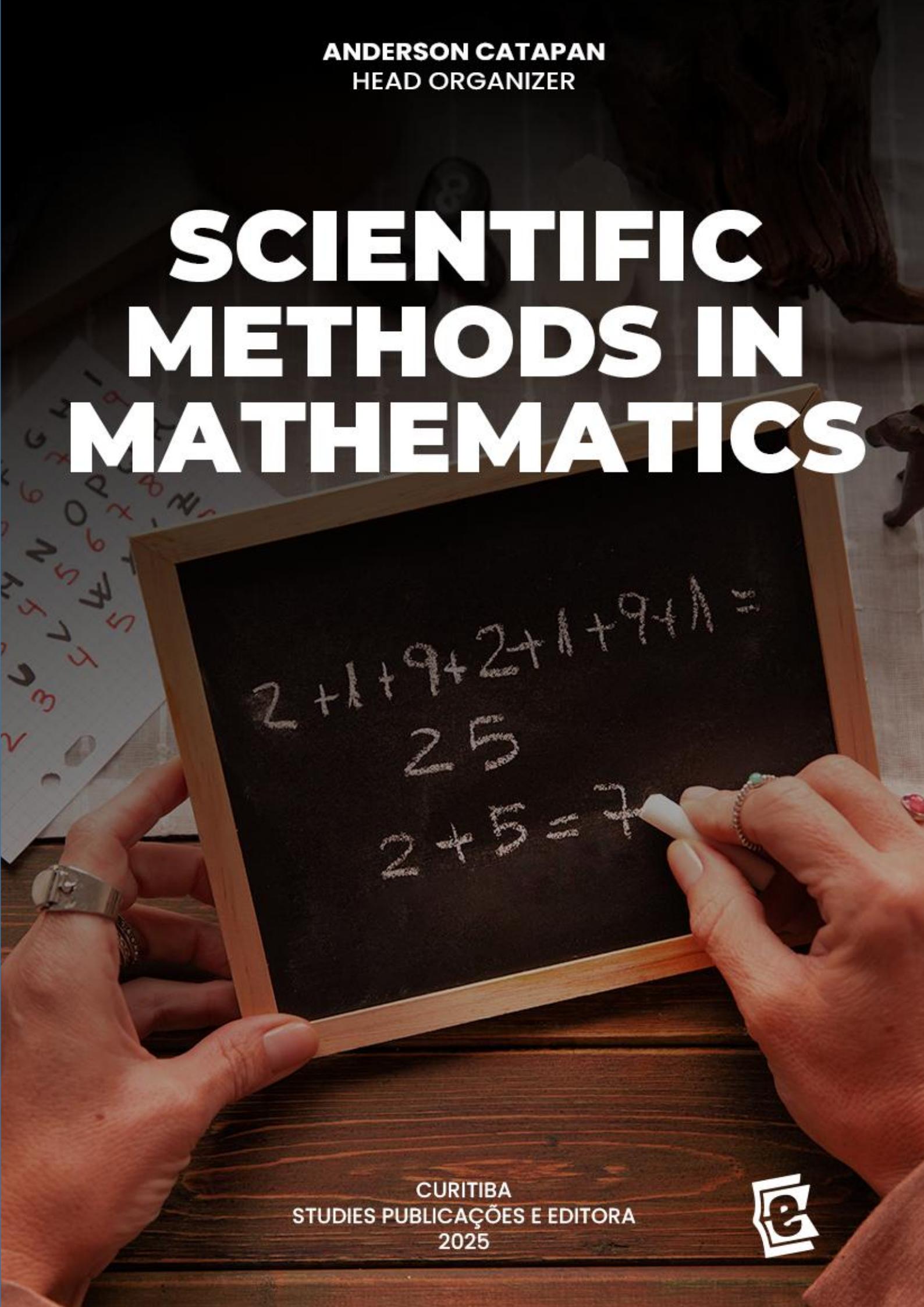


ANDERSON CATAPAN
HEAD ORGANIZER

SCIENTIFIC METHODS IN MATHEMATICS

A photograph of a person's hands writing on a chalkboard. The person is wearing a silver watch on their left wrist and a ring on their right hand. The chalkboard contains the following handwritten text:

$2 + 1 + 9 + 2 + 1 + 9 + 1 =$
25
 $2 + 5 = 7$

CURITIBA
STUDIES PUBLICAÇÕES E EDITORA
2025



Anderson Catapan
Head Organizer



Curitiba
2025

Copyright © Editora Studies Publicações
Copyright do Texto © 2025 Os Autores
Copyright da Edição © 2025 Editora Studies Publicações
Diagramação: Editora
Edição de Arte: Editora
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva da autora. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos a autora, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial:

Maria Lucia Teixeira Guerra de Mendonça – Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

Fernando Busato Ramires – University of Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil.

Halley Ferraro Oliveira

Federal University of Sergipe, Sergipe, Brazil.

Nelson Barrelo Junior – University of Sao Paulo, São Paulo, Brazil.

Adriane Aparecida de Souza Mahl Mangaroti – State University of Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, Brazil.

Educélio Gaspar Lisbôa – State University of Pará, Pará, Brazil.

Aldalúcia Macêdo dos Santos Gomes – State University of Amazonas, Amazonas, Brazil.

Educélio Gaspar Lisbôa – State University of Pará, Pará, Brazil.

Aldalúcia Macêdo dos Santos Gomes – State University of Amazonas, Amazonas, Brazil.

Paula Wiethölter – Faculdade Especializada na Área de Saúde do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil.

Andréa Cristina Marques de Araújo – Fernando Pessoa University, Porto, Portugal.

Fernando Busato Ramires – University of Passo Fundo, Rio Grande Sul, Brazil.

Sérgio Eustáquio Lemos da Silva – Paulista State University, São Paulo, Brazil.

Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará, Pará, Brasil.

Shirleide Pereira da Silva Cruz – Universidade de Brasília, Brasília – DF, Brasil.

Ronaldo Salvador Vasques – Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil.

Francisca das Chagas Gaspar Rocha – Universidade Federal do Piauí, Piauí, Brasil.

Nayara Kelly Felix Ferreira – Centro Universitário Tabosa de Almeida –

ASCES/UNITA, Pernambuco, Brasil.

Wenderson Gomes dos Santos – Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Amazonas, Brasil.

Ano 2025

STUDIES
P U B L I C A Ç Õ E S

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Scientific methods in mathematics / Anderson Catapan. Curitiba.
Editora Studies Publicações, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui: Bibliografia

ISBN: 978-65-83309-20-4

DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4

1. Matemática. 2. Engenharia.

I. Catapan, Anderson. II. Título.

Editora Studies Publicações
Curitiba – Paraná – Brasil
www.studiespublicacoes.com.br
editora@studiespublicacoes.com.br

Ano 2025

STUDIES
P U B L I C A Ç Õ E S

APRESENTAÇÃO

A matemática é uma ciência fundamental para a compreensão do mundo, fornecendo a base para o desenvolvimento do conhecimento em diversas áreas, desde as ciências naturais até a tecnologia e a economia.

O uso de métodos científicos na matemática permite a formulação de teorias, a resolução de problemas complexos e a aplicação de princípios lógicos para a construção do saber.

Scientific Methods in Mathematics apresenta, de forma ampla, a importância dos métodos científicos na investigação matemática e suas aplicações em diferentes contextos. Recomendado para professores, alunos e profissionais da área, este livro busca estimular a reflexão sobre a lógica, a precisão e a estrutura que fazem da matemática uma ferramenta essencial para o avanço do conhecimento.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01 .	8
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SISTEMAS DE LAJES NERVURADA E MACIÇA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	
Paulo Roberto Gandza Junior	
DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_1	
CAPÍTULO 02 .	29
COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE USED IN ANONYMISED SEARCH AND SEIZURE CASES: ACQUISITION, EXAMINATION AND ANALYSIS	
Fabio Vivan Grigollo	
Roberto Fabiano Fernandes	
DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_2	
CAPÍTULO 03 .	48
THE IMPACTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) ON TECHNICAL TRAINING	
Djones Braz de Araujo Costa	
Ana Clara Mendes Pessanha dos Santos	
Caio Costa Ribeiro	
Isabelle Ramalho Feitosa	
João Victor Dornelas Leal	
Juliana Menezes de Holanda	
Luís Miguell de Souza	
DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_3	
CAPÍTULO 04 .	61
ORDINARY CONCRETE WITH IMPROVED MECHANICAL AND THERMAL PERFORMANCE	
Briki Lyamine	
Benzeroual Belkacem	
Zidani Kamel	
Trifa Mohamed	
DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_4	
CAPÍTULO 05 .	74
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE GRUPOS DE ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA SUBMETIDAS A CARREGAMENTO HORIZONTAL	
Demóstenes de Araújo Cavalcanti Júnior	
Leonardo José Nascimento Guimarães	
Alexandre Duarte Gusmão	
DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_5	
CAPÍTULO 06 .	91
CADEIA PRODUTIVA DE UMA PISCICULTURA DA ASSOCIAÇÃO COMUNITÁRIA SÃO JOSÉ DO CARÍPI, MUNICÍPIO DE MARACANÃ (PARÁ, BRASIL)	
Gilberto dos Santos Oliveira	
Adebaro Alves dos Reis	
Antônia Rafaela Gonçalves Macedo	
André Luiz Pereira da Silva	
Welliton de Lima Sena	
Marcos Roberto Farias Mendes	
Alberani Pinheiro Maciel	
Ewerton Costa Lagos	
Oclizio Medeiros das Chagas Silva	
Alexandre da Trindade Lélis	
DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_6	

CAPÍTULO 07 101**PERFIL DA CADEIA PRODUTIVA DE UMA PISCICULTURA NA AMAZÔNIA**

Gilberto dos Santos Oliveira
Adebaro Alves dos Reis
Antônia Rafaela Gonçalves Macedo
André Luiz Pereira da Silva
Welliton de Lima Sena
Marcos Roberto farias Mendes
Alberani Pinheiro Maciel
Ewerton Costa Lagos
Oclizio Medeiros das Chagas Silva
Alexandre da Trindade Lélis

DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_7

CAPÍTULO 08 114**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO E ESTRUTURA MISTA DE CONCRETO E AÇO**

Erasmo Carlos da Silva Junior
Marcelo Junio Lima Branches
Ana Carolina de Pádua Lisboa e Santos
Marcelo Rassy Teixeira

DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_8

CAPÍTULO 09 132**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA TIPO SMA COM ÊNFASE NO PARÂMETRO PNEU-PAVIMENTO – ESTUDO DE CASO NA AVENIDA DO CONTORNO EM BELO HORIZONTE/MG BRASIL**

Bernardo de Brito Pereira
Marcelo Franco Porto
Ronderson Queiroz Hilário

DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_9

CAPÍTULO 10 150**INCONSISTÊNCIAS SISTÊMICAS NO CÁLCULO DO MDC NO EXCEL: UMA ANÁLISE ACADÊMICA DETALHADA DOS ERROS CRÍTICOS, SUAS REPERCUSSÕES PROFUNDAS NA EDUCAÇÃO GLOBAL E CAMINHOS ESTRATÉGICOS PARA SOLUÇÕES**

Rafael Alberto Gonçalves
DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_10

CAPÍTULO 11 170**PEQUENOS REATORES NUCLEARES COMO INDUTORES DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA**

Fabíola Guimarães Monteiro Lêdo
Antonio Adami
Alexandre David Caldeira
DOI: 10.54033/stebook.978-65-83309-20-4_11



CAPÍTULO

01

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SISTEMAS DE LAJES NERVURADA E MACIÇA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Paulo Roberto Gandza Junior

Graduado em Engenharia Civil

Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC)

E-mail: paulogandza@gmail.com

RESUMO: Este estudo compara e define vantagens e desvantagens entre dois tipos de lajes visando contribuir na tomada de decisão na escolha entre a laje maciça convencional e a laje nervurada. O objetivo do estudo é conhecer as estruturas em laje nervurada lisa e laje maciça convencional evidenciando os custos e benefícios de ambas, assim busca identificar os termos que caracterizam as lajes maciças e lajes nervuradas, evidenciar os custos e benefícios no uso de lajes maciças ou nervuradas por meio de uma comparação e realizar uma revisão sistemática que permita ampliar os conhecimentos a respeito da comparação entre os tipos de lajes. O método compreende a revisão bibliográfica de publicações relacionadas à Engenharia civil a partir da análise e realização de uma revisão sistemática de publicações digitais. O resultado da pesquisa mostra que as lajes nervuradas demonstram ter um custo menor, mesmo considerando o custo da mão de obra. Em relação aos materiais as lajes nervuradas demonstram ser mais atrativas em sua realização, pois a sua durabilidade e a deformação não se apresenta inferior às lajes maciças.

PALAVRAS-CHAVE: estruturas, tipos de lajes, projetos estruturais, Pavimentos.

ABSTRACT: This study compares and defines advantages and disadvantages between two types of slabs in order to contribute to decision-making when choosing between the conventional solid slab and the ribbed slab. The objective of the study is to understand the structures in smooth ribbed slabs and conventional solid slabs, highlighting the costs and benefits of both, thus seeking to identify the terms that characterize solid slabs and ribbed slabs, highlighting the costs and benefits of using solid or ribbed slabs. through a comparison and carry out a systematic review that allows expanding knowledge regarding the comparison between types of slabs. The method comprises the bibliographic review of publications related to Civil Engineering based on the analysis and carrying out a systematic review of digital publications. The research results show that ribbed slabs have a lower cost, even considering the cost of labor. In relation to materials, ribbed slabs prove to be more attractive in their construction, as their durability and deformation are not inferior to solid slabs.

KEYWORDS: structures, types of slabs, structural projects, pavements.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é altamente evolutivo e as edificações com lajes de concreto são as mais utilizadas pelos seres humanos, sendo essencial seu planejamento na elaboração de estruturas e pavimentação de edificações em todo o mundo. No entanto, esta elaboração necessita de estudos que permitam agregar qualidade e durabilidade nas diferentes aplicações, pois a ausência de cuidados específicos pode trazer problemas e desacertos catastróficos que colocam em risco a vida e a segurança das pessoas.

Com a modernização da construção civil, surgiram diversas técnicas construtivas que ao serem usadas permitem realizar construções mais econômicas sem deixar de atender as exigências do consumidor (BARBOZA, 2008). Assim, o uso de pavimentos com *layout* flexível permite melhorar a organização do espaço, calcular as estruturas a partir de tabelas mais flexíveis que aferem às estruturas mais consistência, neste aspecto as lajes tornaram-se mais econômicas por serem firmadas com vigas de seções razoáveis e pouco deformáveis. De acordo com Pinheiro (2010), essa modernização nos cálculos contribuiu para que fossem produzidas estruturas com lajes mais esbeltas, resistentes, diminuindo a quantidade de pilares nas obras e reduzindo a rigidez das mesmas.

Considera-se que a engenharia civil se abre para a inovação adotando diversos sistemas construtivos desenvolvidos para conciliar economia, qualidade, velocidade de execução e outros aspectos necessários ao desenvolvimento. A comparação entre os diferentes tipos de lajes é fundamental para contribuir na tomada de decisão na escolha entre a laje maciça convencional e a laje nervurada. Sendo assim, toma-se como objeto de estudo a laje lisa nervurada de concreto armado em comparação com a laje maciça.

O objetivo do estudo é avaliar comparativamente estruturas em laje nervurada lisa e estrutura em laje maciça convencional evidenciando os seus custos e benefícios. Assim, cabe identificar os métodos de execução que caracterizam as lajes maciças e lajes nervuradas; evidenciar os custos e benefícios no uso de lajes maciças ou nervuradas por meio de uma comparação e, realizar uma revisão sistemática que permita ampliar os conhecimentos a respeito da comparação entre lajes maciças e lajes nervuradas.

2. METODOLOGIA

Este estudo apresenta uma análise comparativa com abordagem qualitativa a partir de uma análise de conteúdo. Assim, para construir os conhecimentos foi necessário elaborar uma teoria a partir de revisão bibliográfica de conhecimentos publicados a respeito da comparação de lajes maciças com lajes nervuradas, além de analisar o projeto de uma construção em curso para compreender como e por que foi realizada a comparação de dois tipos de lajes para formalizar a tomada de decisão de qual seria aplicada na construção em curso.

A construção de conhecimentos a respeito da importância da tomada de decisão na aplicação de lajes maciças ou nervuradas que envolve os projetos de edificações na construção civil, foi realizada a partir de uma busca por publicações digitais com recorte temporal entre 2015 – 2024, na base de dados “Google Acadêmico”. A busca selecionou textos a partir dos descritores “Comparação de tipos de lajes”, “Lajes maciças” e “Lajes nervuradas” publicados em português.

A análise sistemática é ampla e pode incluir estudos diversos, experimentais e não-experimentais, que busquem compreender o fenômeno. Os dados da literatura teórica e empírica são comparados, assim, surge uma definição de conceitos de tipos de lajes e sua importância nos projetos de edificações, ocorre a revisão de teorias e evidências com abordagem da engenharia civil, e analisa os problemas metodológicos de um tópico particular.

A realização da busca resultou na seleção de 10 publicações selecionadas por meio da análise do título e do resumo, excluindo texto em língua estrangeira, artigos que estavam repetidos em mais de uma base de dados e textos que não se apresentaram relevantes para o tema em estudo. Desta forma, foram selecionados 10 artigos relacionados à comparação da viabilidade na construção civil com estruturas de lajes maciças e lajes nervuradas.

3. DESENVOLVIMENTO

Para realizar uma análise comparativa entre lajes maciças e lajes nervuradas, torna-se necessário compreender os conceitos que permeiam a engenharia de estruturas, pois se trata de um processo que pode variar de acordo com a função de cada laje no interior de uma edificação.

A definição de um sistema de lajes eficiente pode representar uma economia no processo construtivo, principalmente nas estruturas. Existem diferentes modalidades de sistema de lajes, por isso é importante conhecer cada sistema para realizar a opção correta para o tipo de edificação que se deseja construir.

Nas construções, os elementos estruturais básicos são formados por lajes, vigas, pilares e fundações, além de outros elementos como as estruturas de escadas, vigas, paredes, e outros elementos que servem para sustentar a obra e devem ser calculados por um engenheiro civil especializado em cálculo estrutural. De acordo com Vasconcelos (2004), as modalidades de lajes estão classificadas em lajes maciças convencionais, lajes protendidas e lajes nervuradas convencionais, cabendo ao construtor decidir o tipo de laje adequado as suas necessidades.

Para Leonhardt (2008), os elementos estruturais que servem como base de sustentação de uma construção precisam ser edificados com materiais adequados, assim recomenda-se que sejam construídos com aço e concreto, quando a obra for de concreto armado ou protendido, ou somente aço, se a edificação for totalmente de aço, ou somente madeira, se a edificação for totalmente de madeira.

O desafio de se construir estruturas surge da constatação de que a concepção estrutural apresenta variáveis e soluções múltiplas, assim é fundamental que seja realizado um projeto arquitetônico, onde estejam previstas as soluções estruturais, pois este apresenta restrições que contribuem para manter a funcionalidade observando também a estética do projeto (SOUZA, SOUSA JÚNIOR, 2023).

Carvalho e Pinheiro (2009), pontuam que a principal finalidade dos elementos estruturais é sustentar os demais elementos agregados ao espaço, tais como: paredes, pisos, janelas e portas, cerâmicas, revestimentos, metais, telhado, instalações, além da ocupação e cargas acidentais, por isso é importante dimensionar a edificação com lajes, pilares e vigas, de modo a garantir a sustentação segura de todos os elementos constitutivos.

Desta forma, cabe à engenharia civil posicionar as tubulações e indicar os recursos econômicos necessários ao desenvolvimento técnico da construção que serão viabilizados pelo incorporador, assim o engenheiro de estruturas pode elaborar um projeto definitivo e voltado para a qualidade total do empreendimento por meio de uma compatibilização de projetos, pois cabe ao arquiteto em conjunto com o engenheiro de estruturas contornar as dificuldades e solucioná-las. Esse processo contribui para realizar uma obra econômica e de resultados eficazes (LEONHARDT, 2008).

Sousa e Sousa Júnior (2023), pontuam que a laje é um elemento de concreto que tem três medidas ao todo, sendo o comprimento, a largura e a espessura a ser utilizada, o que a torna elemento de peso na estrutura e exige uma base de sustentação equivalente a sua pressão estrutural. Geralmente, a laje tem como apoio as vigas, mas é responsável por suportar as cargas que geram cisalhamento e momento fletor. As vigas e pilares são elementos que têm uma das medidas com maior comprimento.

As vigas são construídas horizontalmente na estrutura da edificação e sofrem cisalhamento e flexão, pois recebem as cargas da laje. Elas repassam as cargas para os pilares, colocados verticalmente sob as mesmas, o que lhes afere a ação de sofrer compressão, flexão e, até mesmo, torção. Os pilares são utilizados na vertical e repassam as cargas para as fundações, e estas, repassam a carga para o solo.

Bastos (2015), pontua que existe uma classificação de tipos de lajes adequada à funcionalidade e à necessidade de sustentação estrutural da edificação. Numa estrutura convencional onde as lajes sejam apoiadas em vigas, as lajes maciças nem sempre são indicadas, pois dependem da necessidade de vencer grandes vãos, uma vez que possuem peso próprio, assim usa-se a adoção de vãos médios mais econômicos, porém sem deixar de respeitar os limites mínimos de espessura, seguindo as determinações da NBR 6118 (ABNT, 2007).

As vantagens são representadas pela existência de muitas vigas que formam pórticos garantindo maior rigidez às estruturas, especialmente de contravento e por ser um método comum possui mão de obra treinada para sua execução. A execução de lajes nervuradas é estruturada com mesas de concreto, onde armaduras são responsáveis pelos esforços de resistência de tração, o que permite discretizar a zona tracionada em forma de nervuras, sendo a zona comprimida suportada em resistência pela mesa de concreto. As lajes nervuradas são igualmente determinadas pela NBR 6118/2007. Laje nervurada oferece como vantagem a redução do peso da estrutura pois diminui o volume de concreto, aumenta a inércia e aumenta a altura da laje (BASTOS, 2015).

Este tipo de laje vale-se de materiais inertes em sua execução pode-se usar formas perdidas ou reaproveitáveis elaboradas em forma de caixote, os materiais construtivos mais usados são o tijolo cerâmico, o bloco de cimento e o bloco de EPS (isopor), além disso, há caixotes que são feitos de propileno ou de metal. Assim, são

feitos painéis com vãos maiores que em lajes maciças, estes devem ser apoiados em vigas mais rígidas que as nervuras (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

Entretanto, a decisão do tipo de laje depende da também da condição do solo onde será realizada a edificação, pois dependendo da escolha haverá necessidade de se planejar uma fundação mais robusta, de forma que possa garantir a segurança da obra. O cálculo do impacto (espessura e custo) também é passível de variações, pois as vedações verticais internas podem ser executadas com alvenaria de blocos cerâmicos por divisórias *drywall* causa no elemento estrutural laje, assim, é importante simular no projeto diferentes geometrias com relação entre vãos menor ou igual a dois e situações de engastamento em sistemas de lajes distintos (BERTONCELLO et al. 2019).

Diante disso, é importante conhecer as definições das lajes em estudo para comparar suas funcionalidades, vantagens e desvantagens dentro da construção de estruturas de lajes.

A laje maciça convencional é uma placa de concreto armado, não possui uma grande espessura e tem como finalidade a capacidade de suportar grandes cargas. Este tipo de laje tem apoio nas suas extremidades e não tem continuidade nas lajes dos pavimentos vizinhos (BALBO, 2009).

As lajes maciças convencionais são as mais usadas e predominam em construções de edifícios residenciais, pois estes possuem vãos menores e forma simples. Geralmente, estas lajes possuem apoios constituídos por alvenarias ou vigas, considerando sempre a necessidade de fazer uma obra perfeita, com custo menor e em pouco tempo, assim é possível aproveitar a mão-de-obra e as ferramentas (BASTOS, 2006).

As lajes, em concreto armado ou pretendido, podem ser classificadas segundo diferentes critérios. A classificação se subdivide em 4 categorias identificadas como: quanto à secção transversal (maciça, nervurada); quanto à execução (moldada *in loco*, pré-moldada); quanto ao apoio (em vigas/alvenaria estrutural, em pilares) e quanto à armação (aramada em uma direção ou mais direções) (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

A NBR 6118:2014 define, no seu item 14.7.7, que são lajes nervuradas as que são moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cujas zonas de tração para momentos positivos estejam localizadas nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte. Este tipo de laje apresenta nervuras onde são concentradas as armações, assim pode-se colocar os materiais inertes com função de encher estes

espaços. Isto torna a forma simples e deixa a superfície inferior em condições de receber o acabamento por se apresentar lisa (VASCONCELOS, 2004).

Para Falcão (2020) a laje nervurada é constituída por um conjunto de vigas que se cruzam, solidarizadas pela mesa. Trata-se de um elemento estrutural que tem como comportamento intermediar o elemento da laje maciça e o elemento de grelha. Estas lajes são moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, contendo uma zona de tração para momentos positivos que se localizam nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte segundo estabelece o item 14.7.7 da NBR 6118 (ABNT, 2014, p.86).

As lajes nervuradas têm a função de reduzir o peso próprio e melhorar o aproveitamento do aço e do concreto. A resistência à tração é concentrada nas nervuras, e os materiais de enchimento têm como função substituir o concreto. As lajes nervuradas apresentam nervuras, que servem para sustentar placas com o intuito de reduzir a quantidade de concreto utilizado na laje (BERTONCELO et al., 2019).

Existem dois tipos de lajes nervuradas: as que são moldadas no local e as que são executadas com nervuras pré-moldadas. Todas as etapas de execução são realizadas *in loco*. Portanto, é necessário o uso de fôrmas e de escoramentos, além do material de enchimento. Pode-se utilizar fôrmas para substituir os materiais inertes (FALCÃO, 2020).

De acordo com Bertoncelo *et al* (2019), nos sistemas de lajes nervuradas moldadas no local com fôrmas removíveis, as fôrmas são uma importante parte, pois são elas que possibilitam a formação da laje nervurada sem material de enchimento, deixando vazios os espaços entre as nervuras. Falcão (2020) pontua que no começo da utilização desse sistema, a fôrma de madeira era a mais usada, porém o alto custo desse material e a busca por maior praticidade surgiram as fôrmas plásticas, atualmente opta-se mais pelas fôrmas plásticas, geralmente feitas de polipropileno.

Para Silva (2005), o uso de tais fôrmas apresenta várias vantagens, pois são reaproveitáveis, reforçadas internamente, com ótima precisão nas dimensões, leves, de fácil manuseio, não incorporam peso a laje, é possível realizar a desforma manual, sem ar comprimido e podem ser colocadas diretamente em cima do escoramento, dispensando o assoalho da laje. Atualmente, existem empresas que vendem ou alugam essas fôrmas, assim como sistemas de escoramento próprios para as mesmas.

Diante de tudo o que foi estudado, torna-se necessário compreender os processos de planejamento que conduzem à escolha do melhor tipo de laje estrutural para ser realizado numa construção. Assim, para conhecer projetos que indiquem a melhor opção de acordo com o tipo de construção, foi desenvolvida uma revisão sistemática de publicações que tenham como temática a comparação entre lajes maciças e lajes nervuradas.

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DE ESTUDOS COMPARATIVOS DE LAJES.

A revisão sistemática de textos com abordagem voltada à comparação entre lajes maciças e lajes nervuradas em edificações, parte de uma pesquisa no portal Google Acadêmico, utilizando os descritores “comparação de lajes maciças com lajes nervuradas”. Após a leitura dos resumos foram escolhidos 10 artigos entre os 30 primeiros selecionados no portal digital, sendo considerados artigos mais recentes e relacionados ao assunto em estudo.

As publicações analisadas foram selecionadas por assunto e com data de publicação entre os anos de 2016 a 2023, possibilitando à engenharia optar pelo sistema construtivo mais adequado e viável para uma edificação de qualquer porte. Os dez artigos selecionados são descritos no Quadro 1, a seguir, indicando a referência, o objetivo e os resultados de cada texto selecionado.

Quadro 1 – Síntese dos textos da análise sistemática

REFERÊNCIAS	OBJETIVOS	RESULTADOS
SOUZA, C.G.S.; LOPES, R. C. Estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas. Goiânia – GO: UFG, 2016	Analisar uma comparação entre lajes maciças e nervuradas enquanto elemento estrutural.	A laje nervurada pretendida apresentou altas taxas de armadura passiva, o que a tornou economicamente inviável para esse pavimento, pois aumentou consideravelmente o valor final com relação à laje nervurada convencional
SILVA Andréia Rodrigues da. Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado. Belo Horizonte – MG: UFMG, 2022	Comparar os custos de sistemas estruturais específico para pavimentos de concreto armado	O sistema com laje lisa nervurada preenchida com blocos de EPS é mais econômico, principalmente pelo menor consumo de aço decorrente do menor peso próprio da laje.
CUNHA, A.S.; ANDRADE, K.A.; SALOMÃO, P.E.A. Análise comparativa entre lajes maciças e lajes	Realizar uma análise comparativa entre lajes maciças e lajes nervuradas para	No estudo em questão, foi possível observar que as lajes nervuradas permitem vencer vãos maiores, porém para edificações de pequeno porte, onde as dimensões

REFERÊNCIAS	OBJETIVOS	RESULTADOS
nervuradas para edificações de pequeno porte. Teófilo Otoni – MG: UNIPAC, 2020	edificações de pequeno porte.	comumente são menores, a laje nervurada pode não ser a opção mais viável, por ser economicamente mais cara, levando em consideração o custo com a mão de obra na região
BERTONCELLO, P.S.; DULLIUS, C.M.; GUERRA, M.; COSTELLA, M.F.; PILZ, S.E. Comparativo técnico entre laje maciça e nervurada com vedação vertical interna em alvenaria ou <i>drywall</i> . Revista CIATEC – UPF, vol.11 (3), p.p.13-28, 2019	Demonstrar que a crescente demanda por economia, qualidade e sustentabilidade no mercado da construção civil possibilita o uso de novos materiais e métodos construtivos.	O estudo possibilitou realizar simulações, considerando a menor espessura necessária, em cinco dimensões de lajes com relação entre vãos menor ou igual a dois e em nove condições de contorno diferentes, com sistema de lajes maciças e nervuradas considerando carga de alvenaria ou <i>drywall</i> , o resultado foi obtido após a análise de 180 lajes e os resultados mostraram que no uso de lajes maciças ou nervuradas, a substituição da alvenaria por <i>drywall</i> é viável economicamente
ANDRADE, L.S. Análise comparativa da solução estrutural de um pavimento de edifício residencial em laje maciça e nervurada. Belo Horizonte – MG: UFMG, 2023	Realizar a análise comparativa para o pavimento térreo de um edifício residencial.	A partir dos estudos e comparações desenvolvidos entre as duas soluções para o pavimento térreo do edifício em questão, conclui-se que a opção em laje nervurada atende melhor no quesito de economia do empreendimento. Essa conclusão se baseia, principalmente, nos índices comparativos entre os quantitativos de consumo de concreto e aço das duas soluções, nos quais obteve-se resultado mais econômico para as lajes nervuradas.
GUIMARÃES, M.S.; SILVA, C. R. S.; SILVA, J.R.; SANTOS, I.F.; ZÚÑIGA, L.O. Comparativo da utilização de diferentes tipos de lajes em edifício de concreto armado. REVISTA MIRANTE, Anápolis (GO), v. 10, n. 1, jun. 2017.	Analizar a utilização de três tipos de laje em um edifício reticulado de concreto armado, ou seja, utilizando a laje maciça de concreto armado, laje nervurada com cubas plásticas e laje nervurada com vigota treliçada pré-moldada de concreto armado e blocos de EPS	Como cada critério analisado aponta uma laje como melhor escolha em função de suas características e vantagens, conclui-se que projetistas e construtores devem entrar em consenso a respeito de qual desses critérios deve ser priorizado em cada obra e assim escolher a laje que melhor atender.
LIRA, Vitor A. S.; TEIXEIRA, Roberto H. G. Análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas: estudo de caso no estacionamento do TCE-MA. Concreto & Construções, Ed. 106, Abr – Jun, 2022	Realizar uma análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas, realizando um estudo de caso no estacionamento do TCE-MA.	O questionamento sobre a viabilidade econômica entre os dois modelos de lajes apresentados pode ser satisfatoriamente respondido através deste estudo, pois evidenciou-se que, para o caso estacionamento do TCE-MA, o modelo de lajes nervuradas executado é mais econômico do que o modelo de lajes maciças (caso este fosse implantado no local), principalmente por conta do menor

REFERÊNCIAS	OBJETIVOS	RESULTADOS
FALCÃO, Balduíno Neto Pereira. Análise comparativa de custo entre a laje nervurada e maciça em Rio Verde - GO. Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.	Analizar uma obra de grande porte, um prédio residencial contendo 25 (vinte e cinco) pavimentos com o objetivo de apresentar qual a melhor metodologia de execução de lajes na cidade de Rio Verde – GO	Perante as análises, a laje nervurada apresentou um melhor desempenho no custo total e sim gerando economia em relação à laje maciça, uma das principais economias foi no quesito do volume de concreto utilizado, que aumentou a diferença no custo final.
BRUN, Tainara. Comparação entre lajes maciças e lajes nervuradas: análise econômica. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Bento Gonçalves, 2018.	Realizar análise econômica na comparação entre lajes maciças e lajes nervuradas.	As lajes nervuradas podem causar uma redução considerável no consumo de concreto e aço, dependendo do caso em que se aplica, e a economia com fôrma é significativa, pois este sistema permite um aproveitamento muito maior deste material. Este sistema também permite uma maior amplitude de vãos, proporcionando layouts mais flexíveis.
OLIVEIRA, Jordana Taveira, MACEDO, Poliana Francisca. Análise Comparativa entre Lajes Maciças Convencionais e Lajes Nervuradas, 2020 Goianésia – GO: FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA, 2020.	analisar comparativamente as lajes maciças convencionais e as lajes nervuradas, dimensionando suas respectivas áreas de aço e a quantidade de concreto.	O resultado obtido pode ser comprovado em Araújo (2014), que afirma que em geral as lajes nervuradas exigem uma espessura total h cerca de 50% superior à que seria necessária para as lajes maciças. Entretanto, o peso próprio da laje nervurada (e o consumo de concreto) é inferior ao da laje maciça, resultando em uma solução mais econômica para vãos acima de 8 metros aproximadamente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas, apresentado por Souza; Lopes (2016) pontua que a laje nervurada apresenta melhor aproveitamento dos materiais do concreto armado, que é elaborado, essencialmente, a partir do uso de aço e concreto. Assim, com o uso de laje nervurada ocorre a redução do peso próprio das estruturas, por isso, com o acréscimo de protensão, estas lajes podem vencer vãos maiores em estruturas mais esbeltas, apresentando vantagem em relação à laje maciça em concreto armado.

Silva (2022) realizou um estudo comparativo abordando os custos de sistemas estruturais específico para pavimentos de concreto armado. A autora estudou sistemas estruturais para o cálculo, visando detalhar pavimentos de concreto armado em três pavimentos de edifícios distintos, variando-se em cada um deles o sistema

estrutural utilizado. Os três pavimentos foram analisados considerando-se um sistema estrutural convencional, constituído de lajes maciças e vigas e, posteriormente, foram analisados como lajes lisas, maciças ou nervuradas, considerando que as lajes lisas nervuradas podem ter como materiais inertes blocos de poliestireno expandido (EPS) ou então blocos de concreto celular auto clavado. Foi possível reconhecer que na composição final dos custos dos pavimentos para cada solução adotada, estão incluídos materiais, fôrmas, mão-de-obra e tempo de execução, o que levou a observar resultados comparativos que explicam as diferenças encontradas entre os custos dos sistemas estruturais.

Uma análise comparativa entre lajes maciças e lajes nervuradas para edificações de pequeno porte foi desenvolvida por Cunha, Andrade e Salomão (2020).que consideram as lajes como elementos estruturais que realizam a transição entre pavimentos, e podem funcionar como teto ou dar suporte para contrapisos. Apoiam-se em vigas e pilares, que distribuem as cargas adequadamente até a fundação. Entretanto, a construção civil necessita de obras com estruturas mais esbeltas e com vãos maiores, o que levou ao surgimento do concreto protendido como aliado ao menor peso das lajes nervuradas e tornou possível vencer vãos maiores, esse processo resultou numa vantagem em relação à laje maciça convencional. Assim, o estudo quantificou as vantagens desses dois métodos construtivos, apresentando como vantagem a redução do peso das lajes pelo uso da laje nervurada, possibilitando construir edificações mais esbeltas, vencer vãos maiores, o que é uma viabilidade para edificações de pequeno porte.

O estudo comparativo técnico entre laje maciça e nervurada com vedação vertical interna em alvenaria ou *drywall* apresentado por Bertoncelo *et al.* (2019) demonstra que a crescente demanda por economia, qualidade e sustentabilidade no mercado da construção civil possibilita o uso de novos materiais e métodos construtivos. A análise demonstra que em vedações verticais internas, pode-se substituir a alvenaria convencional realizada em blocos cerâmicos por divisórias em *drywall* como uma alternativa. Esse processo construtivo proporciona maior organização e redução de resíduos gerados na construção. Observou-se mudança em relação à espessura e custo que a substituição por divisórias *drywall* gera no elemento estrutural laje. Ao realizar simulações, considerou-se a menor espessura necessária, em cinco dimensões de lajes com relação entre vãos menor ou igual a dois e em nove condições de contorno diferentes, com sistema de lajes maciças e

nervuradas considerando carga de alvenaria ou *drywall*, o resultado foi obtido após a análise de 180 lajes e os resultados mostraram que no uso de lajes maciças ou nervuradas, a substituição da alvenaria por *drywall* é viável economicamente, considerando o custo dos materiais necessários para construção das lajes, ocorrendo situações em que ambas as lajes são viáveis.

A análise comparativa da solução estrutural de um pavimento de edifício residencial em laje maciça e nervurada realizada por Andrade (2023) desenvolveu um projeto estrutural que preza pela segurança e aceitabilidade sensorial da edificação, além de considerar a economia na construção. A análise comparativa para o pavimento térreo de um edifício residencial, foi realizada com modelagem do edifício no software TQS, apresentando duas propostas viáveis para a estrutura considerando os consumos de fôrma, aço e concreto em cada solução e comparando os resultados de flechas no pavimento e estabilidade global do edifício, para concluir que as duas opções são viáveis para a solução estrutural mais econômica.

O estudo comparativo da utilização de diferentes tipos de lajes em edifício de concreto armado realizado por Guimarães *et al.* (2017), parte da análise da utilização de três tipos de laje em um edifício reticulado de concreto armado, ou seja, utilizando a laje maciça de concreto armado, laje nervurada com cubas plásticas e laje nervurada com vigota treliçada pré-moldada de concreto armado e blocos de EPS. Foram analisados três projetos estruturais para a mesma planta baixa, uma para cada tipo de laje, por meio de um software comercial. Os critérios de comparação compreendem o comportamento da estrutura, os quantitativos de materiais e a carga na fundação e custos, apontando a melhor escolha, devido às funções, características e vantagens. Assim, em relação ao comportamento da estrutura, as lajes maciças e nervuradas com cubas plásticas demonstraram melhores resultados, a laje com vigotas e EPS apresentou menor índice de consumo de materiais total em kg/m³. Desta forma, na carga da fundação, a laje nervurada com cubas plásticas apresenta o menor valor, enquanto nos custos totais, o melhor resultado é da laje com vigotas e EPS.

Lira e Teixeira (2022) realizaram uma análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas, realizando um estudo de caso no estacionamento do TCE-MA. Os autores consideraram que quando se trata de lajes em concreto armado, cada modelo estrutural possui características diferentes, especialmente, em relação à forma de execução, geometria, materiais empregados, consumo de materiais, custos, tempo de execução, entre outros. Desta forma, questionou-se o modelo estrutural de laje

nervurada utilizado na construção do estacionamento do Tribunal de Contas do Estado do Maranhão (TCE-MA) analisando se possui alguma vantagem em relação ao modelo estrutural de laje maciça. Assim, definir qual das lajes apresenta a melhor viabilidade econômica, concluindo que o modelo de laje nervurada construído no Tribunal de Contas do Estado do Maranhão é mais econômico que o modelo de laje maciça, pois apresenta menor consumo de materiais e acarreta menor custo final e economia na estrutura.

A análise de Falcão (2020), considerou as etapas e a metodologia da execução realizada em ambas as lajes em uma obra de grande porte, um prédio residencial contendo 25 (vinte e cinco) pavimentos com o objetivo de apresentar qual a melhor metodologia de execução de lajes na cidade de Rio Verde – GO. Foram analisados os custos diretos entre os materiais selecionados (aço e concreto), as quantidades de materiais necessários para o desenvolvimento da obra, conforme previsto nos projetos estruturais, também foi realizada a cotação dos materiais nos estabelecimentos comerciais de construção do município, cotando três preços de cada material e utilizando a média aritmética entre eles. Assim, foi possível prever qual laje apresenta o melhor custo. Os resultados demonstram que a laje nervurada apresenta o menor custo em relação a laje maciça, ganhando na economia de concreto, o que a torna a responsável pelo custo final da edificação. Desta forma conclui-se que a laje nervurada apresenta economia referente aos materiais analisados aço e concreto. Observou-se economia no todo da obra e não apenas em uma unidade habitacional, assim ao considerar os 26 (vinte e seis) pavimentos encontra-se uma economia relevante.

Brun, (2018), ao realizar análise econômica na comparação entre lajes maciças e lajes nervuradas pontua que, atualmente, a indústria da construção civil sente necessidade de desenvolver técnicas inovadoras que possibilitem atender às necessidades arquitetônicas, como flexibilidade de *layout*, ambientes mais amplos, e estruturas mais esbeltas. Essas técnicas não podem tornar a estrutura inviável economicamente, mas proporcionar o melhor custo-benefício. Assim, com o auxílio do software *Eberick V9*, para verificar a viabilidade econômica das duas técnicas construtivas, foi possível comparar o consumo de materiais e seu custo total. Foi analisado, um edifício de 13 pavimentos e verificou-se que a estrutura de lajes nervuradas onera o custo do sistema em 10%, tendo um consumo maior de concreto e aço, fazendo com que a solução com lajes maciças apresente o melhor custo-benefício.

Para Oliveira e Macedo (2020), atualmente vários países têm se aperfeiçoado no processo de evolução de novas técnicas construtivas, conduzindo ao surgimento de novos métodos que garantam o melhor desempenho das edificações. Assim, surgiram dificuldades enfrentadas pela engenharia civil que implicam na decisão sobre qual sistema estrutural é o mais adequado para cada edificação. Desta forma, o estudo foi realizado para analisar comparativamente as lajes maciças convencionais e as lajes nervuradas, dimensionando suas respectivas áreas de aço e a quantidade de concreto. Uma investigação bibliográfica em livros e artigos juntamente com as especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas, contribuiu para que fosse desenvolvido o passo a passo do pré-dimensionamento, especificando a resistência característica à compressão do concreto para ambas as lajes.

A estrutura com laje maciça apresenta alto consumo de aço e concreto, em comparação com a laje nervurada, com uma área de aço com cerca de 72% mais elevada e uma quantidade de concreto com aproximadamente 51% a mais que a laje nervurada. Isso decorre do peso próprio da laje maciça, que ao ser executada sem nervuras, não possui vazios e seu peso próprio é mais elevado, e somando com cargas permanentes e variáveis apresenta um carregamento maior, contendo uma área de aço maior em relação à laje nervurada, que possui nervuras onde não é necessário o uso de aço nem de concreto. Tanto em lajes que usam EPS como nas que utilizam cubetas, esses materiais são inertes e podem ser retirados após a cura da laje. Porém, também existem fatores não favoráveis ao emprego dessa laje, sendo a falta de mão de obra qualificada a que mais se destaca, pois faz com que o uso de lajes nervuradas se torne inviável devido ao custo (OLIVEIRA; MACEDO, 2020).

Analizando os estudos que revisados percebe-se que diferentes autores chegam a um consenso a respeito do uso de lajes maciças e lajes nervuradas, onde não se pode admitir improviso, mas realizar o projeto previamente e testar a opção para certificar-se da análise e opção correta.

Souza; Lopes (2016) estudaram lajes nervuradas e de protensão, analisando uma revisão bibliográfica dos principais critérios utilizados na opção para projeto de lajes nervuradas em concreto armado e protendidas. Seus estudos estiveram voltados para o aprendizado e aplicação das equações obtidas na revisão e que foram usadas como Modelo de Referência, realizando um modelo simétrico menor, com o auxílio do software SAP2000®. Da mesma forma, foi utilizado o software TQS para fazer a opção para o tipo

de pavimento e realizar o dimensionamento apenas para as lajes nervuradas, em concreto armado e protendida, obtendo dados a partir das comparações propostas.

Ao conceber uma estrutura, Silva (2020) considera que é necessário desenvolver conhecimentos relacionados aos vários sistemas estruturais que existem e podem utilizados nas construções. Para esta autora, é fundamental que engenharia se dedique ao domínio do *software* mais adequado para ser empregado no cálculo é preciso conhecer os critérios e os modelos apresentados no *software*, de forma a saber adequar cada modelo estrutural (físico) ao modelo matemático. Somente a partir desse processo, é possível realizar a opção pelo sistema estrutural que seja economicamente viável, balizado por diversos fatores, adequado na composição dos custos, incluindo fatores tais como mão-de-obra, tempo de execução, equipamentos, materiais necessários e a reutilização das fôrmas quando fizer a opção por lajes nervuradas.

A Teoria das Grelhas é um conhecimento teórico muito importante, pois permite analisar os deslocamentos e esforços nas lajes, considerados essenciais por Cunha, Andrade e Salomão (2020). A partir da análise de grelha foi possível garantir a segurança do edifício no qual estes autores realizaram suas comparações. Eles observaram que as lajes nervuradas permitem vencer vãos maiores, mas nem sempre este sistema é apropriado para edificações de pequeno porte, pois a mão de obra pode onerar o sistema.

Bertoncelo et al (2019) ao comparar lajes nervuradas e lajes maciças com diferentes elementos de vedação, consideraram diversas geometrias e diferentes condições de contorno, suas análises consideraram as relações de vão/espessura que podem servir de apoio na estimativa de espessura inicial para o pré-dimensionamento do elemento, além de analisar o aumento dos limites de deslocamento e ângulo de giro possíveis com uso do *drywall*, para diminuir a carga e deslocamentos que proporcionam a redução da espessura das lajes e da quantidade de concreto reduzindo o custo dos materiais para construção da laje.

Andrade (2023) a partir dos estudos e comparações desenvolvidos entre as duas soluções para o pavimento térreo de um edifício concluiu que a opção em laje nervurada atende melhor no quesito de economia do empreendimento. Sua conclusão baseou-se nos índices comparativos entre os quantitativos de consumo de concreto e aço das duas soluções comparadas, pois o resultado apresentou-se mais econômico para as lajes nervuradas.

Guimarães et al (2017) pontuaram que a utilização de lajes nervuradas, seja com cubas plásticas ou com vigotas, é uma opção que possibilita a execução de edifícios com lajes de alturas maiores do que as obtidas com o uso de lajes maciças sem aumentar o consumo de concreto. Isso se deve à utilização de materiais de enchimento, de forma a eliminar o concreto abaixo da linha neutra. A partir do uso de um *software*, foi possível perceber que cada tipo de laje precisou de uma altura diferente para que o edifício possa atender aos critérios de projetos. Assim, em relação ao comportamento da estrutura, a laje maciça e a nervurada com cubas plásticas se apresentaram como melhores escolhas para o edifício estudado, o que permitiu que se chegasse à rigidez com peças estruturais mais esbeltas, aumentando a área útil de apartamentos, o que tornou o projeto estudado, mais interessante do ponto de vista comercial.

Lira e Teixeira (2022) concluíram em sua análise que o modelo estrutural de lajes nervuradas é indicado quando há a necessidade de vencer grandes vãos, sendo também interessante sua utilização em caso de elevadas cargas atuantes em garagens elevadas que precisam suportar a carga de veículos. Entretanto, em casos de pequenos vãos (4 a 6 metros) e para cargas pequenas (utilização residencial) este modelo estrutural pode não ser o mais econômico a ser utilizado. Os autores não indicam o uso de lajes nervuradas para regiões de lajes em balanço, pois o modelo de lajes nervuradas, pode proporcionar a inversão de momentos fletores, uma vez que a parte inferior da laje (na região das nervuras) não possui a resistência à compressão como nas lajes maciças.

Falcão (2020) considera que a análise de custo é de extrema importância para construção de qualquer empreendimento residencial ou não. Dessa análise depende a geração de economia na construção, além da redução da quantidade de materiais utilizados na obra, e mais ainda, considerando que o setor da construção civil é um dos principais produtores de resíduos atualmente, o que apresenta também um custo ambiental. O comparativo do custo geral dos materiais mostrou que a laje nervurada apresentou uma maior economia em relação a laje maciça, como se pode observar quando se analisa o prédio como um todo, há uma enorme economia, o que representa um valor significativo no custo final da obra.

Brun (2018) ao analisar as diferenças que a escolha de lajes nervuradas implica no custo da estrutura de um edifício de uso misto em concreto armado, realiza uma comparação com lajes maciças, e esclarece se esta escolha apresenta vantagens

econômicas. A autora considera que as lajes nervuradas podem causar uma redução considerável no consumo de concreto e aço, e a economia com fôrma é significativa, pois este sistema permite um aproveitamento muito maior deste material. Além disso, o sistema permite maior amplitude de vãos, proporcionando *layouts* mais flexíveis. Assim, as informações e análises apresentadas sobre o sistema estrutural com lajes nervuradas demonstra que se tornou desvantajoso economicamente, pois é 10 % mais oneroso do que o sistema com lajes maciças, necessitando de um consumo muito maior de concreto e armadura. Com o uso de fôrma esse sistema apresentou vantagem, porém não o suficiente para torná-lo vantajoso, demonstrando em seu estudo que as lajes maciças apresentam maior custo benefício.

O estudo realizado por Oliveira e Macedo (2020) limitou-se a uma revisão bibliográfica em que foram apresentados os dois sistemas estruturais bastante conhecidos e utilizados em canteiros de obras, as autoras limitaram-se a mostrar seus respectivos métodos de cálculo para dimensionamento, vantagens e desvantagens, expondo o assunto de forma comparativa entre os dois métodos construtivos de maneira gera. As análises apresentadas limitam-se a identificar a viabilidade econômica e sua influência nos aspectos construtivos. No entanto, é possível perceber a importância que um estudo criterioso apresenta em relação à determinação da alternativa mais adequada para uma edificação e o quanto essa escolha da laje implica nos custos finais da obra.

Enfim, analisando os diferentes estudos apresentados nesta revisão, percebe-se que as análises apresentam diferenças em seus resultados, existe a influência da quantidade de aço e de concreto entre as lajes, além da mão de obra exercer uma forte pressão sobre o custo final de cada obra, especialmente, quando se trata de edificar lajes nervuradas. Outro fator que se configura como diferencial é a geração de resíduos na construção civil, o que representa risco ambiental, principalmente ao considerar que a utilização de fôrmas na execução de lajes nervuradas permite a reutilização e reaproveitamento de material em outras obras, o que pode ser considerado como diferencial favorável.

Diante disso, é importante incentivar mais pesquisas sobre os projetos as comparações de custo benefício entre as lajes maciças e nervuradas de modo a tornar os projetos cada vez mais profícuos, permitido redução de uso de materiais e garantindo a segurança na edificação com lajes.

4. CONCLUSÃO

O estudo apresentado identificou os métodos de execução visando esclarecer sobre a execução de dois tipos de lajes, as lajes maciças e as lajes nervuradas, isto permitiu comparar as técnicas de elaboração de cada tipo descrito, além de embasar a comparação determinando os benefícios dos dois tipos de lajes apresentando as vantagens desvantagens de cada uma.

Para ampliar os conhecimentos foi realizada uma revisão sistemática de 10 textos de publicações digitais publicados no site Google Acadêmico, cuja pesquisa deu-se a partir do uso dos descritores ‘comparação’, ‘lajes maciças’ e ‘lajes nervuradas’, com data de publicação entre 2015 a 2024 e publicados em língua portuguesa. Os textos foram lidos e separados por título, seus resumos analisados, selecionando 10 textos para serem revisados sistematicamente, o que serviu para identificar conceitos, teorias e firmar as experiências já realizadas por outros pesquisadores da engenharia estrutural civil.

As publicações analisadas demonstram que a opção pelo melhor tipo de laje é significativa no custo final das edificações, além de demonstrar que a maioria dos textos identifica a laje nervurada como viável em relação ao custo e as lajes maciças viáveis em relação à resistência. A viabilidade de custo no resultado final da obra é analisada como um todo e os pesquisadores consideram que o único fator que onera a laje nervurada em relação à laje maciça é ao custo de mão de obra.

Outro aspecto a ser considerado é a segurança e a qualidade das estruturas, pois dependendo do tipo de laje não é adequado para lajes que vão servir de piso ou base para cargas em grandes vãos, o que pode colocar em risco a segurança da edificação ou comprometer a funcionalidade da mesma.

A laje nervurada apresenta vantagem em relação à laje maciça, pois o gasto de materiais é menor, seu desempenho quanto a deformação foi melhor, pois não necessita de uma fundação mais robusta em virtude de seu peso ser menor. Entretanto, um outro quesito tão importante quanto o gasto com materiais, é a mão de obra, e compor o custo com mão de obra é atividade complexa quando se trata de executar uma laje nervurada, pois exige mão de obra especializada. Assim, o levantamento de custos e comparação com a economia de materiais no uso da laje nervurada pode ser tema a ser aprofundado em relação aos custos de mão de obra.

Por tudo o que foi estudado, comprehende-se que cada construção possui características específicas de opção para colocação de lajes, o que rende à engenharia a responsabilidade de calcular a função da obra e a capacidade de carga para evitar desperdício de material e não comprometer a segurança da edificação.

Diante disso, conclui-se que este estudo contribui para a modernização e ampliação de conhecimentos, pois demonstra que a engenharia civil se encontra em evolução e seus profissionais promovem diferentes possibilidades de renovar os conhecimentos a partir de buscas e pesquisas realizadas sobre assuntos inovadores.

Entretanto, é importante reconhecer que o planejamento de um sistema de lajes não pode ser realizado apenas com análises de bases teóricas, é necessário que haja publicações de experiências assertivas e de práticas que reforcem as técnicas de planejamento, de forma a facilitar a apresentação de atividades e cálculos que permitam escolhas adequadas de sistemas de lajes.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de Estruturas de Concreto – NBR 6118:2014**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, RJ: 2007.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14859.1 Laje Pré Fabricada Requisitos Parte 1 Lajes Unidireccionais**. Rio de Janeiro – RJ: ABNT, 2002

ALBUQUERQUE, A.T. **Análise de alternativas para edifícios em concreto armado**. 1999. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999

ANDRADE, L.S. **Análise comparativa da solução estrutural de um pavimento de edifício residencial em laje maciça e nervurada**. Belo Horizonte – MG: UFMG, 2023

ARAÚJO, J. M. - **Curso de Concreto Armado**. Vol. 3. Editora Dunas, Rio Grande - RS, 2003

BALBO, J.T. Pavimentos de concreto. São Paulo; Oficina deTextos. 2009

BARBOZA, M. R. Traços de concreto para obras de pequeno porte. *Concreto e Construção*, v. 36, p. 32-36, 2008.

BASTOS, P. S. D. S. Lajes de concreto. *Bauru: UNESP*, 2015

BERTONCELLO, P.S.; DULLIUS, C.M.; GUERRA, M.; COSTELLA, M.F.; PILZ, S.E. **Comparativo técnico entre laje maciça e nervurada com vedação vertical interna em alvenaria ou drywall**. Revista CIATEC – UPF, vol.11 (3), p.p.13-28, 2019

BRUN, Tainara. **Comparação entre lajes maciças e lajes nervuradas**: análise econômica. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Bento Gonçalves, 2018.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. (2007). Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118. São Carlos, SP: *EdUFSCar 3^a Edição*.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCAR, 2015.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. São Paulo: PINI, 2009. 2 v. 589 p.

CUNHA, M.O. **Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação Treliçada**. 2012. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CUNHA, A.S.; ANDRADE, K.A.; SALOMÃO, P.E.A. **Análise comparativa entre lajes maciças e lajes nervuradas para edificações de pequeno porte**. Teófilo Otoni – MG: UNIPAC, 2020

FALCÃO, Balduino Neto Pereira. **Análise comparativa de custo entre a laje nervurada e maciça em Rio Verde - GO**. Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

FUSCO, P.B. Técnicas de armar as estruturas de concreto. São Paulo, Pini, 2008.

GUIMARÃES, M.S.; SILVA, C. R. S.; SILVA, J.R.; SANTOS, I.F.; ZÚÑIGA, L.O. **Comparativo da utilização de diferentes tipos de lajes em edifício de concreto armado**. REVISTA MIRANTE, Anápolis (GO), v. 10, n. 1, jun. 2017.

LEONHARDT, F. Construções de concreto: princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

LIRA, Vitor A. S.; TEIXEIRA, Roberto H. G. **Análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas**: estudo de caso no estacionamento do TCE-MA. Concreto & Construções, Ed. 106, Abr – Jun, 2022

MENDES, Bruno José; OLIVEIRA, Luís Cesar de; "Análise Comparativa entre os Modelos de Lajes: Maciça, Nervurada e Treliçada Unidirecional", p. 8-9. In: Anais do 8º Encontro de Tecnologia: Empreendedorismo, Inovação e Sustentabilidade [= Blucher Engineering Proceedings, v.1, n.3]. São Paulo: Blucher, 2015.

OLIVEIRA, Jordana Taveira, MACEDO, Poliana Francisca. **Análise Comparativa entre Lajes Maciças Convencionais e Lajes Nervuradas**, 2020 Goianésia – GO: FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA, 2020.

PINHEIRO, L. M. Lajes Maciças. São Carlos, São Paulo: EESC, 2010

SILVA Andréia Rodrigues da. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado**. Belo Horizonte – MG: UFMG, 2022

SOUZA, C.G.S.; LOPES, R. C. **Estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas**. Goiânia – GO: UFG, 2016

SOUZA, Alan Marcos Ribeiro de; SOUSA JUNIOR, Leondiniz Gomes de. **Alvenaria estrutural abordagem dos blocos de cimento em construção comercial, industrial e pública**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.12, 2023

VASCONCELLOS, J. C. Concreto Armado, Arquitetura Moderna, Escola carioca: levantamento e notas. 2004. Dissertação (Programa de Pós-Graduação e pesquisa em arquitetura) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.



CAPÍTULO

02

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE USED IN ANONYMISED SEARCH AND SEIZURE CASES: ACQUISITION, EXAMINATION AND ANALYSIS

Fabio Vivan Grigollo

Doctorate Student in Research Specialty Projects
Universidad Internacional Iberoamericana (UNIB)
E-mail: fabio.vivan@doctorado.unib.org

Roberto Fabiano Fernandes

Doctor in Engineering and Knowledge Management
Universidad Internacional Iberoamericana (UNIB)
E-mail: roberto.fabiano@unib.org

ABSTRACT: It is discussed that within the production of digital evidence, the use of forensic software to support the acquisition, examination and analysis of evidence in a correct manner plays a role of great importance, mainly to maintain the credibility of evidence and its acceptance in the judiciary. The objective is to evaluate a sample of real judicial search and seizure cases that occurred between 2014 and 2023, presenting the forensic software used in each stage of each evaluated case. A random selection of one case will be made for each year, with anonymised data, to carry out a continuity analysis of the software used. The article seeks to identify whether these softwares remain current or whether it has been discontinued, outdated or replaced over the selected sampling period. The research is structured in operational stages, starting with the selection of cases until the analysis of software continuity, revealing a predominance of software with current *status* and indicating a tendency to update technological solutions in the field of digital forensics. The results also highlight the need for periodic reviews of the solutions that exist in the market. Based on the sample analyzed, the software evaluated shows, in their majority, continuity, with 87.5% of the solutions considered current when adding the software current and replaced. This study contributes to the understanding of the evolution of forensic software by offering details on the *status* of continuity of such software for the digital evidence production process and the respective credibility of the acceptance of evidence in the judicial environment.

KEYWORDS: forensic computing, forensic software, proof production, chain of custody.

RESUMO: Aborda-se que dentro da produção de provas digitais, o uso de softwares forenses para apoio a aquisição, exame e análise de evidências de forma correta desempenha um papel de grande importância, principalmente para manter a credibilidade das provas e a sua respectiva aceitação no poder judiciário. Objetiva-se avaliar uma amostra de casos judiciais de busca e apreensão reais que ocorreram entre 2014 e 2023, apresentando os softwares forenses utilizados em cada etapa de cada caso avaliado. Será feita uma seleção aleatória de um caso para cada ano, com dados anonimizados, para realizar uma análise de continuidade dos softwares utilizados. O artigo busca identificar se estes softwares continuam vigentes ou se

foram descontinuados, desatualizados ou ainda substituídos ao longo do período da amostragem selecionada, que abrange dez anos. A pesquisa encontra-se estruturada em etapas operacionais, iniciando pela seleção de casos até a análise de continuidade dos softwares, revelando uma predominância de softwares com *status* vigente e indicando uma tendência de atualização das soluções tecnológicas no campo da forense digital. Os resultados também evidenciam a necessidade de revisões periódicas das soluções que existem no mercado. Com base na amostragem analisada, os softwares avaliados demonstram, em sua maioria, uma continuidade, com 87,5% das soluções consideradas atuais quando se somam os softwares vigentes e substituídos. Este estudo contribui para a compreensão da evolução dos softwares forenses, oferecendo detalhes sobre o *status* de continuidade desses softwares para o processo de produção de provas digitais e a respectiva credibilidade da aceitação das evidências no âmbito judicial.

PALAVRAS-CHAVE: computação forense, softwares forenses, produção de provas, cadeia de custódia.

1. INTRODUCTION

With the increase in judicial cases involving unfair competition, intellectual property crimes and piracy, the adoption of search and seizure procedures has become more frequent. In these cases, magistrates as protocol appoint court aides to conduct, among others, the activities of acquisition, examination and analysis of evidence. It is of paramount importance that these procedures are carried out correctly, as any error can reduce the credibility of the evidence and even invalidate its use as evidence in court proceedings.

In cases that involve producing evidence in digital format, besides the technical knowledge of the professionals in the area, the forensic software is of great relevance for the level of success of these stages. In recent years, the evolution of these software has been fundamental for the proper execution of forensic activities, considering that as the technologies advance, the software must also advance rapidly towards the new technologies, otherwise it may become obsolete or have its use limited or reduced in specific scenarios.

This article aims to evaluate a sample of cases and present the forensic software used in specific steps of the forensic process in these cases, from acquisition to analysis of evidence. One case per year, from 2014 to 2023, will be randomly selected for this analysis. The article will present an analysis of the data coming from these cases in anonymised form, as far as the software used in each stage is concerned.

The objective is to identify the software and its versions used in the last ten years, respecting the selected samples and thus to verify whether this software remains current or has been discontinued, whether or not it has been outdated or replaced throughout the selected sampling period.

As a result, it will be possible to understand what software has accompanied technological evolution in this period, maintaining its continuity.

The purpose of this study is to enable professionals in the field and researchers to have access to historical data and the *status* of the level of update of the software collected from the samples relative to the real cases evaluated.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 CONCEPTS AND STEPS

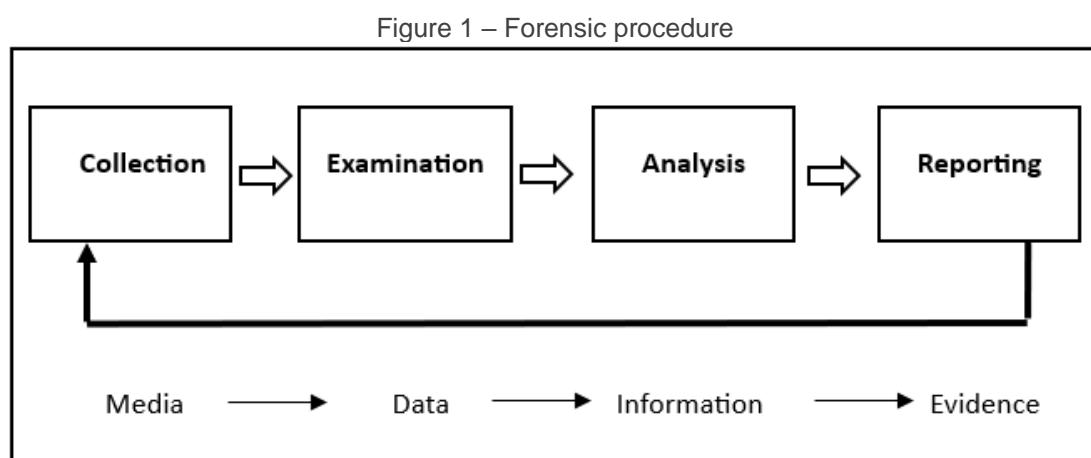
Voronkova (2011) describes computer crime as illegal acts committed via computers or related technologies, categorized as crimes that use the computer as a tool, like malware, as well as crimes where the computer is the target, like online fraud.

Ramadhan, Setiawan and Hariyadi (2022) differentiate between static forensics, which analyzes data from nonfunctioning devices focusing on rebuilding past activities, and active forensics that collects evidence from devices in use, providing access to real-time data but at risk of changing evidence.

Castellanos (2017) explores key concepts in digital forensics, including forensic imaging, an exact replica of data for investigation, the complete image, a copy of all sectors of a device, the partial image, a copy of specific data, the hash function, an algorithm that generates a unique code for files and evidence container, a storage location for digital evidence.

Campos, Gomes and Martins (2016) show that forensics aims to collect important evidence for decisions in the civil and criminal spheres.

Ramadhan *et al.* (2022) explain that the digital forensics process is based on NIST SP 800-86, due to its efficiency in handling digital evidence. The process begins with the collection, going on to the examination and analysis of the electronic data, until the reporting stage, which documents the analytical findings in detail, as shown in Figure 1.



Source: Adapted from Ramadhan *et al.*, 2022, p. 164.

Cantore (2014) discusses the distinction between evidence and proof in the legal forensic context. Evidence is defined as any physical element, mark, or clue that may contribute to reconstructing a crime, identifying the perpetrator, or linking the perpetrator to the site and victim, often requiring laboratory analysis. Evidence, on the other hand, refers to the evidence that is used in court to substantiate arguments of the accusation or defense.

Cuomo, D'Agostino and Ianuiado (2022) highlight the importance of differentiating physical acquisition from logic in data collection, detailed in Table 1. Physical acquisition creates an exact replica of the device, ideal for detailed analysis, including deleted data, when accessing non-active memory. Logical acquisition, more technical, uses specific software to extract data, including file system and application content, and relies on tools like Kies oriTunes, depending on the device.

Table 1 – Acquisition

In physical acquisition, an image of the system is created;	In filesystem capture, compression is used, like ".zip";	In logical acquisition, it focuses on media files and backups.
---	--	--

Source: Adapted from Cuomo *et al.* (2022).

2.2 FORENSIC SOFTWARE

Córdova and Rivera (2017) highlight that for judicial data analysis, forensic computer experts use specific software to preserve and examine digital evidence on demand from judicial authorities.

Campos *et al.* (2016) point to a certain amount of software for extracting data from devices, highlighting the options of free and open source software for its simplicity. These tools are essential in the practice of digital forensics.

Parizotto, Neves and Pinheiro (2022) mention software that assists in the forensic investigation steps described in Table 2.

Table 2 – Supporting Software

Software	Description
Forensic Toolkit	Forensic software with features focused on forensic investigations.
Encase	
Guymager	Free software for forensic imaging.

Source: Adapted from Parizotto *et al.* (2022).

Table 3 highlights, based on Medeiros and Torres (2020), some open source software useful for supporting the collection, examination, analysis and reporting steps.

Table 3 – Software Functionality Per Step

Software	Collection, Examination, Analysis, and Reporting
KALI	Feature present
FDTK	Feature present
CAINE	Feature present
PERIBR	Feature present
DEFT	Feature present

Source: Adaptado de Medeiros and Torres (2020, p. 18).

Brasil (2023) details tools for identification, collection, acquisition and preservation according to ISO 27037:2013, emphasizing the need for a judicial warrant for the legality of digital forensic investigation. The importance of the operation being conducted effectively and legally by the delegates and experts, according to Brazilian legislation, is emphasized.

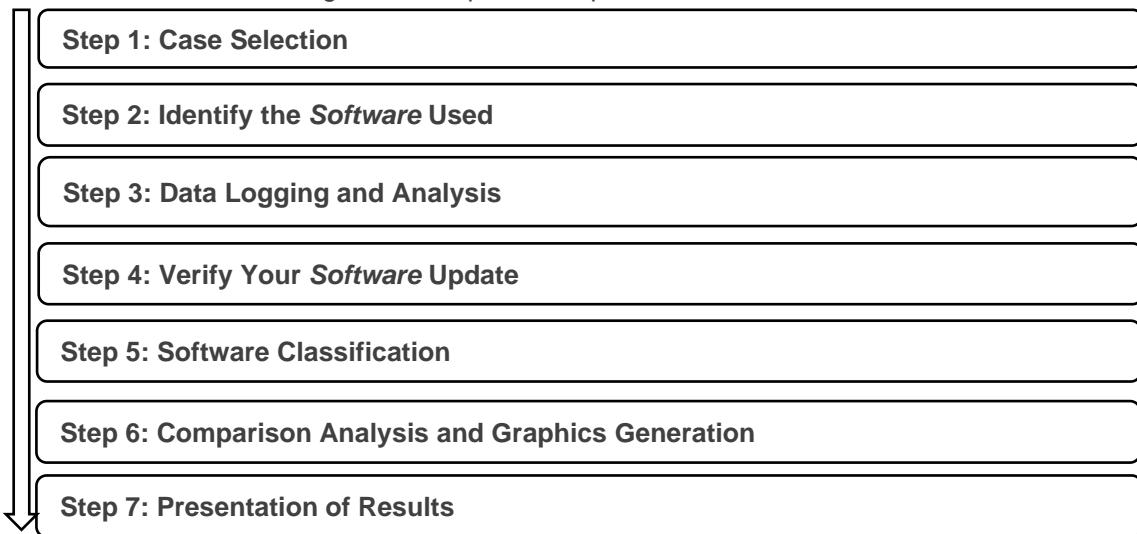
According to an analysis of the work of Neto and Santos (2020), among the steps brought in their studies related to the chain of custody and the respective validity of the evidence at the moment of the forensic investigation, are the collection and processing of the evidence.

Thus, evaluating the studies of the authors brought in this chapter, it is found that the use of forensic software as support tools in the stages of the forensic process is an indispensable and fundamental practice in this area, serving as a means of support for the acquisition, examination and analysis of digital evidence.

3. SEARCH OPERATION

This chapter will present the steps, procedures and criteria that will support the conduct of a comparative analysis of software samples used in cases of anonymised search and seizure, specifically considering the software used in the forensic stages of acquisition, examination and analysis of digital evidence. These procedures and criteria occur according to the descriptions of each step of the operationalization of the survey, as shown in Figure 2.

Figure 2 – Steps in the operationalization of research



Source: From the author.

The first step is the selection of court cases, specifically related to search and seizure procedures and that took place between 2014 and 2023. For this purpose, a randomly selected sample is used, taking one case per year from a private information base. These cases are anonymised to ensure the privacy and protection of this information, as well as the security of this information in relation to confidentiality.

After the selection of the cases, in the second stage, the identification of the forensic software used in each stage of the previously selected cases is done.

This procedure demands the consultation of internal records and the application of point filters, like the modality of the case, the data source, date, country, forensic steps used and the use of specialized software in the case.

In the third step the collected data is recorded in files with extension ".csv", containing point information about the selected cases, such as the software used and their respective versions. These files will be analyzed later to identify elements related to the continuity analysis of these software over the period studied.

In the fourth step, the current version of the software used in the selected cases is checked, by accessing the manufacturer's website or, in the absence of the manufacturer, the second historical source available about the software.

The fifth stage proposes categories of *status* classifications of these software. This classification helps you understand the current state of each software in relation to its continuity state.

The sixth step includes performing comparative analyzes to demonstrate numerically the *status* of the continuity of these software, based on their assigned *status*.

In the seventh stage, the results are presented in the form of comparative tables and textual analyzes, with the objective of obtaining a view of the current *status* of the software used in real cases of search and seizure, as well as their evolutions over the period of the sampling, which covers ten years.

The procedure used allows a detailed evaluation of the forensic software used in the actual court cases selected at random, allowing a view of the current *status* of the currently used software and its evolution over the selected sampling period.

3.1 CRITERIA FOR CASE SELECTION AND SOFTWARE IDENTIFICATION

The first criterion is to carry out an initial consultation, with the aim of obtaining a return confirming whether the bank has cases registered between 2014 and 2023 with the modality 'search and seizure' or whether any of these years will not return positive results. Figure 3 presents the logical structure summarized from the query to be applied. This structure can be easily adapted in case of the need for changes to the parameters of the query to be carried out.

Figure 3 – Representation of the summary logical structure of the case referral procedure

```
FoundCase := False
For year from 2014 to 2023 do
    If there is a case with Year equal to year and Modality equal to 'search and seizure' then
        End If
    End For
    If FoundCase then
        Return "The database has cases, in this modality, between 2014 and 2023."
    Else
        Return "No cases of this modality found for the year(s): " + String(year)
    End If
```

Source: From the author.

The criterion adopted was to select one case per year, randomly, between 2014 and 2023, on a private basis, numerically anonymizing the names of the cases.

The representation of the summarized logical structure of the case selection procedure can be observed in Figure 4.

Figure 4 – Representation of the summary logical structure of the case selection procedure

```

define selected_cases_list as an empty list
for each year between 2014 and 2023 do
    define year_cases as get cases from database where
        the year of the case is equal to the current year
        and the modality of the case is equal to 'search and seizure'
    if year_cases is not empty then
        define random_case as randomly select a case from year_cases
        define anonymized_case_name as the number corresponding to the year (e.g., "1" for
2014, "2" for 2015, ...)
        add to selected_cases_list the (year, anonymized_case_name)
    end if
end for
return selected_cases_list

```

Source: From the author.

The summary of the result obtained is the list with the year and the name of each case, already anonymised, in relation to sampling and the selected period, as Figure 5.

Figure 5 – Return list of selected cases

```

[year = '2014' and anonymised_case_name = "1"]
[year = '2015' and anonymised_case_name = "2"]
[year = '2016' and anonymised_case_name = "3"]
[year = '2017' and anonymised_case_name = "4"]
[year = '2018' and anonymised_case_name = "5"]
[year = '2019' and anonymised_case_name = "6"]
[year = '2020' and anonymised_case_name = "7"]
[year = '2021' and anonymised_case_name = "8"]
[year = '2022' and anonymised_case_name = "9"]
[year = '2023' and anonymised_case_name = "10"]

```

Source: From the author.

The next criterion defines the application of the filters listed in Table 4.

Table 4 – Applied Filters

Filter	Description
case_modality = 'search and seizure'	Only cases of search and seizure should be selected on the basis;
data_source = 'internal base'	Cases should only come from the consulted private base;
year = 'between 2014 and 2023'	Cases should be filtered per year, returning only cases between 2014 and 2023;
country = 'Brazil'	The cases must have occurred in Brazil;
sampling = '1 case per year'	A single case shall be selected each year;
forensic_steps_used = 'acquisition' or 'examination' or 'analysis'	In this step it should be selected, for each of the ten sample cases, which steps were recorded in each of these cases, and then feed a list with the name of each anonymised case and the steps recorded in each case. In the case of more than one step found, separate by comma and list in the found sequence. If there are cases that have not been logged the steps, keep the selected case and mark it as "no logged steps".

Filter	Description
specialized_software_usage = 'yes'	Then filter, respecting the sampling, only cases and steps in which the use of software specialized in forensic computing has occurred in at least one of the stages of the randomly selected case and, if software has not occurred, keep the selected case and registered as part of the sampling and mark this case as "case without registration of use of specialized software";
software_name and software version used at each step = 'name1, version1; name2, version2; ...'	In this sequence, run a filter to select each software name used at the time, in each step of each selected case in this period, by registering its name and version, next to the anonymized_case_name in which the software belongs.

Source: From the author.

The filters applied for each case will be registered in the ".csv" file, which will contain the anonymised_case_name, softwarename and version_of_the_software, correlated. This filter will be able to select the software used in each selected case and its versions.

The data should be anonymised and reviewed so as not to allow any further direct or indirect identification of such cases.

3.2 CRITERIA FOR CASE ANALYSIS AND SOFTWARE

To verify whether there has been any evolution of versioning of the forensic software used in the sample cases selected, the first criterion deals with consulting the name and version of each software registered in the resulting ".csv" files.

Next, it will be necessary to present the name and version of each software, interconnecting them to the case and the stage of this case (acquisition, examination and analysis).

To verify the current version of the software, the criteria will be to refer to the manufacturer's website, if any, verifying the appropriate information there. If it does not exist, it will be checked in the second available source to be selected and referenced.

Table 5 shows descriptions of the *statuses* that will be adopted.

Table 5 – *Status* Assignment Settings

Status	Description
List of Software with status "current"	Assigning the <i>status</i> "current" means that the software evaluated is currently in effect.
List of Software with status "discontinued"	The <i>status</i> assigned as "discontinued" means that the software evaluated is currently without continuations or official support.
List of Software with status "outdated"	For software versions with <i>status</i> "outdated", even though they may still be in use, they may not represent the latest practices or technologies.
List of Software with status "replaced"	This "replaced" <i>status</i> category is used in this case when the software is replaced by successor tools, usually gaining a new name.

Source: From the author.

Next, generate correlations between the numerical data collected. The results will be presented in comparative tables, graphs and textual conclusions in the next chapters.

4. CASE SELECTION AND ANALYSIS

Cases were selected based on the steps, procedures, and criteria defined in the previous chapter, randomly, as well as files were created to record the extracted data, with extension ".csv".

These data were relevant to the conclusions of this technical work, where the next tables will present the data obtained. The filters present in Figure 6 have been applied.

Figure 6 – Representation of the case selection procedure

```

begin
  define case_list as an empty list
  for each year between 2014 and 2023 do
    define year_cases as get cases from internal database where
      case modality is equal to 'search and seizure'
      and case year is in the current year
      and country is equal to 'Brazil'
      and anonymized_case_name is equal to the number corresponding to the year (e.g.,
      "1" for 2014, "2" for 2015,...)
    if year_cases is not empty then
      define selected_case as the case corresponding to the anonymized_case_name for
      the current year
      define recorded_steps as an empty list
      for each step in ['acquisition', 'examination', 'analysis'] do
        if step is present in selected_case then
          add step to recorded_steps
        end if
      end for
      if recorded_steps is empty then
        add to case_list (anonymized_case_name, "no recorded steps")
      else
        define software_use as false
        for each step in recorded_steps do
          if there is specialized software for the step then
            add to case_list (anonymized_case_name, step, name and version of the
            software)
          define software_use as true
          end if
        end for
        if software_use is false then
          add to case_list (anonymized_case_name, "case without record of specialized
          software use")
        end if
      end if
    end for
    write case_list to a ".csv" file with columns: anonymized_case_name, steps, name, software
    version (if applicable)
  end

```

Source: From the author.

At this point, for each software used, the manufacturer's website or, in its absence, the second available source was visited, where the results present in the "Last manufacturer update" column of Table 6 were found.

The remaining columns in Table 6 refer to the software, year and version usage in each case selected and anonymised in the steps previously performed.

Table 6 – List of distinct software with version comparison

Software Name	Year of use in case	Version used in the case	Manufacturer's Last Update
<i>Guymager</i>	2014; 2020	0.7.4; 0.8.7; 8/0/12	Last registered version: 0.8.13. Year: 2021. Status: Current. (GUYMAGER, s.d.)
<i>EnCase imager</i>	2015; 2021;2023	7.06;7.06; 20.3;21.1	Last registered version: 21.1. Year: 2021. Status: Current. OPENTEXT, s.d.
<i>Ftk imager</i>	2015; 2021;2022	3.1;3.1.1 4.5;4.7	Last registered version: 4.7.1.2. Year: 2022. Status: Current. (EXTERRO, s.d.)
<i>Helix</i>	2016	1.9.	Last registered version: 2009R1 (2.0). Year: 2008/2009. Status: Discontinued. DISTROWATCH, s.d.
<i>Back Track</i>	2016	4.x	Last registered version: 5.x. Year: 2012. Status: Replaced. (BACKTRACK-LINUX, s.d.)
<i>Deft Zero</i>	2017	1	Last registered version: 2018.2. Year: 2018. Status: Outdated. (ARCHIVEOS, s.d.)
<i>Paraben E3</i>	2018	1.4	Last registered version: 3.7. Year: 2023. Status: Current. (PARABEN, s.d.)
<i>MacQuisition</i>	2020	2018R1.2	Last registered version: 2020R1. Year: 2020. Status: Replaced. (CELLEBRITE, 2020)
<i>Cellebrite UFED</i>	2020; 2023	7.36;7.53	Last registered version: 7.65. Year: 2023. Status: Current. (CELLEBRITE, s.d.)
<i>Magnet Aquire</i>	2021	2.41	Last registered version: 2.70. Year: 2023. Status: Current. (MAGNETFORENSICS, s.d.)
<i>Caine</i>	2021	11	Last registered version: 12.4. Year: 2023. Status: Current. (CAINE, s.d.)
<i>Sumuri Paladin Edge</i>	2022	7.02	Last registered version: 8.01. Year: 2021. Status: Current. (SUMURI, s.d.)
<i>Mobiledit</i>	2023	9.0	Last registered version: 9.2. Year: 2023. Status: Current. (MOBILEEDIT, s.d.)
<i>Autopsy</i>	2014; 2015.	3.1.0; 3.1.3.	Last registered version: 4.21.0. Year: 2023. Status: Current. (AUTOPSY, s.d.)
<i>EnCase Forensics</i>	2015; 2017; 2020;2021 2022;	7.01; 7.01; 7.01; 8.07; 8.07; 8.07; 22.3; 22.4;	Last registered version: 23.4. Year: 2023. Status: Current. (OPENTEXT, s.d.)
<i>FTK Forensics</i>	2016; 2020.	6.x; 6.x.	Last registered version: 8.x. Year: 2023. Status: Current. (EXTERRO, s.d.)

Source: From the author.

For the identification of the *status* constant in Table 6, a procedure based on the comparative analysis between the research data was adopted, then assigning, for each software selected, one of the four distinct categories of *status* set out in Table 5.

After collecting data regarding the most recent version of each software used in the search and seizure cases selected by sampling, it was observed that the largest proportion of these software remained current.

However, it was also found that several software received classifications indicating different states of continuity.

The analysis of these categorizations presents another angle of view of the continuity of the study's software objects.

Table 7 will show the count of the software used in each step, based on the selected sample cases.

Table 7 – Count of software used (with repetition)

#	Case	Acquisition	Examination	Analysis
1 [2014]	01	01	01	
2 [2015]	02	01	02	
3 [2016]	02	02	02	
4 [2017]	02	02	02	
5 [2018]	03	01	01	
6 [2019]	Null	Null	Null	
7 [2020]	03	03	03	
8 [2021]	04	01	01	
9 [2022]	02	01	01	
10 [2023]	03	02	02	
TOTAL	#	22	14	15

Source: From the author.

Due to anonymization and the impossibility of presenting more in-depth data on the cases, Table 7 shows the sum of the software used in each stage of the randomly selected cases, during the ten years of sampling.

It is also noted that the "null" field appears in case 6 [2019] records and is used to represent the absence of software use in the acquisition, examination and analysis steps in this period and selected specific case. This can be attributed to several factors, including the possibility that there is no need for the use of software specialized in this specific case or other software that anonymization does not allow to identify.

When examining the total count of software used, it appears that the acquisition step employed the use of a total of 22 software, while the examination and analysis steps made use of 14 and 15 software respectively. Although this table presents repetitive software, this result may indicate a trend in the increase in the variety of software employed at the acquisition stage compared to the other stages, possibly due to the need to purchase devices of different types, such as computers and mobile phones.

In addition, this event may be due to the need to purchase more than one device at a time, in order to reduce the time employed in the acquisition step, which may justify the use of several different technologies in this step.

Table 8 shows the relationship between the software evaluated and their respective *status*.

Table 8 – Status of Software

Software Name	Status
<i>Guymager, Encase imager, Ftk imager, Paraben E3, Cellebrite UFED, Magnet Aquire, Caine, Sumuri Paladino Edge, Mobiledit, Autopsy, Encase Forensics and FTK Forensics.</i>	Current
<i>Helix</i>	Discontinued
<i>Back Track and MacQuisition</i>	Replaced
<i>Deft Zero</i>	Outdated

Source: From the author.

Table 9 accounts for the *statuses* obtained in the previous steps and from Table 6.

Table 9 – Update Status

STATUS	
Current	12
Discontinued	01
Outdated	01
Replaced	02

Source: From the author.

With this, we obtain a list of software current, discontinued, outdated or replaced within the selected sampling period.

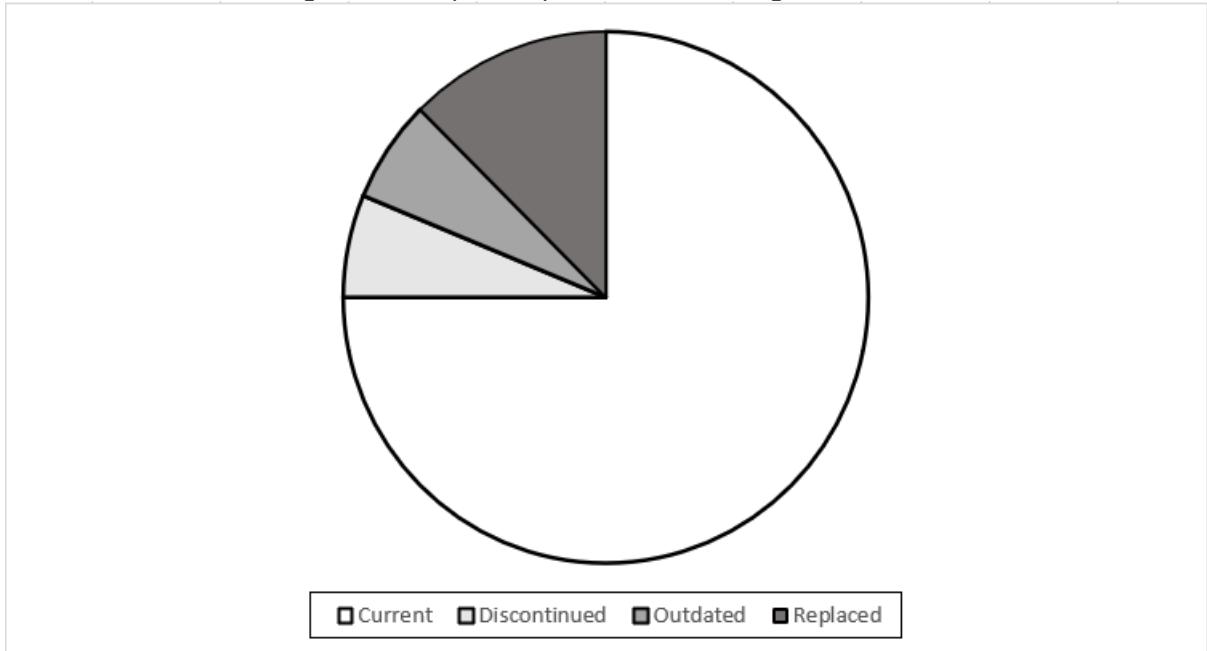
The analysis of the *status* of the forensic software used in judicial cases shows a predominance of the software with the software *status* as current, within the sample evaluated.

Among the 16 software evaluated, 12 of them correspond to 75% of the total, with the software classified with the equivalent *Status* as current.

The software with *status* equal to discontinued, outdated or replaced, represents, respectively, 6.25%, 6.25% and 12.5% of the total evaluated, according to Figure 7.

These categories, if added together, account for 25% of the software analyzed.

Figure 7 – Graphic Representation – Assigned *Statuses*



Source: From the author.

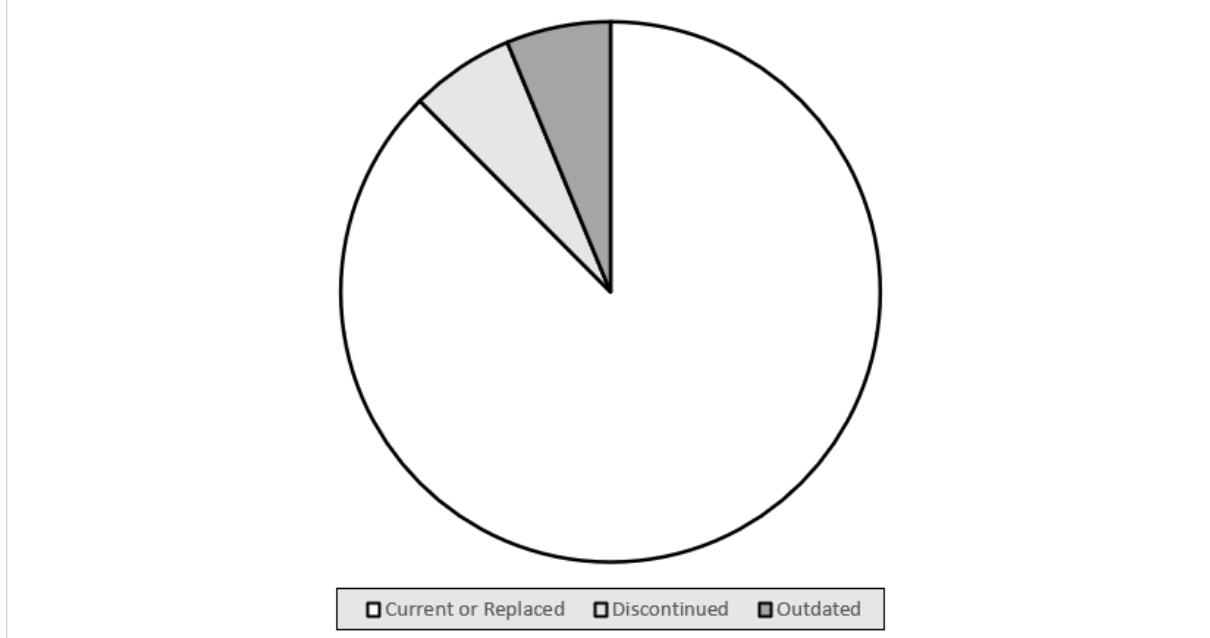
The presence of a software unit with *status* equal to discontinued, and a unit with an outdated *status* demonstrates the importance of periodic reviews of the supporting softwares adopted in the steps of the forensic process, with the aim of ensuring that they remain reliable and useful in scenarios of technological evolution.

It is of paramount importance that professionals and companies in the area keep their suites of forensic software up to date, with the aim of avoiding surprises at the time of the need for the use of these forensic software.

The two software units classified as replaced show that new solutions appear in the market and replace the previous ones.

The relevant amount of software with *status* equal to the current one is a positive indication that, based on the sample analyzed, the evaluated software is mostly showing continuity.

Figure 8 – Graphic Representation – current or replaced x outdated and discontinued



Source: From the author.

It is still possible to perform a sum of software with *status* current and replaced, if the new versions that have taken the place of each replaced software are considered as current, obtaining a percentage of current solutions of 87.5%, as verified in Figure 8.

5. FINAL FINDINGS AND CONSIDERATIONS

The results of this work represent a significant contribution to the area of digital forensics, providing a detailed analysis of the continuity *status* of the forensic software used in real court cases of search and seizure in Brazil over a decade.

The results generated are relevant for professionals and researchers, helping to understand the evolution of the versioning of the software evaluated and supporting the decision-making process in relation to which software to adopt in the conduct of future cases.

At this point, the research establishes a north for the creation of future works, mainly related to the use and evolution of these software in this specific area.

However, some limitations were recognized in this research, such as the need for anonymization of the cases selected as sampling and the limitation of the research to Brazil.

Another limitation that should be recorded was the limitation of the studies to the sampling of cases extracted from a single private database.

It is true that the company that owns the database adopts good practices in this area, following recognized standards in the field of digital forensic forensics, and it is even inferred that the results could be similar to other similar and renowned entities that follow the same practices.

However, it is important to recognize that different companies can use other types of forensic software, with other different manufacturers and other versioning policies, based on the large quantity of similar software that was part of the market in the ten years of samples evaluated.

This scenario brings another limitation in the sampling, where future work can select software not evaluated at this moment and complement this analysis.

Although these factors may have influenced the amount of software samples used, they did not impact the quality of the results and did not compromise the conclusions obtained in this research.

Also for future work, it is suggested the geographical expansion of the research to compare the evolution of software of this category in different locations of the world.

The study reinforces the importance of forensic software in the process of producing digital evidence, demonstrating the importance of this software to keep pace with the constant technological evolution, remaining updated to increase the credibility of evidence in the judiciary. However, the software with *status* discontinued or outdated, observed in this study, can be of great value in various scenarios, in relation to the compatibility, stability and reliability of these systems with certain technologies.

Research has shown that although discontinued or outdated *status* has been assigned to some of these software, most of it has remained in place or has been replaced by present solutions, thus keeping up with technological developments.

Finally, the analysis of the data used in this study brought information of paramount importance for the research, such as the registration of the increase in the quantity of software used in the stage of data acquisition, in relation to the other stages of this sampling, as well as, pointed out the results of a continuity analysis of the evaluated software, identifying whether this software remains current or if it has been discontinued, outdated or even replaced throughout the period of the selected sampling, covering ten years.

REFERENCES

ARCHIVEOS. **Deft Linux**. Disponível em: <https://archiveos.org/deft/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

AUTOPSY. **Download Autopsy Version**. Disponível em: <https://www.autopsy.com/download/>. Acesso em: 16 jan. 2024.

BACKTRACK-LINUX. **Backtrack Linux**. Disponível em: <https://www.backtrack-linux.org/>. Acesso em: 16 jan. 2024.

BRASIL. E. C. A, **Identificação e análise das ferramentas de computação forense aplicadas em investigações no Brasil**. Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, 2023.

CAINE. **Release**. Disponível em: <https://www.caine-live.net/page6/files/category-release.html>. Acesso em: 15 jan. 2024.

CAMPOS, L. M. O., GOMES, E., MARTINS, H. P. Forensic Expertise in Storage Device USB Flash Drive: Procedures and Techniques for Evidence. *IEEE Latin America Transactions*, v. 14, n. 7, 2016.

CANTORE, J. A. G. Cadena de custodia de evidencias. *Anales de la Facultad de Ciencias Médicas (Asunción)*, v. 47, n. 1, 2014.

CASTELLANOS, B. J. P. El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. *Cuadernos de Contabilidad*, v. 18, n. 46, 2017.

CELLEBRITE. **More than a Makeover: MacQuisition is now Digital Collector**, 2020. Disponível em: <https://cellebrite.com/en/more-than-a-makeover-macquisition-is-now-digital-collector/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

CELLEBRITE. **Product Releases**. Disponível em: <https://cellebrite.com/en/support/product-releases/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

CÓRDOVA, J. E. P., RIVERA, A. E. P. **Gestión de riesgos y análisis forense en redes sociales de los acosos ciberneticos, al que están expuestos los adolescentes de las instituciones educativas de Guayaquil: caso de estudio Unidad Educativa Julio María Matovelle. Proyecto de titulación**. (Trabajo de titulación para la obtención del título de Ingeniero en Networking y Telecomunicaciones). Guayaquil, Ecuador, 2017.

CUOMO, R., D'AGOSTINO, D., IANUIARDO, M. **Mobile Forensics: Repeatable and Non-Repeatable Technical Assessments**. Sensors, 2022.

DISTROWATCH. **Helix**. Disponível em: <https://distrowatch.com/table.php?distribution=helix>. Acesso em: 16 jan. 2023.

EXTERRO. **Get Started with FTK Imager**. Disponível em: <https://go.exterro.com/l/43312/2023-05-03/fc4b78>. Acesso em: 16 jan. 2024.

GUYMAGER. **Guymager homepage**. Disponível em: <https://guymager.sourceforge.io/>. Acesso em 15 jan. 2024.

MAGNETFORENSICS. **Release Notes**. Disponível em: <https://www.magnetforensics.com/release-notes/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MEDEIROS, L. O., TORRES, A. B. *Análise de ferramentas open source utilizadas para a perícia forense computacional*. Escola de Formação Complementar do Exército / Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, 2020.

MOBILEDIT. **Software Release**. Disponível em: <https://www.mobiledit.com/news/category/Software+Release>. Acesso em: 15 jan. 2024.

NETO, M., SANTOS, J. Apontamentos sobre a cadeia de custódia da prova digital no brasil. **Revista Em Tempo**, v. 20, n. 1, 2020.

OPENTEXT. **Support Portal**. Disponível em: <https://www.opentext.com/products>. Acesso em 16 jan. 2024.

PARABEN. **Paraben Corporation**. Disponível em: <https://paraben.com/e3-mobile-smartphone-forensics/>. Acesso em: 16 jan. 2024.

PARIZOTTO, L. S., NEVES, A. L., PINHEIRO, N. R. A importância da perícia forense computacional na investigação de crimes. In: **Proceedings of the II FatecSeg – Congresso de Segurança da Informação**. Fatec, 2022.

RAMADHAN, R. A., SETIAWAN, P. R., HARIYADI, D. Digital forensic investigation for non-volatile memory architecture by hybrid evaluation based on ISO/IEC 27037:2012 and NIST SP800-86 framework. **IT Journal Research and Development (ITJRD)**, v. 6, n. 2, 2022.

SUMURI. **Paladin Edge**. Disponível em: <https://sumuri.com/product/paladin-edge-64-bit/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

VORONKOVA, S. **A Computational Forensic Methodology for Malicious Application Detection on Android OS**. Free University of Bozen/Bolzano, Faculty of Computer Science. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Computer Science at the Free University of Bolzano, 2011.



CAPÍTULO

03

THE IMPACTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) ON TECHNICAL TRAINING

Djones Braz de Araujo Costa

Master's student in Computer Science

Fluminense Federal University (UFF)

Information Technology Professor at the Formatec +Maricá Project (ICTIM) / Pró-IFF

Foundation at the Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

Researcher at the Laboratory and Projects of Information Technology, Business and Creative Economy – LABPROJTNE (IFRJ)

E-mail: djones.costa@iff.edu.br

Ana Clara Mendes Pessanha dos Santos

Student in the Computer Technician for the Internet program of the Formatec +Maricá Project (ICTIM) / Pró-IFF Foundation

Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

E-mail: mendes.a@gsuite.iff.edu.br

Caio Costa Ribeiro

Student in the Computer Science for Internet Program of the Formatec +Maricá Project (ICTIM) / Pró-IFF Foundation

Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

E-mail: ribeiro.caio@gsuite.iff.edu.br

Isabelle Ramalho Feitosa

Student in the Computer Science for Internet Program of the Formatec +Maricá Project (ICTIM) / Pró-IFF Foundation

Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

E-mail: isabelle.r@gsuite.iff.edu.br

João Victor Dornelas Leal

Student in the Computer Science for Internet Program of the Formatec +Maricá Project (ICTIM) / Pró-IFF Foundation

Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

E-mail: j.dornelas@gsuite.iff.edu.br

Juliana Menezes de Holanda

Student in the Computer Science for Internet Program of the Formatec +Maricá Project (ICTIM) / Pró-IFF Foundation

Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

E-mail: juliana.holanda@gsuite.iff.edu.br

Luís Miguell de Souza

Student in the Computer Science for Internet Program of the Formatec +Maricá Project (ICTIM) / Pró-IFF Foundation
Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus
E-mail: luis.miguell@gsuite.iff.edu.br

ABSTRACT: This article addresses the implications of artificial intelligence (AI) in technical training, examining in particular the tools ChatGPT, Microsoft Copilot and Google Gemini. These technologies encourage innovative teaching techniques, expand access to knowledge and improve educational effectiveness. On the other hand, obstacles limited to overdependence, privacy and ethical issues. The research used a qualitative method based on a literature review to understand the advantages and challenges of using these tools. The conclusion is that the ethical and responsible use of Artificial Intelligence enhances technical education, providing greater inclusion and adaptability to current educational demands. However, the importance of continuous supervision to prevent adverse effects, such as the loss of critical skills, is highlighted. The limitations of the research involve the rapid evolution of the tools examined and it is suggested that future studies investigate practical methods for incorporating these technologies into technical programs.

KEYWORDS: artificial intelligence, ChatGPT, Copilot, Gemini, technical education.

RESUMO: Este artigo aborda as consequências da inteligência artificial (IA) no treinamento técnico, examinando em particular as ferramentas ChatGPT, Microsoft Copilot e Google Gemini. Estas tecnologias incentivam técnicas de ensino inovadoras, expandem o acesso ao saber e aprimoram a eficácia na educação. Em contrapartida, obstáculos limitados à dependência excessiva, privacidade e questões éticas. A investigação empregou um método qualitativo fundamentado em revisão de literatura para entender as vantagens e desafios do emprego dessas ferramentas. A conclusão é que a utilização ética e responsável da Inteligência Artificial potencializa a educação técnica, proporcionando maior inclusão e capacidade de adaptação às demandas educacionais atuais. Contudo, destaca-se a importância de uma supervisão contínua para prevenir efeitos adversos, como a perda de competências críticas. As restrições da pesquisa envolvem a rápida evolução das ferramentas examinadas e sugere-se que estudos futuros investiguem métodos práticos para incorporar essas tecnologias em programas técnicos.

PALAVRAS-CHAVE: inteligência artificial, ChatGPT, Copilot, Gemini, formação técnica.

1. INTRODUCTION

1.1 PRESENTATION OF THE TOPIC

The topic addressed in this paper is the impact of Artificial Intelligence (AI) on technical training, with a focus on tools such as ChatGPT, Microsoft Copilot and Google Gemini. AI is revolutionizing the educational field by promoting innovative teaching methodologies, facilitating access to knowledge and improving educational efficiency, although it also presents challenges such as dependency, privacy and ethical issues related to the use of data.

1.2 CONTEXTUALIZATION AND IMPORTANCE

Artificial Intelligence is seen as an advancement in educational technology and a way to encompass diverse teaching methodologies, promoting inclusion and adaptation for students, in addition to increasing the performance of students and teachers (REVISTA FOCO, 2022).

We will focus on the most widely used Artificial Intelligences, OpenAI's ChatGPT, Microsoft's Copilot, and Google's Gemini. As reported by CNN Brasil, these tools are widely sought after for the ease they provide, being able to create texts, interact dynamically in real time, and produce tables, graphs, and presentations. These functionalities, performed quickly and practically, contribute significantly to the academic performance and productivity of students and teachers (CNN BRASIL, 2023).

In this context, we will discuss the use and importance of these tools, highlighting the qualities and defects they present in the educational environment, with an emphasis on technical training. Their peculiar aspects, challenges, educational difficulties, and benefits for the student society will be analyzed. According to FOCO Magazine, technological advances have enabled new educational options, which make the teaching and learning process more fluid and conducive to understanding (FOCO MAGAZINE, 2022).

On the other hand, these technologies also bring challenges, such as excessive dependence on tools and ethical issues related to their use, highlighted by CNN Brasil, which suggests a balanced approach to the adoption of AI to maximize its benefits without harming the development of students' critical skills (CNN BRASIL, 2023).

1.3 WORK OBJECTIVES

The main objective of this study is to examine how “The Impacts of Artificial Intelligence (AI) on Technical Education” affect and contribute to technical education learning. To achieve this goal, the following specific objectives were defined:

- a) Discuss the positive and negative impact of Artificial Intelligence on technical education;
- b) Analyze the tools most used by students: ChatGPT, Copilot and Gemini;
- c) Evaluate the benefits and challenges of using these tools in the educational context;
- d) Promote reflection on the ethical and responsible use of AI in academic and technical environments.

2. THEORETICAL FRAMEWORK

This study is based on research on Information and Communication Technology (ICT) and AI-integrated teaching methodologies. Authors such as Rashid and Asghar (2016) address the impact of mobile technologies on autonomous learning and academic performance. Enriquez (2014) explores digital tools such as Grammarly and Edmodo in improving writing and educational interaction. Selwyn (2016) provides an overview of the main educational issues related to digital technologies. In addition, recent publications that specifically address the tools ChatGPT, Copilot, and Gemini are considered (CNN Brasil, 2023; Revista FOCO, 2022; Revista FT, 2024).

2.1 TOP AI TOOLS USED BY STUDENTS

Students are constantly using today's Artificial Intelligence. These tools, with their vast information systems, are able to respond to a wide variety of young people's questions, adapting to the specific demands and ways of interpreting each user. This advancement is directly linked to the progress of Information and Communication Technologies (ICT), which, in recent years, have been enhanced by the increased use of mobile devices, creating opportunities to improve student learning, especially those who have a drop in academic performance (RASHID; ASGHAR, 2016). The integration of mobile technologies and digital tools in education has provided new learning

methods, allowing students to study at any time and in any place (SELWYN, 2016). These technologies not only democratize access to knowledge, but also create virtual environments where connections between students and teachers can occur in real time, as demonstrated by tools such as Google Classroom and Microsoft Teams. These digital platforms simplify tasks, organize teaching materials, and promote interaction between participants in the educational process (IFTAKHAR, 2016; LAGAN et al., 2020).

Artificial Intelligence (AI) tools also play a crucial role in the context of learning on mobile devices. ChatGPT, for example, provides answers to a wide range of questions and helps students understand content dynamically. The tool, developed by OpenAI, is widely accessed on mobile devices and has become an indispensable resource in academia (SANTOS et al, 2024).

Another widely used tool is Grammarly, which helps with grammatical correction and text improvement. Many students use Grammarly to review academic papers and other documents, making it a reliable resource for improving the quality of writing (ENRIQUEZ, 2014).

Duolingo, launched in 2011, is another significant example of how AI can transform learning. It adjusts lessons based on each student's individual progress, providing personalized language learning. The tool is accessible through mobile devices, allowing students to practice anytime, anywhere (SELWYN, 2016).

In addition, mobile learning has been complemented by tools such as Edmodo, which supports educational interaction and resource sharing in a digital environment, promoting student autonomy (ENRIQUEZ, 2014). These technological solutions have enabled democratized access to teaching materials and contributed to educational inclusion, regardless of the students' geographic location.

3. METHODOLOGY

The methodology adopted is qualitative, through a bibliographic review based on scientific articles, reports and recent technical studies on the use of Artificial Intelligence in the educational context. The bibliographic research sought to qualitatively analyze the impacts observed in academic and technical environments, with an emphasis on the benefits and challenges reported in recent literature.

3.1 DESCRIPTION OF THE METHODOLOGICAL APPROACH

The methodology adopted is qualitative, through a bibliographic review based on scientific articles, reports and recent technical studies on the use of Artificial Intelligence in the educational context. The bibliographic research sought to qualitatively analyze the impacts observed in academic and technical environments, with an emphasis on the benefits and challenges reported in recent literature.

4. DISCUSSIONS

Artificial Intelligence (AI) has a significant impact on education, providing great support to teachers and institutions. There are already school management and data analysis systems that use AI to optimize educational processes and support pedagogical activities (PLAYER SCHOOL, 2024). These systems have changed school management, introducing innovative tools that previously seemed unattainable, showing how technology is redefining teaching (SINEPE-RS, 2024).

The relationship between students and AI in the classroom is a crucial aspect. Three out of ten Brazilian students have already used AI to help with their studies, according to (OBSERVATÓRIO DE EDUCAÇÃO, 2024). This number reflects the advancement of technology and its integration into educational routines. In addition, 73% of students expect educational institutions to invest time and resources in AI, consolidating its use as a daily practice, according to (EXPOTEC, 2024).

However, among teaching professionals, uncertainties arise about the possibility of AI replacing professionals in the field. According to the Prova Fácil portal, the relationship between AI and teachers does not need to be one of replacement, but rather of complementation, allowing educators to focus on more meaningful interactions with students (PROVA FÁCIL, 2024). Thus, AI becomes a valuable tool, but insufficient to replace the human role in teaching.

As Swedish cosmologist Max Tegmark warns:

“Artificial intelligence is like fire: it can be a great tool, but it can also be dangerous if left unchecked.” (AWARI, 2024).

This warning is relevant, considering the risks associated with AI, such as plagiarism, dissemination of misinformation, and loss of stimulus for the production of new knowledge (EXPOTEC, 2024).

Renowned universities also play a fundamental role in the development of studies related to AI. As we can see, Stanford University, which is recognized as the "mother" of Google and a global reference in technology, as well as the University of California – Berkeley, which offers courses taught by experts in Computer Science, and Harvard University, which is considered the best in the United States, offers full access to AI for its students, according to (ESTUDAR FORA, 2024).

Therefore, the integration of AI in education not only democratizes access to learning, but also promotes ethical and pedagogical debates about its conscious use. This balance is essential to transform AI into an ally in the teaching-learning process, avoiding the dangers of its uncontrolled use (SINEPE-RS, 2024).

4.1 RESULT OF DISCUSSIONS

Artificial intelligence brings with it not only benefits, but also significant negative impacts. It is essential that society is aware of these issues and that measures are adopted to minimize the negative impacts of AI, ensuring its ethical, transparent and responsible use (FT MAGAZINE, 2024). Reflecting on the negative impacts of Artificial Intelligence is essential so that we can take advantage of the best benefits of this technology in a conscious and balanced way.

Artificial intelligence presents a series of negative points, including in technical education. Some of the negative impacts that AI can cause are job losses, privacy issues, bias and discrimination, security problems, lack of transparency and excessive dependence (BLOG ANHANGUERA, 2024). AI has the potential to transform many aspects of society and education, bringing both benefits and complex challenges, which need to be addressed proactively (FERREIRA; MARTINS, 2018).

Now, emphasizing the positive aspects, we can say that Artificial Intelligence (AI) is one of the most advanced technologies, due to its positive impact on society and the various benefits it brings (BARAZA, 2024). In current times, AI has demonstrated great potential in technical training. In this context, it seeks to qualify operational efficiency, facilitate access to information, improve decision-making,

improve security and offer support to both in-person and distance education (FT MAGAZINE, 2024).

With the digital transformation in education, AI is revolutionizing the way people learn and teach (GOOGLE CLOUD, 2024). In distance learning (EAD), student motivation and engagement are increased by the possibility of learning at their own pace, while AI offers support with resources, such as Google Gemini, widely accessed by students (BRINOV, 2024). For example, two strengths of Gemini are: Information search, which combines world knowledge through images and videos. Object recognition, which allows identification in images and videos, facilitating learning (CLOUD GOOGLE, 2024).

Regarding ChatGPT, it is a powerful tool for searching for content and acquiring knowledge. Launched on November 30, 2022, it has become widely popular among young people due to its quality and ease of use (BARAZA, 2024). Despite this, ChatGPT also presents challenges, such as lack of contextual understanding, dependence on training data, and reduced human interaction (FT MAGAZINE, 2024). These factors can lead to overdependence on the part of young people and adults, compromising the development of critical skills (GIFFI et al., 2018).

However, the positive points of ChatGPT, such as its natural interaction and versatility, stand out when providing support in various tasks, including text generation, recommendations, and assistance in academic processes (BARAZA, 2024). Thus, it proves useful in the technical context, promoting knowledge and efficiency (BLOG ANHANGUERA, 2024).

Microsoft Copilot is a tool integrated into the Microsoft 365 package, focused on increasing efficiency at work, especially in products such as Excel, PowerPoint and Word (BRINOV, 2024). It automates tasks in Excel, such as creating graphs and analyses, and facilitates the creation of documents in Word and presentations in PowerPoint, demonstrating its efficiency (CLOUD GOOGLE, 2024). With these features, Copilot becomes an indispensable resource in the corporate and educational environment.

4.2 REFLECTION OF THE AUTHORS

The results of this research and its contribution to society and academia are important for a deeper understanding of how artificial intelligence can be used ethically

and responsibly in technical training. This understanding is crucial for directing educational policies and pedagogical tactics that seek to maximize benefits and minimize risks. Professionals and institutions use these insights to adjust and update curricula, promote specific training in Artificial Intelligence, and foster a more critical and aware academic environment regarding the use of emerging technologies. In addition, society as a whole benefits from a deeper understanding of the crucial balance between technological innovation and the improvement of critical and ethical skills, thus strengthening students' ability to deal with current and future challenges.

5. CONCLUSION

We conclude in this article that the discussion about the revolution and use of Artificial Intelligence in the educational field is necessary for greater inclusion and understanding of both students and education professionals, so that its use and advancement can bring the greatest amount of positive assistance without forgetting the challenges that it brings to technical education.

Emphasizing the debate on the use of AI tools, including highlighting the qualities and defects that are presented in the technical educational environment, so that better decisions can be analyzed and made about their challenges, difficulties, and benefits in part of their student and professional use.

5.1 LIMITATIONS AND RECOMMENDATIONS FOR FUTURE WORK

This research has some limitations related to the rapid technological evolution of the tools examined, which can quickly become outdated according to Kurzweil's Law, which is an extension and generalization of Moore's Law, where some of the improvements achieved can be quickly discarded. It is suggested that future studies intensify the empirical evaluation of the effective use of these technologies in educational practice, taking into account a wider variety of academic and technical contexts. In addition, it is recommended that longitudinal studies be carried out to evaluate the effects of these technologies on the cognitive and ethical growth of students over time, ensuring a deeper and more detailed understanding of their real educational and social consequences.

6. GLOSSARY

- **Artificial Intelligence (AI):** A field of computer science focused on creating systems capable of performing tasks that normally require human intelligence.
- **ChatGPT:** A language model created by OpenAI that generates interactive texts and dialogues, widely used in academic environments.
- **Microsoft Copilot:** A tool integrated into Microsoft 365 that uses AI to increase efficiency in applications such as Excel, Word, and PowerPoint.
- **Google Gemini:** A multimodal AI tool developed by Google for searching and recognizing multimedia content, improving learning and productivity.
- **ICT (Information and Communication Technologies):** A set of technological resources used to manipulate information and facilitate communication in different contexts, including education.
- **Grammarly:** A digital tool that helps with the grammatical and stylistic correction of academic and professional texts.
- **Edmodo:** A digital learning platform that promotes interaction between students and teachers through collaborative virtual environments

ACKNOWLEDGMENTS

With gratitude and enthusiasm, we, students of the Technical Course in Computer Science for the Internet: Ana Clara Mendes Pessanha dos Santos, Caio Costa Ribeiro, Luís Miguell de Souza, Isabelle Ramalho Feitosa, João Victor Dornelas Leal and Juliana Menezes de Holanda, dedicate this work to everyone who made it possible to create this article, which was the result of our learning in the ICTIM's Formatec +Maricá project with the Fluminense Foundation for Education, Research and Scientific and Technological Development (Pró-IFF) at the Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus. We are immensely grateful to our Professor and Advisor, Djones Braz de Araujo Costa, for his patience, insights and constant encouragement. It was fundamental so that we could explore more about the subject, and have more opportunities in our technical training. We thank ICTIM, Fundação Pró-IFF and Instituto Federal Fluminense, Campus Maricá for providing us with a stimulating learning place, where we were able to develop our skills and passion for research. This work is proof

of our commitment to contributing to the advancement of education and technology in our country.

Finally, we dedicate it to all our parents and family, and other professionals at ICTIM/Formatec +Maricá, IFF Campus Maricá, and also to other students who seek to improve their knowledge and skills.

We hope that this article will be a source of inspiration and knowledge for everyone who believes in the power of technology and that it will inspire other young people to explore artificial intelligence as an aid tool that helps us achieve our goals and contribute to a better future and society.

REFERENCES

- AWARI. **Inteligência artificial: as melhores citações para se inspirar.** Disponível em: <https://awari.com.br/inteligencia-artificial-as-melhores-citacoes-para-se-inspirar/>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- BARAZA, C. **Vantagens e desvantagens do ChatGPT.** Disponível em: <https://barazacarlos.com/pt-br/vantagens-e-desvantagens-do-chat-gpt/>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- BLOG ANHANGUERA. **Impactos da inteligência artificial.** Disponível em: <https://blog.anhanguera.com/impactos-da-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- BRINOV. **Microsoft Copilot x Google Gemini: entenda como funcionam e as principais vantagens de cada um deles.** Disponível em: <https://brinov.com/blog/post/microsoft-copilot-x-google-gemini-entenda-como-funcionam-e-as-principais-vantagens-de-cada-um-deles/#O que é o Microsoft Copilot>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- CLOUD GOOGLE. **Google Gemini: strengths and limits.** Disponível em: <https://cloud.google.com/vertex-ai/generative-ai/docs/multimodal/strengths-limits?hl=pt-br>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- CNN BRASIL. **ChatGPT, Gemini e Copilot: veja como usar inteligência artificial no trabalho.** Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/chatgpt-gemini-e-copilot-veja-como-usar-inteligencia-artificial-no-trabalho/>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- ENRIQUEZ, M. A. S. **Students' Perceptions on the Effectiveness of the Use of Edmodo as a Supplementary Tool for Learning.** Creative Education, v. 5, n. 14, p. 1464-1471, 2014. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2455371>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- ESTUDAR FORA. **Inteligência artificial nas universidades internacionais.** Disponível em: <https://www.estudarfora.org.br/inteligencia-artificial/>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- EXPOTEC. **Aplicações de inteligência artificial na educação: riscos e benefícios.** Disponível em: <https://www.expotec.org.br/noticia/89-aplicacoes-de-inteligencia-artificial-na-educacao-riscos-e-beneficios.html/>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- FERREIRA, C.; MARTINS, E. **A importância das competências na era 4.0: The importance of competences in era 4.0.** Atas do IV Encontro Científico da UI&D. SLA Santarém - Instituto Superior de Gestão e Administração de Santarém, Portugal, 2018.
- GIFFI, C. et al. **The jobs are here, but where are the people?** Deloitte Insight, 2018. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/industry/manufacturing/manufacturing-skills-gap-study.html>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- IFTAKHAR, S. **Google Classroom: What works and how?** Journal of Education and Social Sciences, v. 3, p. 12-18, 2016. Disponível em: https://www.jesoc.com/wp-content/uploads/2016/03/KC3_35.pdf. Acesso em: 28 nov. 2024.
- LAGAN, E.; SMITH, T.; THOMPSON, R. **An Analysis of Microsoft Teams for Online Education.** IOSR Journal of Business and Management, v. 26, n. 6, p. 26-31, 2020. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol26-issue6/Ser-3/D2606032631.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2024.

OBSERVATÓRIO DE EDUCAÇÃO. **Inteligência artificial na educação.** Disponível em: <https://observatoriodeeducacao.institutounibanco.org.br/em-debate/inteligencia-artificial-na-educacao>. Acesso em: 28 nov. 2024.

PLAYER SCHOOL. **Inteligência artificial na gestão escolar.** Disponível em: <https://playersschool.com.br/inteligencia-artificial-gestao-escolar/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

PROVA FÁCIL. **Inteligência artificial e o professor.** Disponível em: <https://provafacilnaweb.com.br/blog/inteligencia-artificial-e-o-professor/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

RASHID, T.; ASGHAR, H. M. **Technology Use, Self-Directed Learning, Student Engagement and Academic Performance: Examining the Interrelations.** Computers in Human Behavior, v. 63, p. 604–612, 2016.

REVISTA FOCO. **A inteligência artificial na educação: inclusão e avanço tecnológico.** Revista FOCO, v. 17, n. 6, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n6-104>. Acesso em: 28 nov. 2024.

REVISTA FT. **Inteligência artificial: vantagens e desvantagens da aprendizagem de máquina na educação.** Disponível em: <https://revistaft.com.br/inteligencia-artificial-vantagens-e-desvantagens-da-aprendizagem-de-maquina-na-educacao/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

SANTOS, Edmáe; CHAGAS, Alexandre; BOTTENTUIT JUNIOR, João (Orgs.). **ChatGPT e educação na cibercultura: fundamentos e primeiras aproximações com inteligência artificial.** São Luís: EDUFMA, 2024. Disponível em: <https://www.edufma.ufma.br/index.php/produto/chatgpt-e-educacao-na-cibercultura-fundamentos-e-primeiras-aproximacoes-com-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

SELWYN, N. **Education and Technology: Key Issues and Debates.** London: Bloomsbury Publishing, 2016.

SINEPE-RS. **Equilíbrio para transformar a inteligência artificial na prática dentro da sala de aula.** Disponível em: <https://sinepe-rs.org.br/educacaoempauta/tendencias/equilibrio-para-transformar-a-inteligencia-artificial-na-pratica-dentro-da-sala-de-aula/>. Acesso em: 28 nov. 2024.



CAPÍTULO

04

ORDINARY CONCRETE WITH IMPROVED MECHANICAL AND THERMAL PERFORMANCE

Briki Lyamine

PhD in Civil Engineering

Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, University of Batna 2

E-mail: l.briki@univ-batna2.dz

Benzeroual Belkacem

PhD in Geography

Department of Geography and Territorial Planning, Institute of Earth and Universe Sciences, University of Batna 2

E-mail: b.benzeroual@univ-batna2.dz

Zidani Kamel

PhD in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology, University of Batna 2

E-mail: k.zidani@univ-batna2.dz

Trifa Mohamed

PhD in City Management and Sustainable Development

University of Mohammed Seddik Benyahia Jijel

E-mail: mohamed.trifa@univ-jijel.dz

ABSTRACT: This article presents a mechanical and thermal characterization study of concrete under different curing conditions. The study consists of the preparation of several ordinary concrete test pieces with reconstituted sand with an addition of 18% of 0/80 μm limestone fillers. Its goal is to valorize sands containing a high level of fillers available in large quantities in Algeria. The test pieces are placed in a completely humid environment and then removed at different day intervals to estimate the thermal conductivity, the speed of propagation of ultrasound as well as the compressive strength at 28 days. The results show that limestone fillers can, on the one hand, modify the cement hydration process as well as the structuring of hydrated products and, on the other hand, react in a cementitious environment to form new hydrated products. The variation in compressive strength recorded can reach 65.61% between the two extreme exposures. This dispersion of compressive strengths is confirmed by the non-destructive evaluation where the difference between the speeds of the ultrasonic waves is around 20.28%. It was also noted the appearance of a positive correlation between the immersion time in water and thermal conductivity. In fact, the difference in thermal conductivity can reach 34.59% over the entire immersion time interval applied.

KEYWORDS: fillers, ordinary concrete, resistance, thermal conductivity, recovery, energy performance.

RESUMO: Este artigo apresenta um estudo de caracterização mecânica e térmica do concreto sob diferentes condições de cura. O estudo consiste na preparação de várias peças de teste de concreto comum com areia reconstituída com uma adição de 18% de cargas de calcário 0/80 $\square\text{m}$. Seu objetivo é valorizar as areias que contêm um alto nível de cargas disponíveis em grandes quantidades na Argélia. As peças de teste são colocadas em um ambiente completamente úmido e depois removidas em intervalos de dias diferentes para estimar a condutividade térmica, a velocidade de propagação do ultrassom e a resistência à compressão em 28 dias. Os resultados mostram que as cargas de calcário podem, por um lado, modificar o processo de hidratação do cimento, bem como a estruturação dos produtos hidratados e, por outro lado, reagir em um ambiente cimentício para formar novos produtos hidratados. A variação na resistência à compressão registrada pode chegar a 65,61% entre as duas exposições extremas. Essa dispersão das resistências à compressão é confirmada pela avaliação não destrutiva, em que a diferença entre as velocidades das ondas ultrassônicas é de cerca de 20,28%. Também foi observado o surgimento de uma correlação positiva entre o tempo de imersão em água e a condutividade térmica. De fato, a diferença na condutividade térmica pode chegar a 34,59% em todo o intervalo de tempo de imersão aplicado.

PALAVRAS-CHAVE: cargas, concreto comum, resistência, condutividade térmica, recuperação, desempenho energético.

1. INTRODUCTION

For some time now, researchers have been actively concerned with the possibilities of using limestone crushing aggregates, despite the mistrust in certain companies surrounding the use of these aggregates in construction concrete (Chaid et al, 2004) (Chaid et al, 2008). It is made up of elements mainly drawn from a local level (sand, gravel, water and cement) and offers a solution appreciated in terms of cost and durability. However, the preparation and implementation of concrete varies depending on the materials used (type of sand, type of cement, etc.) (Sidi Mohammed et al, 2009) (Moulay-Ali et al, 2021), the surrounding climatic conditions (exposure class, etc.) (Chennouf et al, 2018) and operating conditions (power plant, tunnel, basement, etc.) (Xue et al, 2020).

Industrial co-products such as fly ash, silica fumes, blast furnace slag, have made a positive contribution thanks to their hydraulic and pozzolanic characteristics (Joseph et al, 2012) (Williamson et al, 2016) (Sui et al, 2019). Their use has been widespread as an additive in durable concretes and high-performance concretes (Scrivener et al, 2017) (Scivener et al, 2019) (Zunino et al, 2020) (Zunino et al, 2020) (Zunino et al, 2020) (Siline et al, 2016) (Hoang et al, 2016). However, the price of these additives is relatively high, which is not the case for limestone and siliceous fillers. However, and with the tense energy context, the mechanical properties of concrete must be associated with other parameters (thermal, acoustic, etc.).

Indeed, the energy efficiency of buildings presents a priority area for progress due to population growth and limited energy sources. A third of total energy consumption and 30% of greenhouse gas emissions are attributed to buildings (DTR34, 1998). In addition, building has undergone a marked evolution, particularly with the introduction of new construction methods. Conventional methods are increasingly being replaced by new methods such as the use of the tunnel formwork system (Xie et al, 2020). With this process, labor and completion time are reduced. However, and with this technique, the structural works are entirely made of reinforced concrete and the energy balances of the constructions carried out depend on the quality of the concrete once hardened. Among the important parameters which can constantly contribute to dispersing the intrinsic properties of concrete are that of curing (DTR34, 1998) (Xie et al, 2020). The evaluation of the mechanical properties of concrete can be carried out by destructive and non-destructive methods (Wang et al,

2023) (Kaboosi et al, 2019). The evaluation of mechanical properties of concrete can be carried out by destructive and non-destructive methods (Bacharz et al, 2015) (Mohammed Rafiq et al, 2021). The thermal properties of concrete can be determined through laboratory tests. Parameters such as thermal conductivity, thermal capacity and thermal diffusivity can be obtained using an “ISOMET 2104” type device (Omrane et al, 2020). Once the thermal properties of concrete have been determined, they are used for the design and construction of reinforced concrete buildings, thus ensuring optimal thermal performance.

This article presents the results of an experimental study on the estimation of the mechanical and thermal properties of ordinary concrete as a function of curing conditions. Ordinary concrete was prepared and subjected to variable conservation conditions in order to evaluate the propagation speed of ultrasonic waves, the thermal conductivity and the resulting compressive and tensile strengths. Analysis of the results shows that the curing conditions significantly disperse the mechanical and thermal properties of the hardened concrete. This dispersion of the results of the destructive tests was supported by the results of the non-destructive tests. In addition, this study highlights the importance of curing conditions for the installation of concrete with better thermal performance.

2. EXPERIMENTAL PROGRAM

2.1 BASIC MATERIALS

2.1.1 Cement

The cement used is type CEM I 42.5 N without any addition (95% clinker with 5% gypsum), produced by the GICA group of Ain-Touta located in Batna City (Algeria) and complies with the NF standard EN 197-1, 2000) whose clinker is produced and crushed jointly with gypsum by the GICA group.

Table 1: Composition of clinker %

Physical properties					
Apparent volumetric mass (g/cm ³)	Absolute density (g/cm ³)	Grinding fineness (cm ² /g)		Setting time : Beginning (Hours)	Setting time : END (Hours)
1.100	3.190	4200		2h : 12	3h : 08
Mineralogical composition (Bogue method)					
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A		C ₄ AF	
57.83	16.75	8.03		10.92	
Chemical composition (X-ray fluorescence)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
19.82	5.33	3.75	63.83	1.16	0.67
K ₂ O					

Source: Authors

The dosage of natural gypsum (dehydrated calcium sulfate, CaSO₄.2H₂O) was kept constant at 5%.

2.1.2 Mixing water

It complies with standards NF P 18-325 and NF P 18-303.

Table 2 - Physico-chemical composition of the mixing water (mg/l).

Ca	Mg	O ₂	CO ₃ H	Cl	SO ₄	NO ₃	PH	Hardness	T°p	Conductivity
99.21	44.72	2.5	285.86	97.71	122.84	8.24	7.46	42.64°f	19.3°C	1036µS/cm

Source: Authors

2.1.3 Aggregates

The aggregates come from the SCIMAT Ciments Company of Ain Toua (Aggregates and crushed sand unit). These are crushed and screened dolomitized limestone materials, marketed as granular classes 4/8, 8/16 and 16/25 (Standard XP P 18-545 Article 10-EN 12620 and EN).

The physical, morphological and mechanical properties are shown in Table 3.

Table 3: Physical, morphological and mechanical properties of aggregates

Deposit	Sand	Gravel		
Granular class	0/4	4/8	8/16	16/25
Physical properties				
Volumic mass (kg/m ³)				
Absolute	2.60	2.62	2.62	2.62
Apparent	1.60	1.44	1.46	1.43
Finesse module	2.49	-	-	-
Superficial cleanliness (C)	-	0.9	1.9	0.4
Sand equivalent (SE)	72	-	-	-
Blue value (BV)	0.16	-	-	-
Content CaCO ₃ (%)	53.0	85	83	84

Deposit	Sand	Gravel		
Morphological property Flattening coefficient	-	14.0	08.0	05.0
Mechanical properties Los Angeles (LA) Micro deval (MDE)	- - -	26.0 16.0	25.0 12.0	23.6 -

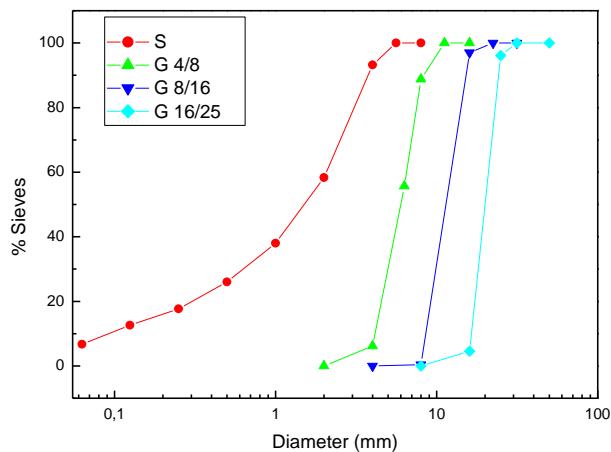
Source: Authors

2.1.4 Sand

The sand is made up of 96% limestone, 0.28% sulfates and 0.32% chlorides.

We have grouped together in Figure 1 the particle size curves of these different aggregates in the raw state. Note that the sand has a percentage of 16.7% of crushed fines.

Figure 1: Particle size curves of the different granular classes



Source: Authors

2.1.5 Fillers

We chose a quarry limestone filler with a Blaine specific surface area of 375.97 m²/kg, and very little active (activity index of 0.5). This filler is made of calcium carbonate (Table 4)

Table 4: Chemical analysis of the filler

	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaCO ₃ (%)	MgCl (%)	NaCl (%)	Methylene blue value (g/l)
Filler	0.02	0.09	98.50	0.35	0.58	0.58

Source: Authors

2.2 TEST METHODOLOGY

The concrete mixture prepared in this experimental work following reconstituted sand (Sand + filler) using CEMI Artificial Portland cement.

The mixture was manufactured according to the XP P 18-545 standard, with a binder content of 350 kg and a class 4/8 aggregate content of 195 kg, class 8/16 of 373 kg and class 16/25 of 628 kg.

The limestone fillers were mixed with the sand at a fixed rate of 18%.

An additional quantity of water more or less to obtain sufficient workability.

The proportions by mass of the different constituents of concrete are mentioned in Table 5.

Table 5: Identification of the mixture.

Type of concrete	Constituants					
	Cement [kg]	Filler [kg]	Sand 0/4 [kg]	Gravel 4/8 [kg]	Gravel 8/16 [kg]	Gravel 16/25 [kg]
BOS-SCIMAT-Fillers	350	110	493	195	373	628

Source: Authors

The mechanical properties studied of the prepared concretes are the compressive strength on standardized cylindrical specimens (16 x 32) cm² according to the NF P-18-406 standard and the tensile strength by flexion on prismatic specimens (7 x 7 x 28) cm³ according to standard NF P-18-400.

To measure the speed of compression waves in concrete, the "ENTEC" ultrasonic device according to [NF EN 12504-2] was used, with two methods, direct and semi-direct, on specimens at different ages (Standard NF EN 12504). -2, 2004).

To determine the thermal conductivity of concrete using the ISOMET 2104 instrument, parallelepiped test pieces (30x30x5) cm³ and three test pieces (5x5x5) cm³ were used.

This experiment consists of completely immersing the concrete sample in water at 23°C and maintaining it in this position for given periods, 0 (not emerged), 3, 7, 14,

21 and 28 days. After each curing period, the test pieces were kept in laboratory conditions with a temperature of 23°C and humidity of 15±5%.

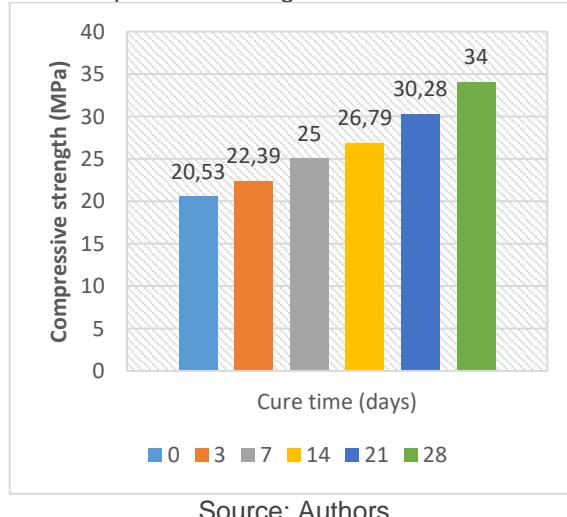
3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 MECHANICAL PROPERTIES

The results of mechanical strength of concrete hardened over time shown in Figure 2 show the variation in compressive strength as a function of immersion time in water. It is strongly influenced by the curing time: we note that the longer the curing time, the higher the compressive strength of the concrete (approximately 20.53 to 34 MPa).

As concrete begins to set, the compressive strength increases rapidly, and new cement crystals begin to form more slowly. Therefore, the curing time must be long enough to allow the complete formation of these crystals. All compressive strength values as a function of curing time comply with the technical documents for ordinary concrete from 20 MPa.

Figure 2: Compressive strength as a function of curing time

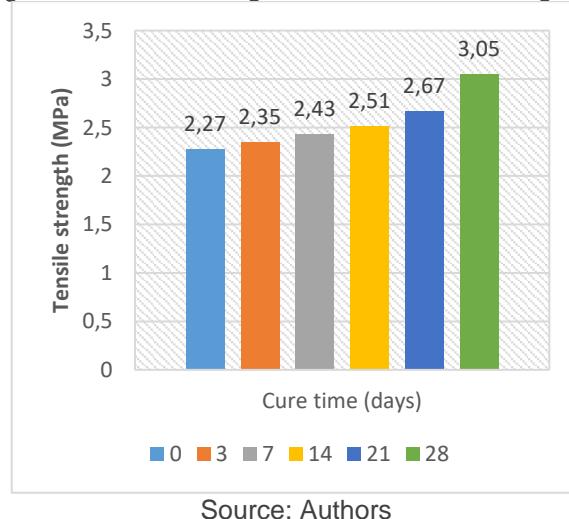


Source: Authors

The results of mechanical strength of concrete hardened over time shown in Figure 3 shows the variation in tensile strength as a function of immersion time in water. It is also influenced by the curing time (approximately 2.27 to 3.05MPa). Indeed, concrete is a material that is very strong in compression, but relatively weak in traction. During the curing time, cement crystals continue to form and strengthen, increasing

the tensile strength of the concrete. However, this increase is less significant than that of the compressive strength.

Figure 3: Tensile strength as a function of curing time

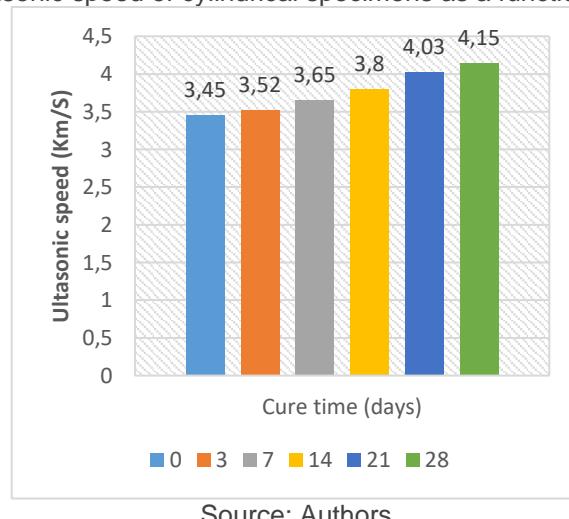


Source: Authors

3.1.1 Thermal properties

Figure 4 presents the variation of the ultrasonic speed as a function of the immersion time in water for the cylindrical specimens (16 x 32) cm², it is correlated to the resistance and the density of the material, and therefore influenced by the concrete curing time. During the curing time, cement crystals continue to form and strengthen, increasing the density and strength of the concrete. This results in an increase in the ultrasonic speed of the concrete (approximately 3.45 km/s and 4.15 km/s).

Figure 4: Ultrasonic speed of cylindrical specimens as a function of curing time



Source: Authors

Figure 5 presents the variation of the ultrasonic speed as a function of the immersion time in water, for the parallelepiped specimens (30x30x5) cm³, we also notice an increase in the ultrasonic speed of the concrete (approximately 4.01km/s and 4.59 km/s).

Figure 5: Ultrasonic speed of parallelepiped specimens as a function of curing time

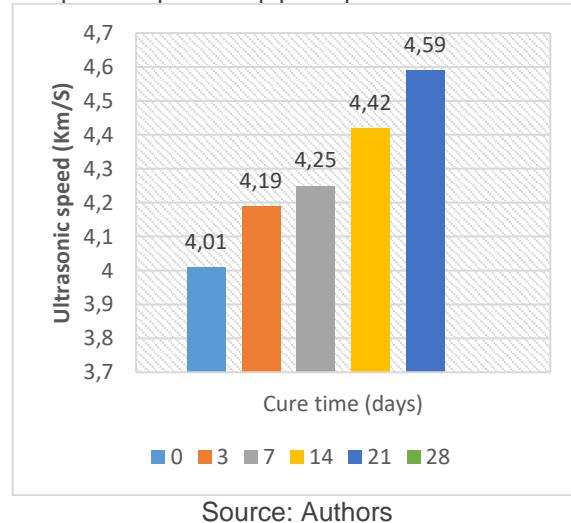
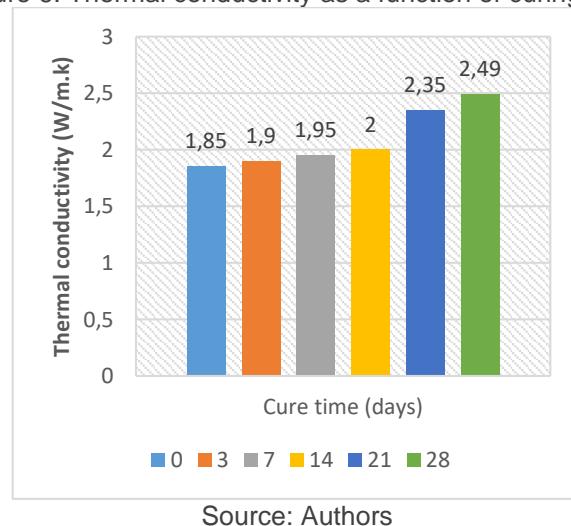


Figure 6 shows the variation of thermal conductivity as a function of immersion time in water. During the curing process, there is an increase in the thermal conductivity of the concrete, due to the reduction in its porosity (from 1.85W/m.k to 2.49 W/m.k).

Figure 6: Thermal conductivity as a function of curing time



4. CONCLUSION

This article is of undeniable interest both in terms of the exploitation of regional resources and in terms of knowledge of the thermal properties of concrete, for the design and construction of reinforced concrete buildings while ensuring optimal thermal performance.

Indeed, the study undertaken in the latter tells us that it is possible to exploit the fine lime stones in the concretes made by introducing a rate of 18% by substitution for sand in order to valorize sands with high levels of fillers. These concretes have been formulated while maintaining constant workability and are maintained under different curing conditions.

At the end of this work, we can try to give a certain number of conclusions on the beneficial actions provided by limestone fillers:

- The curing time has a very significant impact on the mechanical performance of concrete; compressive strength, tensile strength and ultrasonic speed were improved as a function of curing time.
- The curing time and the thermal conductivity of the concrete are correlated; for certain construction systems, a higher thermal conductivity of the concrete can influence the energy losses of a building.
- Finally, knowing the mechanical and thermal properties of concrete in different curing conditions allows us to better understand its behavior in order to adapt it to the intended area of use.

We were interested in the thermal and mechanical properties of ordinary concretes. The high porosity of such concretes compared to ordinary aggregate concrete can lead to higher permeability and therefore lower durability. The study of the resistance to aggressive chemical agents (chlorine ions, sulfates, sea water, acids, etc.) of such concretes compared to that of ordinary aggregate concrete would be useful.

A continuation of this work would be to simulate the thermal properties of ordinary concretes at different hygrometric states.

REFERENCES

- Bacharz, M., Goszczyńska, B., & Trąmpczyński, W. (2015). Analysis of destructive processes in unloaded early-age concrete with the acoustic emission method. *Procedia Engineering*, 108, 245– 253. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.144>.
- Chaid, R., Jaubertine, R., Abadlia, M-T., and Bali, A., 2008. Durability of the HPC cured in sulphate environment, International Conference on Durability of Building Materials and Component – 11DBMC, Istanbul, Turkey 11-14 may, Vol. I pp. 237-245.
- Chaid, R., Jaubertine, R., Bali, A. and Abadlia, M-T., 2004. Formulation des bétons de hautes performances avec des ajouts cimentaires locaux, Algérie Equipement, Vol. 38, pp. 3-7.
- Chennouf, N., Agoudjil, B., Boudenne, A., Benzarti, K., & Bouras, F. (2018). Hygrothermal characterization of a new bio-based construction material: Concrete reinforced with date palm fibers. *Construction and Building Materials*, 192, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.089>.
- DTR34. (1998). Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments. Document Technique Règlementaire, Ministère de l'habitat, Algérie, 57. <http://civil-dz.com/uploads/files/public/files- ccDjBHH7nK.pdf>.
- Hoang, K., Justnes, H., Geiker, M., 2016. Early age strength increase of fly ash blended cement by a ternary hardening accelerating admixture (Cem. Concr. Res.), 81 59 – 69, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.11.004>.
- Joseph, B., Mathew, G., 2012. Influence of aggregate content on the behavior of fly ash based geopolymers concrete, *Scientia Iranica*, 19: 1188-1194.
- Kaboosi, K., & Emami, K. (2019). Interaction of treated industrial wastewater and zeolite on compressive strength of plain concrete in different cement contents and curing ages. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00308. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00308>.
- Mohammed Rafiq, S. K., & Hamid, N. A. (2021). The assessment of concrete subjected to preloading using nondestructive testing methods. *Case Studies in Construction Materials*, 15(July), e00705. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00705>.
- Moulay-Ali, A., Abdeldjalil, M., & Khelafi, H. (2021). An experimental study on the optimal compositions of ordinary concrete based on corrected dune sand—Case of granular range of 25 mm. *Case Studies in Construction Materials*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00521>.
- Omrane, M., & Rabehi, M. (2020). Effect of natural pozzolan and recycled concrete aggregates on thermal and physico-mechanical characteristics of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 247, 118576. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118576>.
- Scrivener, K., Avet, F., Maraghechi, H., Zunino, F., Ston, J., Hanpong, W., et al., 2019. Impacting factors and properties of limestone calcined clay cements (LC3), *Green Mater.* 7 3 – 14, <https://doi.org/10.1680/jgrma.18.00029>.
- Scrivener, K., Martirena, F., Bishnoi, S., Maity, S., 2017. Calcined clay limestone cements (LC3), *Cem. Concr. Res.* 1 – 8, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.17>.

Sidi Mohammed El Amine, Boukli hacene, "Contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen," pp. 60–70, 2009.
<https://dokumen.tips/documents/these-de-doctoratboukli-hacene-smapdf.html> ? Page=1

Siline, M., Ghorbel, E., Bibi, M., 2016. Valorization of pozzolanicity of Algerian clay: Optimization of the heat treatment and mechanical characteristics of the involved cement mortars (Applied Clay Science), vol. 132-133, p. 712–721.

Sui, S., Wilson, W., Georget, F., Maraghechi, H., Kazemi-Kamyab, H., Sun, W., et al., 2019. Quantification methods for chloride binding in Portland cement and limestone systems (Cem. Concr. Res.), 125. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105864>.

Wang, Y., Xiao, R., Lu, H., Hu, W., Jiang, X., & Huang, B. (2023). Effect of curing conditions on the strength and durability of air entrained concrete with and without fly ash. Cleaner Materials, 7(January), 100170. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100170>.

Williamson, T., Juenger, M.C.G., Juin 2016. The role of activating solution concentration on alkali-silica reaction in alkali-activated fly ash concrete, Cement and Concrete Research, 83: 124-130.

Xie, S. rong, Pan, H., Chen, D. dong, Zeng, J. chao, Song, H. zheng, Cheng, Q., Xiao, H. bin, Yan, Z. qiang, & Li, Y. hui. (2020). Stability analysis of integral load-bearing structure of surrounding rock of gob-side entry retention with flexible concrete formwork. Tunnelling and Underground Space Technology, 103(June), 103492. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103492>.

Xue, F., Xu, C., Shen, W., & Li, L. (2020). Ventilation in pumped storage power stations: Influence of dehumidifiers in an underground tunnel. Applied Thermal Engineering, 172(July 2019), 115162. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115162>.

Zunino, F., Martirena, F., Scrivener, K., 2020. Limestone Calcined Clay Cements (LC3), ACI Mater. J, Submitted.

Zunino, F., Scrivener, K., 2020. Assessing the effect of alkanolamine grinding aids in limestone calcined clay cements hydration, Constr. Build. Mater. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121293>.

Zunino, F., Scrivener, K., 2020. Increasing the kaolinite content of raw clays using particle classification techniques for use as supplementary cementitious materials, Constr. Build. Mater. 244. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118335>.



CAPÍTULO

05

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE GRUPOS DE ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA SUBMETIDAS A CARREGAMENTO HORIZONTAL

Demóstenes de Araújo Cavalcanti Júnior

Mestre em Engenharia Civil - Geotecnica
Universidade Federal de Sergipe (UFS)
E-mail: demostenes-jr@academico.ufs.br

Leonardo José Nascimento Guimarães

Doutor em Engenharia Civil - Geotecnica
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
E-mail: leonardo@ufpe.br

Alexandre Duarte Gusmão

Doutor em Engenharia Civil - Geotecnica
Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
E-mail: gusmao.alex@poli.br

RESUMO: Neste trabalho apresenta-se a análise dos resultados de uma série de ensaios de carregamento horizontal em escala real realizados em estacas tipo hélice contínua. Grupos de estacas tipo hélice contínua executadas em solo com perfil arenoso do Campo Experimental do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, foram submetidos a ciclos de carregamento horizontal no topo. Foi ensaiada uma estaca isolada, um grupo formado por duas estacas em linha e um grupo formado por três estacas em linha. As estacas foram instrumentadas ao longo da profundidade através de inclinômetro. Para os grupos de duas e três estacas, a carga aplicada em cada estaca foi medida através de hastes instrumentadas utilizadas para conectar as estacas de cada grupo. As análises das provas de carga apresentadas neste artigo abordam os seguintes aspectos: variação do comportamento com o nível de deslocamento, variação da rigidez do sistema estaca-solo-estaca a cada ciclo de carregamento, eficiência do grupo de estacas e distribuição de carga entre as estacas de cada grupo.

PALAVRAS-CHAVE: carregamento horizontal, grupos de estacas, eficiência de grupo, interação solo-estaca, distribuição de carga entre estacas.

ABSTRACT: This work presents the analysis of the results of a series of full-scale horizontal loading tests carried out on continuous flight auger (CFA) piles. Groups of CFA piles built in sandy soil at the Experimental Field of the Civil Engineering Department of the Federal University of Sergipe were subjected to horizontal loading cycles at the top. An isolated pile, a group formed by two piles in a line and a group formed by three piles in a line were tested. The piles were instrumented along the depth using an inclinometer. For groups of two and three piles, the load applied to each pile was measured using instrumented rods used to connect the piles in each group.

The analyzes of the load tests presented in this article address the following aspects: variation in behavior with the level of displacement, variation in the stiffness of the pile-soil-pile system at each loading cycle, efficiency of the pile group and load distribution between the piles in each group.

KEYWORDS: carga horizontal, grupos de pilotes, eficiencia de grupo, interacción suelo-pilote, distribución de carga entre pilotes.

1. INTRODUÇÃO

Fundações em estacas são normalmente submetidas a carregamento vertical. Entretanto, além dos esforços verticais, os estaqueamentos também são usualmente submetidos a cargas horizontais. O carregamento horizontal pode ser proveniente de diferentes fontes tais como a ação do vento, ação de ondas sobre obras marítimas, terremotos, explosões, choque de embarcações e empuxos de terra. O dimensionamento de estacas isoladas e grupos de estacas sujeitos a cargas horizontais é um problema frequentemente encontrado em fundações de pontes, edifícios altos, cais de atracação e estruturas offshore. Modelos não lineares que utilizam curvas p-y, geralmente adotados na prática de projeto atual, dependem de abordagens empíricas dependentes de resultados experimentais que não podem ser generalizadas. A aplicação de soluções numéricas baseadas em análises tridimensionais por elementos finitos tem se tornado mais comum nos últimos anos em face do desenvolvimento de softwares que permitem a análise da interação estaca-solo-estaca em três dimensões, porém, essa abordagem também carece de uma base de dados mais significativa que permita a calibração dos modelos e aumente o grau de confiabilidade das soluções produzidas por essa via. Com base na análise de resultados de ensaios em escala real de grupos de estacas submetidos a ciclos de carga e descarga, este trabalho tem como objetivo contribuir para a otimização de projetos de obras onde os esforços horizontais tenham papel relevante na definição da solução de fundação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O problema de estacas carregadas horizontalmente engloba um estudo teórico tridimensional de difícil modelagem matemática. Para análise do comportamento da estaca sob carga horizontal deve ser caracterizada a relação não linear entre as tensões e deformações do sistema solo-estaca. A não linearidade é decorrente principalmente do escoamento do solo, da variação da rigidez a flexão da estaca e pelo espaço formado entre o solo e a estaca a medida que ocorre o deslocamento do topo da estaca.

A análise rigorosa do problema em três dimensões requer a aplicação de métodos numéricos sofisticados. Na prática corrente de elaboração de projetos de

fundação, o problema é geralmente analisado através de modelos bi-dimensionais, baseados na mecânica do contínuo ou em modelos discretos com aplicação da teoria da elasticidade, de modelos do tipo rígido (estaca) - plástico (solo), e mais comumente, da aplicação da teoria da viga sob base elástica para representar a estaca, e funções de transferência de carga, não acopladas, denominadas de curvas p-y para representar o solo. Em geral, as curvas p-y são obtidas de ensaios de carregamento horizontal em escala real. Este método trata o solo como um conjunto de molas não lineares que são definidas pelas curvas p-y. A curva p-y representa a resistência do solo em uma determinada profundidade e é definida em termos de resistência do solo por unidade de comprimento versus deflexão. A solução utiliza a teoria da viga sob base elástica com uma carga axial conjuntamente com as molas horizontais. Devido as variáveis envolvidas, uma equação diferencial de quarta ordem é gerada para definir a deflexão da estaca. Programas de computador com base no método das diferenças finitas e no método dos elementos finitos têm sido utilizados para a análise de problemas referentes a estacas carregadas horizontalmente. Os programas requerem como dados de entrada os parâmetros da estaca e os parâmetros do solo em diversas profundidades, os quais devem ser determinados com base no comportamento apresentado por solos similares ou através de ensaios de campo em escala real, modelagem em centrífuga, ensaios de campo e ensaios de laboratório. Os métodos usualmente adotados para previsão do comportamento tensão-deformação de estacas e grupos de estacas submetidos a carregamento horizontal são: o método da curva p-y (Matlock, 1960; Reese, Cox & Koop, 1974), solução elástica (Poulos & Davis, 1980), o modelo de cunha de deformação (Ashour et al. 2004) e aplicações do método dos elementos finitos (Comodromos; Pitilakis, 2005 e Isenhower et al, 2014).

3. CAMPO EXPERIMENTAL DEC-UFS

Os ensaios de carregamento horizontal discutidos nesse trabalho foram executados no Campo Experimental do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), localizado nas proximidades da Prefeitura da Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos, situada no Bairro, Rosa Elze, município de São Cristóvão, estado de Sergipe.

3.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DO CAMPO EXPERIMENTAL

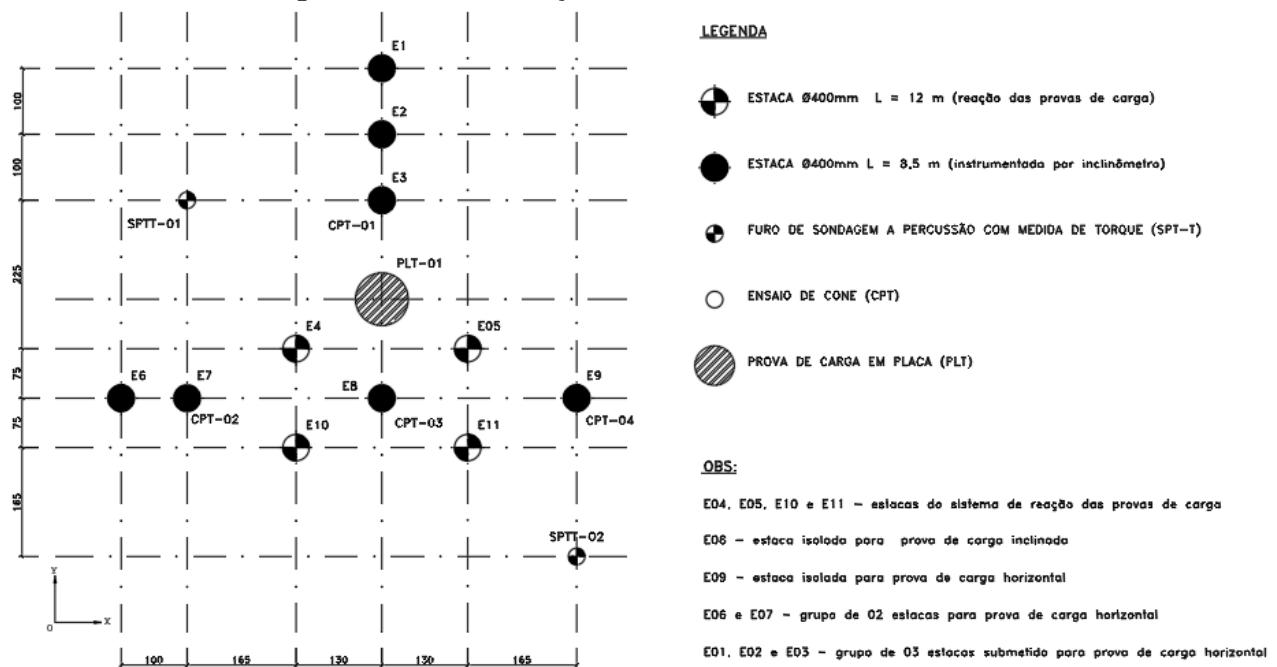
De acordo com o Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Sergipe (CODISE/CPRM, 2014), a Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos está implantada no Terraço Marinho Pleistocênico (Q1tm) localizado entre a planície fluvial da margem direita do rio Poxim e a unidade de relevo semi-colinoso da Formação Barreiras (Grupo Barreiras), sendo topograficamente ressaltado em relação à planície fluvial e topograficamente deprimido em relação as colinas da Formação Barreiras, ocupando níveis altimétricos em torno de oito metros acima do nível do mar. São formados por areias de granulometria bem selecionada depositadas pelo mar no período Pleistoceno da Era Cenozóica ou Quaternária, em posição horizontal, que se distinguem dos Terraços Marinhos Holocênicos porque estão mais recuados em relação ao mar, decorrente da sua formação em época anterior, em função das transgressões e regressões do nível do mar que ocorreram no Quaternário (Farias, 2011).

3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO CAMPO EXPERIMENTAL

O perfil do solo do Campo Experimental do DEC-UFS é composto basicamente de uma camada superficial de areia fina de compacidade fofa, com espessura variando entre 2,6 m e 3,9 m, seguida por uma camada de areia fina muito compacta até a profundidade de 15,45 m onde foi paralisada a sondagem a percussão. O nível de água foi encontrado em torno da profundidade de 2,2 m abaixo da superfície. Para caracterização do terreno do campo experimental foram executados ensaios de sondagem a percussão com medida de torque (SPT-T), ensaios de penetração estática com medidas de poro-pressão (CPTU), ensaios de determinação de densidade “in situ”, ensaios de análise granulométrica, ensaios de resistência ao

cisalhamento direto e provas de carga em placa. Na Figura 1 é apresentada a locação das estacas e dos ensaios executados na área do Campo Experimental DEC-UFS.

Figura 1. Planta de locação das estacas e ensaios.

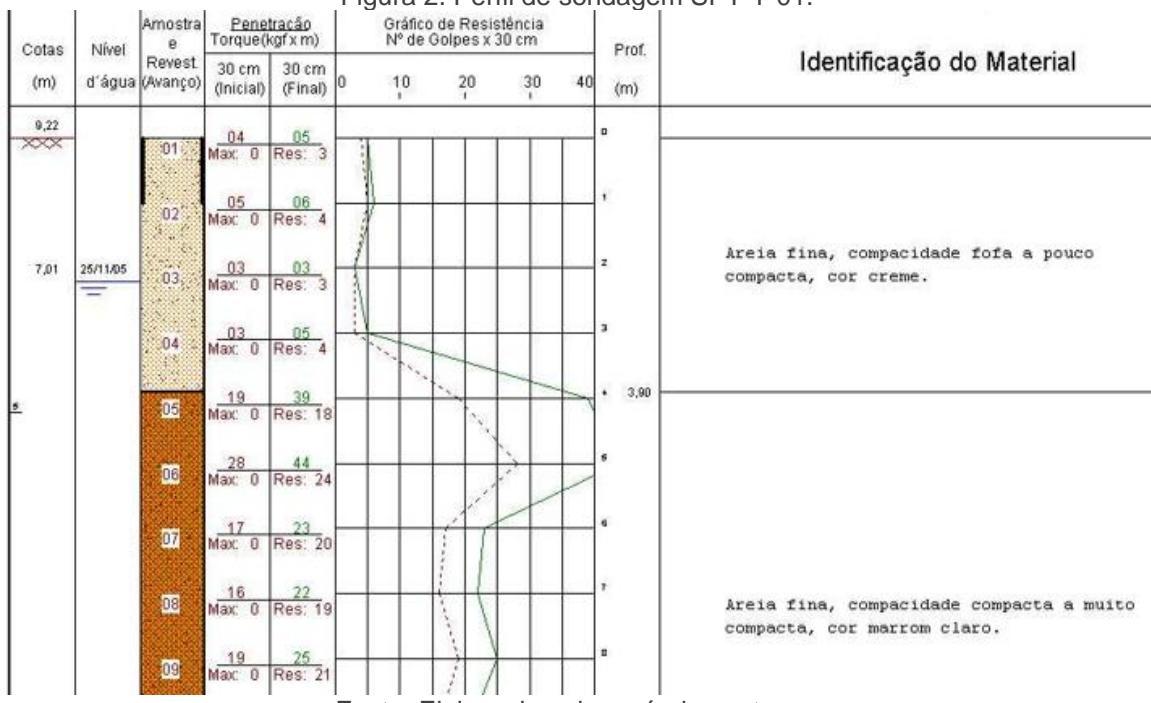


Fonte: Elaboradas pelos próprios autores.

3.2.1 Sondagens tipo SPT-T

De acordo com os ensaios de sondagem a percussão com medida de torque (SPT-T) executados nas proximidades das estacas ensaiadas (Figura 2), verifica-se que o terreno é composto por areia fina, observando-se um significativo aumento de compacidade a partir das profundidades 3,90 m (furo SPT-T 01) e 2,60 m (furo SPT-T 02). No furo SPT-T-01 com profundidade total de 15,45 m, tem-se uma camada superficial de areia fina fofa, com espessura de 3,90 m, índice de resistência à penetração (SPT) médio de 5 golpes e torque residual médio de 3,5 kgf.m. A camada subjacente é composta por areia fina compacta a muito compacta, com espessura de 11,55 m, índice de resistência à penetração (SPT) médio de 30 golpes e torque residual médio de 22,0 kgf.m.

Figura 2. Perfil de sondagem SPT-T-01.



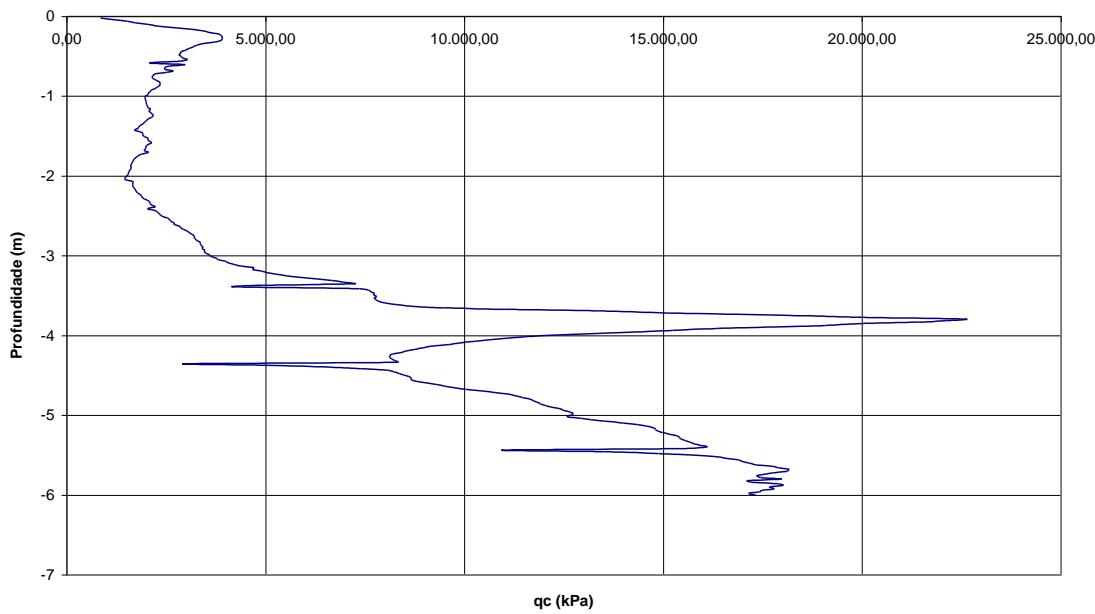
Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

3.2.2 Ensaios de piezocone (CPTU)

Os pontos onde foram realizados os ensaios de piezocone coincidiram com os pontos de locação das estacas E1, E7, E8 e E9. O piezocone utilizado tinha capacidade de carga da ponta cônica de 50 kN, área de ponta de 10 cm², elemento poroso instalado na posição u2 e transdutor de pressão utilizado para a medida da pressão neutra gerada durante a cravação da ponteira com faixa de atuação de 0 a 3.500 kPa.

Para fins de ilustração, apresenta-se na Figura 3 o resultado do ensaio CPTU-04 executado na mesma locação onde posteriormente foi executada a estaca E9.

Figura 3. Resistência de ponta do ensaio CPTU x profundidade (Euro CPTU-04 – estaca E9).



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

3.2.3 Ensaios de resistência ao cisalhamento direto

Foram realizados ensaios de resistência ao cisalhamento direto sem inundação em amostras coletadas entre as profundidades de 0,80 m e 1,10 m, cujos resultados são sumarizados Tabela 1.

Tabela 1. Resultado dos Ensaios de Cisalhamento Direto.

Indices	Amostra-01			Amostra-02		
	CP-01	CP-02	CP-03	CP-01	CP-02	CP-03
Umidade inicial (%)	6,88	6,88	7,02	6,86	6,86	6,86
Peso Específico Aparente Seca inicial (kN/m ³)	14,51	14,39	14,46	14,48	14,48	14,48
Índice de vazios inicial	0,833	0,849	0,840	0,840	0,840	0,840
Grau de saturação Inicial (%)	21,9	21,6	22,2	14,48	14,48	14,48
Índice de vazios após adensamento	0,793	0,802	0,787	0,805	0,795	0,785
Umidade final (%)	4,82	5,41	6,24	6,15	5,75	6,22
Peso Específico Aparente Seco final (kN/m ³)	14,95	14,85	14,98	14,60	14,76	14,86
Índice de vazios final (após cisalhamento)	0,779	0,792	0,776	0,825	0,805	0,793
Grau de saturação final (%)	16,5	18,2	21,4	19,9	19,0	20,9
Peso Específico dos Grãos (kN/m ³)		2,660			2,664	
Ângulo de atrito (°)			31,1		31,9	
Coesão (kPa)			10,1		14,3	

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

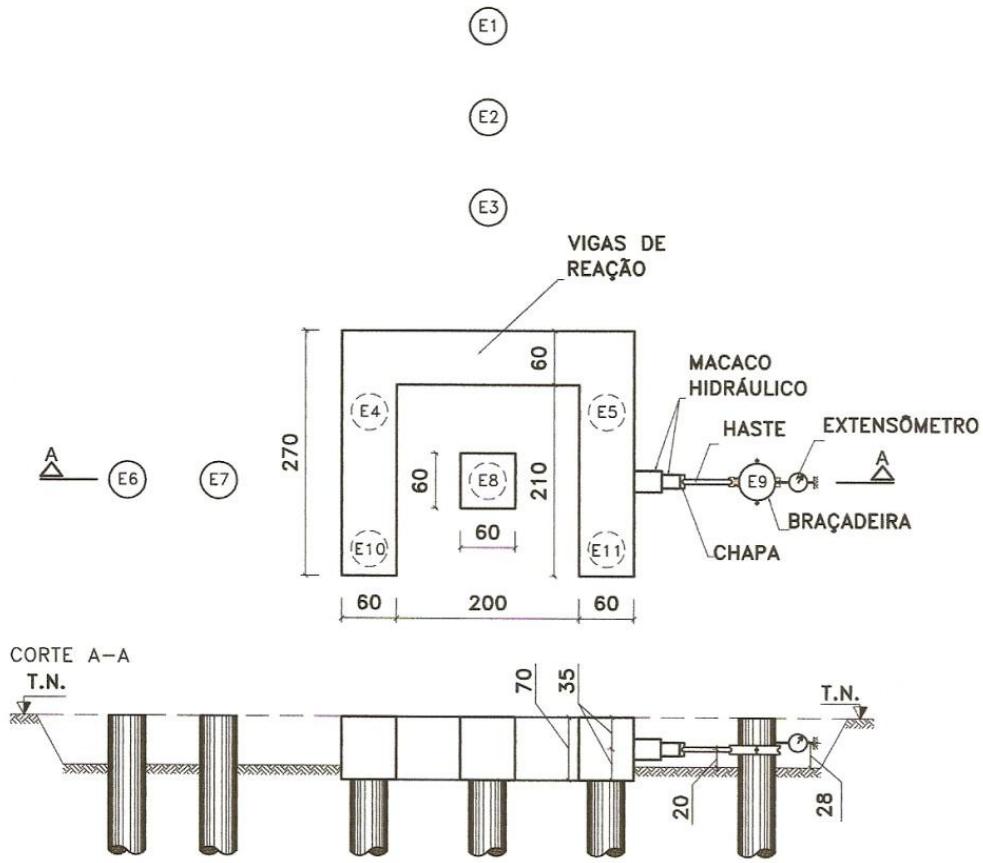
3.2.4 Ensaio de placa

Foi realizado um ensaio de prova de carga em placa (diâmetro de 0,80 m) apoiada no fundo de uma cava com profundidade de 1,50 m. A partir da curva carga recalque do ensaio, obteve-se para o coeficiente de reação vertical (k_v) um valor de 22,43 MN/m³. Nos ensaios de determinação de densidade “in situ” realizados na profundidade de 1,50 m, foi obtido um valor médio de 1,40 kN/m³ para o peso específico aparente seco.

4. ENSAIOS DE PROVA DE CARGA HORIZONTAL

As provas de carga foram executadas de acordo com a MB-3472 - Estacas - Prova de Carga Estática. Na Figura 4 apresenta-se o arranjo das vigas de reação e a disposição das estacas ensaiadas. Todas as estacas foram executadas com diâmetro de 400 mm, comprimento total de 8,50 m, armação longitudinal composta por seis barras de 16,0 mm, estribos de diâmetro 8,0 mm espaçados a cada 20 cm, concreto com f_{ck} igual a 32,54 MPa e espaçamento entre eixos de 1,0 m. As estacas E4, E5, E10 e E11 fazem parte do sistema de reação para a execução das provas de carga. Após a concretagem, o topo de todas as estacas foi arrasado. No topo da estaca E8 foi executado um bloco de concreto de dimensões 60x60x70 cm para execução de uma prova de carga à compressão (fora do escopo desse trabalho). As estacas E4, E5, E10 e E11 fazem parte do sistema de reação e foram unidas através de uma viga de concreto armado com seção 60x70 cm. O topo das estacas E1, E2, E3, E6, E7 e E9, submetidas a carregamento horizontal, foi reconstituído com a utilização de uma forma metálica de forma a garantir a uniformidade do diâmetro e permitir a montagem de uma braçadeira metálica (anel bipartido) provido de apoios rotulados e ajustáveis que recebem as hastes de transmissão de carga (barras instrumentadas). Foi ensaiada uma estaca isolada (estaca E9), um grupo de duas estacas em linha (estacas E6 e E7) e um grupo de três estacas em linha (estacas E1, E2 e E3). As estacas dos grupos de duas e três estacas foram conectadas através de barras instrumentadas, rotuladas nas extremidades, similares à haste indicada entre o macaco hidráulico e à estaca E9 na Figura 4.

Figura 4. Planta baixa e corte do esquema de reação e disposição das estacas submetidas às provas de carregamento horizontal no topo (cotas em centímetros).



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

4.1 PROVA DE CARGA HORIZONTAL EM ESTACA ISOLADA

A estaca E9 (estaca isolada) foi submetida a seis ciclos de carregamento horizontal (carga e descarga), de acordo com a montagem indicada na Figura 4. A carga foi aplicada pelo macaco hidráulico na estaca E9 (estaca isolada) a uma distância de 20 cm em relação ao nível do terreno (fundo da escavação). As cargas horizontais foram aplicadas na estaca em incrementos de 5 kN (ciclos 1, 2 e 3) e de 10 kN (ciclos 4, 5 e 6), a maioria desses em intervalos idênticos de cerca de 5 minutos. O descarregamento da estaca nos três primeiros ciclos foi realizado em decréscimos de 10 kN, no quarto de 25 kN, no quinto de 30 kN e no sexto em um estágio de 10,5 kN e outro de 4,5 kN. Os deslocamentos horizontais do topo da estaca foram medidos por extensômetros, com sensibilidade de 0,001 mm. Ao final de cada incremento de carga, foram executadas leituras de inclinômetro para medição dos deslocamentos horizontais ao longo da profundidade da estaca (leituras a cada 0,50 m, até os 4,50 m) através do tubo de alumínio inserido no centro da estaca durante a concretagem.

4.2 PROVA DE CARGA HORIZONTAL EM GRUPO COM DUAS ESTACAS

As estacas E6 e E7 do grupo de duas estacas em linha, foram submetidas a quatro ciclos de carregamento horizontal (carga e descarga). A carga foi aplicada pelo macaco hidráulico na estaca E7 a uma distância de 16 cm em relação ao nível do terreno (fundo da escavação). A carga na estaca E6 foi medida através de uma barra instrumentada colocada entre as duas estacas. As cargas horizontais foram aplicadas em incrementos de 10 kN (ciclos 1 e 2) e de 20 kN (ciclos 3 e 4) a maioria desses em intervalos idênticos de cerca de 5 minutos. O descarregamento nos dois primeiros ciclos foi realizado em decréscimos de 20 kN, e no terceiro e quarto ciclo, em decréscimos de 40 kN. De forma similar ao ensaio da estaca isolada, os deslocamentos horizontais do topo da estaca foram medidos por extensômetros e os deslocamentos horizontais ao longo da profundidade foram realizados através de inclinômetro.

4.3 PROVA DE CARGA HORIZONTAL EM GRUPO COM TRÊS ESTACAS

As estacas E1, E2 e E3 do grupo de três estacas em linha, foram submetidas a quatro ciclos de carregamento horizontal (carga e descarga). A carga foi aplicada pelo macaco hidráulico na estaca E3 a uma distância de 14 cm em relação ao nível do terreno (fundo da escavação). A carga na estaca E1 e E2 foi medida através de barras instrumentadas colocadas entre as estacas. As cargas horizontais foram aplicadas em incrementos de 15 kN (ciclos 1 e 2) e de 30 kN (ciclos 3 e 4) em intervalos idênticos de cerca de 5 minutos. O descarregamento da estaca nos dois primeiros ciclos foi realizado em decréscimos de 30 kN, e no terceiro e quarto ciclo, em decréscimos de 60 kN.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS PROVAS DE CARGA

5.1 VALORES DA CONSTANTE DO COEFICIENTE DE REAÇÃO HORIZONTAL (NH) OBTIDOS ATRAVÉS DE RETROANÁLISE DA PROVA DE CARGA DA ESTACA ISOLADA

Nos quatro primeiros ciclos de carregamento das provas de carga realizadas na estaca isolada (E9), foram alcançados deslocamentos horizontais na superfície

do terreno inferiores a 4 mm. Adotando-se a sugestão de utilizar valores de nh pouco dependentes dos deslocamentos sofridos à superfície proposta por Alizadeh & Davisson (1970), tem-se para a faixa de deslocamento na superfície (yo) compreendida entre 0,8 e 1,2 mm, valores de nh (constante do coeficiente de reação horizontal) entre 221 e 317 MN/m³. Os pequenos deslocamentos horizontais na superfície do terreno nos quatro primeiros ciclos de carregamento da estaca isolada (máximo de 2,941 mm) conduzem a valores de coeficiente de reação horizontal do solo muito superiores aos usualmente indicados na literatura técnica para o mesmo tipo de solo. Nos ciclos de carregamento 5 e 6 da estaca isolada (E9), os deslocamentos à superfície superaram a faixa entre 4 e 8 mm sugerida por Cintra (1981), possibilitando adotar valores de nh neste intervalo. Nesses ciclos, os níveis de deslocamento yo foram muito maiores que os dos demais (máximo de 29,219 mm no ciclo 06), uma vez que o nível de carregamento foi bem mais elevado (cerca de 120% maior). O significativo aumento do carregamento, provocou deslocamentos horizontais na superfície bem maiores que nos demais ciclos, conduzindo a valores de nh bem menores e mais próximos aos apresentados na literatura técnica. Por exemplo, para os dois últimos ciclos (5 e 6), os valores da constante do coeficiente de reação horizontal do solo foram respectivamente de 20 MN/m³ e de 10 MN/m³.

5.2 VALORES DE MÓDULO DEFORMABILIDADE DO SOLO (ES) OBTIDOS ATRAVÉS DE RETROANÁLISE DA PROVA DE CARGA DA ESTACA ISOLADA

Para estimativa do módulo de deformabilidade do solo (Es), foi utilizada a abordagem adotada por Lima e Cunha (2002) considerando a solução proposta por Poulos (1971) baseada na Teoria da Elasticidade, e a solução adotada por Souza Coutinho (2000), baseada na teoria apresentada por Budhu & Davies (1987, 1988). Para o ciclo de carregamento 01 da estaca isolada, considerando a faixa de deslocamento na superfície (yo) compreendida entre 0,8 e 1,2 mm, foram obtidos valores de Es entre 114,10 MN/m² e 103,02 MN/m² de acordo com a abordagem proposta por Poulos (1971) e 46,63 MN/m³ e 39,87 MN/m² de acordo com a abordagem proposta por Budhu & Davies (1987, 1988), os quais são bastantes superiores a valores obtidos em ensaios triaxiais para o mesmo tipo de solo encontrado na camada superficial do terreno do campo experimental da UFS. A fim de ressaltar a variação da rigidez do sistema solo-estaca-solo com a repetição dos ciclos

carregamento, verificou-se que no sexto ciclo, para a a carga de 20 kN, o deslocamento δ_0 foi de 2,12 mm, levando a valores de E_s da ordem de 25,25 MN/m² de acordo com a abordagem proposta por Poulos (1971), e 4,67 MN/m² de acordo com a abordagem proposta por Budhu & Davies (1987, 1988).

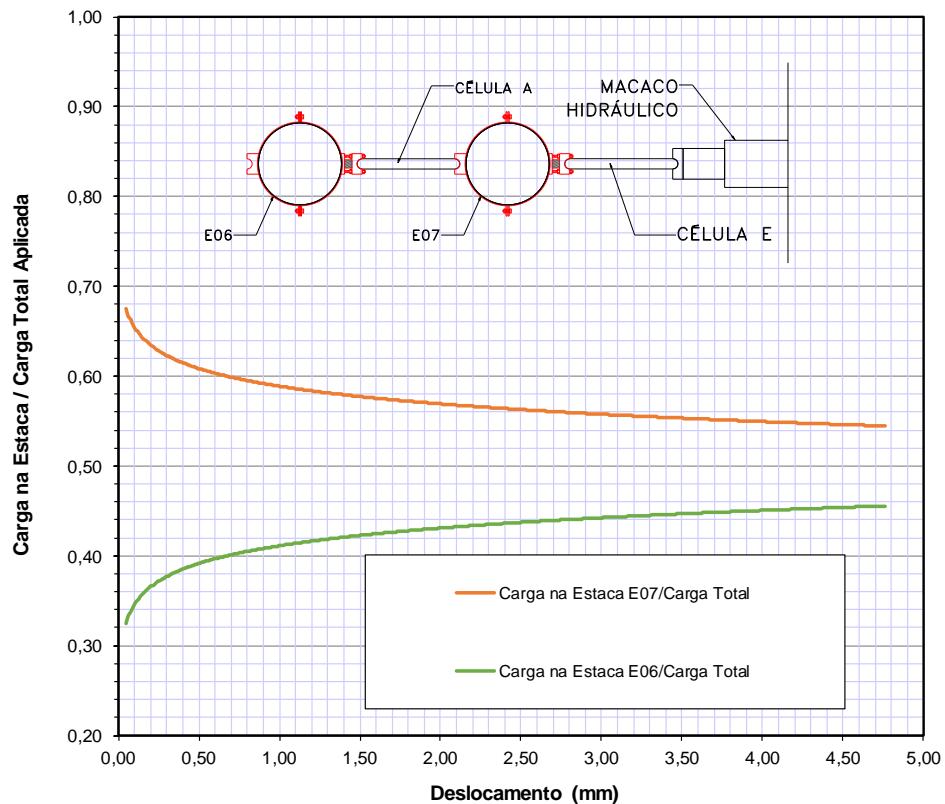
5.3 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS GRUPOS DE DUAS ESTACAS EM LINHA E TRÊS ESTACAS EM LINHA

Tomando-se como referência a carga mobilizada para o mesmo nível de deslocamento horizontal no ponto de aplicação do carregamento (Mandolini et al, 2005 e Schmidt, 1985), verifica que a eficiência de grupo para os grupo de duas estacas em linha e de três estacas em linha com espaçamento entre eixos de 2,5 diâmetros, tende para um valor de eficiência em torno de 70% em relação a estaca isolada. A fim de verificar a variação da eficiência com os ciclos de carga e descarga (redução da rigidez do sistema estaca-solo), também foi considerada a relação entre as cargas aplicadas para atingir o mesmo deslocamento para os vários ciclos de carregamento da estaca isolada. Para para os ciclos 02 e 03 foi obtido um valor de eficiência em torno de 90%. Para o Ciclo 04, verifica-se uma maior perda de rigidez (eficiência de 85% em relação ao ciclo 01), ressaltando que durante a aplicação de carga no estágio entre 50 kN e 60 kN houve uma mudança brusca de comportamento. Para o Ciclo 05 com carga máxima de 120 kN e para o Ciclo 06 com carga máxima de 150 kN, a redução da rigidez do sistema estaca-solo em relação ao ciclo 01 é altamente pronunciada (26% para o ciclo 05 e 17% para o ciclo 06).

5.4 DISTRIBUIÇÃO DE CARGA ENTRE ESTACAS

Com base nos resultados das provas de carregamento horizontal dos grupos com de estacas em linha, verifica que à medida que aumenta o nível de deslocamento, aumenta a contribuição da estaca frontal.

Figura 5. Curvas carga por estaca/carga total x deslocamento referente às estacas E6 e E7



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base estudo experimental sobre grupos de estacas tipo hélice contínua executadas em solo arenoso apresentado nesse trabalho, apresenta-se as seguintes conclusões e recomendações:

1. Considerando que valores do coeficiente de reação horizontal (nh) são altamente dependentes do nível de deslocamento, a adoção de valores de nh definidos com base em deslocamentos próximos à carga última pode resultar em projeto conservadores. Nesse sentido, recomenda-se que em projetos onde os carregamentos horizontais sejam significativos, o dimensionamento das fundações seja baseado em resultados de provas de carga executadas a priori;
2. Os valores do módulo de deformabilidade do solo (Es) obtidos a partir da retroanálise de ensaios de carga horizontal para o deslocamento correspondente as cargas horizontais usualmente adotadas em projeto para a estaca hélice contínua de diâmetro 400 mm, são superiores aos obtidos em ensaios triaxiais para o mesmo tipo de solo, evidenciando a necessidade de

- mais estudos experimentais e teóricos referentes ao comportamento de estacas carregadas horizontalmente para níveis de carregamento de serviço;
3. Verifica-se que a cada repetição de carregamento ocorre uma degradação da rigidez do sistema estaca-solo, refletida no aumento da deflexão a cada ciclo de carregamento. Este comportamento está associado ao espaço gerado entre o topo da estaca e o solo circundante que aumenta a cada ciclo de carregamento, representando um desafio para a modelagem do comportamento de estacas submetidas a carregamentos horizontais cíclicos.
 4. Com relação a eficiência de grupo, verifica-se que para o espaçamento entre eixos de 2,5 diâmetros, a eficiência dos grupos de estacas ensaiados, atingiu valores em torno de 70%.
 5. A partir dos resultados dos ensaios de grupo de estacas, verifica-se que a contribuição da estaca frontal aumenta à medida que aumenta o nível de deslocamento. Porém, à medida que a carga aumenta, o solo comprimido entre as estacas acaba fluindo lateralmente ao longo das laterais da estaca frontal, conforme relatado por Schmidt (1985) e a estaca frontal recebe a maior parte do carregamento.

AGRADECIMENTOS

Os resultados apresentados nesse artigo, fazem parte da pesquisa de doutorado desenvolvida pelo autor principal no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFPE - Universidade Federal de Pernambuco. Os autores agradecem o apoio institucional das suas universidades de origem e das instituições públicas e empresas privadas que forneceram apoio técnico e financeiro para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASHOUR, M., PILLING, P., AND NORRIS, G. (2004), **Lateral behavior of pile groups in layered soils**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(6): 580–592.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992), Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio. NBR 12.13. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Rio de Janeiro, 04 p.
- ALIZADEH, M.; DAVISSON, M. T. (1970), Lateral load tests on piles-Arkansas River project. **ASCE**, Vol. 96, SM4, pp. 1583-1604.
- BUDHU, M.; DAVIES, T.G. (1987), Non-linear analysis of laterally loaded piles in cohesionless soils. **Canadian Geotechnical Journal**, Vol. 24, pp. 289-296.
- BUDHU, M.; DAVIES, T.G. (1988), Analysis of laterally loaded piles in soft clays. *J. Geotech Eng.*, **ASCE**, 114(1), pp. 21-39.
- CODISE/CPRM (2014), Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Sergipe, Escala 1:250.000. Governo do Estado de Sergipe.
- COMODROMOS, E.M., AND PITILAKIS, K.D. (2005), **Response evaluation for horizontally loaded fixed-head pile groups using 3-D non-linear analysis**. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 29(6):597–625
- CINTRA, J. C. A (1981), Uma análise de provas de carga lateral em estacas e comparação com os métodos da Teoria de Reação Horizontal. Dissertação de Mestrado. USP - EESC – Departamento de Geotecnica, 150 p.
- FARIAS, M. C. V. (2001), Sub-bacia hidrográfica do rio Poxim : transformação da paisagem (1970-2010). Tese de Doutorado em Geografia. **Universidade Federal de Sergipe**, São Cristóvão/SE:[258 p].
- ISENHOWER, W.M., VASQUEZ, L.G., AND WANG, S.T. (2014), **Analysis of settlementinduced bending moments in battered piles**. In From soil behavior fundamentals to innovations in geotechnical engineering. American Society of Civil Engineers, San Antonio, Tex., pp. 497–511.
- KOCSIS, P. Discussion of lateral load tests on piles. Arkansas River Project, Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, **ASCE**, v. 97, no SM6, June, 1971, p. 932-935.
- LIMA, M. J.; Cunha, R. P.(202). Obtenção de parâmetros de projeto via retroanálises de estacas carregadas horizontalmente, assentes em argila porosa colapsível de Brasília-DF, In: **XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, São Paulo.
- MANDOLINI, A, RUSSO, G. & VIGGANI, C. (2005), Pile foundations: Experimental investigations, analysis and design. Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. © 2005–2006 **Millpress Science Publishers/IOS Press**.
- MATLOCK, H.; REESE, L. C. (1960), **Generalized solutions for laterally loaded piles**. Journal of The Soil Mechanics and Foundation Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 86, No SM 5, pp. 63-91.

POULOS, H. G. (1971a), Behavior of laterally loaded piles: I Single Piles. *Journal of the Soil Mech. Found. Div.*, **ASCE**, Vol. 97, SM5, pp. 711-731.

POULOS, H. G. (1971b), Behavior of laterally loaded piles: II Pile Groups. *Journal of the Soil Mech. Found. Div.*, **ASCE**, Vol. 97, SM5, pp. 733-751.

POULOS, H. G., DAVIS, E. H. (1980), **Pile foundation analysis and design**. New York: John Wiley & Sons. Chap. 7, pp. 143-249.

REESE, L. C.; COX, W. R.; KOOP, F. D. (1974), **Analysis of laterally loaded piles in sand**. Proceedings, VI Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 2 (OTC 2080), pp. 473-485.

SCHMIDT, H. G. (1985), Horizontal Loads Tests on Piles of Large Diameter Bored Piles. In: **XI ICSMFE**, v. 3, p. 1569-1573.

SOUZA COUTINHO, A. G. F. (2000), Previsão da Curva Forças/Deslocamentos de Grupos de Estacas Sob Cargas Laterais Baseada em Ensaios de Estacas Isoladas. **VII Congresso Nacional de Geotecnia**, Porto Vol I, 645-654.



CAPÍTULO

06

CADEIA PRODUTIVA DE UMA PISCICULTURA DA ASSOCIAÇÃO COMUNITÁRIA SÃO JOSÉ DO CARAPI, MUNICÍPIO DE MARACANÃ (PARÁ, BRASIL)

Gilberto dos Santos Oliveira

Mestre em Desenvolvimento Rural e Gestão em Projetos Agroalimentares
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)
E-mail: a.arapaima@bol.com.br

Adebaro Alves dos Reis

Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Tópico Úmido
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)
E-mail: adebaro.reis@ifpa.edu.br

Antônia Rafaela Gonçalves Macedo

Doutora em Ciência Animal
Universidade da Amazônia, Campus Castanhal (UNAMA)
Email: argmaquicultura@hotmail.com

André Luiz Pereira da Silva

Doutor em Agronomia, Ciência do Solo
Universidade Federal do Pará, Campus Castanhal (UFPA)
E-mail: andreengagronomo@gmail.com

Welliton de Lima Sena

Doutor em Ciências Agrárias
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)
E-mail: welliton.sena@ifpa.edu.br

Marcos Roberto Farias Mendes

Graduando em Licenciatura em Educação do Campo
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)
E-mail: mrfmendes@hotmail.com

Alberani Pinheiro Maciel

Mestre em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)
E-mail: alberani.maciel@ifpa.com.br

Ewerton Costa Lagos

Graduando em Letras, língua espanhola.
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)
E-mail: ewerton.lagos@ifpa.edu.br

Oclizio Medeiros das Chagas Silva

Doutor em Ciências Ambientais e Florestais

Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

E-mail: omflorestal@hotmail.com

Alexandre da Trindade Lélis

Mestrando em Ciências Florestais

Universidade Federal Rural da Amazonia (UFRA)

E-mail: alexandre_lelis18@hotmail.com

RESUMO: Aquicultura refere-se à criação de organismos aquáticos e tem grande importância econômica no cenário mundial. Este trabalho analisa aspectos socioeconômicos da piscicultura semi-intensiva desenvolvida pela Associação Comunitária de São José do Caripí (ACSJC), na Reserva Marinha de Maracanã-PA. A pesquisa, realizada na comunidade local, envolveu visitações às propriedades rurais, utilizando metodologias do Diagnóstico Rural Participativo. A comunidade é composta por 40 famílias, majoritariamente dedicadas à agricultura de subsistência, com piscicultura focada no cultivo de tambaqui e seus híbridos. Entraves como escoamento da produção e falta de comprometimento de parte dos associados foram identificados. A ACSJC, com 12 membros, produz em média 2 toneladas/há. A piscicultura, mesmo com recursos limitados, tem grande potencial de crescimento e demanda investimentos, políticas públicas e pesquisas para garantir o desenvolvimento rural sustentável e a melhoria da renda familiar dos associados.

PALAVRAS-CHAVE: associação comunitária, piscicultura, sistema semi-intensivo.

ABSTRACT: Aquaculture refers to the creation of aquatic organisms and has great economic importance on the world stage. This work analyzes socioeconomic aspects of semi-intensive fish farming developed by the São José do Caripí Community Association (ACSJC), in the Maracanã-PA Marine Reserve. The research, carried out in the local community, involved visits to rural properties, using Participatory Rural Diagnosis methodologies. The community is made up of 40 families, mostly dedicated to subsistence agriculture, with fish farming focused on the cultivation of tambaqui and its hybrids. Obstacles such as production flow and lack of commitment on the part of associates were identified. ACSJC, with 12 members, produces an average of 2 tons/ha. Fish farming, even with limited resources, has great potential for growth and demands investments, public policies and research to guarantee sustainable rural development and improve the family income of members.

KEYWORDS: community association, fish farming, semi-intensive system.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos países de maior potencial para a expansão da aquicultura, no momento em que é crescente a demanda mundial por alimentos de origem aquática, não apenas em função da expansão populacional, mas também pela preferência por alimentos mais saudáveis (Valenti *et al.*, 2000; FAO 1998).

De acordo com a Associação Brasileira da Piscicultura, o Brasil produziu 841.005 toneladas de peixes de cultivo, em 2021, sendo que a tilapicultura teve um aumento de 9,8% em relação a 2020. A tilápia foi responsável por 63,5% da produção brasileira. Dentre as principais espécies exportadas, a tilápia manteve o primeiro lugar, respondendo por 88% das vendas externas e receita de US\$ 18,2 milhões, sendo que foram vendidas 903 toneladas de file de tilápia fresco ou refrigerado, obtendo um valor de US\$ 5,4 milhões (Associação Brasileira da Piscicultura, 2022).

A piscicultura, como atividade produtiva, requer o planejamento e gestão do funcionamento do empreendimento e o uso dos recursos naturais necessários para seu desenvolvimento, considerando sua máxima eficiência produtiva e sustentabilidade econômica, social e ambiental, além do conhecimento do ambiente externo (Matias, 2015).

A piscicultura é uma importante atividade para a geração de alimento, emprego e renda para centenas de milhões de pessoas que atuam direta ou indiretamente na cadeia de produção e distribuição do pescado em todo o mundo (FAO, 2016).

A cadeia produtiva da piscicultura tem elos bem definidos, compostos pelos setores de organização (empreendimento), produção, insumos, beneficiamento (agroindústria), distribuição, comercialização e mercado consumidor (Schulter; Vieira Filho, 2017).

Os pequenos produtores possuem menor capacidade de acesso às informações tecnológicas, mercadológicas e gerenciais, e acabam, na maioria das vezes, acumulando perdas significativas da rentabilidade dos seus investimentos, ou ainda sendo exclusos do sistema pela baixa capacidade de investimento na atividade produtiva (Batista, 2013).

Neste sentido, o setor da piscicultura vem apresentando um crescimento na criação e surgimentos de empreendimentos (associações e cooperativas) de piscicultores que contribuindo para fortalecimento da aquicultura e favorecendo o

desenvolvimento regional e territorial da produção de peixes, passando a apresentar uma grande tendência à produção deste produto.

A piscicultura paraense embora seja consideravelmente disseminada no estado e disponha de recursos naturais, diversidade de espécies e clima favorável à atividade, sua cadeia produtiva se encontra pouco estruturada, desde a produção de insumos até o ambiente institucional (Brabo, 2016). Entretanto, cabe destacar que os maiores obstáculos para viabilizar os empreendimentos ou impulsionar a atividade ainda são relacionados a má administração, planejamento e controle zootécnico e/ou econômico inadequados, além de deficiência técnica em processos operacionais por falta de capacitação/profissionalismo dos produtores e ausência de assistência técnica (Brabo, 2014).

Nesse sentido, é de suma importância traçar um perfil da cadeia produtiva da piscicultura: Associação Comunitária de São José do Caripí – ACSJC.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Maracanã está inserido na Mesorregião do nordeste paraense, vinculado à microrregião do salgado, tendo como limites; ao Norte o oceano Atlântico, à leste com os municípios de Salinópolis, Santarém Novo e São João de Pirabas, ao sul com o município de Igarapé-Açu, e à Oeste com os municípios de Marapanim e Magalhães Barata (PARÁ, 2012).

A pesquisa foi realizada no período de março a setembro de 2021, no projeto de piscicultura da Associação Comunitária de São Jose do Caripí, na Comunidade do mesmo nome, que fica localizada a 23 km da sede do município de Maracanã-PA, sendo circundada pelo rio Caripí e afluentes (SEBRAE/PA, 2009).

As precipitações pluviométricas do município e região estão em torno de 2.000mm/ano, com maior índice de chuva no primeiro semestre com ênfase nos meses de janeiro a abril, e o menor índice de setembro a dezembro (PARÁ,2012).

O Município apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 0°46' 43" de latitude Sul e 47°27' 4" de longitude Oeste, e na Comunidade de São José do Caripí: 0°56'56.2" de latitude Sul e 47°30'48.4" de longitude Oeste, inserida na Reserva Extrativista Marinha de Maracanã e banhada pelo Rio Caripí (Figura 1).

O Município ainda dispõe de áreas cobertas de mata original de terra firme cujo solo é recoberto de floresta densa de baixos platôs. Devido a intensidade dos desmatamentos, hoje predominam florestas secundárias ou capoeiras em vários estágios de regeneração. A vegetação de várzea se distribui nas margens sinuosas dos rios Maracanã, Caripí e afluentes, além da faixa de manguezal que dominam a porção litorânea (PARÁ, 2012).

Figura 1: Localização da Vila de São José do Caripí em Maracanã-Para-Brasil



Fonte: IFPA/IBGE 2016.

Para a caracterização da comunidade e da associação, foram utilizadas algumas das metodologias do Diagnóstico Rural Participativo-DRP (aplicação de formulários semiestruturados, entrevistas informais, levantamentos e construção histórica do empreendimento, mapas e croquis das propriedades), pois segundo Verdejo (2006) a participação dos agricultores no processo é importante para torná-los sujeitos ativos nos processos dialógicos e na própria organização da comunidade, não somente como objetos de pesquisas, mas como atores principais.

De acordo com Gomes (2007), devemos observar, como forma de avaliação e com relação aos produtores envolvidos no sistema, os parâmetros socioeconômicos, que por sua vez, são distribuídos por categoria (Parâmetros demográficos, sociais e econômicos) e definidos do ponto de vista operacional.

Os parâmetros demográficos mostraram a caracterização dos indivíduos quanto ao: sexo, idade, estado civil, número de filhos e o número de pessoas por domicílio.

Os parâmetros sociais mostram o nível de escolaridade, se o entrevistado continua ou não estudando, as condições de moradia, qual a fonte de abastecimento

de água, questão de saneamento básico e energia elétrica. E os parâmetros econômicos estão relacionados a identificação da atividade geradora de renda familiar, número de pessoas envolvidas na formação da renda familiar e os incentivos governamentais recebidos pelas famílias e outros bens.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 PERFIL DA PISCICULTURA DA ACSJC

A comunidade de São José do Caripí está localizada no município de Maracanã, na RESEXMAR que pertence à Mesorregião do Nordeste Paraense e Microrregião do Salgado, distante 168 km de Belém, capital do estado do Pará com acesso pela BR 316 e PA 127 (Km 23), distante 03 km pelo ramal da comunidade. É banhada pelo Rio Caripí e seus afluentes, que são responsáveis pelo abastecimento de água para uso das famílias e através do desvio e bombeamento para suprir as necessidades hídricas dos viveiros escavados em período de estiagem.

A comunidade local é atualmente povoada por 40 famílias perfazendo 160 habitantes e a atividade econômica predominante é a agricultura de subsistência baseada no cultivo da lavoura da mandioca e macaxeira (*Manihot esculenta* Crantz), do milho (*Zea mays* L.) e do arroz (*Oryza sativa* L.) anualmente. Mas desenvolvem a piscicultura em sistema semi-intensivo, com recursos limitados em viveiros escavados.

A Associação Comunitária de São José do Caripí (ACSJC), oficialmente fundada em 19 de junho de 1996, atualmente é composta por doze membros, todos estes moradores da comunidade, são responsáveis pelo acompanhamento e manejo adequado dos sistemas de cultivo de piscicultura e recebem acompanhamento técnico de instituições parceiras que atuam junto aos produtores e facilitam o desempenho da atividade, cuja a venda de seus produtos é realizada durante o ano todo e em grande parte no período de Semana Santa.

Confirmado pela maioria dos entrevistados (83,34%), o sistema de cultivo predominante, é o semi-intensivo, com uma produtividade média obtida nos viveiros escavados, de 2 toneladas/ha, obtidas na safra 2014/15.

Todos os associados que participaram da pesquisa afirmaram que o sistema de abastecimento d'água dos viveiros provém do Rio Caripí que circunda a

comunidade, auxiliando com adubação fitoplânctônica, além da manutenção dos níveis de água dos viveiros.

As áreas utilizadas para a instalação dos viveiros escavados são de propriedade da comunidade, arrendadas ou próprias. Nas propriedades visitadas, a disponibilidades de água, além da qualidade do solo e características topográficas do terreno, são os elementos principais que determinam a viabilidade da atividade piscícola, explorada pelos produtores familiares (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo estatístico referente à caracterização da produção da piscicultura na Associação Comunitária de São José do Caripí - ACSJC.

QUESTÕES	RESPOSTAS	FREQUÊNCIA	PERCENTUAL (%)
Sistemas de cultivo	Extensivo	2/12	16,66
	Semi-intensivo	10/12	83,34
Ciclo produtivo	Até 6 meses	-	-
	Até 1 ano	12/12	100
Força de trabalho	Até 1 ½ ano	-	-
	Individual	-	-
Periodicidade de alimentação dos peixes	Familiar	1/12	8,34
	Mutirão	11/12	91,66
Problemas recorrentes na produção (resposta múltipla)	2 vezes/semana	-	-
	4 vezes/semana	9/12	75
	Todos os dias	3/12	25
Sobre plano de Negócios:	Alto custo de insumos apropriados	12/12	100
	Carência de assistência técnica e de cursos de qualificação de mão de obra	2/12	16,66
	Falta de organização da produção	7/12	58,33
	Sazonalidade da produção	6/12	50
	Conhece	-	-
	Já ouviu falar	-	-
Fonte: Autores			

No que diz respeito ao ciclo produtivo, 100% dos entrevistados realizam uma vez ao ano despesca, com o intuito de abastecer a demanda no mercado local, bem como os municípios vizinhos, dentre os quais: Castanhal, Igarapé-Açú, São Francisco do Pará, Magalhães Barata, durante a Semana Santa, período este ainda caracterizado como o único em que ocorre um aumento na renda familiar, por decorrência dos maiores índices de venda.

Entretanto, os principais gargalos enfrentados pela piscicultura na pequena propriedade são: alto custo dos insumos apropriados principalmente ração; a carência de assistência técnica e de cursos de qualificação de mão-de-obra; a falta de organização da produção; a deficiência na comercialização (escala de produção insuficiente para atender a demanda); sazonalidade da produção (conforme a espécie cultivada). O conhecimento sobre plano de negócio, também é deficiente, apenas 25% já ouviram falar sobre o assunto, cabendo aos demais (75%), uma resposta negativa.

Sidônio *et al.*, (2012), afirmam que a atividade piscícola se encontra pouco estruturada no país, pois há dificuldade na obtenção de licenciamento ambiental, carência de assistência técnica, manejo inadequado, e grande necessidade de capital de giro, entre outros fatores. Porém, segundo os autores, com uma política de pesquisa e desenvolvimento para espécies promissoras e a modernização e profissionalização do setor, a aquicultura brasileira poderá ser bastante desenvolvida.

Para Prochmann e Tredezini (2004), grande parte dos pequenos produtores não é capaz de produzir em escala e com competitividade, em vista do baixo poder econômico e das dificuldades de organização. Em relação à importância do setor piscícola, 90% dos entrevistados, afirmam ser uma atividade que contribui significativamente na renda, além de ser a principal fonte de alimento de origem animal consumida pela maioria das famílias.

Nesse sentido, pesquisa realizada por Ramos Filho *et al.*, (2008) destacam que o pescado é um alimento importante na dieta de inúmeros grupos populacionais, não apenas como fonte de proteínas de alta qualidade nutricional, mas ainda como reserva significativa de ácidos graxos poli-insaturados da série ômega 3, aos quais são atribuídos numerosos benefícios à saúde humana.

Desta forma, estudos que avaliem o meio de produção dos piscicultores familiares se fazem necessários para o desenvolvimento local do setor, além da contribuição para a segurança alimentar da comunidade.

4. CONCLUSÃO

A atividade de piscicultura semi-intensiva realizada na Associação Comunitária de São José do Caripí (ACSJC), apresenta grande potencial de crescimento devido às condições ambientais locais, além do aumento da produção de pescado no município, melhorando assim a renda familiar dos associados e contribuindo para a geração de trabalho e renda.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Castanhal (IFPA) pela oportunidade de desenvolvimento do trabalho junto ao programa de pós-graduação.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, A. A **contribuição da piscicultura para as pequenas propriedades rurais em Dourados - MS**. Dissertação defendida no Programa de Pós-graduação em Agronegócios-PPGA. Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia FACE. Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD. Disponível em: < <http://www.portal.ufgd.edu.br/pos-graduacao/mestrado-agronegocios>. Consultado dia 06 de maio de 2021.
- BRABO, M. F. Piscicultura no estado do Pará: situação atual e perspectivas. **Revista Actapesca**, 2(1): i-vii. 2014.
- FAO. 1998. Gestão para cultura de peixes de água doce: estoques de peixes e gestão de fazendas . **FAO Training Series** No. 21/2. Roma.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome, 2014, 223 p.
- FAO. (2016). Statistical Yearbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- GOMES, F. P; KLEIN. M. J; STEFFEN, M; MIRIANI, S. **Introdução a Economia Solidária**. Modulo 2. Projeto Casa Brasil. 2007.
- MATIAS, J. F. N. **Aquicultura e os desafios de produzir com sustentabilidade**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA – ZOOTEC, 25. Fortaleza, CE. Anais... Fortaleza: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2015.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 10 de dezembro de 2020.
- PARÁ (Estado). **Secretaria de Planejamento, Orçamento e Finanças. Estatística Municipal**, Banco de dados. Maracanã- Pará,2012.446p.: Acesso em: 3 mar. 2021.
- PROCHMANN, A. M.; TREDEZINI, C. A. O. **A piscicultura em Mato Grosso do Sul como instrumento de geração de emprego e renda na pequena propriedade**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 42. Anais. Cuiabá: SOBER, 2004.
- RAMOS FILHO, M. M.; RAMOS, M. I.; HIANE, P. A.; SOUZA, E. M. T. Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. **Revista de Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 28, p.361-365, 2008.
- SEBRAE/PARÁ. **Projeto Nova Caripí**: Piscicultura da Associação Comunitária de São José do Caripí-ACSJC.2009.6p.
- SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES JÚNIOR, A.J.; MUNGIOLI, R. **Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades**. BNDES Setorial, v.35, p.421-463, 2012.
- SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Evolução da piscicultura no brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada** – ipea 2017, 35p.
- VALENTI, WC & NEW, MB. Grow-out systems - monocultura. *Em* MB New & WC Valenti, eds. Cultivo de camarão de água doce: o cultivo de Macrobrachium rosenbergii. **Oxford, Inglaterra, Blackwell Science**, pp. 157-176. 2000.



CAPÍTULO

07

PERFIL DA CADEIA PRODUTIVA DE UMA PISCICULTURA NA AMAZÔNIA

Gilberto dos Santos Oliveira

Mestre em Desenvolvimento Rural e Gestão em Projetos Agroalimentares
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Castanhal
E-mail: a.arapaima@bol.com.br

Adebaro Alves dos Reis

Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Tópico Úmido
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Castanhal
E-mail: adebaro.reis@ifpa.edu.br

Antônia Rafaela Gonçalves Macedo

Doutora em Ciência Animal
Universidade da Amazônia, Campus Castanhal (UNAMA) - Castanhal
E-mail: argmaquicultura@hotmail.com

André Luiz Pereira da Silva

Doutor em Agronomia, Ciência do Solo
Universidade Federal do Pará (UFPA) - Castanhal
E-mail: andreengagronomo@gmail.com

Welliton de Lima Sena

Doutor em Ciências Agrárias
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Castanhal
E-mail: welliton.sena@ifpa.edu.br

Marcos Roberto farias Mendes

Graduando em Licenciatura em Educação do Campo
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Castanhal
E-mail: mrfmendes@hotmail.com

Alberani Pinheiro Maciel

Mestre em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Castanhal
E-mail: alberani.maciel@ifpa.com.br

Ewerton Costa Lagos

Graduando em Letras, Língua Espanhola
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Castanhal
E-mail: ewerton.lagos@ifpa.edu.br

Oclizio Medeiros das Chagas Silva

Doutor em Ciências Ambientais e Florestais

Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

E-mail: omflorestal@hotmail.com

Alexandre da Trindade Lélis

Mestrando em Ciências Florestais

Universidade Federal Rural da Amazonia (UFRA) - Belém

E-mail: alexandre_lelis18@hotmail.com

RESUMO: Aquicultura é uma atividade muito praticada na Amazônia e tem grande importância econômica no cenário mundial. Logo, o objetivo desse trabalho analisa o perfil de uma cadeia produtiva da piscicultura semi-intensiva desenvolvida por uma comunidade na região nordeste do Estado do Pará, na Reserva Marinha de Maracanã-PA. A piscicultura paraense embora seja consideravelmente disseminada no estado e disponha de recursos naturais, diversidade de espécies e clima favorável à atividade, sua cadeia produtiva se encontra pouco estruturada, desde a produção de insumos até o ambiente institucional. O estudo foi realizado na comunidade local, envolveu visitações às propriedades rurais, utilizando metodologias do Diagnóstico Rural Participativo. A comunidade é composta por 40 famílias, majoritariamente dedicadas à agricultura de subsistência, com piscicultura focada no cultivo de tambaqui e seus híbridos. Entraves como escoamento da produção e falta de comprometimento de parte dos associados foram identificados. A pesquisa foi realizada no período de março a setembro de 2021, no projeto de piscicultura da Associação Comunitária de São Jose do Caripí, na Comunidade do mesmo nome, que fica localizada a 23 km da sede do município de Maracanã-PA, sendo circundada pelo rio Caripí e afluentesA ACSJC, com 12 membros, produz em média 2 toneladas/há. A piscicultura tem grande potencial de crescimento e demanda investimentos, políticas públicas e pesquisas para garantir o desenvolvimento rural sustentável e a melhoria da renda familiar dos associados.

PALAVRAS-CHAVE: desenvolvimento local, comunidade, Amazônia, piscicultura, sistema semi-intensivo.

ABSTRACT: Aquaculture is an activity widely practiced in the Amazon and has great economic importance on the world stage. Therefore, the objective of this work analyzes the profile of a semi-intensive fish farming production chain developed by a community in the northeast region of the State of Pará, in the Maracanã Marine Reserve-PA. Fish farming in Pará, although it is considerably widespread in the state and has natural resources, species diversity and a climate favorable to the activity, its production chain is poorly structured, from the production of inputs to the institutional environment. The study was carried out in the local community, involving visits to rural properties, using Participatory Rural Diagnosis methodologies. The community is made up of 40 families, mostly dedicated to subsistence agriculture, with fish farming focused on the cultivation of tambaqui and its hybrids. Obstacles such as production flow and lack of commitment on the part of associates were identified. The research was carried out from March to September 2021, in the fish farming project of the São Jose do Caripí Community Association, in the Community of the same name, which is located 23 km from the headquarters of the municipality of Maracanã-PA, being surrounded by the

Caripí river and tributaries The ACSJC, with 12 members, produces an average of 2 tons/ha. Fish farming has great potential for growth and demands investments, public policies and research to guarantee sustainable rural development and improve the family income of members.

KEYWORDS: local development, community, amazon, fish farming, semi-intensive system.

1. INTRODUÇÃO

A piscicultura, como atividade produtiva, requer o planejamento e gestão do funcionamento do empreendimento e o uso dos recursos naturais necessários para seu desenvolvimento, considerando sua máxima eficiência produtiva e sustentabilidade econômica, social e ambiental, além do conhecimento do ambiente externo (Matias, 2015, Silva *et al.*, 2024 e Oliveira *et al.*, 2024).

O Brasil vem se destacando no cenário mundial como o maior potencial para a expansão da aquicultura, no momento em que é crescente a demanda mundial por alimentos de origem aquática, não apenas em função da expansão populacional, mas também pela preferência por alimentos mais saudáveis (Fao 1998; Oliveira *et al.*, 2024 e Valenti *et al.*, 2000;).

A piscicultura é uma importante atividade para a geração de alimento, emprego e renda para centenas de milhões de pessoas que atuam direta ou indiretamente na cadeia de produção e distribuição do pescado em todo o mundo (Fao, 2016).

A cadeia produtiva da piscicultura tem elos bem definidos, compostos pelos setores de organização (empreendimento), produção, insumos, beneficiamento (agroindústria), distribuição, comercialização e mercado consumidor (Schulter; Vieira Filho, 2017).

Os pequenos produtores possuem menor capacidade de acesso às informações tecnológicas, mercadológicas e gerenciais, e acabam, na maioria das vezes, acumulando perdas significativas da rentabilidade dos seus investimentos, ou ainda sendo exclusos do sistema pela baixa capacidade de investimento na atividade produtiva (Prochmann, 2004; Sidonio, 2012 e Batista, 2013).

Neste sentido, o setor da piscicultura vem apresentando um crescimento na criação e surgimentos de empreendimentos (associações e cooperativas) de piscicultores que contribuindo para fortalecimento da aquicultura e favorecendo o desenvolvimento regional e territorial da produção de peixes, passando a apresentar uma grande tendência à produção deste produto.

A piscicultura paraense embora seja consideravelmente disseminada no estado e disponha de recursos naturais, diversidade de espécies e clima favorável à atividade, sua cadeia produtiva se encontra pouco estruturada, desde a produção de insumos até o ambiente institucional (Brabo, 2016). Entretanto, cabe destacar que os maiores obstáculos para viabilizar os empreendimentos ou impulsionar a atividade

ainda são relacionados a má administração, planejamento e controle zootécnico e/ou econômico inadequados, além de deficiência técnica em processos operacionais por falta de capacitação/profissionalismo dos produtoredis e ausência de assistência técnica (Brabo, 2014).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi traçar um perfil da cadeia produtiva da piscicultura: Associação Comunitária de São José do Caripí – ACSJC na Região nordeste do Estado do Pará.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL (COMUNIDADE LOCAL)

O município de Maracanã está inserido na Mesorregião do nordeste paraense, vinculado à microrregião do salgado, tendo como limites; ao Norte o oceano Atlântico, à leste com os municípios de Salinópolis, Santarém Novo e São João de Pirabas, ao sul com o município de Igarapé-Açu, e à Oeste com os municípios de Marapanim e Magalhães Barata (Pará, 2012).

A pesquisa foi realizada no período de março a setembro de 2021, no projeto de piscicultura da Associação Comunitária de São Jose do Caripí, na Comunidade do mesmo nome, que fica localizada a 23 km da sede do município de Maracanã-PA, sendo circundada pelo rio Caripí e afluentes (Sebrae/PA, 2009).

As precipitações pluviométricas do município e região estão em torno de 2.000mm/ano, com maior índice de chuva no primeiro semestre com ênfase nos meses de janeiro a abril, e o menor índice de setembro a dezembro (Pará, 2012).

O Município apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 0°46' 43" de latitude Sul e 47°27' 4" de longitude Oeste, e na Comunidade de São José do Caripí: 0°56'56.2" de latitude Sul e 47°30'48.4" de longitude Oeste, inserida na Reserva Extrativista Marinha de Maracanã e banhada pelo Rio Caripí (Figura 1).

O Município ainda dispõe de áreas cobertas de mata original de terra firme cujo solo é recoberto de floresta densa de baixos platôs. Devido a intensidade dos desmatamentos, hoje predominam florestas secundárias ou capoeiras em vários estágios de regeneração. A vegetação de várzea se distribui nas margens sinuosas dos rios Maracanã, Caripí e afluentes, além da faixa de manguezal que dominam a porção litorânea (Pará, 2012).

Figura 1. Localização da Vila de São José do Caripí em Maracanã-Para-Brasil



Fonte: IFPA/IBGE 2016.

Para a caracterização da comunidade e da associação, foram utilizadas algumas das metodologias do Diagnóstico Rural Participativo-DRP (aplicação de formulários semiestruturados, entrevistas informais, levantamentos e construção histórica do empreendimento, mapas e croquis das propriedades), pois segundo Oliveira *et al.*, (2024) a participação dos agricultores no processo é importante para torna-los sujeitos ativos nos processos dialógicos e na própria organização da comunidade, não somente como objetos de pesquisas, mas como atores principais.

De acordo com Gomes (2007), devemos observar, como forma de avaliação e com relação aos produtores envolvidos no sistema, os parâmetros socioeconômicos, que por sua vez, são distribuídos por categoria (Parâmetros demográficos, sociais e econômicos) e definidos do ponto de vista operacional.

Os parâmetros demográficos mostraram a caracterização dos indivíduos quanto ao: sexo, idade, estado civil, número de filhos e o número de pessoas por domicílio.

Os parâmetros sociais mostram o nível de escolaridade, se o entrevistado continua ou não estudando, as condições de moradia, qual a fonte de abastecimento de água, questão de saneamento básico e energia elétrica. E os parâmetros econômicos estão relacionados a identificação da atividade geradora de renda familiar, número de pessoas envolvidas na formação da renda familiar e os incentivos governamentais recebidos pelas famílias e outros bens.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERISTICA DO PERFIL DA PISCICULTURA NA COMUNIDADE LOCAL (MARACANÃ-PA)

A comunidade de São José do Caripí está localizada no município de Maracanã, na RESEXMAR que pertence à Mesorregião do Nordeste Paraense e Microrregião do Salgado, distante 168 km de Belém, capital do estado do Pará com acesso pela BR 316 e PA 127 (Km 23), distante 03 km pelo ramal da comunidade. É banhada pelo Rio Caripí e seus afluentes, que são responsáveis pelo abastecimento de água para uso das famílias e através do desvio e bombeamento para suprir as necessidades hídricas dos viveiros escavados em período de estiagem.

No período de realização da pesquisa, foi possível a execução de algumas práticas referente a qualidade da água. Foram observados parâmetros essenciais das boas práticas na piscicultura conforme Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros monitorados de qualidade da água em dois diferentes Viveiros da Associação Comunitária de São José do Caripí - ACSJC.

PARÂMETROS	VIVEIRO 1	VIVEIRO 2
Temperatura (°C)	29,9	30,1
Potencial hidrogeniônico (pH)	6,8	7,0
Oxigênio dissolvido (mg/L ⁻¹)	5,9	5,9
Transparência (cm)	32	35

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Vale ressaltar que os valores coletados foram realizados no período de agosto/setembro, período este de pouca pluviosidade, no horário de 10 horas da manhã, evitando assim alterações na coleta dos coeficientes. Os teores médios de oxigênio dissolvidos (5,90 mg/l) detectados nas análises foram considerados bons, atendendo as exigências para o desenvolvimento do tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), que segundo Gomes (2011) têm o seu crescimento normal em níveis acima de 3 mg/l (OD).

As médias de temperatura da água dos viveiros (29,0 a 30,1°C), são consideradas adequadas para espécies de clima tropicais e próximas aos valores identificados por Mendonça *et al.*, (2009) trabalhando com a influência do fotoperíodo no desenvolvimento de juvenis de tambaqui. O pH da água manteve-se entre 6,8 a 7,0 aproximados dos valores encontrados por Cunha e Júnior (2011) em cultivo de

tambaqui em tanques-rede com diferentes densidades de estocagem, valores esses que podem ser aceitos como adequados ao cultivo de peixes tropicais (pH 6,0 a 9,5) como preconizado por Kubitza et.al (2010). A resolução Conama nº. 357 de 2005 estabelece valores aproximados a estes para produção de organismos aquáticos para fins intensivos (pH 6,0 e 9,0).

No que se refere a transparência (32cm e 35cm), estabelecer uma transparência ideal para piscicultura é muito difícil, mas ficam inseridos na faixa aceitável de 30cm a 60 cm. Valores abaixo de 20 cm denota-se que deve cessar a inserção de matéria orgânica no viveiro ou realizar uma renovação da água no viveiro, e ao contrário, transparência acima de 60 cm, deve-se proceder com uma nova adubação ao viveiro de criação.

3.2 DIAGNÓSTICO SOCIOECONÔMICO DA ACSJC

Os resultados obtidos a partir do questionário de entrevista estão apresentados na Tabela 2. Na Associação 83,34% dos associados são do gênero masculino, enquanto que 16,66% são de mulheres, sendo que a maioria são adultos com mais de 45 anos de idade. Entretanto, existe a presença da mão de obra dos jovens filhos de associados presentes na associação mesmo que apenas em atividades de mutirão que são realizadas periodicamente no empreendimento.

Tabela 2. Resumo estatístico referente ao perfil social dos produtores da Associação Comunitária de São José do Caripí - ACSJC.

QUESTÕES	RESPOSTAS	FREQUÊNCIA	PERCENTUAL (%)
Gênero	Masculino	10/12	83,34
	Feminino	02/12	16,66
Faixa etária	18-35	3/12	25
	36-45	1/12	8,34
	>45	8/12	66,66
Estado civil	Casado(a)	9/12	75
	Solteiro(a)	2/12	16,66
	Viúvo(a)	1/12	8,34
Escolaridade	1º grau incompleto	6/12	50
	1º grau completo	3/12	25
	2º grau incompleto	3/12	25
	2º grau completo	-	-
Integrantes da unidade familiar	Menos de 5 pessoas	4/12	33,33
	5 a 6 pessoas	1/12	8,34
	7 a 12 pessoas	7/12	58,33
Tempo de atuação na piscicultura	5 a 10 anos	-	-
	11 a 20 anos	5/12	41,67
	21 a 35 anos	7/12	58,33

QUESTÕES	RESPOSTAS	FREQUÊNCIA	PERCENTUAL (%)
Outros sistemas de produção	Agricultura	6/12	50
	Extrativismo	6/12	50
	Criação de pequenos animais	-	-
Possui fossa séptica?	Sim	12/12	100
	Não	-	-
Possui energia elétrica?	Sim	12/12	100
	Não	-	-
Possui água encanada?	Sim	12/12	100
	Não	-	-
Possui banheiro interno?	Sim	10/12	83,34
	Não	2/12	16,66
Tipo de casa	Alvenaria	10/12	83,34
	Madeira	2/12	16,66

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Analisando o grau de escolaridade dos associados, observou-se que a predominância é de que a maioria dos produtores não concluíram o ensino fundamental (50%; nível básico) (Tabela 2), em resposta aos resultados obtidos, os entrevistados afirmaram que a falta de incentivo e oportunidade por parte dos familiares, bem como a disponibilidade de escolas públicas locais sempre foram obstáculos. Portanto, todos aqueles que almejassem concluir o ensino básico são obrigados a se deslocarem para a sede do município, e nestas situações o ano letivo sempre era comprometido durante os períodos de extrativismo, nas lavouras sazonais (safras), e das atividades da ACSJC, além das principais culturas geradoras de renda na região, já que durante o período de colheita os alunos da comunidade sempre se afastavam das aulas para trabalhar juntamente com os pais.

A maioria dos associados são casados (75%), e possuem uma composição familiar variando entre cinco a doze componentes por residência, que na maioria são de alvenaria (83,34%), possuindo fossa séptica (100%) e banheiro interno (83,34%) e todas as residências possuem energia elétrica e água encanada (Tabela 2).

Com relação ao perfil econômico dos integrantes da ACSJC (Tabela 3), foi verificado que todos os integrantes entrevistados, possuem alguma atividade relacionada a piscicultura, porém, a referida atividade ainda não é considerada pelos produtores como atividade principal. Todos os entrevistados foram categóricos em dizer que a principal atividade geradora de renda ainda é a agricultura familiar por meio da lavoura de mandioca, macaxeira, milho, feijão, arroz e frutíferas (bacuri, cupuaçu, açaí e banana com mais representatividade), além do extrativismo (Lee e Sarpedonti, 2008). Do ponto de vista das políticas públicas, observou-se que 83,34% dos entrevistados são beneficiários do governo federal em algum programa de política social, como o

Benefício de Prestação Continuada – BPC, Bolsa Família ou Aposentadoria Rural. 100% dos entrevistados possui renda familiar entre um e três salários mínimos, e destes, 75% informaram que os responsáveis pela formação da renda familiar são entre uma e duas pessoas. Dos produtores associados apenas 25% conseguiram subsídio financeiro de banco e 75% nunca realizaram nenhum tipo de empréstimo bancário, sendo que nenhum dos associados até o momento possuem inadimplência no que se refere a financiamento bancário para atividade piscícola (Tabela 3).

Tabela 3. Dados estatísticos (resumo) referente ao perfil econômico dos produtores da Associação Comunitária de São José do Caripí - ACSJC.

QUESTÕES	RESPOSTAS	FREQUÊNCIA	PERCENTUAL (%)
Fonte de renda familiar (resposta múltipla)	Piscicultura Agricultura Serviço público Outras atividades	4/12 12/12 - 1/12	33,33 100 - 8,34
Benefícios sociais	Sim Não	10/12 2/12	83,34 16,66
	Menor que 1 salário mínimo	-	-
Renda familiar mensal	De 1 a 3 salários mínimo	12/12	100
Contribuições na renda familiar	De 1 a 2 pessoas De 3 a 4 pessoas	9/12 3/12	75 25
Renda obtida com a piscicultura	Até 1 salário mínimo	12/12	100
Acesso a crédito ou financiamento	Sim Não	- 12/12	- 100

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

4. CONCLUSÃO

Diante das informações levantadas, o perfil da cadeia produtiva da piscicultura semi-intensiva realizada na Associação Comunitária de São José do Caripí (ACSJC), apresenta grande potencial de crescimento devido às condições ambientais locais, além do aumento da produção de pescado no município, melhorando assim a renda familiar dos associados e contribuindo para a geração de trabalho e renda.

O perfil dessa comunidade pode auxiliar o crescimento da atividade é incentivando a utilização de fontes vegetais alternativas como frutíferas, leguminosas, cereais, tubérculos e outros alimentos alternativos, de forma in natura ou na produção de rações alternativas que possam ser consumidas pelos peixes em fases mais

avançadas (terminação) a fim de reduzir o custo com a ração comercial, até então a única empregada nos empreendimentos.

Apesar das dificuldades apresentadas na atividade de piscicultura na ACSJC, esta vem se tornando uma alternativa promissora para garantir a segurança alimentar das famílias da região, bem como uma complementação de renda.

Contudo, o potencial da piscicultura da região ainda não foi totalmente explorado, obviamente necessita de investimentos, pesquisas aplicadas, além de políticas públicas que possam garantir o desenvolvimento rural sustentável por meio da piscicultura na região, e futuramente poderá contribuir com o Agronegócio no Estado do Pará.

Como potencialidade futura, sugerem-se trabalhos na área de monitoramento de recursos naturais sustentáveis e perfilar as comunidade ao longo do tempo.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Castanhal (IFPA) pela oportunidade de desenvolvimento do trabalho junto ao programa de pós-graduação.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, A. A **contribuição da piscicultura para as pequenas propriedades rurais em Dourados - MS**. Dissertação defendida no Programa de Pós-graduação em Agronegócios-PPGA. Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia FACE. Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD. Disponível em: < <http://www.portal.ufgd.edu.br/pos-graduacao/mestrado-agronegocios>. Consultado dia 06 de maio de 2021.
- BRABO, M. F. Piscicultura no estado do Pará: situação atual e perspectivas. **Revista Actapesca**, 2(1): i-vii. 2014.
- CUNHA, V.V.; JÚNIOR, A. S. Crescimento de Juvenis de Tambaqui, *Colossoma macropomum* (CUVIER, 1818), em tanques-rede com diferentes densidades populacionais em Ji-Paraná, RO. **Revista Amazônia ciência e Desenvolvimento**, v. 6, n. 12, p. 185-195, 2011.
- FAO. 1998. Gestão para cultura de peixes de água doce: estoques de peixes e gestão de fazendas . **FAO Training Series** No. 21/2. Roma.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome, 2014, 223 p.
- FAO. (2016). Statistical Yearbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- GOMES, F. P; KLEIN. M. J; STEFFEN, M; MIRIANI, S. **Introdução a Economia Solidária**. Modulo 2. Projeto Casa Brasil. 2007.
- MATIAS, J. F. N. **Aquicultura e os desafios de produzir com sustentabilidade**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA – ZOOTEC, 25. Fortaleza, CE. Anais... Fortaleza: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2015.
- MENDONÇA, P. P.; FERREIRA, R. A. VIDAL JUNIOR, M. V.; ANDRADE, D. R.; SANTOS, M. V. B.; FERREIRA, A. V.; REZENDE, F. Influência do fotoperíodo no desenvolvimento de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Archivos de Zootecnia**. V. 58, n. 223, p. 323-331, 2009.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 10 de dezembro de 2020.
- KUBITZA, F. ONO, E. A. Piscicultura familiar: como ferramenta para o desenvolvimento e segurança alimentar no meio rural. **Panorama da Aquicultura**. Vol. 20, n. 117, janeiro/fevereiro 2010.
- PARÁ (Estado). **Secretaria de Planejamento, Orçamento e Finanças. Estatística Municipal**, Banco de dados. Maracanã- Pará, 2012.446p.: Acesso em: 3 mar. 2021.
- OLIVEIRA, G. DOS S., REIS, A. A. DOS, SILVA, A. L. P. DA, SENA, W. DE L., MENDES, M. R. FARIAS, SOUSA, P. F. C., LÉLIS, A. DA T., & VELLOSO, L. P. L. (2024). Cadeia produtiva de uma piscicultura da associação comunitária São José do Caripi, município de Maracanã (Pará, Brasil). **Caderno Pedagógico**, 21(10), e9919. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n10-391>
- PROCHMANN, A. M.; TREDEZINI, C. A. O. **A piscicultura em Mato Grosso do Sul como instrumento de geração de emprego e renda na pequena propriedade**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 42. Anais. Cuiabá: SOBER, 2004.

RAMOS FILHO, M. M.; RAMOS, M. I.; HIANE, P. A.; SOUZA, E. M. T. Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. **Revista de Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 28, p.361-365, 2008.

SEBRAE/PARÁ. **Projeto Nova Caripí**: Piscicultura da Associação Comunitária de São José do Caripí-ACSJC.2009.6p.

SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES JÚNIOR, A.J.; MUNGIOLI, R. **Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades**. BNDES Setorial, v.35, p.421-463, 2012.

SILVA, A. L. P. da; LELIS, A. T.; SENA, W.L.; LIMA JUNIOR, J. A. As contribuições dos microrganismos na qualidade do solo na agricultura. **PEER REVIEW**, Vol. 6, Nº 7, 2024. DOI: 10.53660/PRW-2036-3725

SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Evolução da piscicultura no brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada** – ipea 2017, 35p.

VALENTI, WC & NEW, MB. Grow-out systems - monocultura. *Em* MB New & WC Valenti, eds. Cultivo de camarão de água doce: o cultivo de Macrobrachium rosenbergii. **Oxford, Inglaterra, Blackwell Science**, pp. 157-176. 2000.



CAPÍTULO

08

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO E ESTRUTURA MISTA DE CONCRETO E AÇO

Erasmo Carlos da Silva Junior

Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: erasmoks.junior@gmail.com

Marcelo Junio Lima Branches

Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: marcelobranxhes@gmail.com

Ana Carolina de Pádua Lisboa e Santos

Graduanda em Engenharia Civil
Universidade da Amazônia (UNAMA)
E-mail: engcaroldepadua@outlook.com

Marcelo Rassy Teixeira

Doutor em Engenharia Civil
Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: mrt@ufpa.br

RESUMO: Este estudo compara os custos de diferentes tipos de estruturas para um edifício comercial de dois pavimentos, focando na viabilidade econômica para vencer um vão de 8,5 metros. Foram analisadas quatro alternativas: uma estrutura convencional de concreto armado com lajes pré-moldadas, o uso de steel deck nas lajes superiores, a substituição das vigas de concreto por metálicas nos vãos principais e, por fim, uma combinação de steel deck e vigas metálicas. A modelagem estrutural foi feita no software CypeCAD, e os custos foram estimados com base na tabela SINAPI, considerando materiais, mão de obra e tempo de execução. Os resultados mostram que a estrutura em concreto armado exige um maior uso de fôrmas, enquanto o steel deck reduz essa necessidade, mas consome mais concreto e aço. Já a substituição das vigas de concreto por metálicas acelerou a execução da obra e reduziu os custos com fôrmas, porém aumentou o gasto com perfis metálicos. A análise dessas variáveis permitiu avaliar qual alternativa oferece o melhor equilíbrio entre custo e eficiência, ajudando na tomada de decisão para projetos similares.

PALAVRAS-CHAVE: estruturas metálicas, concreto armado, steel deck, custo de construção, otimização estrutural.

ABSTRACT: This study compares the costs of different structural types for a two-story commercial building, focusing on the economic feasibility of spanning an 8.5-meter gap. Four alternatives were analyzed: a conventional reinforced concrete structure with precast slabs, the use of steel deck for the upper floors, the replacement of concrete

beams with steel beams in the main spans, and finally, a combination of steel deck and steel beams. The structural modeling was performed using CYPECAD software, and cost estimates were based on the SINAPI database, considering materials, labor, and construction time. The results show that the reinforced concrete structure requires a greater use of formwork, while the steel deck reduces this need but consumes more concrete and steel. The replacement of concrete beams with steel beams accelerated construction and reduced formwork costs but increased spending on steel profiles. Analyzing these variables allowed for an evaluation of which alternative offers the best balance between cost and efficiency, aiding decision-making in similar projects.

KEYWORDS: steel structures, reinforced concrete, steel deck, construction cost, structural optimization.

1. INTRODUÇÃO

Estruturas são formadas a partir da disposição racional e propícia de diversos elementos estruturais. Essa composição abrange elementos das mais variadas formas que apresentam dimensões diferentes, geralmente uma preponderante a outra, sendo que cada um desenvolve uma função e estão intrinsecamente ligadas, tornando o sistema eficiente (Rodrigues; Souza, 2008). Em paralelo a isso, a definição de compósitos, dentro construção civil, corrobora com essa definição, pois são materiais formados pela combinação de dois ou mais componentes com propriedades distintas para criar um material com características superiores.

Neste viés, Costa (2024) apresenta, que ao combinar materiais como concreto e aço, proporcionam vantagens, como a redução de custos e otimização do tempo de execução. Sua utilização atende aos requisitos de resistência, durabilidade e flexibilidade no projeto, minimizando impactos ambientais.

No que tange a essas combinações, as que mais se destacam são: concreto armado e a estrutura de aço, outras alternativas ainda são pouco visadas, como a estrutura mista de concreto e aço. O sistema estrutural misto, que combina as vantagens do aço – como a redução do tempo de execução da obra, diminuição do carregamento estrutural e alívio nas fundações – com as propriedades do concreto.

De acordo Ribeiro *et al* (2021), a diversidade de sistemas estruturais na construção civil proporciona a necessidade de adequação às características arquitetônicas particulares das estruturas de forma adequada. A escolha do sistema estrutural deve considerar não apenas os aspectos técnicos, mas também os fatores econômicos, como o custo dos insumos, o tempo de execução e os gastos com mão de obra. Cada sistema possui características próprias que impactam diretamente esses fatores.

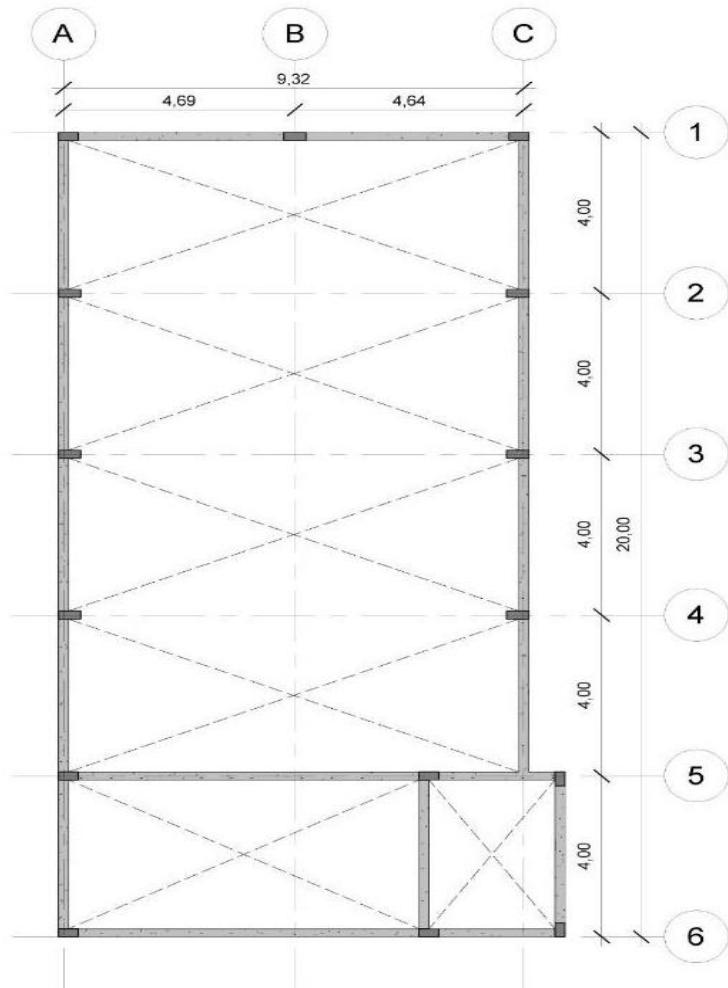
Tendo em vista o assunto abordado, ve-se a necessidade crescente de otimização de recursos e a busca por soluções mais eficientes em termos de custo e desempenho. Este estudo analisa os custos de diferentes soluções estruturais, considerando materiais, mão de obra, tempo de execução, manutenção e vida útil. A fim de fornecer uma visão clara sobre qual estrutura oferece o melhor custo-benefício, ajudando os profissionais a tomar decisões mais eficientes e seguras, contribuindo para o avanço da construção civil com práticas mais econômicas e de qualidade.

Figura 1. Imagem 3D.



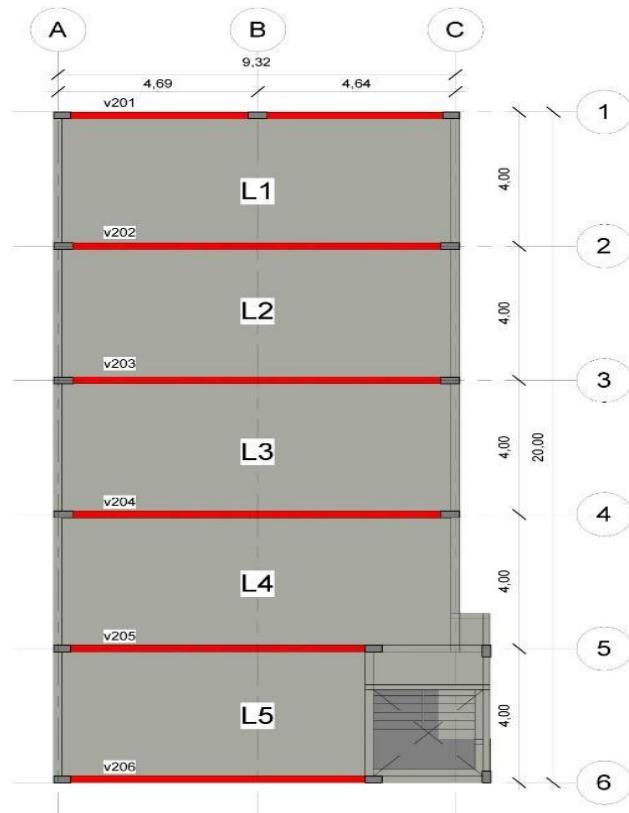
Fonte: Autores.

Figura 2. Planta de fôrma do térreo



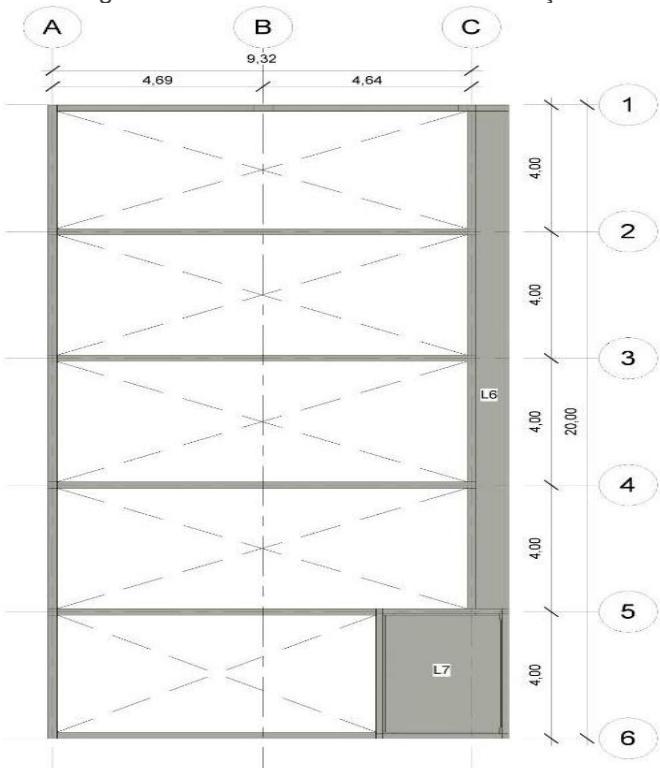
Fonte: Autores.

Figura 3. Planta do pavimento superior



Fonte: Autores.

Figura 4. Planta da cobertura da edificação.



Fonte: Autores.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo analisar comparativamente diferentes sistemas estruturais, dentro das etapas de projeto e planejamento, para construção de uma edificação comercial de dois pavimentos, comportando cinco escritórios comerciais no primeiro andar e um depósito de peças e componentes no térreo, e com isso existindo a necessidade não haver pilares intermediários, resultando em uma concepção estrutural com grandes vãos.

A partir das limitações e desafios envolvidos, busca-se uma solução que leve em consideração os aspectos técnicos e econômicos a fim de determinar a solução estrutural mais eficiente para tal necessidade.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Dimensionar com auxílio de software de dimensionamento um modelo estrutural para cada sistema analisando seu comportamento e suas particularidades;
2. Comparar os custos de execução entre os dois sistemas, considerando materiais, mão de obra e tempo de obra utilizando como base o Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil;
3. Identificar a solução mais vantajosa, considerando aspectos econômicos como tempo de obra, valor de mão de obra, valor de insumo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Kimura (2024), um sistema é composto por elementos interdependentes que, ao serem organizados em conjunto, formam uma estrutura unificada. Dentro do contexto da engenharia civil, o conceito de sistema construtivo consiste na integração de diversos materiais, equipamentos e mão de obra, organizados de maneira lógica e aplicados conforme técnicas específicas, com o objetivo de executar uma estrutura com determinada finalidade. Ademais, aplica-se também o conceito de sistema estrutural, o qual é definido por um conjunto de elementos construtivos cuja principal finalidade é suportar e transferir as cargas ao solo (Kimura, 2024; Küster, 2024).

Os elementos de concreto armado são intrinsecamente um material compósito, pois as barras de aço imersas dentro do concreto são responsáveis por reforçá-los contra os esforços de tração, e em alguns casos à compressão. Dessa maneira, as estruturas de concreto armado oferecem vantagens como a sua grande capacidade de se adaptar a diferentes formas, ser um material de maneira geral mais econômico devido a sua composição de matérias primas baratas, resistente ao fogo e que proporciona um satisfatório comportamento monolítico (Leonhardt, 1977). Por outro lado, o uso de peças de concreto armado em grandes vãos pode originar elementos de elevado peso próprio, complexidade adicional na montagem da armadura e uma grande superfície que deve ser moldada com fôrmas.

Já o sistema construtivo em aço, atualmente utilizado em praticamente todos os setores construtivos, apesar de possuir um peso específico da ordem de 7.850 kg/m³, o aço possui como característica uma grande resistência a esforços de tração, compressão e flexão, o que resulta em uma menor seção resistente e peças mais leves em relação ao concreto armado (Bellei, 2024). No entanto, apesar de requerer cuidados especiais quanto à corrosão e perda de resistência em situação de incêndio, os elementos em aço apresentam vantagens como sua elevada ductilidade, alto grau de confiança, proporciona um canteiro de obras mais limpo, alta produtividade, além de ser um material reciclável (Fakury, 2016).

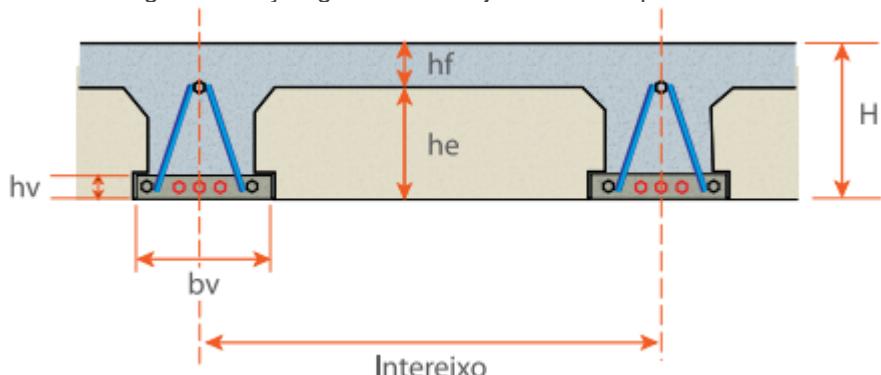
Os sistemas construtivos mistos (ou híbridos) exploram a combinação de diferentes materiais para construção de elementos estruturais, com as estruturas mistas de concreto armado e aço em evidência neste trabalho, a partir da qual são concebidas as vigas mistas compostas de perfis metálicos (usualmente perfis “I”) em composição com uma lajes de concreto sobreposta, unidas com os conectores adequados a fim de haver a plena solidarização dos esforços, e as lajes mistas, as quais fazem uso de uma fôrma de aço posicionada no fundo da laje cumprindo o papel de armadura positiva (Fakury *et al.*, 2016).

A laje nervurada pré moldada é um sistema construtivo que vem consolidando sua presença em todo o país desde a década de 80 (Küster *et al.*, 2024). Tendo como suas principais características a presença de uma armadura treliçada pré-fabricada composta de barras longitudinais e estribos percorrendo de maneira senoidal as laterais, conforme detalhado na Figura 2, e a existência de uma camada de concreto resultando em nervuras que de modo simplificado assemelham-se a várias vigas “T”. A altura total da laje varie entre 10 cm (6 cm de treliça + 4 cm de capa de concreto) a

36 cm (29 cm de treliça + 7 cm de capa de concreto), se tornando competitiva para vãos até 12 m (Küster *et al.*, 2024).

Além de ocorrer a substituição de partes do concreto por enchimentos em blocos de poliestireno expandido (EPS) ou lajotas cerâmicas, com a análise de Sena e Cabral (2018) afirmando um desempenho mais eficiente com uso do EPS, o que consequentemente acarreta em uma redução do carregamento e no custo final na estrutura em comparado às consagradas lajes maciças (Vieira *et al.*, 2024), justificando assim a sua escolha para comparação no presente trabalho.

Figura 5. Seção genérica de laje nervurada pré-moldada



Fonte: Manual Técnico de Lajes Treliçadas - Arcelor Mittal: 2010

Já o *steel deck* é um tipo de laje mista de concreto e aço, composta por uma telha-fôrma aço galvanizado, uma camada de concreto variando de 11 cm a 25 cm, além de uma malha com fios de aço CA 60 para combater a fissuração. Bem como, apresenta vantagens com a facilidade de instalação, a dispensa de escoramento e de desforma, além de fornecer uma elevada produtividade para a obra (Fakury *et al.*, 2016).

Além disso, o *steel deck* possui um amplo acervo a respeito de seu dimensionamento, sendo os principais o anexo N da norma ABNT NBR 8800:2024 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, os catálogos técnicos disponibilizado por fabricantes, além de atender às exigências da norma ABNT NBR 14323:2013 - Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio.

A telha-fôrma metálica tem papel de fôrma autoportante enquanto o concreto está fresco, o que elimina a necessidade de escoras, e após o endurecimento a mesma atua em conjunto com o concreto resistindo aos esforços de tração no lugar de uma armadura positiva. Construída com aço ZAR-280, possuindo um perfil formado

a frio com nervuras trapezoidais e mossas que garantem a ligação solidária entre o concreto e o aço, além permitirem o uso de conectores de cisalhamento *stud bolts*, as chapas são encontradas no Brasil nas espessuras de 0,80 mm, 0,95 mm e 1,25 mm (Fakury *et al.*, 2016).

Em relação ao seu desempenho estrutural, é capaz de vencer sem grandes dificuldades vãos até 3,80 m, podendo atingir valores da ordem de 5 m com o reforço do escoramento durante o endurecimento do concreto (ArcelorMittal Perfilor, 2016).

3. METODOLOGIA

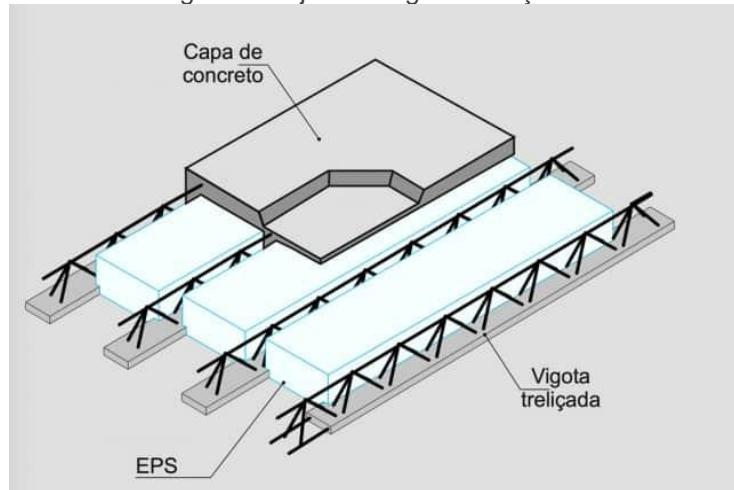
O estudo foi realizado através da combinação das possíveis alternativas estruturais, visando analisar os impactos que as mudanças causam na estrutura e no custo de construção da mesma. Ademais, para que houvesse uma maior sensibilidade a respeito da variação dos quantitativos da obra, foram levantadas 4 hipóteses para possíveis soluções estruturais:

- Hipótese 0: Edificação completamente projetada em concreto armado com lajes pré-moldadas convencionais;
- Hipótese 1: Substituição das lajes do pavimento superior por *steel deck*, mantendo os demais elementos em concreto;
- Hipótese 2: Substituição das vigas em concreto armado dos grandes vãos (e que apoiam as lajes) por vigas metálicas, mantendo as lajes do tipo pré-moldadas;
- Hipótese 3: Substituição das vigas em concreto armado por vigas metálicas e as lajes do pavimento superior por *steel deck*.

Para a realização da análise dos esforços e posteriormente o dimensionamento estrutural, adotou-se uma sobrecarga de 250 kgf/m², típica de ambientes comerciais de acordo com a norma ABNT NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

A respeito da definição das características da laje pré-moldada com enchimento de EPS, com espessura total de 16 cm, sendo a altura de 12 cm do molde e 4 cm de capa de concreto, peso próprio com cerca de 180 kgf/m² e entre-eixos de 50 cm entre as nervuras.

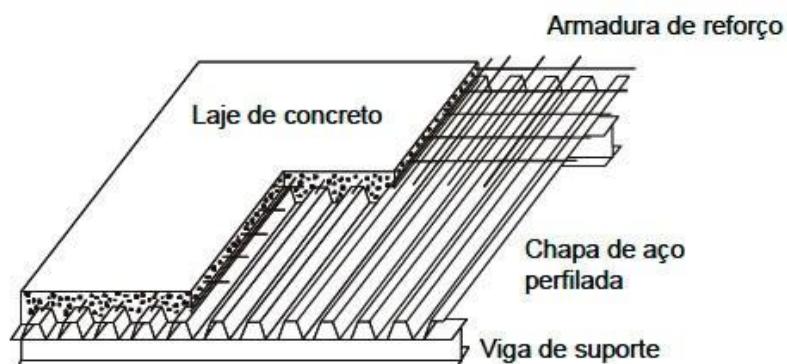
Figura 6. Laje com vigotas treliçadas



Fonte: Total Construção

Para o sistema de laje mista foi utilizado como referência a telha-fôrma Polydeck 59s, possuindo espessura de 1,25 mm e altura total da laje de 12 cm, com peso próprio de 220 kgf/m² após a concretagem, com as telha-fôrmas dimensionadas para um comprimento de 8 m, sendo assim possível a consideração de um modelo de laje contínua com três apoios.

Figura 7. Laje mista com fôrma incorporada



Fonte: Portal metálica construção civil.

Para as vigas metálicas foram considerados no caso 2 os perfis I de 150 mm x 13 kg/m, 310 mm x 23,8 kg/m, 410 mm x 46,1 kg/m. E para a hipótese 3 foram considerados os perfis I de 200 mm x 15 kg/m, 310 mm x 28,3 kg/m, 460 mm x 52 kg/m. Além do mais, para todos os casos analisados foram considerados conectores stud bolts com diâmetro de 3/8".

Com todas hipóteses e variáveis definidas foi realizado a modelagem e cálculo estrutural da obra com o auxílio do software CypeCAD, e a partir de onde foi possível extrair os quantitativos da estrutura.

Posteriormente, após a obtenção dos dados foi montado uma planilha orçamentária para cada hipótese, onde foi possível estimar os custos com materiais, equipamentos e mão de obra de maneira isolada somente para a etapa de construção da estrutura da obra, tomando como referência a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para o mês de Janeiro de 2025.

Com base nas composições de serviços disponíveis na tabela SINAPI, foi possível estimar a duração da obra para cada hipótese, utilizando como referência a quantidade de homem-hora presente em cada orçamento. Além disso, o custo foi dividido em três indicadores: área de fôrma, volume de concreto e peso de aço, acompanhados de seus respectivos custos em cada hipótese. Essa abordagem permitiu avaliar a variação de custos decorrente das mudanças no sistema estrutural.

Após o dimensionamento e a elaboração das planilhas orçamentárias, inicialmente houve o estudo de custos relacionados à fôrma, para isso, os custos foram somados de fôrma de cada elemento em cada hipótese, no custo de fôrma está incluído o escoramento das lajes pré-moldadas. Esse procedimento foi repetido para cada um dos indicadores mencionados.

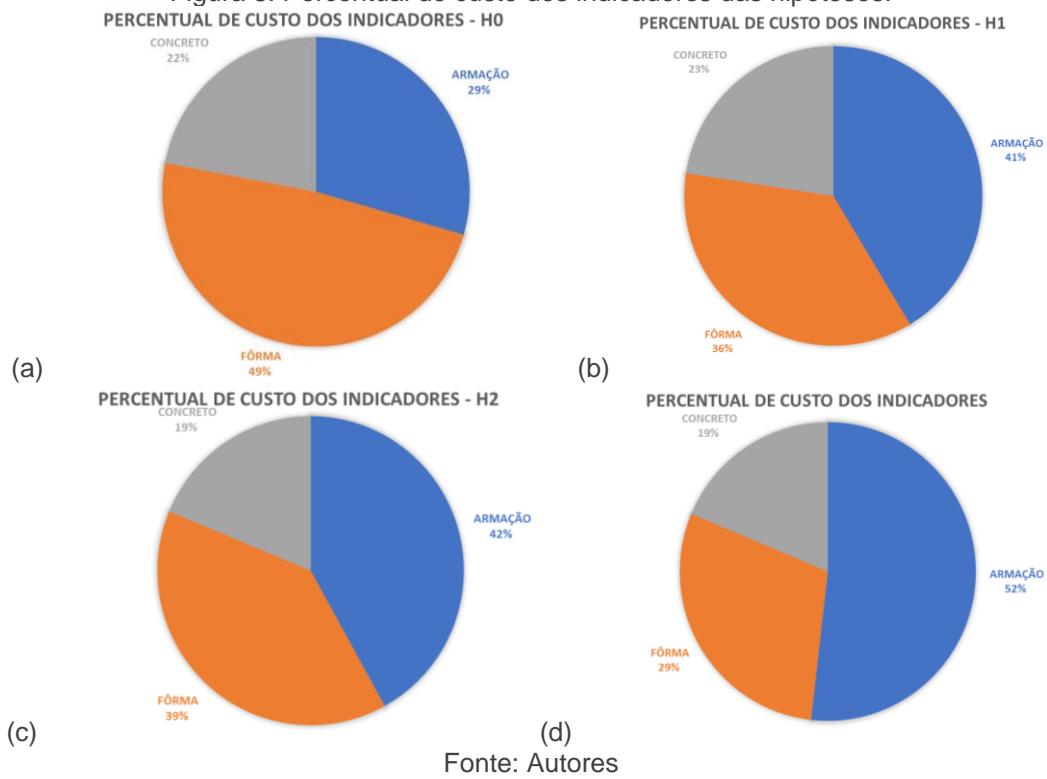
Por fim, foi elaborado um gráfico para cada hipótese, comparando a representatividade de cada indicador em relação ao custo global. Essa investigação possibilitou uma avaliação mais precisa do impacto das mudanças no sistema estrutural sobre os percentuais de custo de forma individual. Além disso, foi realizada uma comparação do custo total de cada hipótese para verificar se a diferença de valores justifica as vantagens de cada sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DAS HIPÓTESES

Primeiramente, verificou-se os indicadores de forma isolada em cada hipótese e foram avaliados os percentuais de mão de obra e material, e os indicadores em cima do custo total.

Figura 8. Percentual de custo dos indicadores das hipóteses.



Fonte: Autores

Na hipótese 0, os custos com fôrmas representaram 49% do custo total, enquanto concreto e aço, somados, corresponderam a 51%. Isso evidencia a forte dependência do uso de fôrmas na montagem das peças estruturais, uma característica comum em sistemas de concreto armado. Na hipótese 01, obteve-se uma redução de 13% no valor da fôrma, pois não há necessidade de escoramento das lajes em *steel deck*, conforme garantido pela fabricante. No entanto, houve um aumento significativo nos volumes de concreto e no peso das armaduras, o que gerou percentuais equilibrados dos indicadores.

Na hipótese 02, tem-se a substituição das vigas principais do pavimento superior substituídas por vigas com perfis metálicos, desse modo há a redução no custo das fôrmas e do concreto, além da redução no tempo de execução tendo em vista que não há a necessidade de montagem, armação e concretagem e cura do concreto. Entretanto, quando comparado a hipótese 1 houve um leve aumento no percentual de fôrma pois nesse caso ainda há a presença do escoramento das lajes pré-moldadas. Na hipótese 03, houve uma redução considerável no percentual de forma, tendo em vista que além das vigas metálicas, há a presença de lajes em *steel deck* e como mencionado anteriormente dispensa a utilização de escoramento durante sua montagem gerando menos entulho no canteiro e menor tempo de montagem.

4.2 ANÁLISE DE CUSTO

Após o levantamento dos custos e da quantidade de homem-hora necessária para execução dos serviços relacionada a cada elemento, com base na planilha orçamentária, foi realizada a divisão dos valores referentes à mão de obra e material. Essa separação permitiu à análise mais detalhada da variação do orçamento, resultando nas tabelas apresentadas a seguir:

Tabela 1. Levantamento de custo - vigas

LEVANTAMENTO DE CUSTO - VIGAS			
Hipótese	MÃO DE OBRA	MATERIAL	QTD. HOMEM - HORA
HIPOTÉSE 0	R\$ 17.681,55	R\$ 75.522,75	851,29
HIPOTÉSE 1	R\$ 17.681,55	R\$ 75.522,75	721,96
HIPOTÉSE 2	R\$ 15.169,11	R\$ 80.579,33	608,41
HIPOTÉSE 3	R\$ 14.803,32	R\$ 82.135,94	762,15

Fonte: Autores

Tabela 2. Levantamento de custo - lajes

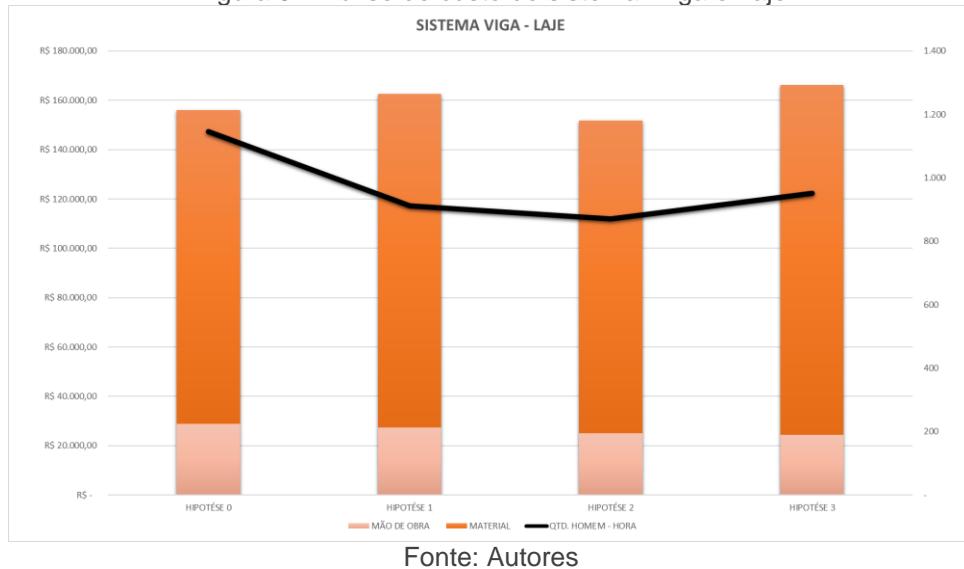
LEVANTAMENTO DE CUSTO - LAJES			
HIPÓTESE	MÃO DE OBRA	MATERIAL	QTD. HOMEM - HORA
HIPÓTESE 0	R\$ 11.230,26	R\$ 51.670,49	294
HIPÓTESE 1	R\$ 9.676,50	R\$ 59.638,78	190
HIPÓTESE 2	R\$ 9.893,95	R\$ 46.172,42	263
HIPÓTESE 3	R\$ 9.614,96	R\$ 59.659,03	190

Fonte: Autores

A comparação entre as hipóteses evidenciam variações significativas, conforme a Tabelas 1 e 2, deste modo, ao analisar o sistema vigas e lajes como um todo, nota-se um aumento no valor de custo ao alterar lajes pré-moldadas por lajes em *steel deck*, ao passo que a quantidade de homem hora reduz mas hipótese 03, por outro lado, apresentou um aumento tanto em valor absoluto quanto no tempo de produção. Este aumento pode estar relacionado ao aumento do carregamento ocasionado pelo sistema *steel deck*, o qual solicitou mais resistência das vigas metálicas que tiveram seus perfis aumentados quando comparado com a hipótese 02. Por isso a hipótese 02, mesmo com a presença do escoramento ainda apresenta melhor combinação de custo com aumento de efetividade de produção tornando-se a

hipótese mais promissora. Vale ressaltar que para essa análise não foram levados em consideração o elemento estrutural pilar, uma vez que ao realizar o levantamento de custo não houve variação significativa.

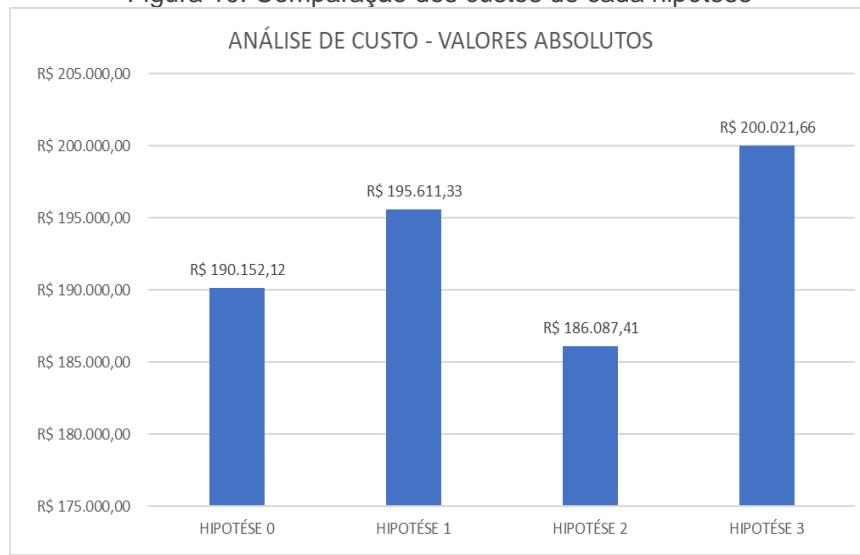
Figura 9. Análise de custo do sistema: Viga e Laje



Fonte: Autores

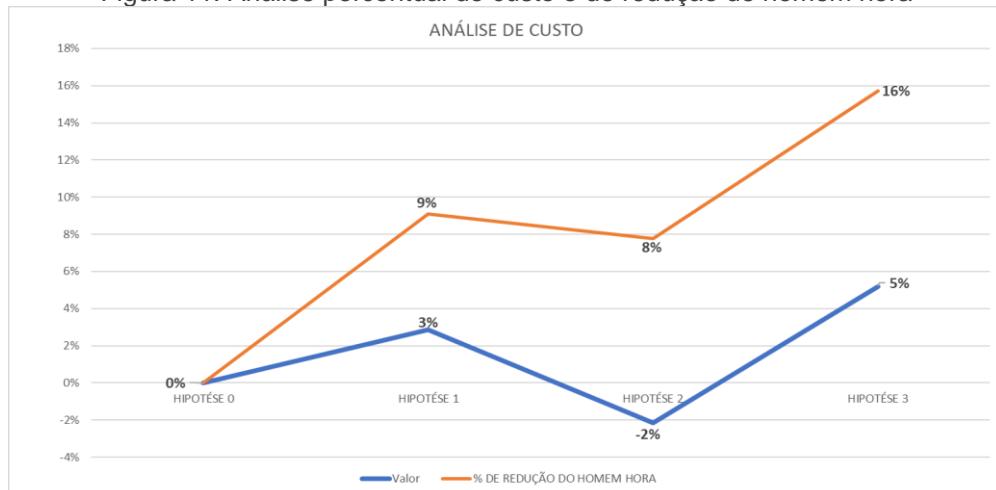
Outro aspecto relevante a ser estudado é o custo total de cada hipótese, comparando-os entre si, assim como a redução do homem-hora, considerando que cada hipótese possui particularidades que podem torná-la economicamente viável. Tendo como referência a hipótese 0 estimou-se percentuais de variação de custo e de redução de quantidade de homens - hora.

Figura 10. Comparaçao dos custos de cada hipótese



Fonte: Autores

Figura 11. Análise percentual de custo e de redução de homem hora



Fonte: Autores

Ao observar a Figuras 7 e 8, verifica-se que a hipótese 02 apresentou o menor custo em comparação às demais, embora tenha registrado uma redução no homem-hora inferior às hipóteses 01 e 03. Esse resultado evidencia o impacto da substituição das vigas metálicas por vigas de concreto armado.

5. CONCLUSÃO

A pesquisa demonstrou que, na engenharia, há diversas soluções possíveis para um mesmo problema. Neste estudo prático, foram avaliadas quatro alternativas de sistemas estruturais, analisadas sob os critérios de custo, efetividade da mão de obra e geração de resíduos.

A Hipótese 01 apresentou um aumento de 3% no custo em comparação à Hipótese 0, influenciado pela adoção do sistema de steel deck, que, apesar de proporcionar maior produtividade devido à ausência de escoramentos, ainda apresenta um custo superior às lajes pré-moldadas.

Por outro lado, o Hipótese 02 demonstrou uma economia de 2% em relação ao Hipótese 0 e uma redução de 8% na quantidade de homens-hora necessários para a execução. Essa economia foi alcançada principalmente pela substituição de vigas de concreto armado por vigas metálicas, solução que reduziu custos e tempo de execução, além de minimizar a geração de entulhos.

A Hipótese 03, embora tenha apresentado ganhos em produtividade e menor geração de resíduos, apresentou um aumento de 5% no custo total, esse acréscimo foi influenciado, sobretudo, pelos custos o steel deck e as vigas metálicas. Essa

solução não se mostrou economicamente viável, uma vez que os custos adicionais não foram compensados pelos ganhos produtivos.

Conclui-se, portanto, que a Hipótese 02 mostrou-se a alternativa mais promissora, pois combinou a redução de custos com o aumento da eficiência produtiva. A substituição de vigas de concreto armado por vigas metálicas, associada ao baixo custo das lajes pré-moldadas, revelou-se a solução mais eficaz diante dos dados analisados. Ressalta-se, no entanto, que esta pesquisa não considerou fatores como transporte e maquinário, além de utilizar a produção média do SINAPI, o que pode resultar em variações devida a fatores humanos e regionais. Desse modo, evidencia-se a importância de estudos de viabilidade para embasar decisões estratégicas, uma vez que a escolha do sistema estrutural pode impactar de maneira expressiva no custo final da obra. Assim, a definição do sistema mais eficiente torna-se fundamental para a otimização dos recursos disponíveis.

REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL PERFILE (São Paulo). **Catálogo Técnico POLYDECK 59S. 2016.** Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/construcao-civil/polydeck-59s>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 8800:2024. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14323: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: **Ações para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, 2019.

BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios industriais em aço: projeto e cálculo. 7. ed. [S.I.]: Oficina de Textos, 2024.** E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 19 mar. 2025.

COSTA, J. A. M. **Viabilidade técnico-financeira e eficiência construtiva das estruturas mistas na construção civil.** Revista Tecnológica, v. 33, n. 1, p. 177-184, 17 jul. 2024.

FAKURY, Ricardo Hallal; CASTRO E SILVA, Ana Lydia Reis de; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto.** São Paulo: Pearson, 2016. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 17 mar. 2025.

KIMURA, Alio et al. (ed.). **Estruturas de concreto armado: capítulos básicos b1 a b9.** 1. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 19 mar. 2025.

KÜSTER, Leandro Dias; SARTORTI, Artur Lenz; VIZOTTO, Itamar. **Projeto e execução de lajes treliçadas. [S.I.]: Oficina de Textos, 2024. E-book.** Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 17 mar. 2025.

LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduard. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado.** 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 19 mar. 2025.

PORTAL METÁLICA CONSTRUÇÃO CIVIL. Lajes Mistas: Aspectos construtivos Steel Deck. Disponível em: <https://metalica.com.br/lajes-mistas-aspectos-construtivos-e-respectivas-recomendacoes>. Acesso em: 19 mar. 2025.

RIBEIRO, T. et al. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJE NERVURADA TRELIÇADA E LAJE NERVURADA COM CUBETA COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN STRUCTURED TREILLED STRUCTURAL SYSTEMS AND TUBE NERVED SLAB.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://static.even3.com/anais/381499.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2025.

RODRIGUES, Rafael; SOUZA, Marta. **UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. [s.l: s.n.].** Disponível em: <https://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/sistemas_estruturais_grad.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025

SENA, L.L. , P. Cabral, J. (2018). **Estudo comparativo de custo-benefício de implantação de lajes Steel Deck, maciça e pré-moldada utilizando enchimento de EPS ou cerâmico.** Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário do Norte – UNINORTE.

TOTAL CONSTRUÇÃO. Lajes Pré Moldadas: Preço, Vantagens, Dimensões! 2024.
Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/lajes-pre-moldadas/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

VIEIRA, L. M. N. et al. Análise comparativa da quantidade de materiais e custos no dimensionamento de lajes maciças e lajes nervuradas para um edifício comercial.
Revista Caderno Pedagógico, [S. I.], v. 21, p. 01-20, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n8-015.



CAPÍTULO

09

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA TIPO SMA COM ÊNFASE NO PARÂMETRO PNEU- PAVIMENTO – ESTUDO DE CASO NA AVENIDA DO CONTORNO EM BELO HORIZONTE/MG BRASIL

Bernardo de Brito Pereira

Mestre em Transportes

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

E-mail: bernardobp@live.com

Marcelo Franco Porto

Doutor em Geografia – Tratamento da Informação Espacial

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

E-mail: marcelo@etg.ufmg.br

Ronderson Queiroz Hilário

Doutor em Geotecnica

Universidade Federal de Minas Gerais

E-mail: ronderson@etg.ufmg.br

RESUMO: A aderência pneu-pavimento é um parâmetro de grande importância para a avaliação do comportamento superficial do revestimento asfáltico. Desta forma, o principal objetivo deste trabalho foi correlacionar os parâmetros de macrotextura e microtextura do revestimento SMA (Stone Matrix Asphalt) obtidos dos ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico realizados na Avenida do Contorno em Belo Horizonte. Analisou-se também a frequência de sinistros de trânsito antes e após a execução do revestimento SMA. Para complementar foi aplicado o questionário de caráter qualitativo e quantitativo aos motoristas de coletivos da BHTRANS. O método ADSR (Action Design Science Research) aplicado na pesquisa proporcionou a integração dos objetivos desejados, no sentido de identificar percepções de melhoria na segurança viária no trecho de estudo. Na sequência, identificou-se que a média anual de sinistros foi 36% menor após a implantação do SMA em números absolutos, mas a fim de obter um índice real para avaliação, foi solicitado a BHTRANS o volume de tráfego dos anos correspondentes para ser elaborado o índice acidente/veículo. O questionário aplicado demonstrou que 89% dos motoristas entrevistados afirmaram que a aplicação do SMA trouxe ganhos na segurança durante a condução do veículo em períodos de seca e principalmente em dias chuvosos. Compreende-se que a utilização do método da pesquisa foi eficaz, por apresentar resultados satisfatórios e construtivos quanto aos benefícios de utilizarem revestimentos asfálticos que promovem mais aderência entre pneu-pavimento.

PALAVRAS-CHAVE: Macrotextura, Microtextura, SMA, ADSR, segurança viária.

ABSTRACT: Tire-pavement adhesion is a highly important parameter for assessing the surface behavior of asphalt paving. Thus, the main objective of this study was to correlate the macrotexture and microtexture parameters of the SMA (Stone Matrix Asphalt) paving obtained from the sand patch and British pendulum tests carried out

on Avenida do Contorno in Belo Horizonte. The frequency of traffic accidents before and after the application of the SMA paving was also analyzed. To complement this, a qualitative and quantitative questionnaire was applied to BHTRANS bus drivers. The ADSR (Action Design Science Research) method applied in the research provided the integration of the desired objectives, in order to identify perceptions of improvement in road safety in the studied section. Subsequently, it was identified that the annual average of accidents was 36% lower after the implementation of the SMA in absolute numbers, but in order to obtain a real index for evaluation, BHTRANS was asked for the traffic volume of the corresponding years to calculate the accident/vehicle index. The questionnaire showed that 89% of the drivers interviewed stated that the application of SMA brought gains in safety when driving the vehicle in dry periods and especially on rainy days. It is understood that the use of the research method was effective, as it presented satisfactory and constructive results regarding the benefits of using asphalt coatings that promote greater adhesion between tire and pavement.

KEYWORDS: Macrotexture, Microtexture, SMA, ADSR, road safety.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (2023) aproximadamente 1,19 milhão de pessoas morrem anualmente em sinistros de trânsito. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2015), os sinistros de trânsito no Brasil matam cerca de 45 mil pessoas por ano e deixam mais de 300 mil pessoas com lesões graves. Já os custos envolvidos em acidentes nas rodovias custam à sociedade brasileira cerca de R\$40 bilhões por ano, enquanto os acidentes nas áreas urbanas, em torno de R\$10 bilhões, sendo que o custo relativo à perda de produção responde pela maior fatia desses valores, seguido pelos custos hospitalares.

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020), em sua norma NBR 10697:2020 o termo sinistro de trânsito é caracterizado como qualquer evento que resulte dano ao veículo ou à sua carga e/ou em lesões a pessoas e/ou em animais, e que gera consequências de perdas materiais ou até mesmo prejuízo ao trânsito, à via ou até mesmo ao meio ambiente, e que pelo menos uma das partes está em deslocamento nas vias de fluxo de veículos ou em espaços abertos ao público.

Para Noyce *et al.* (2005) as condições de atrito em vias de trânsito em condições climáticas adversas é uma das principais causas de ocorrências de sinistros de trânsito na infraestrutura viária, sendo estes fatores geradores de sinistros também contidos na ABNT NBR 10697:2020, caracterizados como fatores externo (eventos climáticos) e a possibilidade de deficiência na via (baixa aderência entre pneu-pavimento). No estudo de Caliendo *et al.* (2007) foi analisado as ocorrências de sinistros de uma rodovia, concluindo que os sinistros fatais estão correlacionados à presença de chuva, principalmente em curvas e também propuseram a substituição da camada de pavimento flexível por uma camada que facilite a drenagem superficial, aumentando a aderência pneu/pavimento.

Desta forma, o presente trabalho visa correlacionar os parâmetros de aderência pneu-pavimento que foram coletados após a implementação do revestimento asfáltico tipo SMA (Stone Matrix Asphalt) na Avenida do Contorno em Belo Horizonte. Em seguida analisaram-se os dados de sinistros de trânsito ocorridos antes e após a execução do revestimento asfáltico tipo SMA. Para complementar foi aplicado questionário de caráter qualitativo e quantitativo aos motoristas dos transportes coletivos que trafegam na via de estudo, a fim de identificar se dispuseram percepções de melhorias após a implantação do SMA.

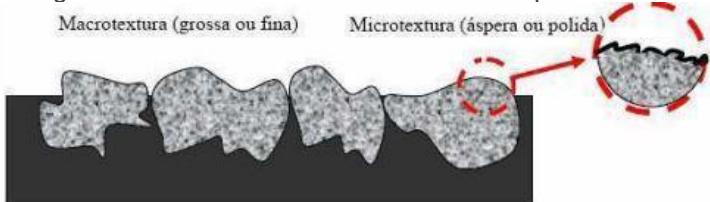
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO

A aderência pneu-pavimento pode ser caracterizada como a associação de características de atrito e de textura do pavimento (Pereira, 2010). A textura é classificada pela ASTM E-867 em microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidade, classificações estas que se diferem na dimensão dos comprimentos de onda (horizontal) e amplitudes (vertical).

Na Figura 1, pode-se identificar a diferença entre as classificações de textura, sendo elas a macrotextura e a microtextura.

Figura 1. Macrotextura e microtextura em pavimentos



Fonte: Peres *et al.*, 2006

A macrotextura possui comprimentos de ondas (λ) de 0,5 mm a 50 mm, que se relaciona com a graduação, tamanho máximo, espaçamento e formato dos agregados. Já a microtextura possui comprimentos de ondas menores 0,5 mm, sendo influenciada pela rugosidade superficial dos mesmos (Hall *et al.* 2009). Quanto às outras classificações de textura, a megatextura é caracterizada pelos desvios da superfície do pavimento decorrentes de fatores como a formação de trilhas de roda, remendo, panelas, ausência de agregado na superfície e também relacionadas a juntas e fissuras de maiores proporções. A irregularidade longitudinal se refere aos desvios da superfície de pavimento com relação a uma superfície realmente plana que proporciona a redução da resistência ao rolamento, a dinâmica do veículo, a qualidade de rolamento e o custo operacional dos veículos (Lay, 1998).

As medidas da macrotextura e microtextura (atrito) coletadas do revestimento asfáltico são fundamentais para o estudo da restauração da estrutura, parâmetros estes que são essenciais para uma melhoria na segurança viária (Noyce *et al.* 2005). Conforme Tabela 1, as classificações são determinadas:

Tabela 1. Classificação Macrotextura

Classe	Altura média de mancha de areia (mm)
Muito Fina ou muito fechada	HS* <= 0,20
Fina ou fechada	0,20 < HS <= 0,40
Média	0,40 < HS <= 0,80
Grosseira ou aberta	0,80 < HS <= 1,20

Fonte: ABPV (1999)

Tem-se recomendado a macrotextura dos pavimentos asfálticos na faixa entre 0,6mm e 1,2mm de altura média da mancha de areia (ABPV, 1999). A macrotextura é uma das características mais importantes e que afetam a aderência, principalmente para velocidades de deslocamento acima de 50km/h (Bernucci *et al.* 2007).

Na avaliação da microtextura do revestimento asfáltico utilizando o equipamento de pêndulo britânico (ASTM E 303) é possível determinar o valor de resistência à derrapagem (VRD), mundialmente conhecido com BPN (British Pendulum Number). Na tabela a seguir é apresentado as classificações conforme DNIT (2006), em referência aos valores de resistência à derrapagem (VRD).

Tabela 2. Classificação Microtextura

Classe	Valor de resistência à derrapagem
Perigosa	< 25
Muito lisa	25 <= VRD <= 31
Lisa	32 <= VRD <= 39
Insuficientemente rugosa	40 <= VRD <= 46
Medianamente rugosa	47 <= VRD <= 54
Rugosa	55 <= VRD <= 75
Muito rugosa	VRD > 75

Fonte: DNIT (2010)

2.2 RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

O conceito de correlação já aparece no trabalho de Bravais (1846), entretanto, foi Pearson (1896) quem descreveu a fórmula conhecida como “Coeficiente de Pearson” (Maria; Kotz ,2001). O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) é uma medida de intensidade e direção de uma relação linear entre duas variáveis x e y.

$$\rho = \frac{1}{(1-n)} \sum \frac{xi - \bar{x}}{sx} \frac{yi - \bar{y}}{sy} \quad (1)$$

Sendo:

ρ : coeficiente de correlação Pearson;

n : frequência de observações;

Σ : soma;

x_i e y_i : valor individual de x ou y ;

\bar{x} e \bar{y} : média;

s_x e s_y : desvio padrão.

O valor numérico de ρ varia de -1 a $+1$. Quando ρ estiver próximo de -1 , indica uma correlação negativa forte e, próximo de $+1$, uma correlação positiva forte. Um valor de ρ próximo a 0 indica que há correlação fraca, ou ainda, que não há correlação (Johnson;Bhattacharyya, 2019).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA ADSR

A ADSR (Action Design Science Research), foi o método científico adotado para o desenvolvimento desta pesquisa. A aplicação da Action Design Science Research se define em uma sequência representada em 4 estágios definidos:

Diagnóstico, Design (Projeto), Implementação e Evolução (Hevner;Mallurkey, 2019).

Sein *et al.* (2011) cita que a combinação entre a Design Science e a Pesquisa-Ação se resulta na ADSR (Action Design Science Research). E quando ADSR é aplicada, pode contribuir para a construção de artefatos (Dresch *et al.* 2015). Em resumo, o artefato (Figura 2) é “a organização dos componentes do ambiente interno para atingir objetivos em um determinado ambiente externo(Dresch *et al.* 2015).



Figura 2. Artefato da pesquisa

- Obtenção do projeto de dosagem do SMA e dos relatórios de ensaios tecnológicos (Mancha de areia e Pêndulo Britânico).
- Correlação dos dados de macrotextura e microtextura pelo método de Pearson.

- Coleta de dados de sinistros de trânsito no segmento da Avenida do Contorno (Tobogã da Savassi). Dados registrados de 2011 a 2022.

- Aplicação do questionário aos motoristas de coletivos que trafegam diariamente no Tobogã da Savassi.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

3.2 QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO

Com o objetivo de identificar evidências reais diante dos relatos dos usuários que trafegam no trecho de estudo, a construção do questionário teve como premissa desenvolver perguntas abertas com características qualitativas e quantitativas. O principal objetivo do questionário é obter um maior número possível de informações sobre as percepções dos motoristas quanto as consequências percebidas antes e pós-execução do SMA, na Avenida do Contorno.

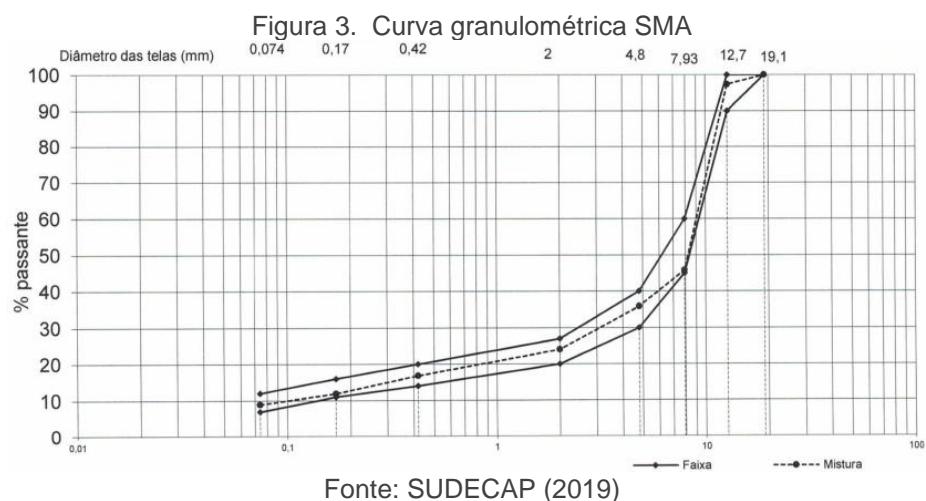
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TRECHO DE ESTUDO

A Avenida do Contorno, via urbana que circunda a região central da cidade de Belo Horizonte, possui um papel importante no desenvolvimento da capital mineira, desde de sua implantação no século XX. Popularmente chamado de “Tobogã da Savassi”, trecho da Avenida do Contorno que está localizado entre os bairros Savassi e Funcionários, é formado por 2 rampas de aproximadamente 150 metros de comprimento cada, com uma inclinação longitudinal $>12\%$ e 3 faixas por sentido.

4.2 IMPLANTAÇÃO DO REVESTIMENTO TIPO SMA

Em junho de 2020 a SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital), realizou a substituição da camada asfáltica tipo CBUQ faixa “C” CAP 50/70, para a mistura asfáltica com granulometria “descontínua”, conhecida de SMA (Stone Matrix Asphalt), a fim de favorecer a segurança viária, em função do melhoramento do atrito entre o pneu e pavimento. A composição granulométrica dos agregados constituintes da mistura asfáltica SMA (Figura 3) é composta por 61,15 % de Brita Zerão; 11,38% de Pó de Gnaisse; 19,91% de Pó de Calcário; 1,90% de Cal; 0,47% de Fibra e 5,20% de CAP 60/85.



Para a Napa (2002), a principal vantagem do SMA é a longa vida útil proporcionada pela melhor performance deste revestimento em relação a misturas asfálticas convencionais, o que, a longo prazo, reduz os custos com recuperação e reabilitação do pavimento.

Durante 2 semanas do mês de junho de 2020, foram realizados os serviços de fresagem funcional da camada existente, corte esse com 4 cm de profundidade. Em seguida, para ocorrer a aderência entre camadas existente e a ser aplicada, foi executada a aplicação de emulsão asfáltica tipo RR-1C. Após a imprimação da superfície com emulsão asfáltica, o revestimento tipo SMA foi aplicado com espessura final compactada de 4 cm.

Figura 4. Aplicação do SMA



Fonte: SUDECAP (2020)

4.3 ENSAIOS DE MACROTEXTURA E MICROTEXTURA

Os pontos de ensaios, tanto para o de macrotextura e microtextura, foram organizados da seguinte forma:

- Rampa 1 – próximo ao número n° 5326 antes da esquina com a Rua Piauí – Pista Direita/Esquerda, Faixa 1/2/3, Trilha de roda externa;
- Rampa 2 – próximo ao número n° 5404 depois da esquina com a Rua Piauí – Pista Direita/Esquerda, Faixa 1, trilha de roda externa.

Para a avaliação da macrotextura foi adotado o método de mancha de areia (ASTM E965-15,2018) e para verificação da microtextura (ASTM E 303-1993), conforme figuras apresentadas abaixo.

Figura 5. Ensaio mancha de areia



Fonte: SUDECAP (2022)

Figura 6. Ensaio Pêndulo Britânico



Fonte: SUDECAP (2022)

Para cada faixa de rolamento foi coletado uma amostra de 5 resultados de mancha de areia em pontos distintos, normalmente nas extremidades interna e externa das faixas (trilhas de rodas). O diâmetro médio D_m é o resultado da média obtida pelas cinco medições. A altura da mancha de areia (H_m) é expressa conforme equação 1:

$$H_m = 4V / \pi D^2 \quad (1)$$

Sendo:

H = Espessura média da macrotextura do pavimento, mm;

V = Volume da areia, mm^3 ; e

D = Diâmetro médio da área recoberta pela areia, mm.

Na avaliação da microtextura, foram realizadas 5 medidas de coeficiente de atrito (VRD) próximos aos pontos onde foram realizados os ensaios de macrotextura. O método empregado foi o do Pêndulo Britânico (figura 6), e o procedimento está recomendado pela norma ASTM E 303, 1993 (Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester).

Esse ensaio é considerado dinâmico e de impacto e consiste em mensurar a perda de energia quando a sapata de borracha do pêndulo desliza sobre a superfície de teste. A tabela 3 apresenta os valores médios correspondentes aos ensaios de macrotextura e microtextura do segmento de estudo.

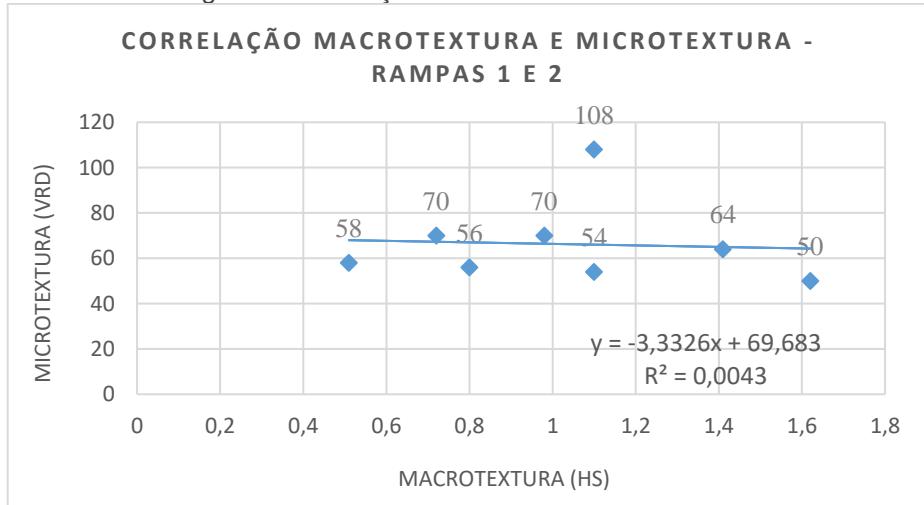
Tabela 3. Dados dos ensaios de textura do trecho de estudo

SEGMENTO	MANCHA DE AREIA HS(mm) - MÉDIA	VALOR RESISTÊNCIA DERRAPAGEM (MÉDIA)	DE A
AV CONTORNO - RAMPA 01 - PD - FX 01	0,51	58	
AV CONTORNO - RAMPA 01 - PD - FX 02	1,1	54	
AV CONTORNO - RAMPA 01 - PD - FX 03	1,62	50	
AV CONTORNO - RAMPA 01 - PE - FX 01	0,72	70	
AV CONTORNO - RAMPA 01 - PE - FX 02	0,98	70	
AV CONTORNO - RAMPA 01 - PE - FX 03	0,8	56	
AV CONTORNO - RAMPA 02 - PD	1,1	108	
AV CONTORNO - RAMPA 02 - PE	1,41	64	

Fonte: Elaborado pelo autor,2024.

Com o objetivo de apresentar o resultado da correlação pelo método Pearson entre as variáveis de macrotextura e microtextura das rampas 1 e 2, está apresentado o respectivo gráfico de correlação.

Figura 7. Correlação macrotextura x microtextura



Fonte: Elaborado pelo autor,2024.

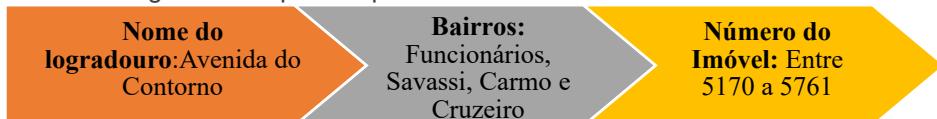
Conforme figura apresentada, é possível identificar que os valores de microtextura (eixo y) possuem um comportamento heterogêneo na medida que a variável X é crescente. Com o desenvolvimento da equação de regressão linear no programa Excel, conclui-se que a interação entre as variáveis de textura resulta em uma equação decrescente (variável X negativa) e o valor do coeficiente de Pearson resultante é de $R^2=0,0043$, igual a $p= 0,0655$, valor que demonstra ser positivo mas com baixa intensidade e pode ser visto pelo coeficiente de correlação (Johnson; Bhattacharyya, 2019). A baixa correlação é resultado de não haver uma proporcionalidade direta entre as variáveis de estudo, mesmo quando os valores de

macrotextura apresenta ser crescente, a variável y (microtextura) se comporta de forma desordenada, não demonstrando uma tendência na direção dos valores da variável macrotextura.

4.4 SINISTROS DE TRÂNSITO NO SEGMENTO DA PESQUISA

A análise de sinistros de trânsito foi realizada com os dados provenientes do portal web da BHTrans (Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte), que disponibiliza em dados abertos diversas informações relacionadas a acidentes, trânsito, sinistros, boletim de ocorrência, etc. Para a identificação da frequência de sinistros, foi realizada em cada planilha do ano referente os seguintes filtros:

Figura 8. Sequência para coleta de ocorrências de sinistros



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Com os filtros realizados conforme sequência adotada, obteve-se os quantitativos de frequências absoluta de sinistros de trânsito conforme tabela 4.

Tabela 4. Panorama de ocorrências de sinistros de trânsito no Tobogã da Savassi

SINISTROS DE TRÂNSITO - AVENIDA DO CONTORNO - TOBOGÃ DA SAVASSI												
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 (Pré-obra)	2020 (Pós-Obra)	2021	2022
13	10	11	14	6	6	11	10	18	2	0	7	10

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Entre os anos de 2011 a 2022 o número total de sinistros foi de 118 ocorrências, resultando em uma média de 11 sinistros/ano no período pré SMA e após a implantação do SMA a média foi de 7 sinistros/ano. Para alcançar uma análise conclusiva quanto o real impacto do novo revestimento asfáltico na evolução dos sinistros de trânsito, foi solicitado à BHTRANS (Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte) os dados do volume de tráfego do segmento do estudo entre os anos 2011 a 2022.

Segundo IBGE (2024), entre os anos de 2011 a 2022 a frota de veículos na capital mineira alcançou um percentual de aumento de 81 %, sendo que em 2011 o

total de veículos era de 1.438.723, e em 2022 o total era de 2.599.029. Portanto, espera-se que devido a este aumento significativo da frota de veículos em Belo Horizonte, juntamente com a frequência de sinistros possa resultar em um índice acidente/veículos satisfatório a segurança viária local.

4.5 EVOLUÇÃO – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS MOTORISTAS DE COLETIVOS URBANO

Conforme informação fornecida pela BHTRANS, as linhas de ônibus sob comando da empresa Sandra é a que possui maior números de viagens que percorre no segmento de estudo desta pesquisa, sendo um quantitativo superior a 65 viagens a cada dia útil, e aos sábados e domingos/feriados um número superior a 50 viagens no total. Em razão do quantitativo de viagens realizadas pela viação Sandra, foram aplicadas aos 9 motoristas as seguintes perguntas, conforme Tabela 5 a seguir.

Tabela 5. Questionário aplicado aos motoristas da viação Sandra

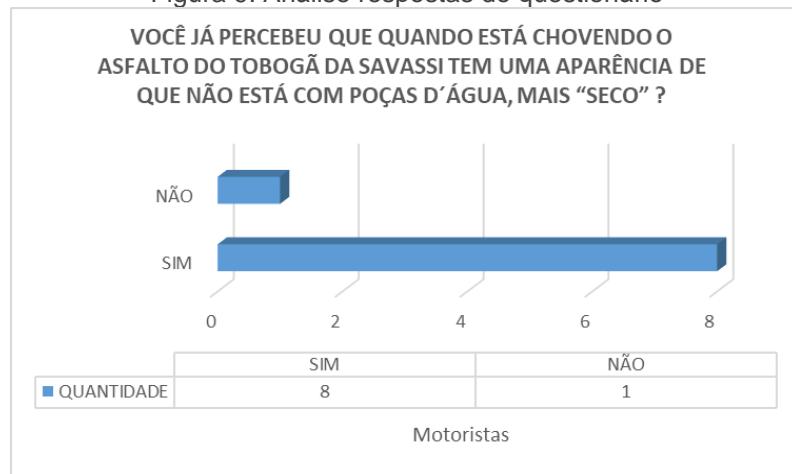
1	Nome
2	Há quanto tempo você trafega no tobogã da Savassi?
3	Quantos dias por semana e qual frequência você trafega pelo tobogã?
4	Você trabalha em qual período?
5	Em média quantas pessoas estão no ônibus quando passa pelo tobogã da Savassi?
6	Para você, qual é o período de grande fluxo no tobogã da Savassi?
7	Sobre o asfalto do tobogã da Savassi, você sabia que ele foi substituído por outro no ano de 2020?
8	Novo asfalto aplicado trouxe mais segurança ao dirigir o ônibus?
9	O asfalto aplicado tem o nome de SMA (stone matrix asphalt), ele possui a condição de dar mais aderência entre os pneus do veículo e o próprio asfalto. Para você é interessante? porque?
10	Você já passou por alguma dificuldade na condução do veículo no tobogã da Savassi? ex: congestionamento no período de chuva, ônibus derrapando? etc. quando aconteceu?
11	Você já presenciou algum tipo de acidente no tobogã da savassi?
12	Você já percebeu que quando está chovendo o asfalto do tobogã da Savassi tem uma aparência de que não está com poças d'água, mais “seco”?

Fonte: Elaborado pelo autor,2024.

Importante característica dos motoristas entrevistados, é que cerca de 77 % deles (7 motoristas) já percorrem diariamente o trecho do Tobogã da Savassi a mais de 10 anos. Foi identificado que 89 % dos motoristas participantes do questionário possuem a percepção que a execução do SMA no trecho do Tobogã da Savassi trouxe benefícios para a segurança viária.

O motorista entrevistado de nº 6 cita “que a intervenção no pavimento trouxe mais estabilidade aos veículos”. Outro comentário importante de um dos entrevistados (motorista de nº 3) foi que “o SMA trouxe mais segurança principalmente na descida e na subida em dias de chuva, pois antigamente patinava muito”. Conforme as características de textura esperadas na mistura SMA e diante das análises aqui apresentadas, aplicou-se a seguinte pergunta, “Você já percebeu que quando está chovendo o asfalto do Tobogã da Savassi tem uma aparência que não está com poças d’água, mais seco?”.

Figura 9. Análise respostas do questionário



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Em resumo 8 dos no 9 motoristas entrevistados afirmam que o SMA aplicado no Tobogã da Savassi possui em períodos de chuvas uma aparência mais “seca”. Característica essa que é influenciada pela macrotextura do SMA, em função de sua granulometria aberta que proporciona a redução do efeito de hidroplanagem, corroborando com o estudo de Rodrigues Filho (2016), favorecendo assim, a possibilidade de redução de ocorrências de sinistros de trânsito em períodos de chuva.

5. CONSIDERAÇÕES

Este estudo propôs analisar inicialmente a correlação entre os parâmetros de macrotextura e microtextura do revestimento asfáltico SMA juntamente com outros estudos complementares em prol de verificar o efeito resultante da aplicação do revestimento SMA na Avenida do Contorno. A correlação entre os parâmetros de

textura foi desenvolvida com base nos princípios estatísticos de Pearson, no qual os resultados obtidos mostraram que o relacionamento entre as variáveis é positiva, mas de baixa intensidade ($0 > \rho \leq 0,5$). A ADSR (Action Design Science Research), metodologia implementada na pesquisa, proporcionou integrar etapas para a análise dos resultados no quesito de segurança viária no segmento de estudo.

Em sequência nas análises dos objetivos secundários propostos, o panorama das ocorrências de sinistros de trânsitos entre os anos de 2011 a 2022 foi desenvolvido com base nos dados obtidos pela BHTRANS. Encontrou-se que a média anual de sinistros registrados após aplicação do SMA no Tobogã da Savassi foi 36 % menor quando comparado ao período sem o revestimento tipo SMA em números absolutos. Mas a fim de obter um índice real para avaliação, foi solicitado a BHTRANS o volume de tráfego dos anos correspondentes com o objetivo de ser elaborado o índice acidente/veículo por ano. Espera-se que devido ao aumento crescente da frota de veículos na cidade de Belo Horizonte, que foi superior a mais de 81 % entre os anos de 2011 e 2022 o índice de sinistros de trânsito seja favorável para a segurança viária (IBGE, 2024).

Na etapa de evolução do método desenvolveu-se o questionário qualitativo e quantitativo com objetivo de obter percepções dos motoristas quanto às possíveis melhorias na segurança viária após a implantação do asfalto SMA (Stone Matrix Asphalt). Dos motoristas entrevistados, 89 % afirmaram que a execução do SMA trouxe ganhos na segurança ao conduzir o veículo, tanto nos períodos de seca e principalmente em dias chuvosos, pelo asfalto proporcionar mais estabilidade e redução de poças d'água na superfície do pavimento.

Em vista das percepções coletadas dos motoristas da BHTRANS que trafegam diariamente no Tobogã da Savassi, comprehende-se que a percepção humana está ao encontro dos resultados apresentados até aqui encontrados sobre a redução do número de sinistros de trânsito após a aplicação do SMA. Contudo, foi possível identificar a eficácia do método elaborado para o desenvolvimento dessa pesquisa, no qual procurou-se combinar dados técnicos do revestimento SMA, de sinistros de trânsito e percepções dos motoristas para identificação de melhoria na segurança viária no segmento de estudo, após aplicação do revestimento SMA.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores gostariam de agradecer o apoio da Universidade Federal de Minas Gerais; do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); da Agência Estadual de Pesquisa e Desenvolvimento de Minas Gerais – FAPEMIG e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Pesquisas de sinistros de trânsito– terminologia. Norma Técnica.** Rio de Janeiro, 2020.
- ABPV – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. **Informativo técnico sobre avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil.** Boletim Técnico, Rio de Janeiro, n. 18, 1999.
- BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATI, J. A. P. e Soares, J. B. (2007). **Pavimentação Asfáltica.** Formação Básica para Engenheiros. Petrobras. ABEDA. Rio de Janeiro.
- BRAVAIS, A. **Sur les probabilités des erreurs de situation d'un point [on the probability of errors in the position of a point].** Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de l'Institut de France, v. 9, p. 255-332, 1846.
- CALIENDO, Ciro; GUIDA, Maurizio; PARISI, Alessandra. **A crash-prediction model for multilane roads.** Accident Analysis & Prevention, v. 39, n. 4, p. 657-670, 2007.
- CORLEY-LAY, Judith B. **Friction and surface texture characterization of 14 pavement test sections in Greenville,** North Carolina. Transportation Research Record, v. 1639, n. 1, p. 155-161, 1998.
- DNIT (2006) **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos.** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR. Rio de Janeiro, RJ.
- DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Uma análise distintiva entre o estudo de caso, a pesquisa-ação e a design science research.** Revista Brasileira de Gestão de Negócios, v. 17, p. 1116-1133, 2015.
- HALL, J. W. et al. **Guide for pavement friction.** Final Report for NCHRP Project, v. 1, p. 43, 2009.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/pesquisa/22/28120?ano=2022> Acesso em: 24 jan. 2024.
- IPEA (2015) **Estimativa dos custos dos acidentes de trânsito no Brasil com base na atualização simplificada das pesquisas anteriores do Ipea.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília.
- JOHNSON, Richard A.; BHATTACHARYYA, Gouri K. **Statistics: principles and methods.** John Wiley & Sons, 2019.
- MARIA, Dominique Drouet KOTZ, Samuel. **Correlation and dependence.** World Scientific, 2001.
- MULLARKEY, Matthew T.; HEVNER, Alan R. **An elaborated action design research process model.** European Journal of Information Systems, v. 28, n. 1, p. 6-20, 2019.
- NAPA – National Asphalt Pavement Association (2002) – **Designing and Construction Mixtures SMA – State-of-The-Practise.** Quality Improvement Series 122 – Laham, MD, EUA.

NOYCE, A. D.; H. U. BAHIA; J. M. YAMBÓ E G. KIM (2005) **Incorporating road safety into pavement management: maximizing as-phalt pavement surface friction for road safety improvements - Draft Literature Review and State Surveys**. Midwest Regional University Transportation Center, Traffic Operations and Safety (TOPS) Laboratory, Wisconsin.

OMS (2023) **Global status report on road safety 2023**. Organização Mundial da Saúde, Genebra, Suíça.

PEREIRA, C. A. (2010) **Análise da Aderência Pneu-Pavimento em Rodovias dos Estados de Pernambuco e da Paraíba com Elevado Índice de Acidentes**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Civil e Geotecnica. Recife –PE.

PERES, Ricardo; SILVA, Gilberto Teixeira da; MERIGHI, Joao Virgílio. **Influência da Natureza da Superfície de contato na geração de aderência nos pavimentos aeroportuários**. V Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos, 2006.

PRANJIĆ, Ivana *et al.* Pavement surface macrotexture analysis. In: **Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA**. 2018. p. 359-367.

RODRIGUES FILHO, O. S. (2006) **Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários –Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

SEIN, M. K., HENFRIDSSON, O., PURAO, S., ROSSI, M., & LINDGREEN, R. (2011). **Action design Research**. MIS Quarterly, 35(1), 37-56.



CAPÍTULO

10

INCONSISTÊNCIAS SISTÊMICAS NO CÁLCULO DO MDC NO EXCEL: UMA ANÁLISE ACADÊMICA DETALHADA DOS ERROS CRÍTICOS, SUAS REPERCUSSÕES PROFUNDAS NA EDUCAÇÃO GLOBAL E CAMINHOS ESTRATÉGICOS PARA SOLUÇÕES

Rafael Alberto Gonçalves

Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática
Fundação Universitária Regional de Blumenau (FURB)
E-mail: rafaelexcel@gmail.com

RESUMO: Este artigo investiga as inconsistências no cálculo do Máximo Divisor Comum (MDC) no Microsoft Excel e seu impacto no ensino da matemática básica. O estudo tem como objetivo analisar as discrepâncias encontradas na função *MDC* do Excel, demonstrando como erros algorítmicos podem comprometer o aprendizado e a confiabilidade da ferramenta como recurso pedagógico. A pesquisa foi conduzida por meio de testes comparativos entre os resultados fornecidos pelo Excel e os cálculos matemáticos corretos, além de uma revisão crítica de relatórios e discussões sobre falhas em softwares de planilhas eletrônicas. Os resultados evidenciam que o Excel, em determinados cenários, retorna valores incorretos para o MDC, como ilustrado nas Figuras 5 e 8 (geradas pelo Copilot disponível no Excel). Essas inconsistências representam um obstáculo no ensino, pois podem induzir os alunos a erros conceituais e prejudicar o desenvolvimento do raciocínio lógico-matemático. Diante desse problema, o artigo propõe soluções, como a utilização de ferramentas alternativas, a revisão crítica dos resultados pelo professor e a implementação de algoritmos mais robustos. Conclui-se que, embora o Excel seja amplamente utilizado em ambientes educacionais, sua confiabilidade em operações matemáticas essenciais, como o cálculo do MDC, deve ser questionada. A discussão reforça a necessidade de maior rigor na validação de softwares educacionais e na formação docente para o uso crítico de tecnologias no ensino da matemática.

PALAVRAS-CHAVE: máximo divisor comum, Excel, educação matemática, inconsistências algorítmicas, ensino básico.

ABSTRACT: This article investigates the inconsistencies in the calculation of the Greatest Common Divisor (GCD) in Microsoft Excel and its impact on the teaching of basic mathematics. The study aims to analyze the discrepancies found in the GCD function of Excel, demonstrating how algorithmic errors can compromise learning and the reliability of the tool as a pedagogical resource. The research was conducted through comparative tests between the results provided by Excel and the correct mathematical calculations, in addition to a critical review of reports and discussions about failures in spreadsheet software. The results show that Excel, in certain scenarios, returns incorrect values for the GCD, as illustrated in Figures 5 and 8 (generated by Copilot available in Excel). These inconsistencies represent an obstacle

in teaching, as they can induce students to make conceptual errors and hinder the development of logical-mathematical reasoning. Faced with this problem, the article proposes solutions, such as the use of alternative tools, the critical review of the results by the teacher, and the implementation of more robust algorithms. It is concluded that, although Excel is widely used in educational settings, its reliability in essential mathematical operations, such as calculating the GCD, should be questioned. The discussion reinforces the need for greater rigor in the validation of educational software and in teacher training for the critical use of technologies in teaching mathematics.

KEYWORDS: greatest common divisor, Excel, mathematics education, algorithmic inconsistencies, elementary education.

1. INTRODUÇÃO

O Máximo Divisor Comum (MDC) é um conceito fundamental na matemática básica, essencial para a simplificação de frações, resolução de problemas de divisibilidade e aplicações em teoria dos números. Seu ensino é crucial no desenvolvimento do raciocínio lógico e matemático dos estudantes, servindo como base para conteúdos mais avançados, como algoritmos, criptografia e otimização. No entanto, a confiabilidade das ferramentas utilizadas para seu cálculo é fundamental para o aprendizado correto.

Atualmente, planilhas eletrônicas, como o Microsoft Excel, são amplamente utilizadas em ambientes educacionais para auxiliar no ensino de matemática. Entretanto, inconsistências no cálculo do MDC no Excel podem levar a resultados incorretos, prejudicando a compreensão dos educandos. Como evidenciado nas Figuras 5 e 8 (geradas pelo COPILOT disponível no Excel), o software apresenta falhas significativas em seu algoritmo de MDC, retornando valores equivocados em determinados cenários. Esses erros não apenas comprometem a confiabilidade da ferramenta, mas também reforçam a ideia de que o Excel pode ser um obstáculo no processo educacional, especialmente quando se espera que ele funcione como um recurso de apoio confiável.

A educação matemática depende de precisão e clareza, e erros em ferramentas amplamente adotadas podem gerar desconfiança e dificuldades no aprendizado. Este artigo busca analisar as novas discrepâncias encontradas no cálculo do MDC pelo Excel, discutir seu impacto no ensino e propor soluções para mitigar esses problemas, garantindo que a tecnologia seja uma aliada, e não um empecilho, na formação dos estudantes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O **Máximo Divisor Comum (MDC)** é um conceito fundamental na teoria dos números, definido como o maior número inteiro capaz de dividir dois ou mais números inteiros sem deixar resto (MOD 0). Sua aplicação estende-se desde a simplificação de frações até problemas mais complexos, como algoritmos de criptografia e otimização matemática.

2.1 PROPRIEDADES DO MDC

Para que o cálculo do MDC seja válido, algumas condições devem ser atendidas:

- 1. Números Inteiros Naturais:** O MDC é definido apenas para números inteiros não negativos, excluindo os números irracionais;
- 2. Pelo Menos Dois Números:** A determinação do MDC exige a comparação entre dois ou mais valores, uma vez que se trata de um divisor comum;
- 3. Ausência de Valores Nulos ou Zero:** O MDC não está definido para zero, pois a divisão por zero é indeterminada. Se um dos números for zero, o resultado será o maior número não nulo do conjunto.

2.2 REPRESENTAÇÃO CONCEITUAL DO MDC

A Figura 1 ilustra o conceito do MDC, destacando sua natureza como o maior divisor compartilhado entre os números analisados. Essa representação é essencial para o entendimento visual do processo de determinação do MDC, especialmente em contextos educacionais, onde a abstração matemática pode ser um desafio para os estudantes.

Figura 1. Conceito do MDC

- Determinar o **mínimo múltiplo comum** e o **máximo divisor comum** entre dois ou mais números naturais.

Fonte: Geração Alfa Matemática, 2022.

O Ministério da Educação (MEC) reconhece a importância da integração de tecnologias digitais no processo de ensino-aprendizagem e, por isso, incentiva os professores a desenvolverem habilidades em planilhas eletrônicas, como o Microsoft Excel, Google Sheets e outras ferramentas similares. Essa competência é considerada fundamental para:

1. Enriquecimento das Aulas de Matemática e Ciências:
 - a) As planilhas permitem a visualização de dados, a realização de cálculos automáticos e a aplicação de funções matemáticas, facilitando o ensino de conceitos como MDC, MMC, estatística, álgebra e geometria.

b) A automatização de operações repetitivas ajuda os alunos a focarem na interpretação dos resultados, em vez de se perderem em cálculos manuais.

2. Promoção da Alfabetização Digital:

a) O domínio de planilhas eletrônicas é uma habilidade essencial no mundo contemporâneo, tanto para a vida acadêmica quanto para o mercado de trabalho.

b) Ao utilizar essas ferramentas em sala de aula, os estudantes desenvolvem pensamento computacional, organização de dados e análise crítica de informações.

3. Fomento ao Ensino Interdisciplinar:

a) Além da matemática, as planilhas podem ser aplicadas em disciplinas como Geografia (análise de dados populacionais), Biologia (registro de experimentos) e História (linhas do tempo quantitativas).

b) Professores de diferentes áreas são encorajados a incorporar planilhas em suas metodologias, criando atividades colaborativas e projetos integrados.

4. Preparação para Avaliações Externas e Olimpíadas Científicas:

a) Muitas avaliações em larga escala, como o SAEB e o PISA, exigem interpretação de dados e gráficos, competências que podem ser trabalhadas por meio de planilhas.

b) Estudantes que participam de competições como a Olimpíada Brasileira de Matemática (OBM) e a Olimpíada Brasileira de Informática (OBI) também se beneficiam desse conhecimento.

Figura 2. orientação MEC

DE OLHO NA BASE

Saber como calcular as medidas estatísticas com o auxílio de uma planilha eletrônica contribui para o desenvolvimento da habilidade EF09MA22.

Além disso, saber utilizar planilhas eletrônicas para modelar e resolver problemas do cotidiano favorece o desenvolvimento da competência específica de Matemática 5.

Fonte: Geração Alpha Matemática, 2022.

2.3 INCONSISTÊNCIAS NO CÁLCULO DO MDC PELO EXCEL E SEUS IMPACTOS NA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA

O Microsoft Excel, embora amplamente utilizado como ferramenta educacional, apresenta graves inconsistências no cálculo do Máximo Divisor Comum (MDC) que contradizem princípios matemáticos fundamentais. Conforme evidenciado na Figura 3, o software comete dois erros críticos que impactam diretamente o processo de ensino-aprendizagem. Primeiramente, o Excel viola a própria definição matemática do MDC ao permitir seu cálculo com apenas um número. Segundo Rosen (2011), o MDC é por natureza um divisor comum, o que pressupõe necessariamente a comparação entre pelo menos dois números inteiros. Quando o software retorna o próprio número como resultado para um único valor (por exemplo, $MDC(15)=15$), está ignorando o princípio básico da communalidade que dá nome à operação, criando uma contradição conceitual grave.

Além disso, a documentação da função MDC no Excel apresenta uma descrição incorreta ao afirmar que pode receber "de 1 a 255 valores" (Microsoft, 2023). Esta formulação induz os educandos a erros conceituais, criando confusão sobre a natureza do MDC e dificultando a compreensão correta de suas propriedades matemáticas. A Figura 3 demonstra claramente essa inconsistência semântica, onde o Excel apresenta a expressão "retorna o máximo divisor COMUM" para casos com um único valor, o que constitui um contrassenso matemático.

Estes erros têm um impacto significativo na educação matemática. Como destacam Borwein e Bailey (2004), ferramentas computacionais educacionais devem preservar o rigor matemático para evitar maus entendidos. O caso do Excel ilustra como a implementação inadequada de conceitos matemáticos em softwares amplamente utilizados pode comprometer o aprendizado. Apostol (1976) reforça que o máximo divisor comum requer pelo menos dois inteiros não nulos para ser definido corretamente, princípio que o Excel ignora em sua implementação.

Diante deste cenário, recomenda-se que os educadores adotem três medidas principais: primeiramente, sempre contrastar os resultados do Excel com cálculos manuais para verificação; em segundo lugar, transformar essas inconsistências em objetos de discussão em sala de aula, usando-as como exemplos da importância do entendimento conceitual; e finalmente, considerar o uso de alternativas computacionais com implementação mais rigorosa, como GeoGebra ou

WolframAlpha. Este caso serve como alerta sobre os riscos da dependência acrítica de ferramentas tecnológicas no ensino de matemática, reforçando a necessidade do domínio teórico tanto por parte dos educadores quanto dos estudantes.

Figura 3. Inconsistência do MDC no Excel (um número)

	A	B	C	D	E	F	G
1	Nº 1		MDC	FÓRMULA			
2	14		14	=MDC(A2)			

Arguments da função

MDC

Núm1: A2 = 14

Núm2: = qualquer

= 14

Retorna o máximo divisor comum.

Núm1: números de 1 a 255 são válidos.

Resultado da fórmula = 14

Ajuda sobre esta função

OK Cancelar

Fonte: O autor 2025.

2.4 INCONSISTÊNCIAS NO CÁLCULO DO MDC PELO VBA E SEUS IMPACTOS NA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA

A análise do Visual Basic for Applications (VBA), linguagem de programação integrada ao Microsoft Excel, revela que o erro conceitual no cálculo do Máximo Divisor Comum (MDC) persiste também nessa plataforma. Conforme comprovado na Figura 4, a implementação do MDC no VBA reproduz a mesma falha encontrada na função nativa do Excel, aceitando como válido o cálculo com apenas um número - uma contradição direta ao princípio matemático fundamental que define o MDC necessariamente como um divisor comum entre dois ou mais números inteiros (Apostol, 1976).

Esta duplicação do erro em diferentes camadas do software (interface do usuário e ambiente de programação) configura um problema estrutural com profundas implicações educacionais. Pesquisas na área de educação matemática (Guzman & Boero, 2016) demonstram que inconsistências desse tipo geram efeitos negativos em cascata: os alunos, ao se depararem com resultados que contradizem o que aprenderam em sala de aula, desenvolvem não apenas desconfiança em relação às ferramentas tecnológicas, mas também dúvidas sobre sua própria compreensão dos conceitos matemáticos. Essa situação cria uma barreira adicional ao processo de aprendizagem, exigindo que os docentes dediquem tempo precioso para explicar e contextualizar os erros do software, em vez de focar no desenvolvimento das habilidades matemáticas dos estudantes.

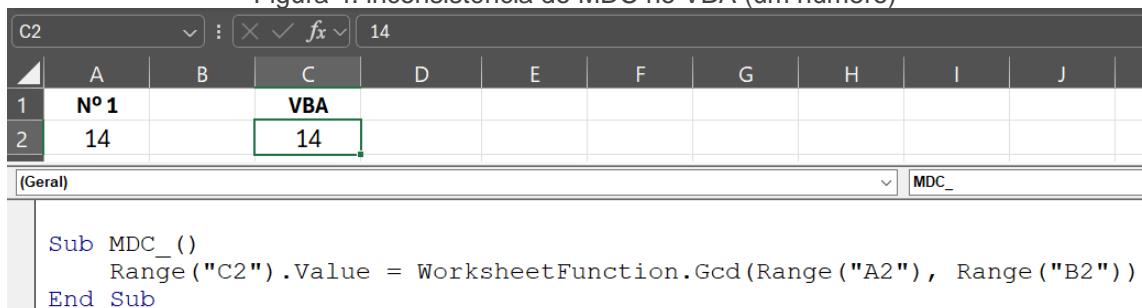
O corpo docente enfrenta assim um duplo desafio: além de ensinar os conceitos matemáticos propriamente ditos, precisa desenvolver estratégias para lidar com as limitações tecnológicas. Como apontam Ponte *et al.* (2018), isso inclui criar atividades específicas para identificar e analisar os erros do software, desenvolver materiais didáticos complementares que apresentem os cálculos corretos, e implementar protocolos de verificação manual dos resultados obtidos computacionalmente. Essa sobrecarga pedagógica é particularmente problemática em contextos educacionais com recursos limitados, onde o tempo do professor é um recurso escasso.

Do ponto de vista técnico, a persistência desse erro tanto no Excel quanto no VBA (Figura 4) revela questões profundas sobre o desenvolvimento de software educacional. Como destacou Knuth (1997), a implementação de algoritmos matemáticos em sistemas computacionais exige um rigor especial, particularmente quando esses sistemas são destinados a ambientes educacionais. A falha em atender a esse requisito básico no caso do MDC sugere uma desconexão preocupante entre os desenvolvedores de software e as necessidades reais do ensino de matemática.

Diante desse cenário, três abordagens se mostram essenciais: primeiro, a triangulação de resultados, comparando sistematicamente as saídas do Excel/VBA com outros softwares confiáveis ou com cálculos manuais; segundo, a transformação desses erros em oportunidades de aprendizagem, usando-os como estudos de caso para discutir a importância do pensamento crítico em matemática computacional; e terceiro, a adoção de alternativas validadas pedagogicamente, como o GeoGebra, que implementam corretamente os algoritmos matemáticos.

Este caso serve como alerta contundente sobre os riscos da dependência acrítica de ferramentas tecnológicas no ensino de matemática. Mesmo em softwares amplamente adotados e licenciados como o Excel, a compreensão sólida dos conceitos matemáticos fundamentais por parte de professores e alunos permanece como o último e mais importante filtro contra a propagação de erros conceituais. A experiência com o cálculo incorreto do MDC no VBA reforça a necessidade de maior diálogo entre desenvolvedores de software, educadores e matemáticos, visando a criação de ferramentas que realmente apoiem, e não dificultem, o processo de ensino-aprendizagem.

Figura 4. inconsistência do MDC no VBA (um número)



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Nº 1		VBA							
2	14		14							

Below the table, the VBA code is displayed:

```

Sub MDC_()
    Range("C2").Value = WorksheetFunction.Gcd(Range("A2"), Range("B2"))
End Sub

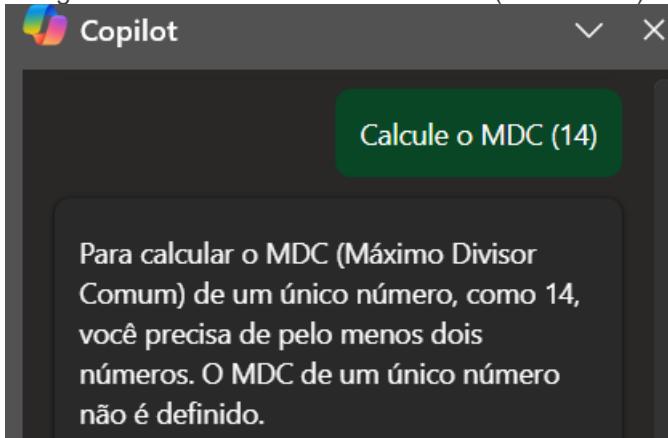
```

Fonte: O autor 2025.

O Copilot integrado ao Excel confirmou um erro significativo no cálculo do software (Figura 5). É alarmante que a Microsoft continue comercializando o Excel como uma ferramenta de precisão e alto valor agregado, mesmo diante de falhas recorrentes que comprometem sua confiabilidade. Esses erros não são apenas técnicos – eles têm impactos reais, especialmente na educação, onde milhões de estudantes e instituições dependem do Excel para análises de dados, pesquisas e aprendizagem de conceitos matemáticos e estatísticos.

A persistência desses problemas em uma ferramenta tão essencial e amplamente adotada representa uma falha grave por parte da Microsoft. Se a empresa pretende manter o Excel como um padrão global, é inaceitável que não priorize correções ágeis e transparência sobre limitações conhecidas. Erros não resolvidos em softwares educacionais e profissionais perpetuam desinformação, prejudicam a formação acadêmica e minam a confiança dos usuários. A Microsoft precisa assumir a responsabilidade e corrigir essas deficiências com urgência.

Figura 5. Inconsistência do Excel VBA (um número)



Fonte: O autor 2025.

O cálculo realizado no Excel, ao tratar dos divisores de um número natural, envolve a análise dos números que podem dividir exatamente esse número sem deixar resto, utilizando a operação MOD igual a zero. Os divisores de um número natural incluem, de forma natural, o próprio número, pois todo número é divisível por si mesmo. Nesse contexto, ao estudar os divisores, não há necessidade de usar a expressão "divisores comuns", uma vez que estamos tratando especificamente dos divisores de um único número, e isso elimina qualquer ambiguidade. A compreensão clara dessa propriedade é fundamental, pois ajuda a evitar confusões durante o processo de cálculo e assegura resultados mais precisos. Além disso, essa noção permite que você entenda melhor o conceito de fatoração, contribuindo para o desenvolvimento de cálculos mais eficientes, especialmente em ferramentas como o Excel, onde é possível automatizar esses cálculos de forma rápida e sem erros. Figura 6.

Figura 6. Propriedade dos divisores de um número

- Todo número natural diferente de zero é divisor dele mesmo.

Fonte: Geração Alfa Matemática, 2022.

Ao lidar com os divisores de um número natural no Excel, o objetivo principal é identificar todos os números inteiros positivos que dividem esse número de forma exata, ou seja, sem deixar resto (MOD 0). Esse processo é essencial para diversas aplicações matemáticas e de análise de dados, como fatoração, simplificação de frações e determinação de propriedades numéricas.

Todo número natural possui pelo menos dois divisores: o número 1 e ele mesmo. Por exemplo, os divisores de 7 são apenas 1 e 7, pois é um número primo. Já um número como 12 tem uma lista maior de divisores: 1, 2, 3, 4, 6 e 12. Essa característica é fundamental para evitar confusões, especialmente porque não estamos tratando de "divisores comuns" (que envolvem a comparação entre dois ou mais números), mas sim dos divisores de um único valor.

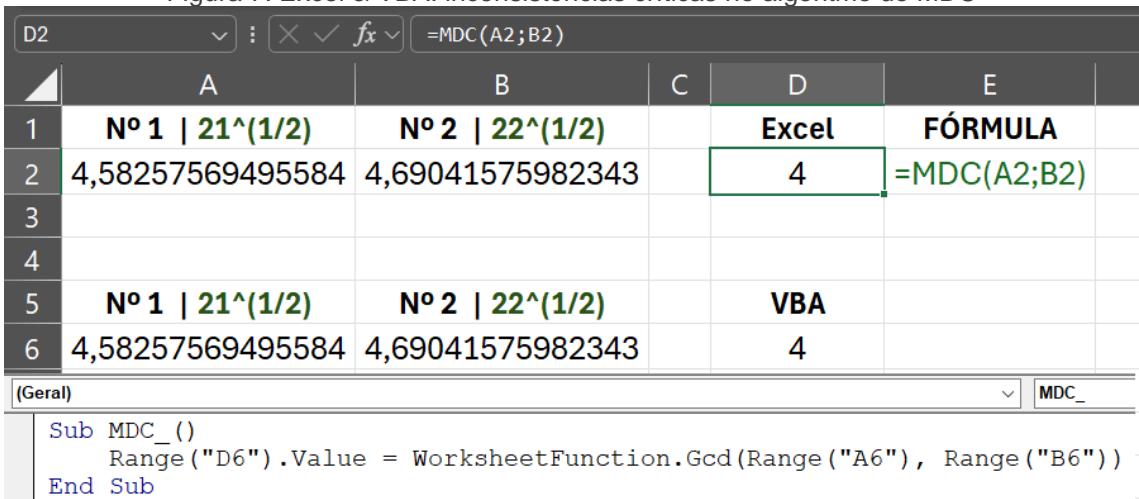
No Excel, podemos automatizar a identificação desses divisores utilizando funções como MOD e SE. A função MOD verifica se a divisão entre dois números é exata, retornando o resto da operação. Se o resto for zero, significa que o número testado é um divisor válido. Combinando essa função com SE, podemos filtrar apenas os valores que atendem a essa condição.

Por exemplo, para encontrar os divisores de 12, podemos criar uma lista de números de 1 a 12 e aplicar a fórmula `=SE(MOD(12, A1)=0; A1; "")` em uma coluna adjacente. O resultado será a exibição apenas dos números que dividem 12 sem deixar resto: 1, 2, 3, 4, 6 e 12. Esse método é eficiente e pode ser adaptado para qualquer número natural, bastando ajustar a referência e o intervalo de teste.

Entender como calcular divisores no Excel não só agiliza processos matemáticos, mas também serve como base para conceitos mais avançados, como o cálculo do máximo divisor comum (MDC) ou do mínimo múltiplo comum (MMC). Além disso, esse conhecimento é útil para a criação de planilhas dinâmicas que exigem verificações automáticas de divisibilidade, contribuindo para análises mais precisas e eficientes.

Em resumo, dominar o cálculo de divisores no Excel facilita a manipulação de dados numéricos, evitando erros e permitindo a aplicação de técnicas matemáticas de forma prática e automatizada. Seja para fins educacionais ou profissionais, esse recurso é uma ferramenta valiosa para quem trabalha com planilhas e necessita realizar operações matemáticas com agilidade e confiabilidade.

Figura 7. Excel & VBA: inconsistências críticas no algoritmo do MDC



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with two sections: 'Excel' and 'VBA'. In the 'Excel' section, cell D2 contains the formula '=MDC(A2;B2)'. The table data is as follows:

	A	B	C	D	E
1	Nº 1 $21^{(1/2)}$	Nº 2 $22^{(1/2)}$		Excel	FÓRMULA
2	4,58257569495584	4,69041575982343		4	=MDC(A2;B2)
3					
4					
5	Nº 1 $21^{(1/2)}$	Nº 2 $22^{(1/2)}$		VBA	
6	4,58257569495584	4,69041575982343		4	

In the 'VBA' section, the code is:

```

Sub MDC_()
    Range("D6") .Value = WorksheetFunction.Gcd(Range("A6"), Range("B6"))
End Sub

```

Fonte: O autor 2025.

Um ponto importante que merece destaque é a análise da Figura 7, que demonstra uma aplicação incomum do Excel: o cálculo do **Máximo Divisor Comum (MDC)** envolvendo números irracionais, como $\sqrt{21}$ e $\sqrt{22}$. Essa abordagem é impactante porque, matematicamente, o conceito de MDC é definido apenas para números inteiros, já que divisores são, por natureza, valores exatos e não aproximados. No entanto, o Excel, por ser uma ferramenta de cálculo numérico, pode retornar resultados mesmo em casos teoricamente inviáveis, como operações com irracionais. Isso ocorre porque o software trabalha com aproximações decimais e, dependendo da função utilizada (como =MDC), pode arredondar valores ou aplicar métodos internos de cálculo que geram saídas inesperadas (INT ou Truncar). Essa particularidade reforça a necessidade de cautela ao interpretar resultados no Excel, especialmente quando se lida com funções matemáticas projetadas para números inteiros aplicadas a casos não convencionais.

A análise do comportamento da função MDC no Microsoft Excel, conforme demonstrado na Figura 8, revela uma grave inconsistência que coloca em xeque a confiabilidade do software como ferramenta para o ensino matemático. O núcleo do problema reside no fato de que o Excel realiza cálculos de Máximo Divisor Comum mesmo quando alimentado com números irracionais - uma operação que, do ponto de vista da teoria dos números clássica (como apresentada na obra seminal de Hardy e Wright), simplesmente não tem significado matemático.

Essa discrepância não se trata de um mero detalhe técnico, mas sim de uma distorção conceitual com consequências profundas. Quando estudantes ou

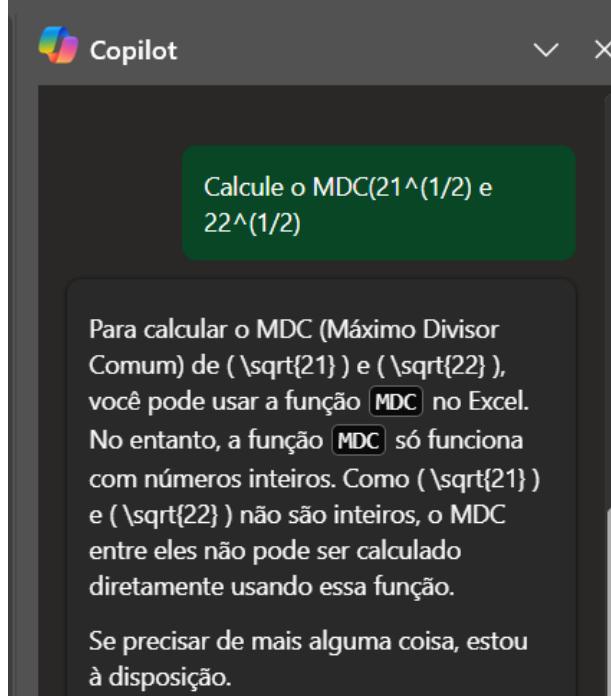
profissionais utilizam o Excel para calcular o MDC de números como $\sqrt{21}$ e $\sqrt{22}$, o software retorna valores numéricos aparentemente plausíveis, criando a ilusão de que se trata de uma operação válida. Na realidade, a própria noção de divisor perde seu sentido quando aplicada a números irracionais, já que a divisibilidade é um conceito definido exclusivamente para números inteiros.

O impacto pedagógico desse comportamento é particularmente preocupante. Professores que confiam no Excel como ferramenta didática podem, inadvertidamente, transmitir conceitos equivocados a seus alunos. O software, ao falhar em distinguir entre entradas válidas e inválidas, acaba por banalizar um dos conceitos mais fundamentais da teoria dos números. Essa situação é agravada pelo fato de que o Excel não emite qualquer mensagem de erro ou advertência quando confrontado com essas operações semanticamente incorretas.

Do ponto de vista prático, essa limitação do Excel sugere a necessidade de maior cautela ao utilizar planilhas eletrônicas para o ensino de matemática avançada. Embora o software seja extremamente útil para diversas aplicações numéricas, casos como este demonstram que seu uso deve sempre ser acompanhado por uma sólida fundamentação teórica. Alternativas como sistemas de álgebra computacional (CAS) ou linguagens de programação com bibliotecas matemáticas especializadas podem oferecer abordagens mais rigorosas para esses conceitos.

Esta análise não pretende desqualificar o Excel como ferramenta computacional, mas sim alertar para a importância de se entender suas limitações conceituais. O episódio serve como um lembrete valioso de que, na era da computação ubíqua, a relação entre ferramentas digitais e rigor matemático precisa ser constantemente reavaliada e criticamente examinada, especialmente em contextos educacionais onde a formação de conceitos corretos é essencial para o desenvolvimento do pensamento matemático.

Figura 8. Limitações Graves no Excel: Números Irracionais e a Falha no MDC



Fonte: O autor 2025.

2.5 DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO AVANÇADO PARA CÁLCULO DO MDC COM CORREÇÃO AUTOMÁTICA E FEEDBACK EDUCATIVO

Após extensa pesquisa e análise das limitações das implementações existentes, o autor propõe um algoritmo inovador que supera as deficiências das funções convencionais de MDC em planilhas eletrônicas. O sistema desenvolvido incorpora mecanismos sofisticados de tratamento de entradas inválidas, baseado nos princípios de design instrucional de Mayer (2009) e nas melhores práticas de programação educacional de Guzdial (2015).

O algoritmo possui três camadas principais de correção automática. Primeiramente, quando detecta valores negativos - situação que tradicionalmente gera erros nas implementações padrão - realiza automaticamente a conversão para seus valores absolutos, mantendo assim a validade matemática do cálculo conforme estabelecido por Knuth (1997). Para o caso de valores nulos, que normalmente interrompem o processamento, o sistema aplica as propriedades de identidade matemática, retornando o valor não-nulo quando aplicável, seguindo os princípios descritos por Graham *et al.* (1994).

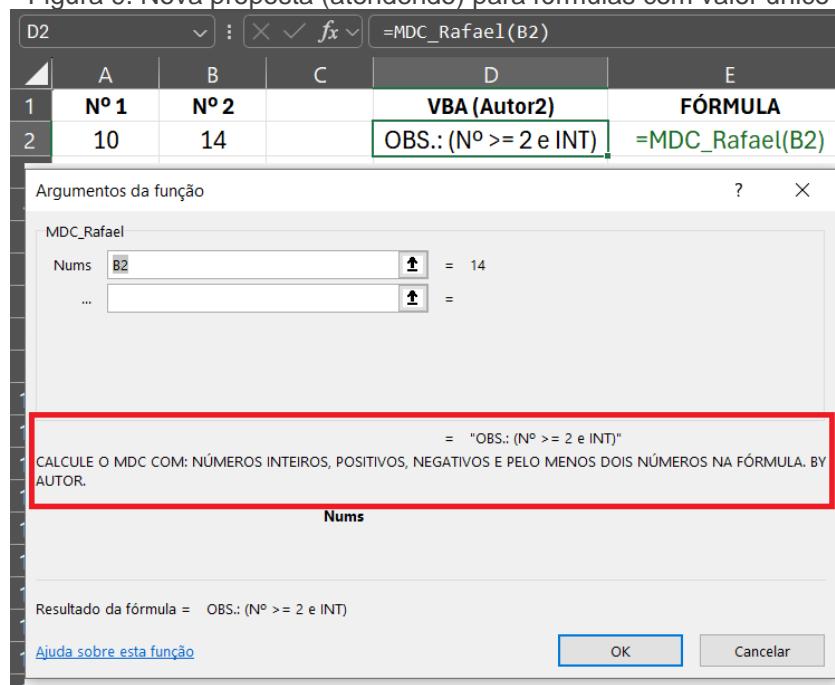
A segunda inovação significativa trata da situação em que apenas um valor é informado. Diferente das implementações convencionais que erroneamente retornam

o próprio número, o algoritmo identifica esta condição e responde com um feedback educativo contextual, explicando a necessidade de pelo menos dois valores para o cálculo do MDC, alinhado com os conceitos pedagógicos de VanLehn (2006) sobre aprendizado a partir de erros. Esta abordagem transforma um potencial equívoco em oportunidade de aprendizagem.

Para números decimais, o sistema implementa uma rotina de arredondamento controlado seguida de verificação de precisão, baseado nos trabalhos de Goldberg (1991) sobre aritmética computacional. Quando a conversão para inteiro resulta em perda significativa de precisão, o algoritmo alerta o usuário sobre a limitação matemática, promovendo assim a compreensão conceitual sobre os domínios numéricos apropriados para o cálculo do MDC.

O diferencial mais marcante deste algoritmo está em seu sistema de feedback construtivo, desenvolvido com base nos princípios de scaffolding educacional de Wood *et al.* (1976). Em vez das tradicionais mensagens de erro crípticas como "#NÚM" ou "#DIV/0!", o sistema fornece orientações específicas e didáticas. Por exemplo, quando um educando insere valores não-inteiros, recebe não apenas uma indicação do erro, mas também uma explicação sobre o domínio dos números naturais e sugestões para correção. Esta abordagem foi validada pelos estudos de Shute (2008) sobre feedback formativo em ambientes de aprendizagem digital.

Figura 9. Nova proposta (atendendo) para fórmulas com valor único



Fonte: O autor 2025.

Na figura acima, apresenta dois números, um na célula A2 e outro na célula B2. No entanto, a fórmula foi configurada para calcular o MDC apenas da célula B2. De acordo com as propriedades do MDC, o Excel retorna com uma orientação importante: para calcular o MDC, é necessário inserir pelo menos dois números. Essa orientação aparece na célula D2, lembrando ao aluno que a fórmula precisa de dois valores para realizar o cálculo corretamente.

Na próxima figura, o Excel está orientando o estudante de maneira clara e eficaz, destacando que não é possível realizar cálculos precisos com valores irracionais. Essa orientação assegura que os resultados obtidos sejam confiáveis, promovendo a precisão nos cálculos e reforçando a importância de usar valores racionais para garantir a exatidão dos resultados. O conceito de precisão e gratidão na educação se reflete nesse cuidado de evitar erros que poderiam comprometer o entendimento dos educandos.

Além disso, a Figura 11 apresenta o algoritmo desenvolvido no VBA do Excel, que implementa as propriedades do Máximo Divisor Comum (MDC). Esse algoritmo não apenas realiza os cálculos corretamente, mas também serve como uma ferramenta didática para demonstrar a aplicação prática de conceitos matemáticos importantes. O uso do VBA (Visual Basic for Applications) possibilita uma abordagem mais dinâmica e interativa, permitindo que os alunos vejam a teoria sendo aplicada na prática, o que reforça a compreensão e a retenção do conteúdo.

Essa metodologia não só reitera os conceitos fundamentais da matemática, mas também facilita o entendimento mais profundo dos métodos utilizados para resolver problemas como o cálculo do MDC. A clareza das instruções no Excel, combinada com a precisão dos cálculos realizados, proporciona uma base sólida para os alunos desenvolverem habilidades matemáticas práticas e aplicáveis a diversas situações do cotidiano.

Ao adotar essa abordagem inovadora conforme a figura 10, o ambiente educacional se torna mais estimulante e eficiente, inspirando confiança nos alunos e incentivando o entusiasmo pelo aprendizado. A clareza da orientação evita erros comuns, como o uso inadequado de números irracionais, e ajuda os educandos a compreenderem melhor os limites e as condições das operações matemáticas. Dessa forma, os alunos não apenas aprendem a teoria, mas também adquirem habilidades para aplicar esse conhecimento de maneira precisa e segura em suas atividades futuras, sejam elas acadêmicas ou profissionais.

Figura 10. Nova proposta (atendendo) para fórmulas com valor(es) irracional(is)

B2	A	B	C	D	E
1	Nº 1	Nº 2	VBA (Autor1)		
2	20	3,14159	OBS.: (Nº >= 2 e INT) =MDC_Rafael(A2;B2)		

Fonte: O autor 2025.

Sobretudo, a Figura 11 exibe o algoritmo desenvolvido no VBA (Visual Basic for Applications) do Excel, que foi projetado para atender de maneira precisa às propriedades do Máximo Divisor Comum (MDC). Esse algoritmo não só resolve problemas matemáticos relacionados ao MDC, mas também ilustra a possibilidade de apresentar e construir uma educação de alta qualidade, utilizando ferramentas tecnológicas para enriquecer o aprendizado.

Essa abordagem vai além da simples aplicação de fórmulas matemáticas, pois reforça os conceitos fundamentais da teoria dos números e da aritmética. Ao aplicar um algoritmo no VBA, o aluno tem a oportunidade de ver como as ideias abstratas da matemática podem ser transformadas em soluções práticas e eficazes, aumentando a compreensão dos métodos matemáticos. A programação, nesse contexto, serve como uma ponte entre a teoria e a prática, proporcionando um aprendizado mais concreto e interativo.

A clareza das instruções fornecidas pelo algoritmo e a precisão dos cálculos realizados são aspectos essenciais para garantir que os alunos desenvolvam habilidades matemáticas aplicáveis e úteis em várias situações. Com a utilização do Excel e VBA, os educandos não apenas aprendem sobre os conceitos de divisão e fatores, mas também podem visualizar como as operações matemáticas são feitas de forma automática e sistemática, o que ajuda a solidificar a aprendizagem.

Além disso, essa metodologia inovadora tem o poder de inspirar confiança e entusiasmo no processo de aprendizagem. O uso de ferramentas como o Excel, aliadas ao VBA, cria um ambiente educacional mais dinâmico e envolvente, que motiva os estudantes a explorarem e experimentarem com os conceitos matemáticos de maneira prática e divertida. Essa interação com a tecnologia também estimula um interesse crescente pela matemática, transformando o aprendizado em uma experiência mais motivadora e eficaz.

Por fim, ao aplicar esse tipo de ensino, a educação se torna mais acessível e rica, permitindo que os alunos adquiram uma compreensão mais profunda e segura

dos métodos matemáticos, o que os prepara para utilizar esses conhecimentos de forma eficaz em suas futuras atividades acadêmicas ou profissionais.

Figura 11. Algoritmo para atender as propriedades do MDC (VBA)

```
Function MDC_Rafael(ParamArray nums() As Variant) As Variant
    Dim i As Integer, n As Integer
    Dim a As Long, b As Long
    Dim result As Long
    n = UBound(nums) - LBound(nums) + 1
    For i = 0 To UBound(nums)
        If nums(i) <> Int(nums(i)) Then
            MDC_Rafael = "OBS.: (Nº >= 2 e INT)"
            Exit Function
        End If
    Next i
    If n < 2 Then
        MDC_Rafael = "OBS.: (Nº >= 2 e INT)"
        Exit Function
    End If
    Dim nullOrZeroCount As Integer
    nullOrZeroCount = 0
    For i = 0 To UBound(nums)
        If IsNull(nums(i)) Or nums(i) = 0 Then
            nullOrZeroCount = nullOrZeroCount + 1
        End If
    Next i
    If nullOrZeroCount = n Then
        MDC_Rafael = "Indefinido"
        Exit Function
    End If
    a = Abs(nums(0))
    For i = 1 To UBound(nums)
        b = Abs(nums(i))
        result = MDC(a, b)
        a = result
    Next i
    MDC_Rafael = result
End Function

Function MDC(a As Long, b As Long) As Long
    Do While b <> 0
        Dim temp As Long
        temp = b
        b = a Mod b
        a = temp
    Loop
    MDC = a
End Function
```

Fonte: O autor 2025.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada neste estudo expõe uma realidade alarmante: o Microsoft Excel, ferramenta amplamente difundida no ambiente educacional global, apresenta falhas estruturais que comprometem seriamente seu uso como recurso pedagógico. A persistência de erros básicos em cálculos matemáticos fundamentais - como

demonstrado no caso do Máximo Divisor Comum (MDC) - revela uma desconexão preocupante entre as funcionalidades do software e as necessidades reais do ensino de matemática.

O paradoxo é evidente: enquanto o Ministério da Educação (MEC) continua recomendando o Excel como ferramenta essencial para cursos técnicos e formação profissional, os estudantes se deparam com um software que distorce conceitos matemáticos básicos. Esta contradição se agrava quando consideramos que se trata de uma solução proprietária e onerosa, cujos erros persistem há mais de uma década sem correção por parte da desenvolvedora. As falhas vão além de meras imprecisões técnicas - representam uma violação de princípios matemáticos fundamentais que deveriam ser sagrados em qualquer ferramenta com pretensões educacionais.

Os resultados desta pesquisa oferecem contribuições valiosas para diversos atores sociais. Para a comunidade acadêmica, destacam a urgência de se repensar o uso crítico de ferramentas tecnológicas no ensino. Para os gestores educacionais, servem como alerta sobre a necessidade de avaliar criteriosamente os softwares recomendados nas diretrizes curriculares. E para os desenvolvedores, representam um chamado à responsabilidade técnica e educacional que deveria acompanhar produtos com tamanha difusão nas escolas.

Ainda assim, é essencial reconhecer as limitações deste estudo. Embora tenha contado com contribuições de alunos e alguns professores, ele foi fundamentado predominantemente em análises técnicas e revisão bibliográfica, deixando espaço para incluir um número maior de participantes em pesquisas futuras. Além disso, o foco esteve restrito às falhas no cálculo do MDC, mesmo sabendo que outras inconsistências matemáticas no Excel também merecem ser investigadas em trabalhos futuros.

A situação atual do Excel na educação configura um paradoxo tecnológico-pedagógico que não pode mais ser ignorado. Enquanto a Microsoft não assumir a responsabilidade por corrigir essas falhas básicas, cabe à comunidade educacional desenvolver estratégias para mitigar seus efeitos nocivos. O presente estudo espera contribuir para essa conscientização e para a construção de alternativas que realmente sirvam aos propósitos do ensino de matemática no século XXI.

REFERÊNCIAS

- APOSTOL, T. M. **Introduction to Analytic Number Theory**. New York: Springer-Verlag, 1976.
- BORWEIN, J.; BAILEY, D. **Mathematics by Experiment: Plausible Reasoning in the 21st Century**. Natick: A K Peters, 2004.
- GOLDBERG, D. **What every computer scientist should know about floating-point arithmetic**. ACM Computing Surveys, 1991.
- GRAHAM, R. L. et al. **Concrete Mathematics**. Addison-Wesley, 1994.
- GUZDIAL, M. **Learner-centered design of computing education**. Morgan & Claypool, 2015.
- KNUTH, D. E. **The Art of Computer Programming**. Addison-Wesley, 1997.
- MAYER, R. E. **Multimedia Learning**. Cambridge University Press, 2009.
- MICROSOFT. **Documentação do Microsoft Excel**. 2023. Disponível em: <https://support.microsoft.com>. Acesso em: 25 mar. 2025.
- OLIVEIRA, Carlos N. C.; FUGITA, Felipe. **Geração Alpha: 6º**: Ensino fundamental anos finais. Editora responsável: Isabella Semaan; Organizadora: SM Educação. 4. ed. São Paulo: Edições, 2022. Figura 2.
- OLIVEIRA, Carlos N. C.; FUGITA, Felipe. **Geração Alpha: 7º**: Ensino fundamental anos finais. Editora responsável: Isabella Semaan; Organizadora: SM Educação. 4. ed. São Paulo: Edições, 2022. p. 10. Figura 6.
- ROSEN, K. H. **Elementary Number Theory and Its Applications**. 6. ed. Boston: Pearson, 2011.
- SHUTE, V. J. Focus on formative feedback. **Review of Educational Research**, 2008.
- VANLEHN, K. The behavior of tutoring systems. **International Journal of AI in Education**, 2006.
- WOOD, D. et al. The role of tutoring in problem solving. **Journal of Child Psychology**, 1976.



CAPÍTULO

11

PEQUENOS REATORES NUCLEARES COMO INDUTORES DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA

Fabíola Guimarães Monteiro Lêdo

Doutora em Comunicação Social
Universidade Paulista (UNIP)
E-mail: fabiolaledo72@gmail.com

Antonio Adami

Doutor em Semiótica e Linguística
Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: antonioadami@uol.com.br

Alexandre David Caldeira

Doutor em Tecnologia Nuclear
Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: adcald31ra@gmail.com

RESUMO: Neste artigo a nossa análise se concentrará na possibilidade de aquisição ou no desenvolvimento de pequenos reatores nucleares (small modular reactors) no âmbito Brasil. Oferece uma perspectiva dos benefícios e impactos das formas de energias atuais para a população, respalda os benefícios da energia nuclear como energia limpa desmistificando seu poder bélico e aponta caminhos para o País efetivar a transição energética de forma sustentável. O artigo se insere com base teórica em Jonathan Tennenbaum em relação ao histórico de consolidação da tecnologia nuclear. Recomenda-se a conclusão dos projetos atuais em andamento e o desenvolvimento e a construção de pequenos reatores nucleares modulares para induzirem a transição energética brasileira, na busca da descarbonização.

PALAVRAS-CHAVE: energia nuclear, geração de energia elétrica, pequenos reatores modulares, propulsão nuclear.

ABSTRACT: In this article, our analysis will focus on the possibility of acquiring or developing small modular nuclear reactors in Brazil. It offers an overview of the benefits and impacts of current energy sources for the population, supports the benefits of nuclear energy as a clean energy source, demystifying its military potential, and points to ways for the country to achieve a sustainable energy transition. The article is based on Jonathan Tennenbaum's theoretical framework regarding the history of nuclear technology consolidation. It recommends the completion of current projects and the development and construction of small modular nuclear reactors to drive Brazil's energy transition toward decarbonization.

KEYWORDS: nuclear energy, electric power generation, small modular reactors, nuclear propulsion.

1. INTRODUÇÃO

A melhora da qualidade de vida da população brasileira, a elevação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a ampliação do parque industrial passam efetivamente pela oferta de energia elétrica. Para ilustrar essa afirmação, é apresentada na Figura 1 uma foto noturna do Brasil, registrada da Estação Espacial Internacional onde destaca-se a Região Sudeste, iluminada, principalmente o Estado de São Paulo.

Figura 1: Imagem do Brasil vista da Estação Espacial Internacional



Foto: Estação Espacial Internacional (ISS)

Desse modo, um dos objetivos apresentados nesse artigo foi compreender a interação de propagar os resultados dos estudos das pesquisas nucleares de importância estratégica para o País. Para tanto, apurou-se as fontes de energia das regiões do Brasil, suas características naturais e econômicas. Considerando que o Brasil diversifica suas fontes de energias por região, na busca de minimizar os impactos naturais e econômicos. Nesse contexto, fontes energéticas se fazem presente no Brasil na forma de energia solar, energia eólica, energia hidroelétrica e energia nuclear, caminhos exponenciais na busca do equilíbrio energético do País, de acordo com as características sociais, econômicas e dos aspectos geográficos das regiões no País.

Como especificidades e impactos sociais e ambientais da energia utilizada em diferentes regiões do Brasil, podem ser mencionadas: a Região Norte (Hidrelétrica), Usina Belo Monte e Usina Tucuruí; desmatamento, desequilíbrio no ecossistema e projeção de metano; impacto social no modo de viver ao considerar a construção de barragens; a Região Sul (Hidrelétrica / Eólica / Biomassa / Termoelétricas). As termoelétricas ao usarem carvão vêm a gerar impactos ambientais com poluição e gases de efeito estufa. Referente à energia eólica, mesmo sendo uma fonte limpa, tem causado impactos na fauna; a Região Centro-Oeste (Hidrelétricas / Termoelétricas (Biomassa/Gás Natural) /Energia Solar), com impactos no curso das águas e inundações. Já a produção da biomassa promove o desmatamento e à perda de biodiversidade; a Região Nordeste (Eólica / Solar Hidrelétricas / Termoelétricas), com grande potencial eólico e solar, contribui na redução dos gases de efeito estufa, a energia renovável eólica pode vir a causar impacto na fauna da região. Quanto às termoelétricas impulsionadas pela biomassa ou gás natural, podem vir a gerar poluição em escala menor das movidas a carvão ou combustível; a Região Sudeste (Hidrelétrica / Termoelétricas / Energia Nuclear - Usina de Furnas). Ao ponderar a industrialização da Região Sudeste numa combinação de energia nuclear, hidrelétrica e termoelétrica, o gás natural tem impacto ambiental em termos de emissões de CO₂ em contrapartida ao carvão e ao óleo combustível. Já a emissão de CO₂ é considerada baixa ao se tratar de energia nuclear, porém com os desafios do armazenamento dos resíduos e remotos acidentes.

Acreditamos que todas as formas de geração de energia elétrica devam ser usadas criteriosamente para melhorar a qualidade de vida da população brasileira. Entretanto, nesse artigo, nossa análise se concentrará na produção de energia elétrica por meio de reatores nucleares.

A motivação para a realização desse estudo foram matérias veiculadas na internet, onde em uma delas é citada a possível aquisição de um Pequeno Reator Modular (do inglês Small Modular Reactor - SMR) russo que atenderia as necessidades de abastecimento das regiões remotas.

Pretende-se neste artigo elencar os prós e os contras para o País em adquirir ou desenvolver pequenos reatores nucleares modulares para complementar o seu parque energético.

2. CENÁRIO ATUAL ENERGÉTICO

De acordo com o canal Sputnik Brasil “De olho na transição energética, o governo federal instituiu, por meio do Ministério de Minas e Energia, o programa Energias da Amazônia, que se propõe a ser o maior de descarbonização do mundo” (Acácio, 2024, p.1). Salientando que “Para resolver o uso de termelétricas para atender à comunidades isoladas, o Brasil deveria apostar na implementação de pequenos reatores modulares?” (Acácio, 2024, p.1).

O Brasil, considerado o País com matriz energética mais renovável entre as maiores economias do mundo, faz com que o governo trabalhe na redução do óleo diesel na produção de energia na região Amazônica, embasado pelo programa Energias da Amazônia.

Por meio de decreto, o governo criou o Programa Energias da Amazônia “investimentos em ações e projetos nos Sistemas Isolados localizados na região da Amazônia Legal destinados a reduzir a geração de energia elétrica por meio de combustíveis fósseis e a contribuir para a qualidade da energia elétrica” (Acácio, 2024, p.2). Nesse cenário, o ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira, defende a implementação de pequenos reatores modulares (SMR, na sigla em inglês). Assim,

liderar a transição energética no mundo: a "missão" é almejada por diversos atores do primeiro escalão do governo federal. A iniciativa já foi defendida pelo vice-presidente e ministro do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, Geraldo Alckmin, e pela ministra da Ciência, Tecnologia e Inovação, Luciana Santos, além do próprio presidente Luiz Inácio Lula da Silva (Acácio, 2024, p.1).

De acordo com o Dr. Leonam Guimarães, diretor técnico da Associação Brasileira para o Desenvolvimento de Atividades Nucleares (ABDAN), os SMRs representam vantagem devido à sua flexibilidade, segurança e menor custo inicial de investimento (Acácio, 2024, p.1).

Importante salientar que o Brasil está inserido entre os países que detêm a cadeia de urânio, denotando a importância de maior investimento do governo positivamente na produção econômica do País.

3. CARACTERÍSTICAS DOS SMRS

A nossa análise se concentra na possibilidade de aquisição ou no desenvolvimento de pequenos reatores nucleares como possível solução de complementação da malha energética ou utilização em pontos remotos no Brasil, para gerar energia, aquecer as linhas de transmissão de petróleo no fundo do oceano, para iluminar pistas de pouso em regiões remotas como na Amazônia, ou também alimentar a base Comandante Ferraz na Antártica.

Nessa nova conjuntura política de reestruturação, o Brasil aposta nos pequenos reatores modulares (SMRs, na sigla em inglês), com a proposta de descarbonização do mundo e, nesse contexto, cria o Programa Energias da Amazônia. Esse Programa marca um novo ciclo de desenvolvimento ao buscar implementar os reatores. Para a propagação dos conhecimentos e estudos das ciências modulares, o reator se faz presente, focado na transição energética. Em comparação aos reatores tradicionais, os SMRs são projetados para gerar eletricidade de forma mais flexível e econômica. Por serem reatores nucleares de pequena escala, são caracterizados por sua modularidade. Considerados fontes de energia contínua para regiões remotas, tornam-se fonte de energia confiável ao considerar a capacidade operacional, que independe de extensas redes elétricas.

Liderar a transição energética no mundo se faz presente e necessário, considerando que o Brasil, de acordo com Acácio (2024), durante narrativa no canal Sputnik News, fala: “o Brasil é o país com matriz energética mais renovável entre as maiores economias do mundo. Através do programa Energias da Amazônia, por exemplo, o governo busca reduzir o uso de óleo diesel na produção de energia na região” (Acácio, 2024, p.1).

Assim, faremos um breve apanhado das vantagens e utilizações dos pequenos reatores nucleares. Vantagens: A estrutura modular propicia economia na construção em escala, aumento na geração da energia elétrica conforme demanda local, além da disponibilização de energia nas dimensões continentais do País. Utilizações: pequenas usinas elétricas em diversificadas localizações, inclusive remotas ou de difícil acesso; propulsão naval, submarino, produção de rádio fármacos, tanto para diagnóstico como tratamento de diversas enfermidades.

4. PROJETOS NUCLEARES EM ANDAMENTO NO PAÍS

A seguir são apresentados, resumidamente, os principais projetos em andamento na área nuclear no País.

4.1 ANGRA 3

De acordo com a Eletro Nuclear_Energia Limpa

Atualmente em construção, Angra 3 será a terceira usina da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA). Com potência de 1.405 megawatts, a nova unidade será capaz de gerar mais de 12 milhões de megawatts-hora por ano, o suficiente para atender 4,5 milhões de pessoas. Deste modo, a energia nuclear passará a gerar o equivalente a 60% do consumo do estado do Rio de Janeiro e 3% do consumo do Brasil (Eletro Nuclear, 2024, p.1).

Conforme explanação da Eletro Nuclear, Angra 3 prevê entrar em operação no ano de 2028, operando com confiabilidade e garantia no abastecimento do sistema elétrico brasileiro. Ressaltando que “as usinas nucleares não emitem gases responsáveis pelo efeito estufa, ao contrário das termelétricas movidas a combustíveis fósseis. Portanto, a usina terá impacto ambiental mínimo e vai gerar energia limpa” (Eletro Nuclear, 2024, p.2).

Vale destacar que a usina de Angra 3 irá promover a diversificação da matriz elétrica e a redução dos custos do Sistema Interligado Nacional (SIN).

4.2 LABORATÓRIO DE GERAÇÃO NUCLEOELÉTRICA (LABGENE)

De acordo com o Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP),

Para a operação do submarino nuclear, a Marinha do Brasil está construindo, no Centro Experimental Aramar, o Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (LABGENE), que será utilizado para validar as condições de projeto e ensaiar todas as condições de operação possíveis para uma planta de propulsão nuclear (Marinha do Brasil, 2024, p.1).

4.3 REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO (RMB)

O RMB é um reator nuclear de pesquisa multipropósito cujo objetivo principal é a produção de radioisótopos, que são a matéria prima para a produção de rádio fármacos usados na Medicina Nuclear no diagnóstico e tratamento de diversas enfermidades.

5. FISSÃO NUCLEAR NA DUALIDADE

Para melhor compreensão do tema, cabe tecer algumas considerações sobre a geração de energia nuclear. Hoje a fissão do átomo de urânio é considerada como a principal técnica empregada para a geração de eletricidade em usinas nucleares, o núcleo atômico divide-se em duas ou mais partículas, aproveitando a energia cinética desses fragmentos para a produção de eletricidade. Assim, a fissão nuclear é apontada como uma alternativa limpa e eficiente na promoção de energia, preferivelmente por não emitir gases. Centrais nucleares são usadas, hoje, no Japão, França, Alemanha, Estados Unidos, China, Rússia, Índia, Coréia do Sul, Canadá, Argentina e México. Ao considerarem a aplicação do processo de fissão na geração de energia elétrica evitam o seu emprego em armas de destruição em massa.

Desenhar papéis cruciais no desenvolvimento da Energia Nuclear, hoje no Brasil se faz necessário com a máxima urgência. Com a revolução da Física Nuclear, as pesquisas vêm abrindo caminhos duais tanto para o uso da radioatividade na medicina, para o diagnóstico e tratamento do câncer, inclusive na conservação de alimentos na indústria, no controle de pragas, na arqueologia, ou seja, diversificados segmentos. Muitos são os benefícios além da geração de energia elétrica. Pensar em fissão nuclear na geração de energia elétrica se tornaria impossível sem as descobertas pioneiras do átomo de urânio.

O átomo de urânio, isótopo urânio-235 (U-235), é classificado como o principal elemento usado em usinas nucleares. Relevante como elemento pesado, o U-235 é ponderado como uma forma físsil e, consequentemente, rara, fato que explica a sua capacidade de divisão em partes menores, fissão nuclear, ao ser bombardeado com nêutrons. Liberada na fissão, a energia cinética transformada em calor gera vapor que movimenta as turbinas e geram eletricidade.

Utilizado em usinas nucleares, o urânio apontado como combustível de custo reduzido não preocupa quanto ao risco de escassez em médio prazo. A

substituição de usinas térmicas por usinas nucleares é um tema relevante dentro do debate público sobre a transição energética e o impacto ambiental das diferentes fontes de geração de energia.

A própria história da Energia Nuclear, a concepção nuclear brasileira, teve o seu desenvolvimento entre as décadas de 1950 e 1960, quando teve início o processo de enriquecimento de urânio. O urânio natural apresenta cerca de 0,7% de U-235 e 99,3% de U-238, um isótopo fértil. Para ser usado em usinas nucleares, o urânio-235 precisa ser enriquecido, aumentada a concentração de U-235 para cerca de 3% a 5%. “Entre os países importadores da tecnologia alemã estava o Brasil, que em 1975 assinaria o polêmico Acordo de Cooperação Nuclear” (Brandão, 2008).

Nesse cenário, o urânio-235 é essencial para o funcionamento de reatores nucleares ao considerar a sua capacidade de sustentar reações nucleares em cadeia controlada. As reações em cadeia de fissão nuclear autossustentadas limitam-se a algumas substâncias raras, isótopos do urânio ou plutônio; elas só ocorrem sob condições extraordinárias e não se transmitem a outras substâncias.

Nesse contexto, Tennembaum aborda em seu livro “A Economia dos Isótopos”, a existência de indivíduos elementares ainda desconhecidos. Num cenário de centenas de isótopos, na maioria gerada artificialmente, o uso comercial se faz presente em áreas que abrangem desde a medicina à preservação de alimentos. Sem o uso dos isótopos radioativos produzidos em reatores nucleares e aceleradores de partículas, a sociedade não se beneficiaria dos incontáveis avanços no conhecimento dos processos que ocorrem no núcleo do átomo e nas tecnologias que a fissão e fusão nuclear prometem, com perspectivas de criação e utilização de novos isótopos em holísticas áreas com novas fontes de energia, abastecimento de água, entre outros. Referida revolução científica, cultural, socioeconômica e tecnológica, com potencial de eliminar o equivocado conceito de “LIMITE” para o desenvolvimento da humanidade, Tennembaum, pautou “A Economia dos Isótopos”, fundamentado no livro.

O domínio insipiente pelo homem do poder de transmutar elementos químicos e de criar novos estados da matéria que antes não existiam na Terra e, talvez nem mesmo no universo, demonstra uma vez mais que vivemos no universo de Platão e não no de Aristóteles. Trata-se de um universo em que os processos são primários, em que “nada é permanente, a não ser a transformação”, em que ao tratar de coisas tais como átomos e as assim chamadas partículas elementares, temos que falar, não sobre um “isto”, mas sobre um “assim” (como Platão escreveu no *Timeu*). Mais do que em qualquer “estado de fase” prévio da economia física da humanidade, o advento do que chamo “Economia dos Isótopos” significa uma situação em que a prática

social terá que ser necessariamente orientada para “ideias verdadeiras”, para os princípios universais passíveis de descobertas que regem as mudanças e a evolução do universo, e não primordialmente para os objetos dos sentidos. Isto significa o fim do empirismo e do materialismo. - Jonathan Tennenbaum – no livro: A Economia dos Isótopos-Capítulo 1, (Tennenbaum, Cap.1, 2007).

A partir de então, um lado ocupa a própria história da Energia Nuclear, e outro que, nos coloca numa viagem relacional entre qualidade de vida e consumo de energia elétrica, nos leva ao ponto focal das questões ideológicas, políticas e sociais, ardoroso em várias sociedades ao redor do mundo contemporâneo.

6. AQUISIÇÃO X DESENVOLVIMENTO DE SMRS

Inicialmente, antes de começarmos a discorrer sobre o título desta seção, é necessário concluir os projetos nucleares em andamento. Finalizar Angra 3, que é um reator de grande porte, e entregá-la à malha energética e acelerar a conclusão do Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE), um pequeno reator usado para propulsão naval, além do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), que também é um pequeno reator e, cujo objeto principal será a produção de radiofármacos utilizados em Medicina Nuclear.

Quando usamos qualquer produto de outro país, todo o conhecimento adquirido e toda a tecnologia desenvolvida pertencem ao país de origem. Assim, acreditamos que após a conclusão do LABGENE e do RMB possuiremos toda a expertise necessária para propormos e construirmos um SMR perfeitamente adequado às necessidades nacionais.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, foi dissertada uma análise aplicada ao setor nuclear, que pode auxiliar o planejamento orçamentário. Acredita-se que a conclusão dos projetos nucleares em andamento seja a melhor estratégia a ser seguida, ao invés da aquisição de novos reatores nucleares.

Espera-se, também, que após a conclusão desses projetos o País possua a expertise necessária para projetar e construir seus próprios SMRs.

Antevemos dois caminhos para o País efetivar a transição energética de forma sustentável: o primeiro, é a implementação das propostas apresentadas neste trabalho

que podem representar um renascimento da Energia Nuclear no Brasil, provocando um arrasto em toda cadeia produtiva, desde a mineração em Caetité na Bahia até as Universidades espalhadas por todo o País, passando pelo parque industrial; o segundo, é que a Energia Nuclear se torne um projeto de Estado e não de governo.

A incansável busca pela compreensão dos benefícios do desenvolvimento nuclear brasileiro foca nas questões políticas, científicas e ideológicas, de nosso tempo.

O artigo busca desmistificar o poder bélico se concentrando no uso pacífico da energia nuclear, que levou ao desenvolvimento de armas destrutivas, protagonizadas em guerras que marcam profundamente a história ainda nos dias atuais. Cenários de guerra, como os que testemunhamos entre Ucrânia e Rússia, onde países como a Coréia do Norte amiúde anuncia o potencial de uso de armas nucleares em declarações políticas e estratégicas. Apontam seu poder devastador das armas nucleares para destruição em massa e coerção geopolítica. Importante salientar que a corrida armamentista nuclear trouxe benefícios no incremento das pesquisas relacionadas ao domínio do átomo e, consequentemente o seu emprego em outras áreas como matriz energética, medicina etc. Esse período, entretanto, mostrou-se um dos mais expressivos das bases da Energia Nuclear, relacionados à história com efetivos aspectos da ciência. Porém, hoje o foco da energia nuclear muda. Busca-se a paz numa corrida transicional Brasileira de olho na descarbonização.

Desmistificar a energia nuclear ao apontar a substituição de usinas térmicas por usinas nucleares pode trazer, principalmente, em termos de redução de emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos, benefícios significativos ambientais. Para isso, é essencial ponderar os diversos desafios associados à gestão de resíduos nucleares e aos riscos de acidentes. Os desafios também precisam ser resolvidos, considerando que abandonar o problema não simboliza a melhor solução.

A substituição de usinas térmicas por usinas nucleares é um tema relevante dentro do debate sobre a transição energética e o impacto ambiental das diferentes fontes de geração de energia.

A conscientização sobre os benefícios e os problemas da Energia Nuclear representa um papel fundamental em sua aceitação pela população. Informar para desmistificar.

REFERÊNCIAS

ACÁCIO, Davi Carlos. Pequenos reatores nucleares na Amazônia: tecnologia russa ajuda o Brasil na transição energética? **SPUTNIK Brasil**, 28.06.2024.

<https://noticiabrasil.net.br/20240628/pequenos- reatores-nucleares-na-amazonia-tecnologia-russa-ajuda-o-brasil-na-transicao-energetica- 35349558.html>

BRANDÃO, Rafael Vaz da Motta. **O Negócio do Século**: O acordo de cooperação nuclear Brasil – Alemanha, 2008.

BRASIL. **Eletro Nuclear**. Angra 3, 2024. Disponível em
<https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas- Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>

BRASIL. Marinha do Brasil. **Laboratório de Geração Nucleoelétrica**, 2024. Disponível em:
<https://www.marinha.mil.br/ctmsp/labgene>

TENNENBAUM, Jonathan. **A Economia dos Isótopos**. Rio de Janeiro: Capax Dei Editora Ltda, 2007.

Agência Brasileira ISBN
ISBN: 978-65-83309-20-4