos (f=44). Sendo relativos a dimensão jurídica: Art. (f=53), Lei (f=50); Direitos (f=38), entre outros.
Links	Ficaram evidentes os números (n) de links ou seja ligações entre os principais termos de interesse do estudo, quais sejam Inteligência Artificial e Direito. Para a dimensão jurídica, evidenciou-se os seguintes números (n) de links para os termos: Artigo (n=5) Direito (n=4), Lei (n=2).

Fonte: Elaboração própria a partir de processamento do conteúdo do dado secundário da fonte Brasil (2023) utilizando Voyant Tools (2024).

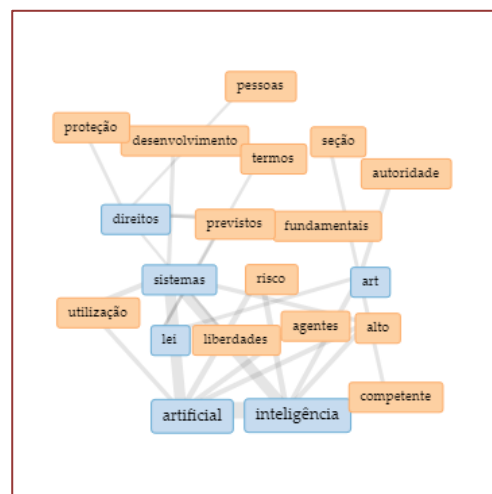
Se a Figura 1 apresenta apenas uma visão geral por frequência dos principais termos, a Figura 2 permite uma leitura mais crítica evidenciando as ligações (por links) entre termos específicos. Assim, a combinação de ambas (Figuras 1 e 2) permite cumprir de maneira efetiva o objetivo geral do presente estudo. Isto, pois torna possível, através destas, contextualizar inovações e a dimensão jurídica da IA no Brasil quanto a sua futura utilidade em diversos âmbitos, incluindo a gestão de operações em ambientes construídos. Embora o termo inovação ou inovações não estejam entre os mais frequentes, cabe lembrar, como mencionado na introdução que no referido documento existe a seção III dedicada a delinear as medidas para fomentar a inovação (v. Brasil, 2023).

**Figura 1. Cirrus**



Fonte: Elaboração própria a partir de Brasil (2023) utilizando Voyant Tools (2024).

**Figura 2. Links**



Fonte: Elaboração própria a partir de Brasil (2023) utilizando Voyant Tools (2024).

Na Figura 2, os links estabelecidos entre os termos pode superar um *gap* de discussão sobre inovações e a dimensão jurídica quanto a criação de propriedades intelectuais que impliquem o uso de IA, e suas respectivas transferência de conhecimento no contexto universitário, notadamente ao que tange o objeto de interesse a pós-graduação em ambiente construído no Brasil. Antes de iniciar a análise crítica da Figura 2, cumpre esclarecer que o termo inovação e seus derivados tais como: inovar, inova, ou inovações não seja visíveis nesta Figura 2. Contudo, com a leitura atenta do documento PL de 2023, observa-se a transversalidade das inovações sejam na perspectiva incremental, radical ou disruptiva. Estas parecem ser alvos do referido documento, notadamente nas orientações da seção III que aborda as medidas para fomentar as inovações, com destaque para o artigo 38o:

art. 38. a autoridade competente poderá autorizar o funcionamento de ambiente regulatório experimental para inovação em inteligência artificial (sandbox regulatório) para as entidades que o requererem e preencherem os requisitos especificados por esta lei e em regulamentação (art. 38o do pl de 2023, Brasil, 2023).

Logo, cumpre esclarecer que o *Sandbox* regulatório é uma prática no Brasil, por exemplo o Ministério da Justiça e Segurança Pública (Brasil, s.d.) ao tratar sobre proteção de dados e as responsabilidades das autoridades nacionais detalham que: O sandbox regulatório é uma experimentação colaborativa entre o regulador, a entidade regulada e outras partes interessadas. (Brasil, s.d.).

Passando a análise crítica do que consta na Figura 2, pelo corpus textual se tratar de um Projeto de Lei sobre Inteligência Artificial, é notório na imagem que a ligação entre a temática central do Projeto de Lei e o direito assumam centralidade (na cor azul, envolvendo termos tais como: Inteligência (f=141), Artificial (f=141). Sistemas (f=81), Artigo (f=53), Lei (f=50), Direito (f=38). Reforçando o que foi apurado na Figura 1, na análise dos links, visualmente há a formação de um triângulo temático poderoso que articula Inteligência Artificial (f=141) e Sistemas (f=81). Adicionalmente o termo Desenvolvimento (f=9) está diretamente relacionado a Sistemas (f=91), o que demonstra a relevância da criação de novos conhecimentos científicos e tecnológicos, conforme citados no Art. 1o implicando a IA, e nisto se incluem as propriedades intelectuais advindas das universidades, a qual se enquadra discutir as temáticas do ambiente construído no contexto da pós-graduação brasileira e este Projeto de Lei, em específico.

Por outro lado, ainda sobre o Projeto de Lei, da análise da dimensão jurídica propriamente dita, o termo “Direito” estabelece quatro relações preciosas para se esmiuçar por uma perspectiva crítica, quais sejam: (a) Proteção (f=6); (b) Previstos (f=4); © Pessoas (f=4) Liberdades (f=4), o que igualmente vai ao encontro do Artigo 1o, no qual há centralidade na proteção das pessoas. Como os termos inteligência artificial (f=141) se ligam ao termo risco (f=17), observa-se que a mensuração do risco é relevante para a discussão das propriedades intelectuais no âmbito das universidades brasileiras que enveredam por incluir a inteligência artificial ao debate.

Como a gestão de operações em ambiente construído demanda patentes e registros que estão cada vez mais em diálogo com o uso de IAs, é notório que orientações sobre a dimensão jurídica com base no Projeto de Lei em tela são relevantes. Assim, a seguir são detalhados um conjunto de orientações para a criação de uma nova agenda que emerge desta problematização e debates iniciais.



## **4.2. ORIENTAÇÕES PARA CRIAÇÃO DE UMA NOVA AGENDA**

Propor uma nova agenda que discuta propriedade intelectual no bojo da produção científica e tecnológica universitária e transferência disto para o restante da sociedade é um desafio multidisciplinar, independe da área de estudo universitário que se aproprie desse conhecimento. Ainda, ao se considerar os tipos de inovações e a dimensão jurídica como recorte, tem-se um amplo enfrentamento teórico e metodológico que circunda áreas do conhecimento diversas, tal como Direito e neste caso Computação. Por exemplo, termos como sandbox precisam ser descortinados para que haja uma compreensão mais efetiva dos desafios inerentes ao cerne da temática que se examina, qual seja a IA no processo de propriedade intelectual em temas correlacionados à gestão de operações em ambientes construídos.

Por conseguinte, ao se afunilar para uma área específica, como as Engenharias, e notadamente a gestão de operações em ambiente construído, tem-se um duplo desafio, o de contextualizar essas orientações para um público docente e discente específico, que ora se ocupam da posição ensinar e aprender, ora se ocupam da posição de pesquisar e criar. Logo, o Quadro 3 apresenta as orientações para uma nova agenda, sendo sensível às evidências científicas descortinadas com a leitura atenta do PL de 2023, mas se limita a este, sendo esta uma limitação anunciada do presente estudo.

Em síntese, o debate sobre a dimensão jurídica pode iluminar não somente esta, mas escrutinar esta no contexto da visão sistêmica sobre a inteligência artificial, isto tendo em mente o seio de uma sociedade marcada tanto pelas complexidades e incertezas, quanto por um aceleração dos avanços tecnológicos, conforme visto na fundamentação teórica conceitual. Portanto, a leitura do Quadro 3 deve ser feita de maneira contextualizadas a estes desafios e limitações da realidade brasileira (frente ao PL em tela), assim como ao recorte específico do uso disto na gestão de operações em ambiente construído como alvo de criação e transferências de conhecimentos científicos e tecnológicos, imbricados aos avanços da inteligência artificial, da universidade para o restante da sociedade.

**Quadro 3 - Nova agenda de debates baseada em evidências científicas**

n	Evidências	n	PI Universitária - Gestão de Operações em Ambiente Construído e o uso de IA
1	Relevância da visão da IA	1	A criação de propriedade intelectual universitária sobre gestão de operações em ambiente construído a partir da criação e/ou uso de IA deve considerar a perspectiva sistêmica na qual a IA está circunscrita, considerando as orientações da III Seção da PL de 2023 sobre as medidas de fomento à inovação (v. Brasil, 2023).
2	Desenvolvimento de IA		
3	Riscos da IA	2	A criação de propriedade intelectual universitária sobre gestão de operações em ambiente construído a partir da criação e/ou uso de IA deve considerar o uso de boa fé e mitigação de riscos (v. Art. 3o do PL de 2023) em perspectiva sistêmica, contrabalanceando com critérios adotados para inovação, por exemplo. Para tanto deve-se atentar à categorização dos riscos (v. Capítulo III do PL de 2023).
4	Direitos das Liberdades	3	Além dos termos de justificação do PL em tela, e do quesito boa-fé que implica o direito à liberdade de escolha (v. Capítulo III do PL de 2023) cabe esclarecer quanto aos riscos relativos em detrimento ao Direito das Liberdades (v. Art. 18o), o que deve ser alvo de discussão permanente no âmbito das PI universitárias de gestão de operações em ambiente construído.
5	Direito de Proteção	4	A partir do Art. 2o observa-se que a proteção à pessoa se amplia para o meio, quando se evidencia a devida proteção ao meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. Logo, o debate sobre PI universitária que impliquem IA no Ambiente Construído deve atentar para esse conceito amplo de proteção dialogando com dimensões da sustentabilidade (ambiental, social, cultural, econômica, por exemplo), o que remete aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS da Agenda 2030 das Nações Unidas (UN, 2015). Nisto, inclui um detalhe que merece ser iluminado, o debate ético não só pelas sanções administrativas descritas na seção II do PL de 2023 (v. Brasil, 2023), mas sobre uma ética que dialogue, inclusive transversalmente, com questões apontadas por Acosta (2019) sobre outros mundos possíveis, no livro sobre o “Bem viver”.
6	Direito das Pessoas	5	A centralidade no direito das pessoas é uma temática relevante destacada desde o Art. 1o do PL em tela, nesse sentido, deve ser visto como uma transversalidade e debatido como tal nos desafios de gestão de operações envolvendo IA no contexto das PI universitárias quanto aos ambientes construídos.

Fonte: Elaboração própria.

Citar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Nações Unidas (UN, 2015) e Acosta (2019) é aterrar toda a orientação do debate sobre a problemática posta em prol de algo maior, que é a busca por bases sustentáveis (vide UN, 2015), outros mundos e o bem-viver, sublinhado por Acostado (2019). Portanto, discutir a inovação e a dimensão jurídica vai ao encontro do exercício da cidadania, do humano

com o humano, sendo a inteligência artificial uma mera mediadora que deve ser pensada e repensada por códigos de ética. Neste ponto, igualmente nevrálgico, Nicolelis (2023) tinha razão, são os organismos, incluindo o humano, os detentores da inteligência e estes que devem moldar a IA, e não o contrário. Afinal, como explicou bem esse relevante neurocientista brasileiro, os computadores têm lógicas binárias, ou seja zero e um, e os problemas da vida, incluindo os do ambiente construído que exigem avanços científicos e tecnológicos pelo bojo da IA, não podem se limitar ao binarismo, mas podem usar das estatísticas robustas da IA, para auxiliar, de maneira ética, na construção de um mundo melhor, em sintonia com os preceitos do desenvolvimento sustentável, por exemplo.

Sintonizado com essa orientação geral sobre ética, embora o Quadro 3 não esgote evidências e orientações, este promove a abertura de um canal de comunicação para que se estimule a criação de uma rede de amplo debate sobre IA em interface com os desafios envolvidos na criação e transferência de conhecimentos científicos e tecnológicos das Universidades, notadamente por meio de propriedades intelectuais, para o restante da sociedade, fomentando um ecossistema de inovação que seja auto crítico e reflexivo sobre aspectos éticos.

Observar de maneira aprofundada um Projeto de Lei que parametriza a discussão sobre regulamentação da IA no Brasil é o início de uma longa trajetória na história das ciências e tecnologias nacionais. Por outro lado, fazer isso à luz do enfoque temático nas Engenharias, e especialmente ao que tange o Ambiente Construído - enquanto área multidisciplinar do conhecimento - permite dar um passo seguro em direção ao futuro das propriedades intelectuais. Isto é possível a partir da metodologia adotada que sublinha as evidências científicas (v. Quadro 3) a partir do que há de mais elevado juridicamente até o presente momento na legislação brasileira, ou seja o PL de 2023, sendo esse um diferencial do trabalho realizado neste artigo.

## 5. CONCLUSÃO

Ficou evidente que tratar a gestão de operações em ambiente construído não é somente pelo bojo teórico, científico e técnico de suas especificidades, é preciso debater algo mais amplo e dialogado, de maneira interdisciplinar, com o que estabelece a governança e as políticas públicas que orientam os diversos *stakeholders*, ou seja partes interessadas no debate. Neste ínterim, tem-se a Universidade, como parte da sociedade que busca inovar (de maneira incremental, radical ou disruptiva), produzindo e transferindo conhecimento científico e tecnológico sobre gestão de operações em ambiente construído, implicando as diversas formas de propriedades intelectuais (PI) tal como patentes, registros etc, e que carece, invariavelmente, de um debate jurídico para suportar as inovações em curso e/ou futuras da área da Engenharias.

Nesse sentido, a adoção de uma pesquisa exploratória e descritiva cumpre um papel primordial, pois é uma aproximação com uma temática densa e complexa, que exige arcabouço teórico conceitual de pelo menos três áreas distintas do conhecimento, quais sejam: Ambiente Construído (notadamente pela perspectiva das Engenharias), Direito e Computação. Portanto, embora a fundamentação teórica conceitual seja concisa, esta forjou as categorias teóricas conceituais essenciais a análise empírica do Projeto de Lei de 2023 sobre regulamentação da IA no Brasil. Isto, a partir do entendimento sobre tipos de inovações, propriedade intelectual no ambiente universitário e a dimensão jurídica da IA, tudo isso imbricado na gestão de operações em ambientes construídos.

Embora existam vários *softwares* que promovem a análise textual, tal como Iramuteq, vide Salviati (2017), ressalta-se que a seleção do Voyant (2024) ocorreu, pois este permitiu inserir o texto da PL de 2023 na íntegra. Isto, a partir da própria página de endereço da fonte, qual seja Brasil (2023). Além disso, possibilitou uma análise específica de “Links”, que esclareceu nuances das relações interdisciplinares que o debate jurídico e a inovação assumem, ou podem assumir no âmbito da gestão de operações do ambiente construído em termos de propriedade intelectual em universidades brasileiras. Logo, as Figuras 1 e 2 foram os insumos de visualização textual para se criar a proposta de uma nova agenda com seis (n=6) evidências científicas, que permitiram cinco (n=5) orientações robustas para o futuro debate que deve ser engendrado por uma rede de interessados, implicando universidades, notadamente cursos de pós-graduação em Engenharias que tenham como enfoque a inovação sobre o ambiente construído, aderindo ao uso da IA.

Uma limitação metodológica do presente estudo foi a falta de aprofundamento nas derivações do termo “pessoa”, para “pessoas” e “pessoais”, o que ampliaria a análise em função da centralidade da pessoa destacada no Artigo 1 do PL de 2023. Consequentemente, futuros estudos podem aprofundar nesta questão sensível ampliando a proposta desta nova agenda com enfoque em questões tais como o bem-viver e a sustentabilidade, sendo a IA em função dos seres humanos e não o inverso, como evidenciou Nicoletti (2023).

Futuros estudos poderão caminhar para coleta de dados primários auxiliando na consolidação do que foi tratado até aqui. Portanto, sugere-se consultar especialistas das áreas citadas (Engenharias, notadamente Ambiente Construído, Direito, notadamente voltados ao Ambiente Construído e a IA; Computação, voltados a IA) para se identificar a aderência das propriedades intelectuais (PI) universitárias sobre gestão de operações em ambiente construído que utilizem IA quanto aos preceitos da PL de 2023.

Para tal execução, recomenda-se que seja utilizado o Analytic Hierarchy Process (AHP), metodologia amplamente utilizada em estudos organizacionais, vide Saaty (1991). Ainda, recomenda-se o uso do *software* gratuito Superdecisions (2024) que é baseado em Saaty, e que permitirá fazer análises do cenário normativo, quanto de sensibilidades, o que auxilia sobremaneira a compreender o julgamento das propriedades intelectuais a partir de cenários futuros, ampliando decisivamente os esforços iniciado neste artigo. Assim, o ecossistema de inovação da engenharia organizacional, notadamente no que tange ao ambiente construído, poderá fortalecer seu escopo tecnológico, ético e humanista. Avançando em outras frentes que implicaram a construção ou manutenção de ambientes de inovação (parques tecnológicos etc.) que primam pela IA enquanto parte significativa e aliada aos novos saltos paradigmáticos que o século XXI exigirá em escalas geográficas distintas, isto é do local ao global, e vice-versa.

A conclusão de um artigo deve sintetizar os principais achados do estudo de forma sucinta, destacando as contribuições significativas para o campo de pesquisa. Deve reiterar os objetivos do estudo e resumir as descobertas mais importantes, enfatizando sua relevância e implicação prática ou teórica.

## AGRADECIMENTOS

Natália Fernandes da Motta, agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela bolsa no Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído (PROAC) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

## REFERÊNCIAS

- [1] Acosta, A. (2019). *O bem viver: uma oportunidade para imaginar outros mundos*. Editora Elefante.
- [2] Antonelli, P. (2020). *The natural evolution of Architecture*. In: Antonelli, P. Burckhardt, A. The Neri Oxman. *Material Ecology Catalogue*. Museum of Modern Art, New York. Nova York: Artbook.
- [3] Ataman, K., Myhr, N.; Nistor, C. (2023). Disruptive Innovation as a Network Dilemma: A Conceptual Model. *Journal of Behavioral and Applied Management*, 23(2), 104-113.
- [4] Brasil (s.d.). Ministério da Justiça e da Segurança Social. *Autoridade Nacional de Proteção de Dados. Sandbox*. Disponível em <<https://www.gov.br/anpd/pt-br/sandbox/o-sandbox-regulatorio>> Acesso em: 16 de junho de 2024.
- [5] Brasil (2023). *Projeto de Lei Inteligência Artificial*. Senado. Disponível em <<https://encurtador.com.br/EzfjO>> Acesso em: 16 de junho de 2024.
- [6] Christensen, C. (1997). *The innovator's dilemma*. Harvard Business School Press.
- [7] Gómez, W. O. A. (2023). La inteligencia artificial y su incidencia en la educación: Transformando el aprendizaje para el siglo XXI. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa*, 3(2), 217-229.
- [8] Kotler, P. *Administração de marketing: a edição do novo milênio*. 10. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2000.
- [9] Marshall Jr., I. et. al. *Gestão de Qualidade e Processos*. Rio de Janeiro: FGV, 2012.
- [10] Nicolelis, M. (2023). *Programa 20 minutos*. Youtube. Publicado em: 12 de junho de 2023. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=pb4b4\\_MINwo](https://www.youtube.com/watch?v=pb4b4_MINwo)> Acesso em: 16 de junho de 2024.
- [11] Salviati, M.E. (2017). *Manual do Aplicativo Iramuteq*. Planaltina, DF. Março de 2017. Disponível em <<https://encurtador.com.br/T1DR7>> Acesso em: 16 de junho de 2024.
- [12] Seixas, P.H.P. O uso da inteligência artificial em decisões judiciais e o paradigma do estado democrático de direito: compatibilidade teórica e metodológica na garantia dos direitos fundamentais. 111 f. Dissertação (*Mestrado em Direitos e Garantias Fundamentais*) - Programa de Pós-Graduação em Direitos e Garantias Fundamentais, Faculdade de Direito de Vitória, Vitória, 2022.
- [13] Superdecisions (2024). *Superdecisions CDF*. Disponível em <<https://www.superdecisions.com/>> Acesso em: 16 de junho de 2024.
- [14] UN (2015). *SDGS*. Disponível em <<https://sdgs.un.org/goals>> Acesso em: 16 de junho de 2024.
- [15] Voyant Tools (2024). *Voyant Tools*. Disponível em <<https://voyant-tools.org>>. Acesso em: 16 de junho de 2024.

# Capítulo 15

## *O impacto econômico do modal ferroviário no Maranhão: uma revisão na literatura*

*Arthur Thalisson Maciel Brito*

*Douglas Burnier Almeida Pereira*

*Ludmila Karin Silva Sá*

*Mayssa Alves da Silva Sousa*

**Resumo:** No Brasil, o setor ferroviário tem enfrentado um declínio em sua utilização, principalmente devido à falta de estações e infraestrutura adequada, ficando em segundo plano em comparação ao modal rodoviário, que predomina amplamente. No estado do Maranhão, existem três ferrovias principais: Ferrovia Norte-Sul, Estrada de Ferro Carajás e Ferrovia São Luís. Essas ferrovias desempenham um papel crucial no transporte de produtos como minério de ferro, extraído em estados vizinhos e exportado pelo Porto do Itaqui. O objetivo deste trabalho é examinar o impacto do transporte ferroviário no estado do Maranhão e suas perspectivas de crescimento econômico. A pesquisa será realizada por meio de uma revisão bibliográfica e análise de dados referentes ao tema no contexto maranhense. A análise indica que o modal ferroviário no Brasil é essencial e apresenta potencial para ser mais bem explorado, atendendo às necessidades do mercado nacional, não apenas na região estudada, mas em todo o território brasileiro.

**Palavras-chave:** Ferrovias, transporte, Maranhão, economia, cargas.



## 1. INTRODUÇÃO

O transporte é um dos fatores mais cruciais na operação logística de diversas atividades e, conseqüentemente, no crescimento econômico de um país ou região. Ele não apenas facilita o movimento de cargas e o seu consumo, mas também gera empregos e exerce influência em diversos setores da sociedade. De acordo com Betarelli Junior (2008), uma infraestrutura de transporte mal estruturada pode gerar problemas significativos para as atividades econômicas, levando à perda de competitividade nos mercados interno e externo.<sup>7]</sup>

Por outro lado, um sistema de transporte adequado pode promover o desenvolvimento socioeconômico e integrar regiões, contribuindo para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) pela circulação de riquezas nacionais (Andrade, 2007). Nesse contexto, um dos modais mais relevantes no Brasil é o ferroviário.

As ferrovias no Brasil surgiram no período em que o café era o principal produto da economia agroexportadora, em meados do século XIX, com a finalidade de escoá-lo. A primeira ferrovia, a Estrada de Ferro Mauá, foi construída em 1854. Com o tempo, outras linhas foram implantadas, mas sem um sistema integrado, servindo ao transporte de diversas mercadorias, como carvão, além de animais e pessoas. A integração das ferrovias só começou a ser visada com a criação da Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA) em 1957. Contudo, devido à falta de investimentos, a partir da década de 1990, muitas linhas ferroviárias passaram a ser concedidas à iniciativa privada. <sup>[13][14]</sup>

Atualmente, em um cenário onde o modal rodoviário predomina, o Brasil possui cerca de 30 mil km de ferrovias federais, distribuídas em 15 contratos de concessão, além de 10 mil km de novas ferrovias autorizadas para construção por iniciativa privada (Ministério da Infraestrutura, 2020). No Maranhão, as principais ferrovias são: a Estrada de Ferro Carajás, operada pela mineradora Vale S.A.; a Ferrovia São Luís-Teresina, administrada pela Ferrovia Transnordestina Logística; e a Ferrovia Norte-Sul, pertencente à VALEC - Engenharia, Construções e Ferrovias S.A (atual EPL). Essas três ferrovias desempenham um papel fundamental no transporte de mercadorias e, no caso da Estrada de Ferro Carajás, também de passageiros, sendo, portanto, objetos de estudo neste trabalho. <sup>[18][20]</sup>

O presente estudo busca responder à seguinte questão: **quais são os impactos econômicos do transporte ferroviário no Maranhão?** Trabalha-se com a hipótese de que há prevalência no transporte de cargas de determinados setores, com influência da intermodalidade, e que o modal ferroviário contribui de maneira positiva para o desenvolvimento socioeconômico da região.

O principal objetivo deste artigo é demonstrar que, apesar dos desafios enfrentados pelo setor ferroviário, a demanda por esse modal tem crescido nos últimos anos. As ferrovias desempenharam um papel essencial no desenvolvimento econômico do Brasil, atuando como base para a integração regional e nacional, além de terem contribuído para os processos de urbanização e industrialização, e influenciado as transformações urbanas nas cidades com infraestrutura ferroviária.

Os objetivos específicos deste trabalho incluem: compreender a influência histórica das ferrovias no Maranhão; analisar o fluxo de mercadorias transportadas pelas ferrovias no estado; e investigar as relações entre o desenvolvimento econômico e o modal ferroviário no Maranhão. Assim, este estudo se justifica por fornecer informações e dados que destacam a relevância econômica das ferrovias na região, com o intuito de identificar setores de destaque que podem ser melhor explorados.

## 2. METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica abrangente e análise de dados quantitativos e qualitativos relacionados ao transporte ferroviário no estado do Maranhão, com ênfase nas ferrovias Transnordestina Logística (FTL), Ferrovia Norte-Sul (FNS) e Estrada de Ferro Carajás (EFC). A pesquisa bibliográfica incluiu artigos científicos, relatórios de órgãos como a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), Confederação Nacional de Transportes (CNT), Valec, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), além de livros e publicações históricas sobre o desenvolvimento ferroviário no Brasil.

Para a análise das atividades ferroviárias, foram utilizados dados de transporte de mercadorias em toneladas úteis (TU) e toneladas-quilômetro úteis (TKU), permitindo um entendimento quantitativo da importância econômica das ferrovias para o estado do Maranhão. A avaliação incluiu tanto o transporte de commodities, como celulose, soja, e combustíveis, quanto a relevância das ferrovias para a logística regional, principalmente em relação ao Porto do Itaqui.

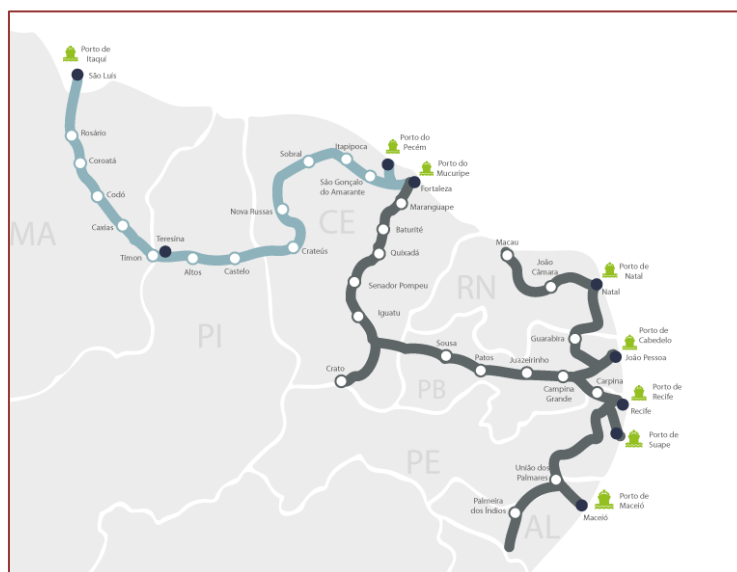
A pesquisa também analisou os impactos socioeconômicos das ferrovias nas cidades maranhenses, como Açailândia e municípios ao longo da Ferrovia São Luís-Teresina. Foram estudados os efeitos no Produto Interno Bruto (PIB), especialmente nas atividades industriais, agrícolas e de transformação, além de sua influência na geração de emprego e renda, com foco nas cidades mais afetadas pela presença das ferrovias. Para essa análise, foram utilizados dados do IBGE e da Secretaria de Indústria e Comércio do Maranhão, bem como informações sobre a evolução do PIB per capita e da participação do setor industrial nas economias locais.

A metodologia buscou compreender não apenas o papel das ferrovias no escoamento de produtos agrícolas e industriais, mas também seus efeitos históricos, culturais e econômicos para a região. Para tal, foram realizadas comparações de mapas de infraestrutura ferroviária e PIB, além de gráficos de movimentação de cargas ao longo dos anos, correlacionando esses fatores com o desenvolvimento econômico do estado do Maranhão.

## 3. REVISÃO LITERÁRIA

### 3.1. FERROVIA TRANSNORDESTINA LOGÍSTICA (FTL)

De acordo com a Confederação Nacional de Transportes, CNT (2015), a Companhia Ferroviária do Nordeste recebeu a concessão da Malha Nordeste da RFFSA em 1997 e, a partir de 2008, recebeu a denominação social de Transnordestina Logística S.A – TLS.[9] Em 2013, originou-se a Ferrovia Transnordestina Logística – FTL, correspondente à malha advinda da RRFSA, a qual interliga o porto do Itaqui, no Maranhão, aos estados nordestinos Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. Segundo a Companhia Siderúrgica Nacional (figura 1), em 2021, a FTL transportou quase 3 milhões de toneladas, dos quais fazem parte 1,5 milhão de celulose, 621 mil de combustíveis e 322 mil de cimento.[10]

**Figura 1:** Abrangência da Ferrovia Transnordestina Logística

Fonte: Companhia Siderúrgica Nacional (2022).

A FLT opera também especificamente a Ferrovia São Luís- Teresina, uma vez que esta foi incorporada à RFFSA em 1957, passando pelos municípios de Timon, Caxias, Codó, Itapecuru Mirim, Santa Rita, Rosário e Bacabeira, no Maranhão.[11] Historicamente, a Ferrovia São Luís – Teresina, com 457 km de extensão, também denominada “ferrovia de algodão” pela força econômica que este produto marcou na sua construção em 1895, tem importância social, no Maranhão, por ser de “embrenhamento” e ter os seus produtos transportados predominantemente de forma interna (Aldo Tavares Ribeiro, 2021).

Porém, em determinadas épocas, economicamente, também ganhou importância com o transporte externo de coco babaçu – destaque na lavoura maranhense-, cujo óleo foi utilizado pelos países da Primeira Guerra Mundial para diversas funções (Mota e Pernambuco, 2014), além de ter apresentado relevância nacional na Segunda Guerra Mundial com a circulação de produtos e pessoas (Miécio Jorge, 1950). Ainda assim, de modo geral, tal qual a Ferrovia São Luís - Teresina, a FLT, da qual faz parte, tem os seus produtos destinados principalmente à circulação interna da região Nordeste.[16]

De acordo com Alda Tavares Ribeiro (2021), entre o final do século XIX e o ano 1940, tem-se produtos importados pela via férrea percorrendo de Rosário a São Luís (couro de boi, madeira), Itapecuru Mirim a São Luís (algodão, madeira), Coroatá a São Luís (babaçu, algodão, amêndoa), entre outros, e da capital para os municípios interiores (sabão, querosene, vela, roupas, ferragens, vidros, moveis trabalhados, açúcar refinado, sal).[17] De modo mais recente, considerando esta circulação interna, é válido destacar o movimento de cargas pela FTL e o seu escoamento no Porto Itaqui, como demonstra a figura 2 a seguir:

**Figura 2: Transporte Ferroviário de Cargas – FTL com origem no Maranhão**

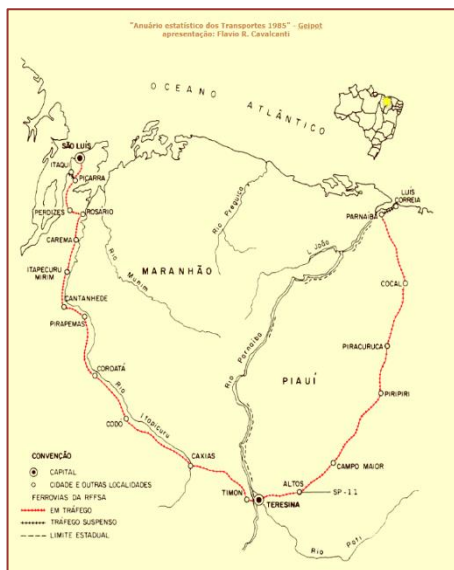


Fonte: Confederação Nacional de Transporte (2022).

Percebe-se que nos primeiros seis meses de 2022, mais do que a metade dos produtos originados no Maranhão (73,5%) destinaram-se ao Porto Itaqui, ao qual também possui ligações com outras Ferrovias do Estado, observando-se então a existência de uma logística à parte - portuária maranhense -, para o transporte interno ou externo desses produtos. Como exemplo, tem-se o acesso da empresa Suzano, em Imperatriz, ao seu armazém, no porto Itaqui, pela Ferrovia Transnordestina, para o transporte de celulose.[8]

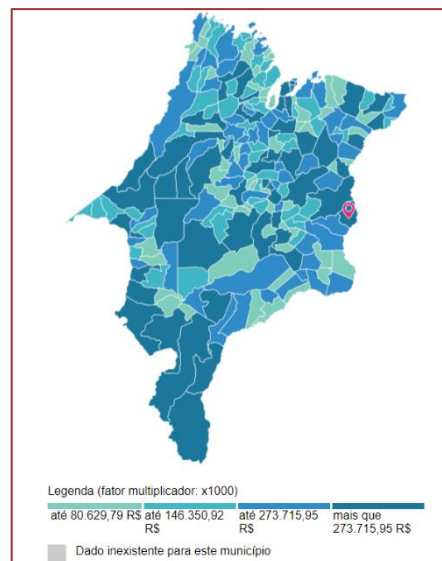
Após esta análise generalizada sobre as cargas, quando consideradas as cidades citadas pertencentes à Ferrovia São Luís – Teresina (Figura 3) e realiza-se um comparativo com a Figura 4, percebe-se um PIB maior nesta região do que em outros locais do Estado (sinalizado em azul mais forte):

**Figura 3: Ferrovia São Luís – Teresina**



Fonte: Centro-Oeste Brasil (2022).

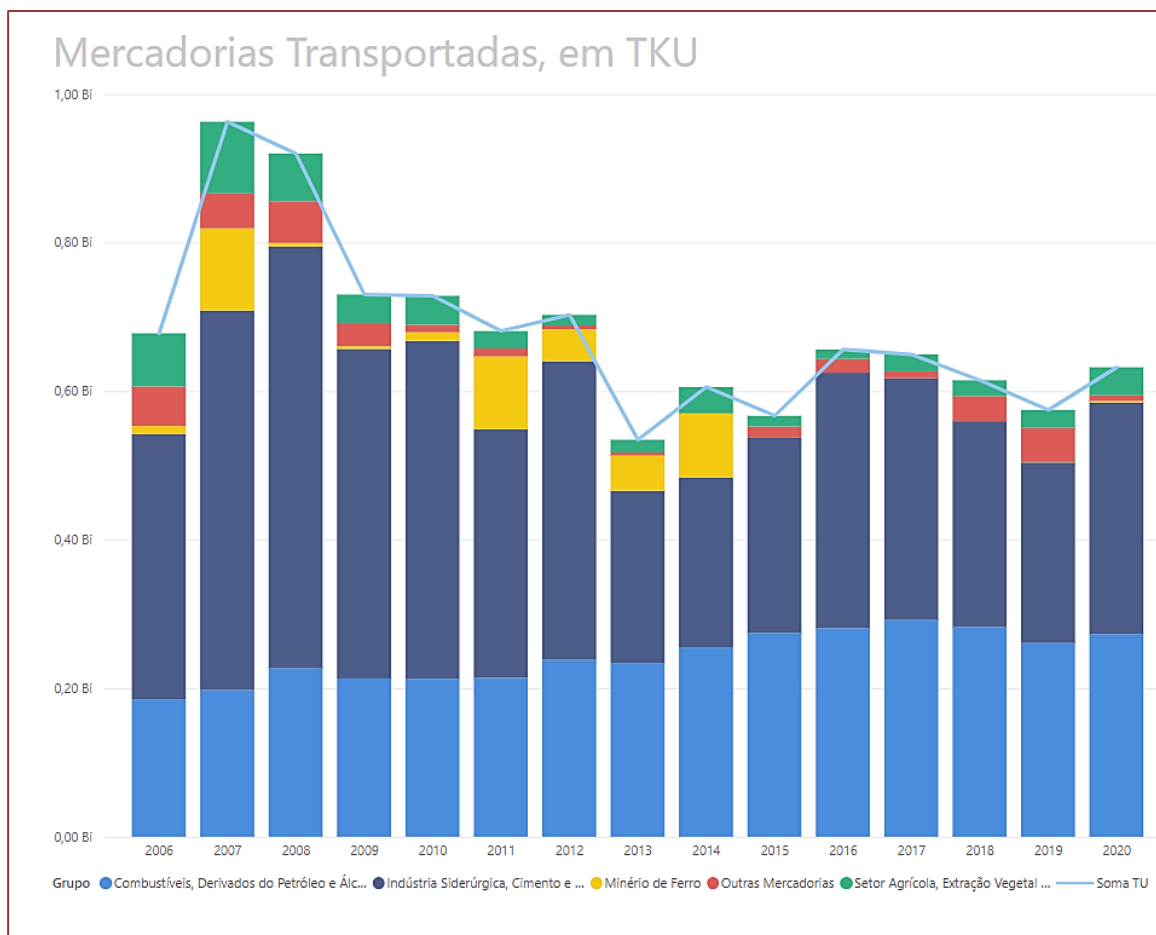
**Figura 4: Cartograma: Mapa do Maranhão, PIB 2018**



Fonte: IBGE (2018).

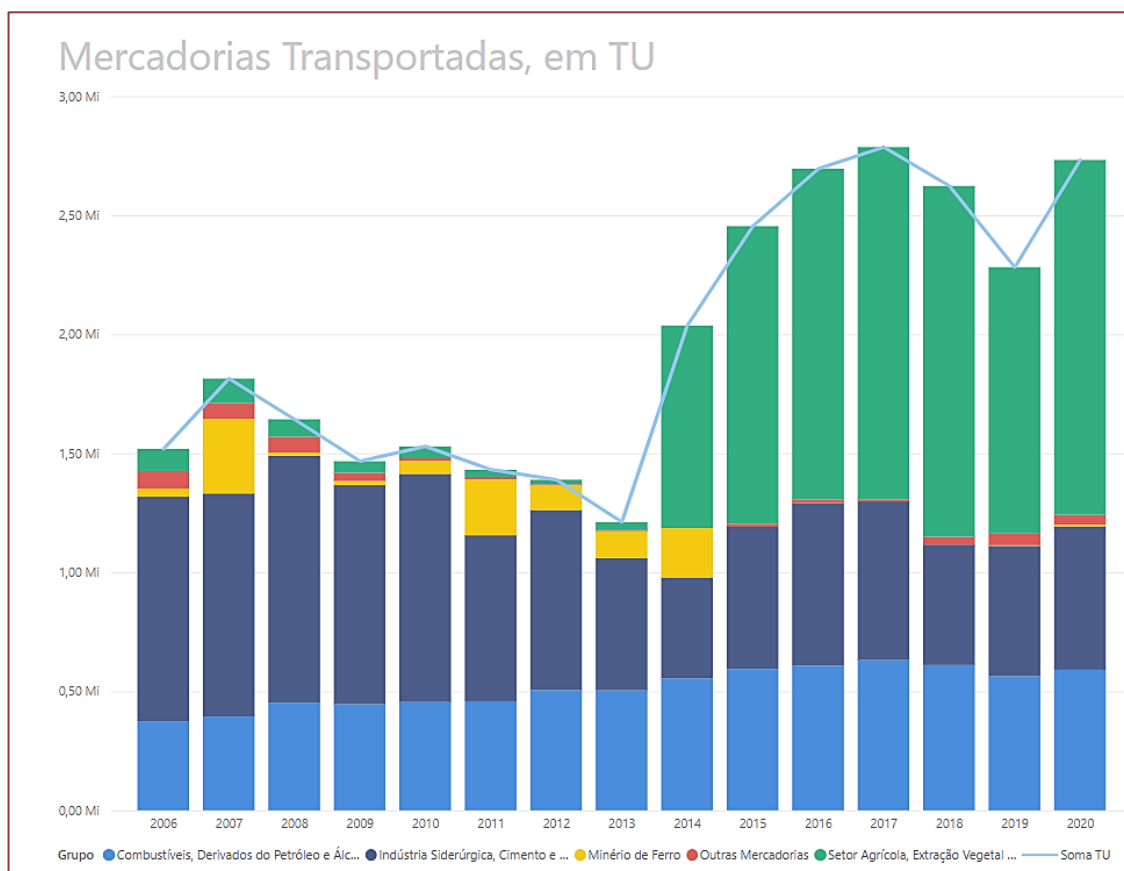
Quanto à produtividade da FTL, com Mercadorias Transportadas em TKU (Figura 5), observa-se no gráfico a seguir a predominância da indústria siderúrgica, cimento e Construção Civil, e dos combustíveis.

**Figura 5:** Mercadorias Transportadas, em TKU, da FTL



Fonte: ANTT (2022).

Em 2018, o primeiro correspondeu a 277.303.731 TKU, e o segundo a 282.260.380 TKU. No geral, o decréscimo compreendido entre 2017 e 2019, provavelmente estão relacionados, respectivamente, à suspensão de repasses de recursos pelo Tribunal de Contas da União (TCU), em janeiro de 2017, e à Pandemia COVID-19. Considerando a movimentação de cargas, em Toneladas Úteis (Figura 6), em 2018, tem-se a predominância do setor agrícola e extração vegetal, seguido por combustíveis, e por indústria siderúrgica e construção:

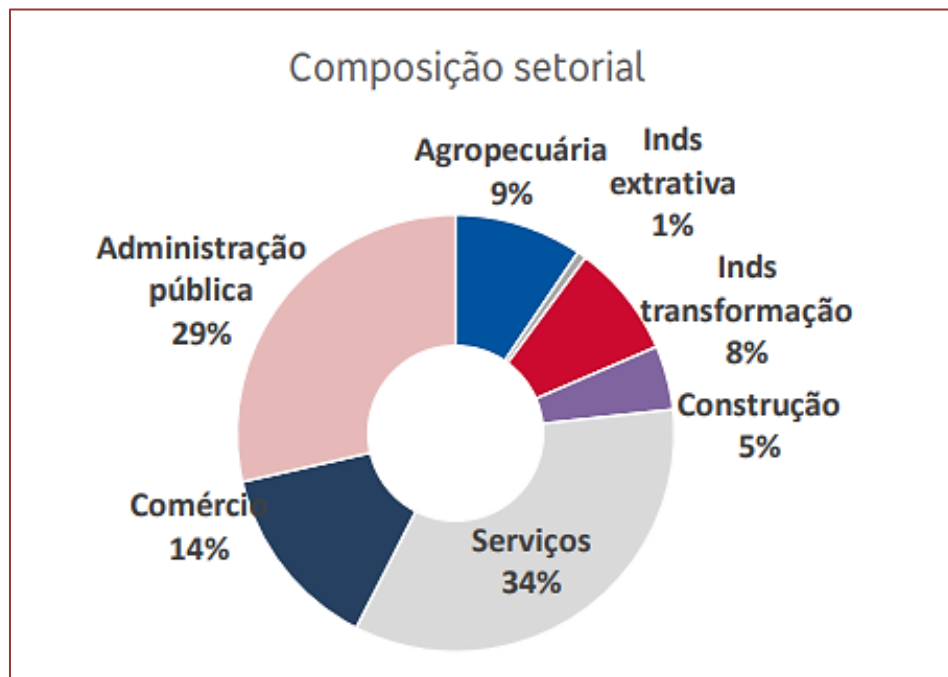
**Figura 6:** Mercadorias Transportadas, em TU, da FTL

Fonte: ANTT (2022)

Estabelecendo um comparativo indireto, quando se considera o Produto Interno Bruto (PIB) do Maranhão, em 2018 (Figura 7), percebe-se a importância da ferrovia economicamente, uma vez que as mercadorias mencionadas acima têm participação no campo da construção (PIB 5%), sendo que o município de Codó evidencia-se por possuir calcário na sua região (Secretaria de Indústria e Comércio, 2022), e Timon e Caxias apresentam notoriedade na produção de tijolos e telhas, importantes produtos da área, e são municípios constituintes da Ferrovia Transnordestina.[19] Além deste setor, tem-se a indústria de transformação (PIB 8%), a qual faz parte a celulose, também mercadoria transportada pela Ferrovia.[12]



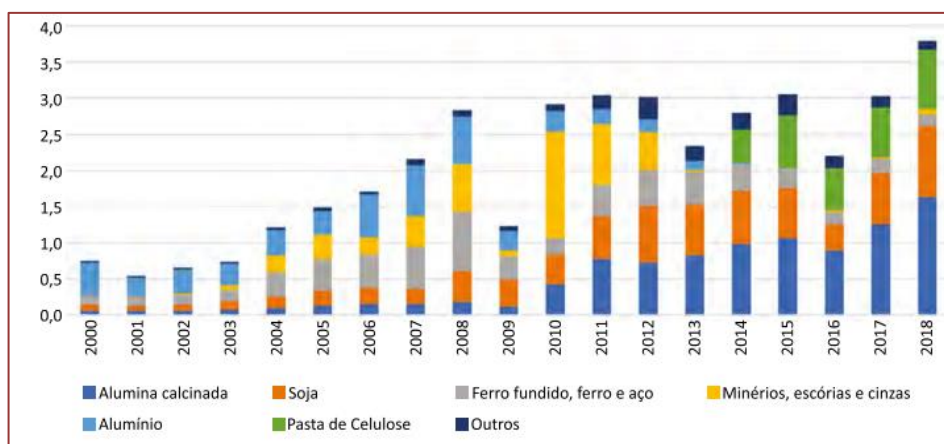
**Figura 7: PIB do Maranhão em 2018**



Fonte: Bradesco (2022).

Na figura 8 abaixo, em relação à exportação em 2018, nota-se a evidência de produtos do setor agrícola e vegetal (soja e celulose), que figuram no gráfico de Mercadorias em Toneladas Úteis citado anteriormente, reforçando a relevância do transporte e escoamento destes produtos para o Estado.[15]

**Figura 8: Gráfico da composição de exportações do Maranhão - US\$ bilhões**



Fonte: Perspectivas para a Economia Maranhense no Século XXI: Uma Análise a Partir das Atuais Estruturas e da Conjuntura Econômica Recente (2019).

### 3.2. FERROVIA NORTE-SUL (FNS)

O projeto de construção da Ferrovia 153, mais conhecida como Ferrovia Norte-Sul (FNS), foi concebido na década de 1980. As obras começaram em 1987 nos trechos da estrada de ferro de Carajás, em Açailândia, no Maranhão, rumo à cidade de Porto Franco também no Maranhão. Esse trecho só foi inaugurado em 1996. Segundo a Valec (2017), foram construídos 1.550 quilômetros no traçado original que ligava Açailândia (MA) a Anápolis (GO). No entanto, o projeto sofreu muitos atrasos, paradas e mudanças.[20]

A partir dos anos 2000, novos trechos foram lançados, como o prolongamento estadual do Rio Grande Sul passando por Estrela d'Oeste de São Paulo e Santa Catarina Chapecó. Além disso, considerando as limitações de capacidade de transporte do trecho da ferrovia de Carajás utilizado pela FNS para chegar ao porto de São Luiz (MA) Itaqui, a construção do trecho entre Açailândia (MA) e Belém (PA) está sob investigação. Assim, o atual projeto prevê a construção de uma extensão de 4550 quilômetros que atravessa o país de norte a sul e faz jus ao seu nome.[9]

A ferrovia Norte-Sul se tornará um importante eixo ferroviário da logística brasileira para o transporte de recursos agrícolas e minerais no país. Estados como Goiás, Tocantins e Maranhão viram na FNS mais uma opção para aumentar e escoar sua produção por meio de um transporte mais barato. Uma estratégia de integração produtiva desta vertente no território nacional e o reforço das bases produtivas regionais, principalmente nos concelhos abrangidos por esta ferrovia. Agricultura e recursos minerais no país.

Nessa perspectiva, a ferrovia Norte Sul trouxe uma gama de benefícios para as cidades que ela corta, tendo em vista o desenvolvimento que esse modal pode impactar nessas comunidades. Sendo assim, será analisada esses impactos em uma das cidades que essa ferrovia passa.

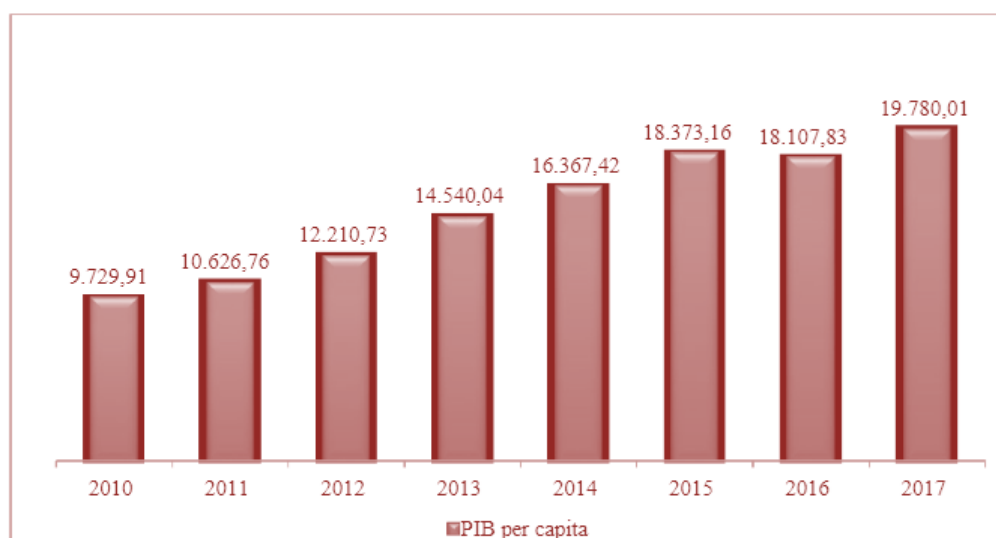
A movimentação da FNS pelo município de Açailândia trouxe novas perspectivas para o desenvolvimento das atividades produtivas em seu território e promissoras oportunidades de geração de emprego e renda. Segundo o IBGE, a população do município foi estimada em 112.445 habitantes em 2019. É o oitavo município mais populoso do Maranhão, com densidade populacional de 17,92 habitantes por km<sup>2</sup>. [2]

A economia de Açailândia cresceu de forma significativa no período de 2010 a 2017, conforme a figura 9, com seu Produto Interno Bruto crescendo 117,6%, nominalmente. O principal produto, que alavanca a economia do município, é o ferro gusa, manuseado por indústrias siderúrgicas, o que fez com que a indústria tivesse uma participação de 35% no PIB total do município em 2017.[6] [21]

**Figura 9:** Açailândia: PIB industrial

Fonte: IBGE (2018). Produto Interno Bruto Municipal. Vieira, Jeferson & Oliveira, Lourdes. (2020).

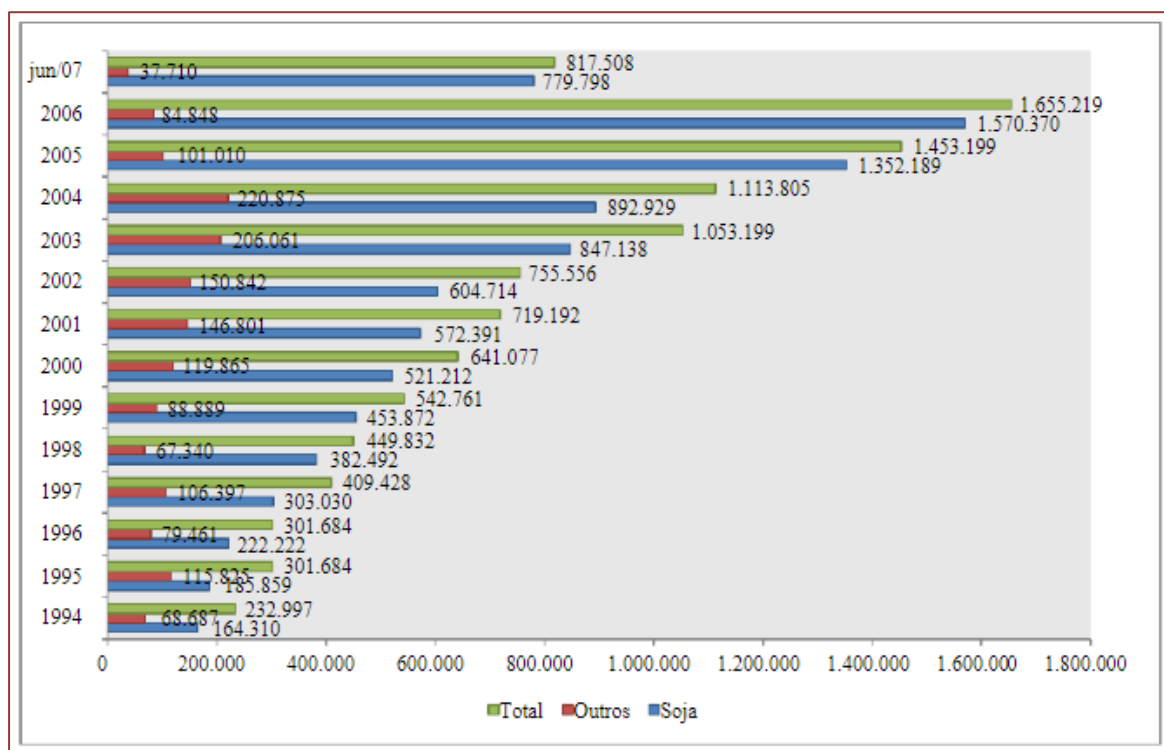
A evolução do PIB per capita em Açailândia está em linha com a tendência de crescimento da atividade produtiva. Assim, de 2010 a 2017, esse PIB passou de R\$ 9.729 em 2010 para R\$ 19.780 em 2017, representando um crescimento nominal de 103% conforme a figura 10 abaixo. Isso torna o Maranhão o 13º maior em termos de PIB por habitante.[6] [21]

**Figura 10:** Açailândia: PIB per capita, a preços corrente (R\$ 1,00)

Fonte: IBGE (2018). Produto Interno Bruto Municipal. Vieira, Jeferson & Oliveira, Lourdes. (2020).

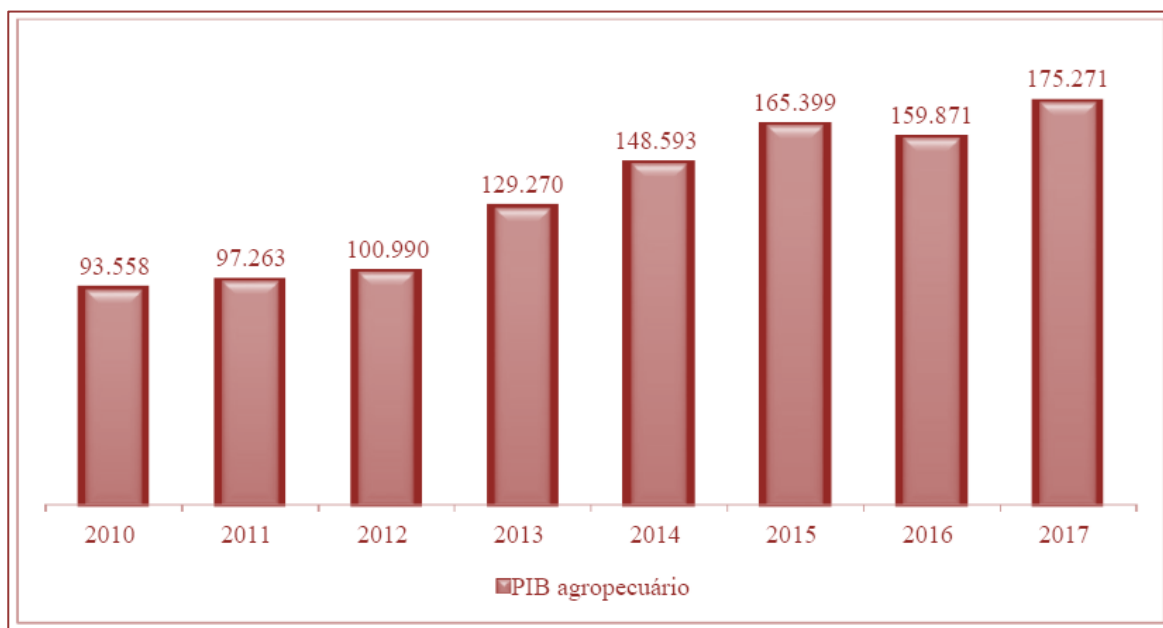
A FNS em execução em Açailândia tem promovido o desenvolvimento regional e a comercialização local do ferro-gusa. A instalação de polos de produção de componentes básicos da produção industrial tem sido apontada como efeito impulso. Esse tipo de industrialização resultou em uma cadeia produtiva regional, forte efeito multiplicador nas áreas de comércio e prestação de serviços, e contribuiu significativamente para o aumento do PIB municipal. Isso mostra como uma estratégia econômica que integra meios de produção por meio do transporte ferroviário pode mudar de lugar.[2]

**Figura 11:** FNS: Volume transportado de Porto Franco ao Porto Itaqui (milhões de toneladas)



Fonte: VALEC – Engenharia, Construções e Ferrovias (2018). Vieira, Jeferson & Oliveira, Lourdes. (2020).

A figura 12 mostra o desempenho da agropecuária nos municípios de 2010 a 2017 segundo dados do PIB Agropecuário do IBGE. A FNS valoriza o transporte seguro e acessível de produtos agrícolas, demonstrando sua contribuição para o desenvolvimento econômico da região. Além da pecuária, o município se caracteriza pela produção de soja e milho.[6] [21]

**Figura 12:** Açailândia: PIB agropecuário – 2010 - 2017

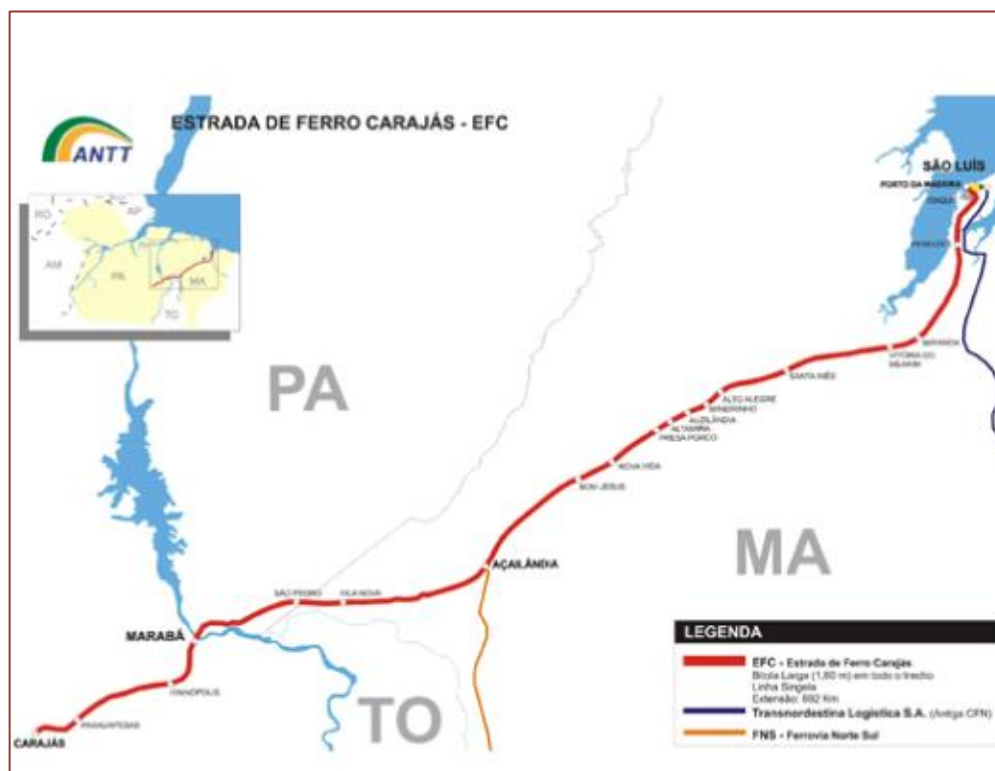
Fonte: IBGE (2018). Produto Interno Bruto Municipal. Vieira, Jeferson & Oliveira, Lourdes. (2020).

O crescimento do PIB industrial é focado na perspectiva da criação de valor para a comunidade. Respondeu por 21% do PIB total em 2010, passando para 35% em 2017, segundo dados do IBGE. Isso indica que a forte agregação de valores de Açailândia se deve ao PIB industrial. Mesmo no processo de pós-industrialização da economia brasileira, o crescimento da produção industrial nas periferias brasileiras é silencioso.[6] [21]

### 3.3. ESTRADA DE FERRO CARAJÁS (EFC)

A Ferrovia Carajás (figura 13) foi construída depois de um longo período de expectativas elaboradas na região de Carajás, no estado do Pará. A construção da ferrovia implicou principalmente pela criação do Projeto Carajás, que era uma proposta do governo de exploração de grandes espaços ricos em minérios importantes nessa região, envolvendo diversas cidades de estados do Norte, como Tocantins e Pará, e englobando a região sudeste do Maranhão, no Nordeste do País. Acontecendo de ser uma região importante para a mineração, o governo viu a necessidade de elaborar uma rota de transporte dos minérios extraídos e foi então que veio a construção da Estrada de Ferro Carajás.

**Figura 13: Estrada de Ferro Carajás**



Fonte: ANTT (2022).

Embora o projeto de construção da Ferrovia Carajás tenha sido concluído e entregue em 1974, as operações da ferrovia se iniciaram apenas nove anos depois, em 1985. Desde então, ela é uma importante forma de escoamento de produtos, essencialmente para as regiões norte e nordeste do país. Ademais, essa é uma ferrovia que também atua no transporte de passageiros, tendo sua rota estipulada da cidade de São Luís, no Maranhão, até Parauapebas, no Pará. Cerca de 350 mil pessoas utilizam o serviço anualmente.[4]

Algumas características são apresentadas na tabela 1 abaixo:

**Tabela 1: Características da Estrada de Ferro Carajás**

Área de atuação	Maranhão
	Pará
Extensão das Linhas	Bitola: 1,60 m
Total	892 km
Pontos de Interconexão com Ferrovias	
FNS - Ferrovia Norte Sul	Açaílândia - MA
TNLSA - Transnordestina Logística S.A	Ramal Itaqui (Pombinho) - MA
Pontos de Interconexão com Portos	
Terminal da Ponta da Madeira	

Fonte: Programas de Parceiras de Investimentos (2022).

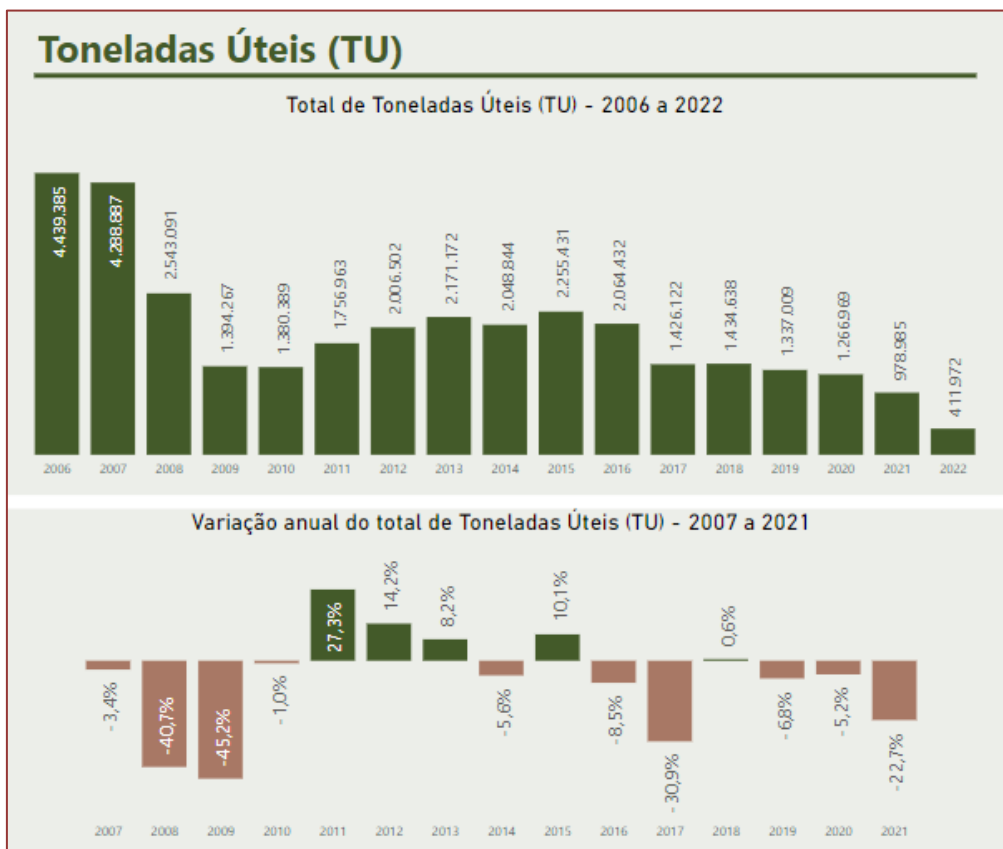


Considerando as expectativas com o crescimento do mercado, a Estrada de Ferro Carajás tem mostrado diversos benefícios para as cidades em que ela opera, não obstante o desenvolvimento que esse modal poderá impactar em situação de investimento. Dessa forma, será analisada esses impactos econômico para o estado do Maranhão.

Por exemplo, em 2016, dados dos principais produtos transportados pela EFC foram minério de ferro (151,605 milhões de toneladas), minério de manganês (1,600 milhão de toneladas) e produtos de cobre (463 mil toneladas). Entretanto materiais não produzidos pelas minas paraenses também circularam. Foram, por exemplo, 845 mil toneladas de ferro gusa e 716 mil toneladas de combustíveis.

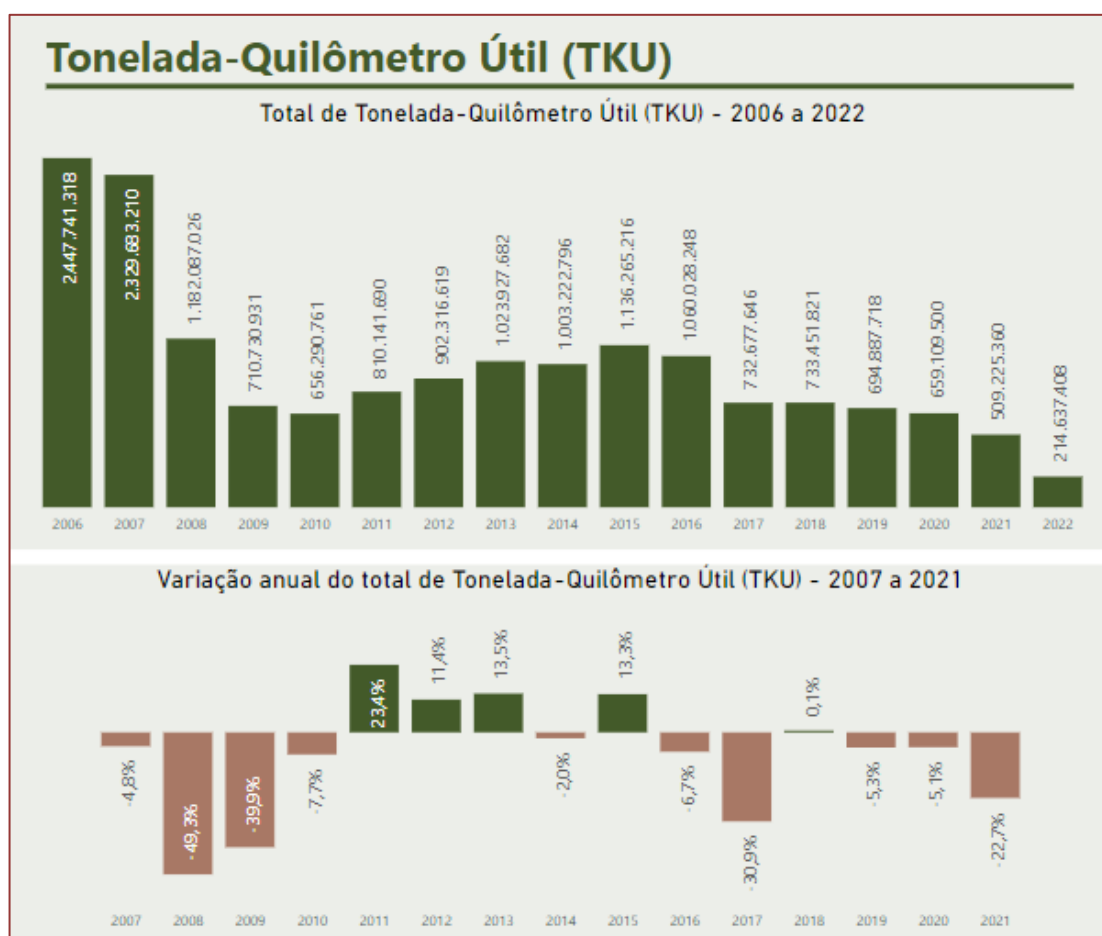
A Estrada de Ferro Carajás viabiliza variadas empresas produtoras de ferro gusa. Hoje em dia, também viabiliza a operação da Ferrovia Norte Sul. Ademais, EFC é responsável por interligar o Porto do Itaqui ao interior do Brasil. A Norte Sul hoje alcança o litoral através da EFC, circulando e operando pelo Porto do Itaqui os grãos e a celulose que produz.[2] A seguir, de forma geral a movimentação de carga entre 2006 a 2022 em toneladas úteis (TU) e toneladas-quilômetro útil (TKU), figuras 14 e 15, respectivamente:[2]

**Figura 14:** Movimentação de Cargas de 2006 a 2022 em toneladas úteis (TU)



Fonte: Confederação Nacional de Transporte (2022).

**Figura 15:** Movimentação de Cargas de 2006 a 2022 em toneladas-quilômetro útil (TKU)



Fonte: Confederação Nacional de Transporte (2022).

A Vale contabilizou em 2021 com lucro líquido acima dos R\$ 121 bilhões. É o maior lucro da história da mineradora e o maior em todos os tempos de uma empresa de capital aberto no Brasil. O lucro da Vale em 2021 ultrapassou com folga o PIB do estado inteiro do Maranhão em 2019, que foi de R\$ 97 bilhões, último ano disponível de acordo com os dados do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC.[6]

Os investimentos sociais, em 2018, realizados pela Vale e Fundação Vale neste primeiro semestre beneficiaram 6.859 famílias no Maranhão. Ao todo, foram R\$ 15,5 milhões em projetos implementados em parceria com associações comunitárias, instituições e poder público ao longo da EFC.

No Parque Botânico Vale de São Luís, 2.258 pessoas participaram das ações de educação ambiental e oficinas de geração de renda. Foram 46 mil visitantes nos primeiros seis meses do ano. A Caravana nos Trilhos movimentou 19 comunidades e 8.124 participantes foram beneficiados com ações voltadas à educação ambiental, segurança ferroviária, saúde e geração de renda. Durante as obras de ampliação da EFC, foram colocados em prática 29 programas ambientais. Também foram 30 mil artefatos destinados a instituições científicas resgatados de 9 sítios arqueológicos.[5]

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no exposto e considerando a revisão literária, pode-se afirmar que o transporte ferroviário desempenhou um papel crucial na integração econômica e social do Brasil ao longo do século XX, facilitando a conexão das economias locais aos grandes centros urbanos, especialmente nas regiões Norte e Nordeste. As ferrovias contribuíram para a melhoria das condições de transporte e comunicação, além de impulsionarem a produção local e intensificarem as relações comerciais regionais e inter-regionais. Esse processo não só transformou a produção agrícola, como também alterou as relações de trabalho, que passaram a ser organizadas em bases capitalistas.

Dada a vasta extensão territorial do Brasil, tanto no eixo norte-sul quanto leste-oeste, um sistema de transporte que promova a integração entre essas regiões e facilite a circulação de pessoas e mercadorias é essencial para o desenvolvimento econômico do país. A presença de infraestrutura ferroviária de qualidade também se mostra um atrativo significativo para investimentos estrangeiros, uma vez que reduz os custos logísticos e torna o Brasil mais competitivo no cenário global.

As ferrovias mencionadas, como a Ferrovia Norte-Sul e a Ferrovia Transnordestina, emergem como uma solução estratégica para o transporte de longa distância, oferecendo uma logística de exportação mais econômica e eficiente, ao conectar diferentes regiões e promover a multimodalidade no transporte de mercadorias. Projetadas tanto para atender ao mercado interno quanto para facilitar a exportação da produção regional, essas ferrovias têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento econômico dos estados que atravessam, impactando positivamente a produção agrícola, industrial e mineral.

Portanto, essas obras são de extrema importância para o Brasil, pois visam interligar regiões diversas, proporcionando trânsito seguro e eficiente, além de promover o crescimento econômico local. Cidades situadas ao longo desses corredores ferroviários têm experimentado um impulso no desenvolvimento, como demonstrado pelos dados que revelam o aumento no transporte de recursos agrícolas e minerais nos últimos anos.

Do ponto de vista macroeconômico, o pleno funcionamento dessas ferrovias promete desencadear efeitos em cadeia sobre as economias locais, como o aumento da geração de empregos, renda e arrecadação municipal. Além disso, os indicadores do PIB agropecuário e industrial nas áreas de influência dessas ferrovias apontam que, uma vez em plena operação, elas desempenharão um papel crucial na elevação da competitividade da produção regional, consolidando o Brasil como um importante ator no mercado internacional. Dessa forma, as ferrovias não apenas promovem a integração territorial e econômica, mas também são determinantes para o crescimento sustentável e a redução das desigualdades regionais.

#### REFERÊNCIAS

- [1] NABAIS, R. J. *Manual Básico de Engenharia Ferroviária*. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- [2] TRANSPORTE, C. N. DO. *Painel CNT do Transporte - Ferrovias. Painel CNT do Transporte*, 2022. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-cnt-transporte-ferroviario>. Acesso em: 1 set. 2022
- [3] FEDERAL, G. *Programa de Parceria de Investimentos: Estrada de Ferro Carajás.*, 2020. Disponível em: <https://portal.ppi.gov.br/efc-estrada-de-ferro-carajas>. Acesso em: 2 set. 2022
- [4] ANTF. *Estrada de Ferro Carajás.*, 2020. Disponível em: <http://www2.antf.org.br/pdfs/EFC.pdf>. Acesso em: 2 set. 2022

- [5] ANGELO, M. *Trilhos da maior mina de ferro do mundo impactam a vida de comunidades pobres no Maranhão*. MONGABAY, 2022. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2022/06/trilhos-da-maior-mina-de-ferro-do-mundo-impactam-a-vida-de-comunidades-pobres-no-maranhao>. Acesso em: 15 nov. 2022
- [6] IMESC. *PRODUTO INTERNO BRUTO DO ESTADO DO MARANHÃO*. Maranhão: Governo do Maranhão, 2019.
- [7] BETARELLI JUNIOR, A. A. *Análise dos modais de transporte pela ótica dos blocos comerciais: uma abordagem intersetorial de insumo-produto*. 2007. 173 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Faculdade de Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.
- [8] Brasil 247. *Após deixar Piauí, Suzano fará primeiro embarque de celulose para EUA*. Cidade Verde, 2014. Disponível em: <https://cidadeverde.com/noticias/154702/apos-deixar-piaui-suzano-fara-primeiro-embarque-de-celulose-para-eua>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- [9] CNT. *Pesquisa de Ferrovias 2015*. Brasília, 2015. Disponível em: <https://cnt.org.br/pesquisa-cnt-ferrovias>. Acesso em 5 nov. 2022.
- [10] CSN. FTL. *Companhia Siderúrgica Nacional, c2022*. Disponível em: <https://www.csn.com.br/quem-somos/grupo-csn/ftl/>. Acesso em: 6 nov. 2022.
- [11] ELMIR, A. *Municípios às margens da Ferrovia São Luís-Teresina criam consórcio em busca de royalties*. Maranhão Hoje, 2018. Disponível em: <http://maranhaohoje.com/maranhao/municipios-as-margens-da-ferrovia-sao-luis-teresina-criam-consorcio-em-busca-em-royalties/>. Acesso em: 6 nov. 2022.
- [12] DEPEC. *Maranhão Monitor Regional. Bradesco, 2022*. Disponível em: [https://www.economiaemdia.com.br/BradescoEconomiaEmDia/static\\_files/pdf/pt/mapa/Informa\%C3\%A7\%C3\%B5es\%20Regionais\%20Maranh\%C3\%A3o.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/BradescoEconomiaEmDia/static_files/pdf/pt/mapa/Informa\%C3\%A7\%C3\%B5es\%20Regionais\%20Maranh\%C3\%A3o.pdf). Acesso em: 10 nov. 2022.
- [13] FEITOSA, V.C. *O transporte ferroviário e sua importância econômica em Jundiá. Faculdade Politécnica de Jundiá, 2004*. Disponível em: <https://repositorio.pgsskroton.com/bitstream/123456789/875/1/artigo\%2038.pdf>. Acesso em 24 set. 2022.
- [14] *História das ferrovias no Brasil. Massa Pesagem e Automação Industrial, 2020*. Disponível em: <https://massa.ind.br/historia-das-ferrovias-no-brasil/>. Acesso em: 24 set. 2022.
- [15] MARQUES, João C. JUNIOR, Erivam; DE PAULA, Ricardo. *Perspectivas para a Economia Maranhense no Século XXI: Uma Análise a Partir das Atuais Estruturas e da Conjuntura Econômica Recente*. BNB Conjuntura Econômica, 2019.
- [16] NEVES, D. G. *"FERROVIA SÃO LUÍS - TERESINA": HISTÓRIA E CULTURA*. Universidade Estadual do Maranhão, 2021. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/VI\\_coloquio\\_t6\\_ferrovia\\_sao\\_luis\\_teresina.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/VI_coloquio_t6_ferrovia_sao_luis_teresina.pdf). Acesso em 5 nov. 2022.
- [17] RIBEIRO, A. T. *O TREM E A CIDADE: História e memória da ferrovia São Luís – Teresina e a cidade de Codó (Ma)*. 2021. 157 p. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2021.
- [18] *Saiba tudo sobre as Ferrovias do Maranhão. Massa Pesagem e Automação Industrial, 2022*. Disponível em: <https://massa.ind.br/ferrovias-do-maranhao/>. Acesso em: 24 set. 2022.
- [19] SEINC. *Mineração. Secretaria de Estado de Indústria e Comércio, c2022*. Disponível em: <https://seinc.ma.gov.br/mineracao>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- [20] *TRANSPORTES NO MARANHÃO Maio/2000*. GEIPOT, 2000. Disponível em: <http://geipot.gov.br/cadernos/2000/ma-2000.htm>. Acesso em 5 nov. 2022
- [21] VEIRA, JEFERSON & OLIVEIRA, LOURDES. (2020). *Ferrovia norte-sul: impactos no desenvolvimento de Açailândia e Porto Nacional*. DRd - Desenvolvimento Regional em debate. vol.10. p. 609-633, 2020.

Autores

**ALINE MARA OLIVEIRA (ORGANIZADORA)**

Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2012). Pós Graduada em Gestão de Projetos (FGV 2014-5015). Ministrou aulas no Centro Universitário do Planalto de Araxá(2015-2016) e no CEFET-MG nos cursos de graduação e técnicos. Tem experiência na área de Automação Industrial, Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: redes industriais, proteção de sistemas elétricos, IEC-61850, automação, instrumentação, sistemas de controle, equacionamento de controladores, sistemas multivariáveis e teoria de controle. Trabalhou na indústria no setor de projetos industriais no período de 2007 a 2015. Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia. (2017-2019). Atualmente doutoranda no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.(2019-2023)

**OSVALDO SENA GUIMARÃES (ORGANIZADOR)**

Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy (1983), Ênfase em Engenharia de Transportes EEK (1983), Análise De Sistemas - UFMG(1985), Especialização em Gestão de Projetos de Engenharia IEC/PUC (2012), Mestrado em Estratégia FEAD (2005). Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Minas Gerais (2015-2017 Divinópolis). Professor na Faculdade Senac Minas. Atua na área de ensino superior desde 1988 como Professor, Coordenador de Curso, Coordenador de Extensão, Coordenador de Iniciação Científica e de Pré-incubadora de base Tecnológica. Atua na área de Engenharia, Computação e Projetos desde 1984.

**ALBERTO EDUARDO BESSER FREITAG**

Consultor na FIRJAN para melhoria dos fluxos de licenciamentos de construções nas prefeituras. Professor e pesquisador em cursos de mestrado, graduação e MBAs/Especializações. Conhecimento especializado em ciência da melhoria, congregando abordagens de gestão enxuta (Lean), seis sigma e teoria das restrições. Possui sólida experiência em organizações do setor industrial e de serviços onde atuou com gestão de pessoas, projetos e processos, patentes, educação executiva, planejamento estratégico, manufatura, qualidade e engenharia. Pós-doutorado em engenharia de produção e sistemas, doutor em engenharia civil, mestre em gestão empresarial, especializado em marketing e engenheiro mecânico. Certificação Lean Six Sigma Black Belt.

**ARI LUCAS SANTOS OLIVEIRA**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Ceará - Campus de Russas (2021). Atuou como monitor no Projeto de Iniciação a Docência (PID), na disciplina de Termodinâmica Aplicada (2018). Coordenou, como membro da diretoria, a I Semana das Engenharias de Russas (2018). Presidiu o Centro Acadêmico de Engenharia Mecânica, entre 2016 e 2019. Atualmente, é mestrando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (PPGEM/UFPB) e possui foco de estudo em Processos de Fabricação.

**ARTHUR THALISSON MACIEL BRITO**

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), concluído no primeiro semestre de 2024, pós-graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Estadual do Maranhão. Possui capacitação complementar em licitação de obras públicas, além de formação em Alvenaria pelo SENAI (2022).

**BRUNO CAIO CHAVES FERNANDES**

Possui graduação em Farmácia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2008). Especialização em Auditoria em Serviços de Saúde pela Faculdade de Ciências Médicas de Campina Grande (2009). Mestrado em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2017). Doutorado em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2020). Atualmente é técnico de laboratório química da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.



### **CAMILA SOUZA CARVALHO**

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2018) e pós graduação em Sustentabilidade na Construção Civil pelo Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais (2024). Atualmente cursando mestrado no Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído (PROAC) também pela UFJF. Possui experiência profissional em desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana, arquitetura e interiores.

### **CAMILLA PEREIRA SOARES**

Doutorando no Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), possui título de Mestre em Energias Renováveis (UFPB/2023), de especialista em docência (FAVENI/2023) e de Bacharel em Engenharia Energias Renováveis (UFPB/2018). No mestrado trabalhou com avaliação ambiental em forno solar. Na graduação participou de projetos de extensão e pesquisa em áreas distintas, tais como: energia solar fotovoltaica, células solares não convencionais, estudo de métodos numéricos, estudo de problemas estruturais estáticos, avaliação da iluminação e eficiência energética em ambientes. Em 2017 realizou estágio na manutenção elétrica das Centrais Elétricas da Paraíba - EPASA, onde teve a oportunidade de aplicar e aprimorar conhecimentos na área de planejamento energético e conversão termelétrica. Foi premiada com a Láurea Acadêmica destaque da graduação.

### **CHRYSYIAN GREGÓRIO MEDEIROS DE LIMA**

Possui graduação em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (2014), mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (2016) e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (2022). Foi pesquisador de pós-doutorado na Universidade Federal do ABC, atuando na síntese e caracterização de materiais para eletrólitos para células a combustível óxido sólido protônicas, na divisão "Methane to Products" do CINE (Center for Innovation on New Energies) (2022-2023). Atualmente, atua como pesquisador de pós doutorado (PNPD/CNPQ/Fapesq) pelo programa de Pós-graduação em Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba, desenvolvendo estudos em óxidos de alta entropia e filmes finos por magnetron sputtering, para aplicações eletroquímicas e superfícies solares. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Engenharia de Materiais, atuando principalmente nos seguintes temas: Materiais cerâmicos, com ênfase em óxidos cerâmicos para aplicação elétrica, como eletrocatalisadores para reação de evolução do oxigênio, termoelétricos e eletrodos para célula a combustível de óxido sólido.

### **DOUGLAS BURNIER ALMEIDA PEREIRA**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), com previsão de conclusão em 2024, e Técnico em Segurança do Trabalho pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), formado em 2018. Durante sua formação acadêmica, desenvolveu pesquisas na área de Pavimentação e Pontes (2023-2024) pela UEMA, aprofundando conhecimentos em infraestrutura e construção civil. Possui capacitação complementar em tecnologias BIM e Análise Estrutural Assistida por Softwares (2021-2024), com foco na modelagem digital e análise estrutural de projetos, além de formação em Instalações Elétricas, Hidrossanitárias e de Energia Solar pelo SENAI (2021-2024), integrando competências para atuar em projetos que envolvem sustentabilidade e eficiência energética

### **ERCÍLIA DE STEFANO**

Professora do quadro permanente no Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído - UFJF. Supervisora de alunos de pós-doutorado. Líder do Núcleo de Inteligência Artificial, Tecnologias, Inovação e Empreendedorismo - IA InovA, certificado no CNPq. Professora Adjunta na UFJF. Pesquisadora ad-doc FACEPE. Pós-doutora em Engenharia Civil - UFRJ - COPPE com ênfase em Inteligência Artificial Pós-doutora em Sistemas de Gestão Sustentáveis - UFF. Doutora em Engenharia de Transportes - UFRJ - COPPE com ênfase em Inteligência Artificial. Mestre em Engenharia de Sistemas - UFRJ - COPPE, com ênfase em Inteligência Artificial. MBA em Gestão

Estratégica em Comércio Exterior. Especialista Lato Sensu em Gestão Estratégica Pública. Especialista Lato Sensu em Machine Learning e Inteligência Artificial. Especialista Lato Sensu em Direito Administrativo e Gestão de Pessoas no Setor Público. Especialista Lato Sensu em Neuropsicopedagogia. Especialista Lato Sensu em Gerência e Desenvolvimento de Sistemas Orientado a Objetos. Graduada em Matemática. Advogada. Pedagoga. Revisora de revistas e periódicos nacionais e internacionais. Especialista em metodologias ativas de ensino. Principais áreas de atuação: Inovação; Empreendedorismo, Inteligência Artificial; Tecnologias da Informação; IoT; Smart Cities; Urbanismo; Sistemas Inteligentes e Autônomos.

### **FABIANA KARLA DE OLIVEIRA MARTINS VARELLA**

Possui graduação em Engenharia Civil - UnP (2001), mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos - UNICAMP (2004) e doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos - UNICAMP (2009). Atualmente é Professor Associado IV do Curso de Engenharia Elétrica da UFERSA. Tem experiência na área de Energias Alternativas Renováveis e Planejamento de Sistemas Energéticos, atuando principalmente com geração FV distribuída, energia solar térmica, energia solar fotovoltaica, energias alternativas, regulação e eficiência energética. Prof. doutora do curso Engenharia Elétrica da UFERSA.

### **FLÁVIA BASTOS DE OLIVEIRA MATTOS**

Arquiteta e Urbanista, graduada pela Universidade Federal de Juiz de Fora (1997), com experiência em desenvolvimento urbano na Cipasa Desenvolvimento Urbano S.A. até 2005. Com formação complementar pela USP em Concepção da Paisagem e Ambiente (2005). Foi selecionada em 1º lugar para atuar na Prefeitura de Juiz de Fora em 2016. Desde 2017, realiza projetos de arquitetura e urbanismo para empresas de loteamento urbano. Atualmente é mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da UFJF.

### **FRANCIELLE CRISTINE PEREIRA GONÇALVES**

Atualmente, Doutoranda em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) (2021). Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2018) e graduação em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2015).

### **GUSTAVO CÉSAR PAMPLONA DE SOUSA**

Possui Mestrado (2019) e Graduação (2016) em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Campina Grande. Atua como pesquisador na área de Análise e projeto de sistemas termomecânicos, Materiais aplicados a energia e processos de fabricação, superfícies seletivas solares, caracterizações e tratamentos termoquímicos.

### **IGOR PACÍFICO XAVIER DA SILVA**

Discente curso Engenharia Elétrica UFERSA, DET/CE

### **JOÃO CARLOS BARRETO**

Doutor em Engenharia (área Produção/Transporte) pela Unicamp-SP, Mestre em Administração, tem larga experiência de carreira em multinacionais e atuante nos últimos anos em MPÊs como Gestor de Negócios nas áreas de gestão das operações. Autor de mais de 60 produções entre livros e artigos publicados em diversas instituições, revistas e congressos. Faz trabalho social com aulas práticas em business intelligence (BI), Excel dentre outras ferramentas tecnológicas.

### **JOÃO ERCIO MIRANDA JÚNIOR**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Fluminense - EEIMVR , Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Fluminense - EEIMVR na área de projetos de Máquinas, doutorando em Engenharia de Materiais pela UNESP - FEG Guaratinguetá na área de Usinagem. Docente FAT-UERJ na área de Desenho de Máquinas , Projeto de Máquinas e Automação Industrial, Docente Faculdade do Sul Fluminense - FASF de Engenharia de Qualidade, Desenho mecânicos, Coordenador de engenharias FASF , Docente Instituto de Cultura técnica - ICT 2023/2024 , Coorientador projeto Mini-baja FAT-UERJ, Ex membro dos projetos Empresa Júnior ( Pulso Consultoria ), Aerodesign UFFORCE e equipe de Robótica Uffight. Especialista em Auto Cad , Solidworks , Catia V5, Gerenciamento de Projetos .

### **JOSÉ ALBERTO BARROSO CASTANÕN**

D.Sc. em Transportes, Professor Titular de Transportes e Professor/pesquisador do PROAC - Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora.

### **JOSÉ CARLOS MACHADO JUNIOR**

MSc in Technological and Environmental Processes, Post-graduation Program in Technological and Environmental Processes, University of Sorocaba (UNISO)

### **JOSÉ CRISTIANO PEREIRA**

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Católica de Petrópolis em 2005. MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV em 2009. Especialização em Engenharia de Produção pela UFJF em 2011. Mestrado em Sistemas de Gestão pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2012. Doutorado em Engenharia de Produção pela UFF em 2014. Pós- doutorado (em curso) no LNCC (Laboratório Nacional de Computação Científica) e na Universidade de Aveiro (Portugal). Certificações Internacionais: PMP (Project Management Professional) pelo PMI (Project Management Institute), RMP (Risk Management Professional) pelo PMI (Project Management Institute), CQE (Certified Quality Engineer) pela ASQ (American Society for Quality), Proficiency in English pelas Universidades de Cambridge, Michigan e Oxford, DSQR (Designated Supplier Quality Representative) pela GE, DMIR (Designated Manufacturing Inspector Representative) pelo FAA (USA), RCI (Regulatory Compliance Inspector) pela GE Aviation (USA). Certificações Nacionais: SPR (Supervisor de Proteção Radiológica) pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear). Desempenhou as funções de Supervisor de Proteção Radiológica, Engenheiro de Qualidade, Coordenador e Gerente da Qualidade na GE Aviation durante 33 anos. Professor nos cursos de Graduação e Mestrado em Engenharia na Universidade Católica de Petrópolis (UCP) nas disciplinas Gestão da Qualidade, Gestão de Operações, Gestão de Riscos/Confiabilidade e Técnicas de Otimização. Revisor do Journal of Aerospace Engineering. Revisor do International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications (IJISTA). Revisor do congresso ENEGEP.

### **JÚLIA MARTINS CARRARA**

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário Academia e pós graduação em Design de Interiores pela Faculdade Famart. Atualmente é mestranda no Programa de Pós Graduação em ambiente construído da Universidade Federal de Juiz de Fora. Possui experiência em projetos residenciais, comerciais e de interiores, bem como aprovação de projeto na prefeitura e vigilância sanitária. Além disso, possui prática em programas de arquitetura como AutoCad, Sketchup, Layout, Enscape, Lumion e Pacote Office

### **LAURA DUTRA DE ABREU**

Professora Adjunta UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro)- FAT- FACULDADE DE TECNOLOGIA/UERJ- CAMPUS RESENDE/RJ- Gerência de Produção (Ênfase em Higiene do Trabalho, Direito Empresarial, Ética e Legislação profissional)- Curso Engenharia de Produção; Professora de

Graduação e Pós Graduação em Direito Civil; Doutora em Direito, área de concentração: Cidadanias, Internacionalização e Relações Jurídicas, pela Universidade Veiga de Almeida (UVA), ano de conclusão 2020; Mestre em Direito Civil pela Faculdade de Direito da Universidade de Coimbra (Portugal) , ano de conclusão 2008 (RECONHECIDO PELA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO- USP), com maior concentração de estudos nas áreas de Direito Contratual, Direito das Famílias e Sucessório, Direito das Pessoas, Bioética e Biodireito, Direito da Saúde e Direito dos Vulneráveis e Minorias; Pós-graduada em DIREITO PÚBLICO pela ANAMAGES - Associação Nacional dos Magistrados Estaduais, em convênio com o Centro Universitário Newton Paiva , ano de conclusão 2005; Graduação em Direito pelo Instituto Vianna Júnior, ano de conclusão 2003; Advogada inscrita no quadro da Ordem dos Advogados do Brasil sob o n OAB/MG 122.088; Ex- Vice Diretora da Escola Superior de Advocacia- MG- Subseção Juiz de Fora (gestão 2016-2020); Associada ao IBDFAM (Instituto Brasileiro de Direito de Família); Assessora de Coordenação do Curso de Direito- UNIFAA-Valença/RJ DE (2018/2023); Membro do Comitê de Ética e Pesquisa- Centro Universitário de Valença/Fundação Educacional Dom André Arcoverde - FAA (2023)

### **LUDMILA KARIN SILVA SÁ**

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Possui formação no curso de aperfeiçoamento de instalações elétricas (2024) e instalações hidráulicas e sanitárias (2022) pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Estagiária do Tribunal Regional Eleitoral do Maranhão (TRE-MA) na área de manutenção predial (2023-2024).

### **MARCOS MARTINS BORGES**

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo (1991), mestrado em Engenharia de Produção (1998) e doutorado em Engenharia de Produção (2004). Atualmente é Bolsista de Pós-doutorado Sênior do CNPq. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia de Produção, com ênfase em Desenvolvimento de Produto, atuando principalmente nos seguintes temas: projeto do produto, representação do projeto, prototipagem virtual, modelagem paramétrica tridimensional, simulação multifísica. Disciplines: Industrial Design; Manufacturing Engineering; Computer Graphics. Skills and expertise: Design Methods; Virtual Architecture; Rapid Prototyping; CAD; Tridimensional Parametric Modeling; Product Design and Development; Design Theory. Languages: English; Spanish; Portuguese

### **MARIA DA GLÓRIA DINIZ DE ALMEIDA**

Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1999), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2001) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" (2017). Atualmente é professora adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Engenharia de Produção com ênfase em Planejamento e Controle da Produção, Melhoria Contínua, Produtividade Industrial e Redução de Custos.

### **MAYSSA ALVES DA SILVA SOUSA**

Doutora em Engenharia Civil (AC: Geotecnia) pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Recife, PE). Mestre em Engenharia de Transportes (AC: Infraestrutura de Transportes) pelo Instituto Militar de Engenharia - IME (Rio de Janeiro, RJ). Bacharela em Engenharia Civil pela Unidade de Ensino Superior Dom Bosco - UNDB (São Luís, MA). Especialista em Ciência de Dados pela Universidade de São Paulo - USP (São Paulo, SP). Atualmente é Professora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Chefe do Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LSP/UEMA), Chefe da Divisão de Auxílios e Projetos de Pesquisa da Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação (PPG), Membro do NDE - Núcleo Docente Estruturante e do Colegiado do Curso de Engenharia Civil da UEMA. Desenvolve trabalhos técnicos, científicos e de consultoria nas áreas de Solos e Pavimentação. Foi professora e membro do NDE dos cursos de Engenharia Civil e de Produção da UNDB. Trabalhou na empresa Ductor Implantação de Projetos Ltda., prestando serviços de análise e fiscalização de projetos ferroviários (Área de concentração em

Engenharia Geotécnica e de Pavimentos), sendo principal projeto o de Expansão da Estrada de Ferro Carajás - EEFC da VALE.

### **MICHELLE NASCIMENTO COSTA**

Engenheira Civil formada pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), mestranda em Ambiente Construído e pós-graduanda em Engenharia de Produção pela mesma instituição. Especialista em Engenharia Diagnóstica e Tratamento de Manifestações Patológicas em Obras, atualmente atua como Assistente de Engenharia Civil na construção do novo Fórum do Tribunal de Justiça de Minas Gerais (TJMG), Comarca de Juiz de Fora.

### **MIGUEL OLIMPIO DE PAULA NETTO**

Possui graduação em Ciências Exatas pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2022) e graduado em Engenharia Mecânica (2024) cursando pós graduação (Mestrado) em ambiente construído. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Engenharia Mecânica, e experiência na área educacional, tendo atuado como professor de matemática em duas escolas estaduais na cidade de Juiz de Fora.

### **MOISÉS LUIZ LAGARES JÚNIOR**

Possui graduação (1998), mestrado (2001) e doutorado (2009) em Engenharia Mecânica pela FEMEC/Universidade Federal de Uberlândia. Atuou na iniciativa privada por oito anos na área de Engenharia Mecânica, com desenvolvimento de protótipos e produtos patenteados para o plantio e colheita de unidades experimentais de sementes. Atualmente é professor associado da Universidade Federal de Juiz de Fora - Departamento de Engenharia Mecânica. Atua na graduação e na pós-graduação na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Materiais e Processos de Fabricação - Manufatura Aditiva e Soldagem.

### **NATÁLIA FERNANDES DA MOTTA**

Mestranda pelo Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído (PROAC) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Integra o grupo de pesquisa IA InovA. Advogada. Especialista em Direito Empresarial e Advocacia Extrajudicial. Principais temas de interesse: Ambiente Construído; Propriedade Intelectual; Novas Tecnologias; Direito; Inovação. Com vasta experiência em advocacia empresarial, empreendedorismo e gestão de organizações do setor privado.

### **NATÁLIA MOTTA**

Mestranda pelo Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído (PROAC) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Integra o grupo de pesquisa IA InovA. Advogada. Especialista em Direito Empresarial e Advocacia Extrajudicial. Principais temas de interesse: Ambiente Construído; Propriedade Intelectual; Novas Tecnologias; Direito; Inovação. Com vasta experiência em advocacia empresarial, empreendedorismo e gestão de organizações do setor privado.

### **NILO ANTONIO DE SOUZA SAMPAIO**

Possui graduação em Engenharia Química pela Escola de Engenharia de Lorena EEL-USP (1994), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté UNITAU (2005), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP (2011). Atualmente é Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro atuando na graduação dos cursos de Engenharia, no Mestrado em Engenharia Ambiental (PEAMB) e no Doutorado em Engenharia Ambiental (DEAMB). Tem experiência na área de Matemática e Estatística, com ênfase em Aplicações da Estatística e da Matemática em Ciências, Modelamento Matemático, Otimização e Planejamento de Experimentos, Estatística Multivariada e Monitoramento de Processos.

**RAPHAEL BASILIO PIRES NONATO**

DSc in Technological and Environmental Processes Post-graduation Program in Technological and Environmental Processes, University of Sorocaba (UNISO) and Federal Institute of Santa Catarina (IFSC), Chapecó campus Chapecó, Santa Catarina, Brazil

**RENNÁH FRANCISCO FIGUEIREDO GONÇALVES**

Possui graduação em Biologia pela Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA. Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB com ênfase em materiais compósitos e células a combustível de óxido sólido (SOFC). Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte com ênfase no sistema metálico W-Ni. Doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte realizando estudos de corte por puncionamento em chapas de aços avançados de alta resistência.

**TATIANA TAVARES RODRIGUEZ**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1997), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2000) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005), com ênfase em Engenharia Geotécnica. Atualmente é professora associada da Universidade Federal de Juiz de Fora lotada na Faculdade de Engenharia e colaboradora no Programa de Pós-graduação em Ambiente construído. Desenvolve projetos de pesquisa e extensão, principalmente, nos temas: estabilidade de taludes e encostas; solos coluvionares; solos residuais; solos não saturados; solos colapsíveis; erodibilidade e ensaios de laboratório. Tem experiência profissional, na área de Engenharia Civil, em projetos de Barragem.

**THAÍS DE OLIVEIRA ALMEIDA**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2014), especialização em Eficiência Energética Automotiva pela Universidade Federal da Paraíba (2017) e mestrado em Energias Renováveis pela Universidade Federal da Paraíba (2019). Atualmente, tem sua pesquisa voltada para a fabricação e estudo de filmes finos para coletores solares, na grande área de Processos de Fabricação no doutorado em Engenharia Mecânica na Universidade Federal da Paraíba.

**THOMAZ AUGUSTO GUIARD RESTIVO**

PhD in Materials Engineering Thermophysical Laboratory, University of Sorocaba, Sorocaba, São Paulo, Brazil



[www.poisson.com.br](http://www.poisson.com.br)  
[contato@poisson.com.br](mailto:contato@poisson.com.br)

@editorapoisson



<https://www.facebook.com/editorapoisson>

