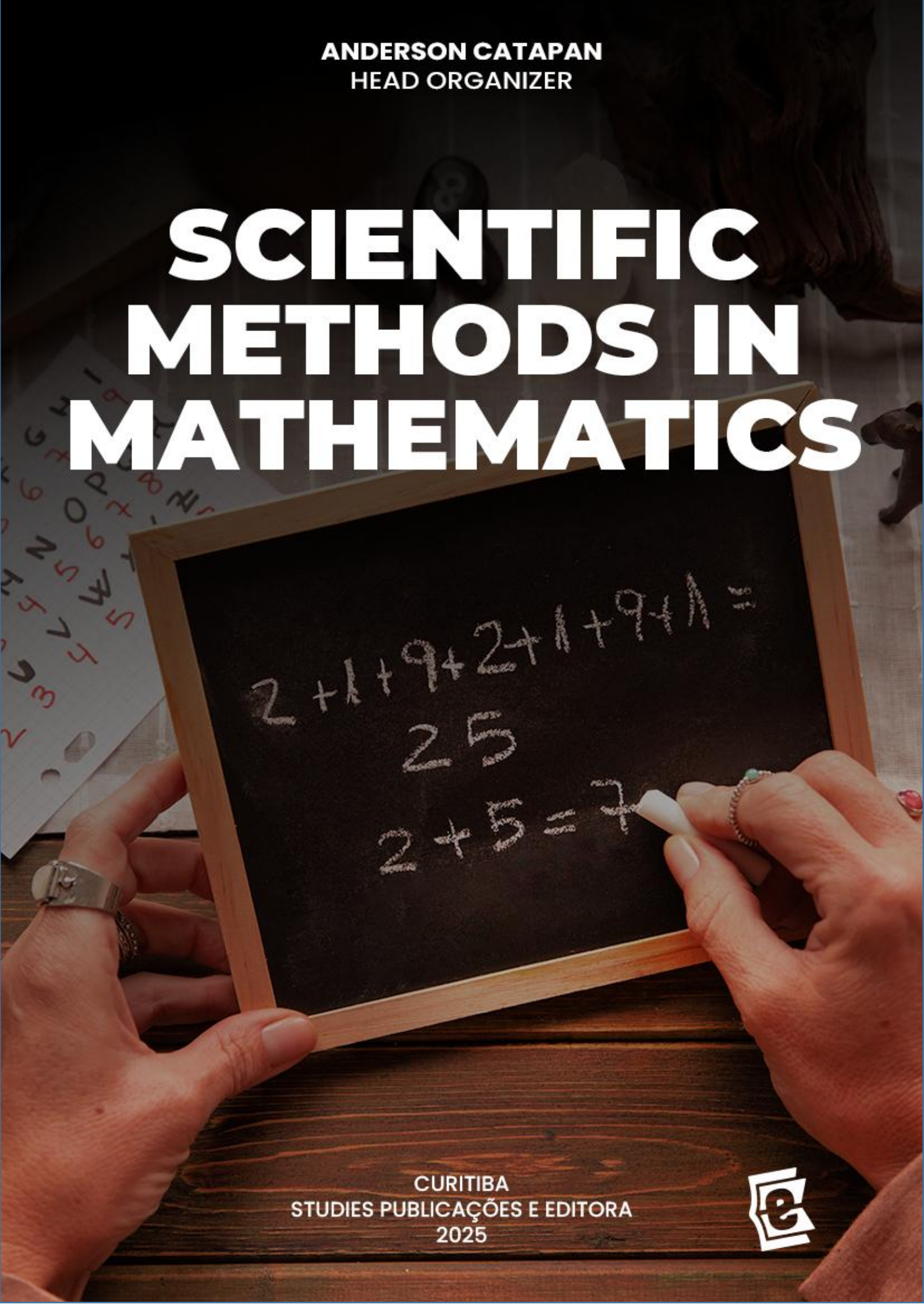


ANDERSON CATAPAN  
HEAD ORGANIZER

# SCIENTIFIC METHODS IN MATHEMATICS


$$\begin{array}{r} 2 + 1 + 9 + 2 + 1 + 9 + 1 = \\ 25 \\ 2 + 5 = 7 \end{array}$$

CURITIBA  
STUDIES PUBLICAÇÕES E EDITORA  
2025



**Anderson Catapan**  
Head Organizer



**Scientific methods in mathematics**

**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 Lisboa – State University of Pará, Pará, Brazil.

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

Educélio Gaspar Lisboa – 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**  
PUBLI CA Ç Õ E S

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
<p>Scientific methods in mathematics / Anderson Catapan. Curitiba. Editora Studies Publicações, 2025.</p> <p>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</p> <p>1. Matemática. 2. Engenharia. I. Catapan, Anderson. II. Título.</p>

Editora Studies Publicações  
Curitiba – Paraná – Brasil  
[www.studiespublicacoes.com.br](http://www.studiespublicacoes.com.br)  
[editora@studiespublicacoes.com.br](mailto:editora@studiespublicacoes.com.br)

Ano 2025

**STUDIES**  
PUBLICAÇÕES

## 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

<b>CAPÍTULO 01 .....</b>	<b>18</b>
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	
<b>CAPÍTULO 02 .....</b>	<b>18</b>
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	
<b>CAPÍTULO 03 .....</b>	<b>18</b>
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	
<b>CAPÍTULO 04 .....</b>	<b>18</b>
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

# 01

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

**Paulo Roberto Gandza Junior**

Graduado em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC)

Endereço: Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil

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 (SOUSA, 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 protendido, 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 protendida 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.	Analisar 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
		consumo de concreto e aço, que refletem no preço final da estrutura.
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.	Analisar 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/m<sup>3</sup>. 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 improvisos, 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.

Bertoncello 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, permitindo 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 e 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, compreende-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 Unidirecionais. 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 3ª 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 Trelaçada 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

SOUSA, 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

Institution: Universidad Internacional Iberoamericana (UNIB)

Address: Arecibo, Porto Rico

E-mail: fabio.vivan@doctorado.unib.org

### **Roberto Fabiano Fernandes**

Doctor in Engineering and Knowledge Management

Institution: Universidad Internacional Iberoamericana (UNIB)

Address: Arecibo, Porto Rico

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

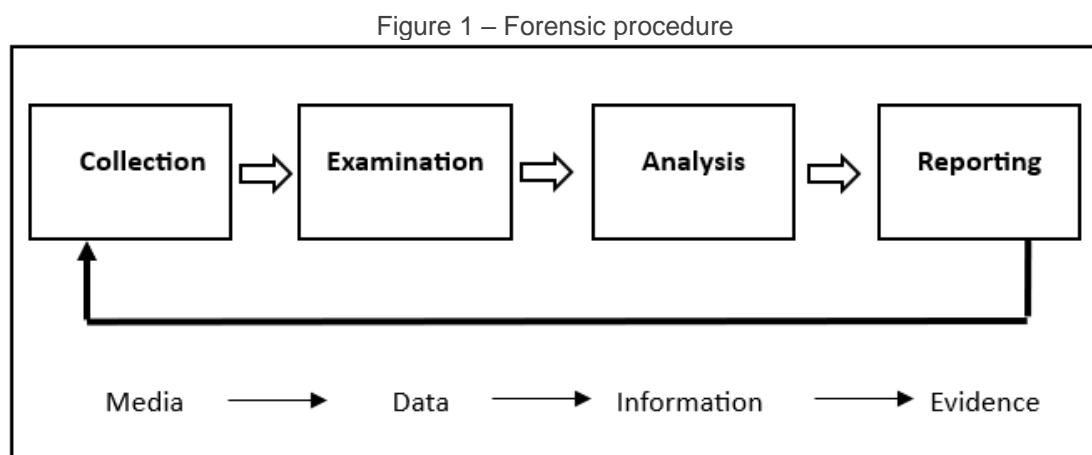
Voronkova (2011) describes computer crime as illegal acts committed via computers or related technologies, categorized as crimes that use the computer as a tool, like malware, as well as crimes where the computer is the target, like online fraud.

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 Ianuiardo (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 <i>et al.</i> (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 Encase	Forensic software with features focused on forensic investigations.
Guymager	Free software for forensic imaging.
Source: Adapted from Parizotto <i>et al.</i> (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

<b>Software</b>	<b>Collection, Examination, Analysis, and Reporting</b>
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.

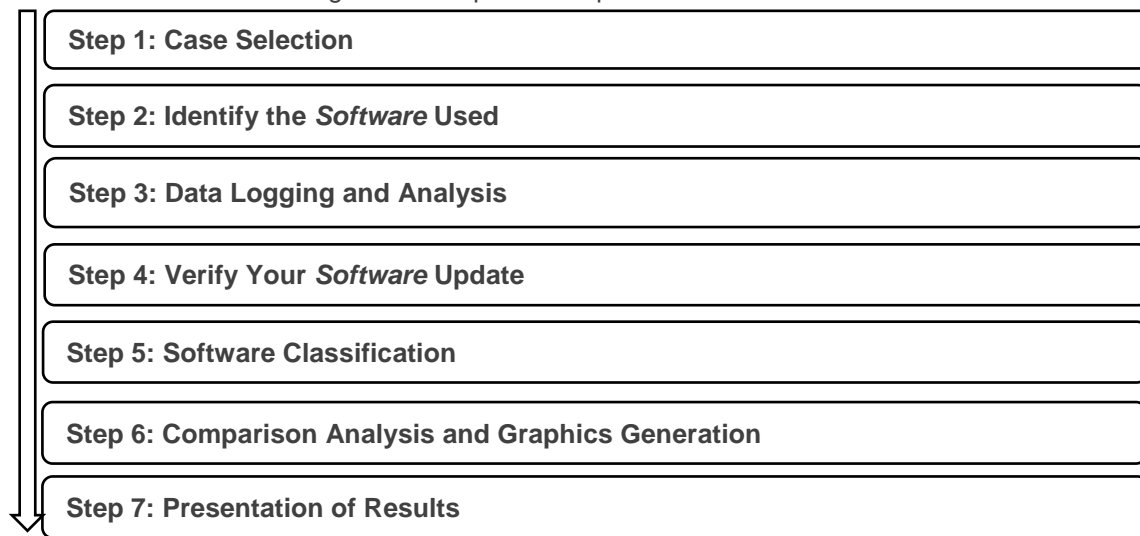
According to an analysis of the work of Neto and Santos (2020), among the steps brought in their studies related to the chain of custody and the respective validity of the evidence at the moment of the forensic investigation, are the collection and processing of the evidence.

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 " <b>current</b> "	Assigning the <i>status</i> "current" means that the software evaluated is currently in effect.
List of Software with status " <b>discontinued</b> "	The <i>status</i> assigned as "discontinued" means that the software evaluated is currently without continuations or official support.
List of Software with status " <b>outdated</b> "	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 " <b>replaced</b> "	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)
          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 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. <i>Status:</i> 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. <i>Status:</i> 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. <i>Status:</i> Current. (EXTERRO, s.d.)
<i>Helix</i>	2016	1.9.	Last registered version: 2009R1 (2.0). Year: 2008/2009. <i>Status:</i> Discontinued. DISTROWATCH, s.d.
<i>Back Track</i>	2016	4.x	Last registered version: 5.x. Year: 2012. <i>Status:</i> Replaced. (BACKTRACK-LINUX, s.d.)
<i>Deft Zero</i>	2017	1	Last registered version: 2018.2. Year: 2018. <i>Status:</i> Outdated. (ARCHIVEOS, s.d.)
<i>Paraben E3</i>	2018	1.4	Last registered version: 3.7. Year: 2023. <i>Status:</i> Current. (PARABEN, s.d.)
<i>MacQuisition</i>	2020	2018R1.2	Last registered version: 2020R1. Year: 2020. <i>Status:</i> Replaced. (CELLEBRITE, 2020)
<i>Cellebrite UFED</i>	2020; 2023	7.36;7.53	Last registered version: 7.65. Year: 2023. <i>Status:</i> Current. (CELLEBRITE, s.d.)
<i>Magnet Aquire</i>	2021	2.41	Last registered version: 2.70. Year: 2023. <i>Status:</i> Current. (MAGNETFORENSICS, s.d.)
<i>Caine</i>	2021	11	Last registered version: 12.4. Year: 2023. <i>Status:</i> Current. (CAINE, s.d.)
<i>Sumuri Paladin Edge</i>	2022	7.02	Last registered version: 8.01. Year: 2021. <i>Status:</i> Current. (SUMURI, s.d.)
<i>Mobiledit</i>	2023	9.0	Last registered version: 9.2. Year: 2023. <i>Status:</i> Current. (MOBILEEDIT, s.d.)
<i>Autopsy</i>	2014; 2015.	3.1.0; 3.1.3.	Last registered version: 4.21.0. Year: 2023. <i>Status:</i> 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. <i>Status:</i> Current. (OPENTEXT, s.d.)
<i>FTK Forensics</i>	2016; 2020.	6.x; 6.x.	Last registered version: 8.x. Year: 2023. <i>Status:</i> 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]	<i>Null</i>	<i>Null</i>	<i>Null</i>
	7 [2020]	03	03	03
	8 [2021]	04	01	01
	9 [2022]	02	01	01
	10 [2023]	03	02	02
<b>TOTAL</b>	<b>#</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>15</b>

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

<b>Software Name</b>	<b>Status</b>
<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*

<b>STATUS</b>	
Current	<b>12</b>
Discontinued	<b>01</b>
Outdated	<b>01</b>
Replaced	<b>02</b>

Source: From the author.

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

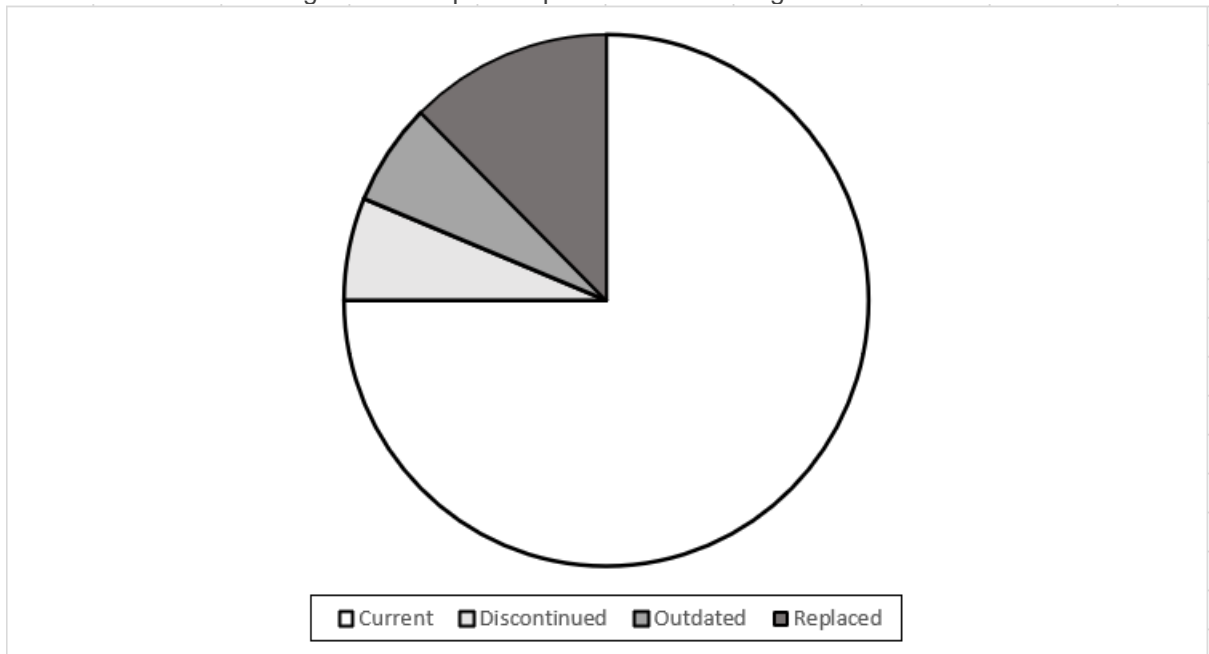
The analysis of the *status* of the forensic software used in judicial cases shows a predominance of the software with the software *status* as current, within the sample evaluated.

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.

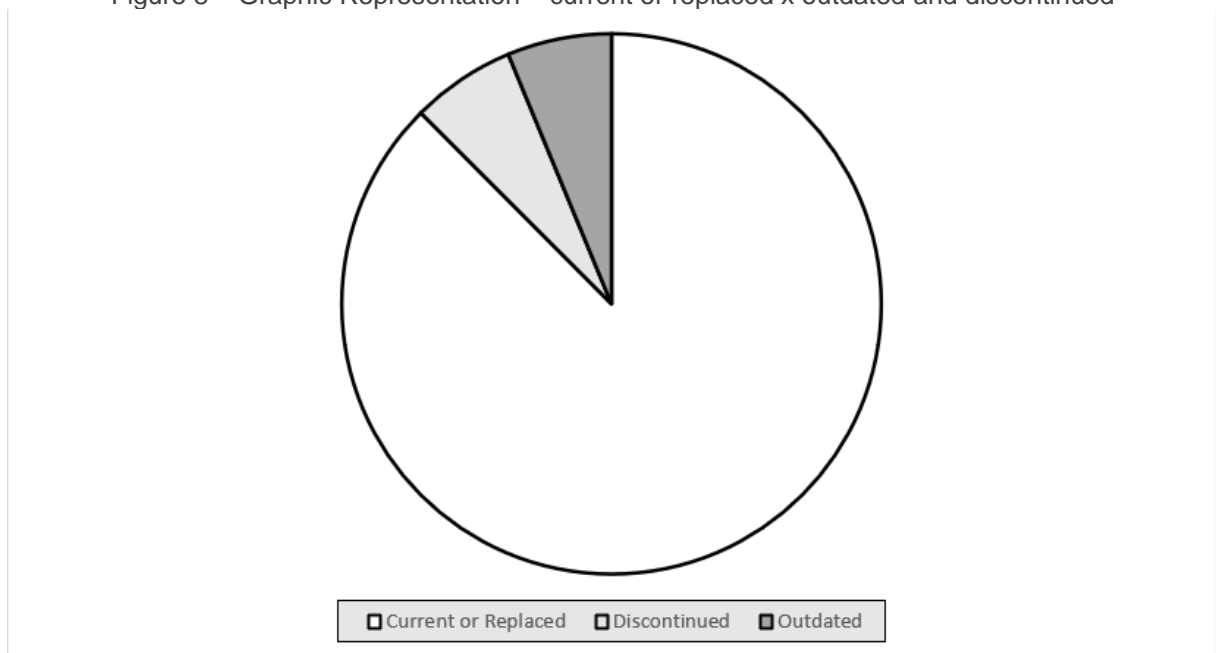
The presence of a software unit with *status* equal to discontinued, and a unit with an outdated *status* demonstrates the importance of periodic reviews of the supporting softwares adopted in the steps of the forensic process, with the aim of ensuring that they remain reliable and useful in scenarios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

MOBILEEDIT. **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

Institution: 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)

Address: Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brazil

E-mail: [djones.costa@iff.edu.br](mailto:djones.costa@iff.edu.br)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2193402175919232>

### **Ana Clara Mendes Pessanha dos Santos**

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

Institution: Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

Address: Maricá, Rio de Janeiro, Brazil

E-mail: [mendes.a@gsuite.iff.edu.br](mailto:mendes.a@gsuite.iff.edu.br)

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1850177153018702>

### **Caio Costa Ribeiro**

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

Institution: Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

Address: Maricá, Rio de Janeiro, Brazil

E-mail: [ribeiro.caio@gsuite.iff.edu.br](mailto:ribeiro.caio@gsuite.iff.edu.br)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7072325711504835>

### **Isabelle Ramalho Feitosa**

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

Institution: Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

Address: Maricá, Rio de Janeiro, Brazil

E-mail: [isabelle.r@gsuite.iff.edu.br](mailto:isabelle.r@gsuite.iff.edu.br)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9406460974190399>

### **João Victor Dornelas Leal**

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

Institution: Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

Address: Maricá, Rio de Janeiro, Brazil

E-mail: [j.dornelas@gsuite.iff.edu.br](mailto:j.dornelas@gsuite.iff.edu.br)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3254060053685999>

**Juliana Menezes de Holanda**

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

Institution: Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

Address: Maricá, Rio de Janeiro, Brazil

E-mail: [juliana.holanda@gsuite.iff.edu.br](mailto: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

Institution: Fluminense Federal Institute (IFF), Maricá Campus

Address: Maricá, Rio de Janeiro, Brazil

E-mail: [luís.miguell@gsuite.iff.edu.br](mailto:luís.miguell@gsuite.iff.edu.br)

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/0391522408209117>

**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://barrazacarlos.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 e o Microsoft Copilot](https://brinov.com/blog/post/microsoft-copilot-x-google-gemini-entenda-como-funcionam-e-as-principais-vantagens-de-cada-um-deles/#O%20que%20%C3%A9%20o%20Microsoft%20Copilot). 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.iesoc.com/wp-content/uploads/2016/03/KC3\\_35.pdf](https://www.iesoc.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, Edméa; 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

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

Address: Batna, Algeria

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

### **Benzeroual Belkacem**

PhD in Geography

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

Address: Batna, Algeria

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

### **Zidani Kamel**

PhD in Mechanical Engineering

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

Address: Batna, Algeria

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

### **Trifa Mohamed**

PhD in City Management and Sustainable Development

Institution: University of Mohammed Seddik Benyahia Jijel

Address: Ouled Aissa, Jijel, Algeria

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  $\mu\text{m}$  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  $\mu$ 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/cm³)	Absolute density (g/cm³)	Grinding fineness (cm²/g)	Setting time : Beginning (Hours)	Setting time : END (Hours)		
1.100	3.190	4200	2h : 12	3h : 08		
Mineralogical composition (Bogue method)						
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S		C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF		
57.83	16.75		8.03	10.92		
Chemical composition (X-ray fluorescence)						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
19.82	5.33	3.75	63.83	1.16	0.67	1.07

Source: Authors

The dosage of natural gypsum (dehydrated calcium sulfate, CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) 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 <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub> H	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	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 Touta (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 <sup>3</sup> )				
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	-	-	-



Deposit	Sand	Gravel		
Content CaCO <sub>3</sub> (%)	53.0	85	83	84
Morphological property Flattening coefficient	-	14.0	08.0	05.0
Mechanical properties Los Angeles (LA)	-	26.0	25.0	23.6
Micro deval (MDE)	-	16.0	12.0	-

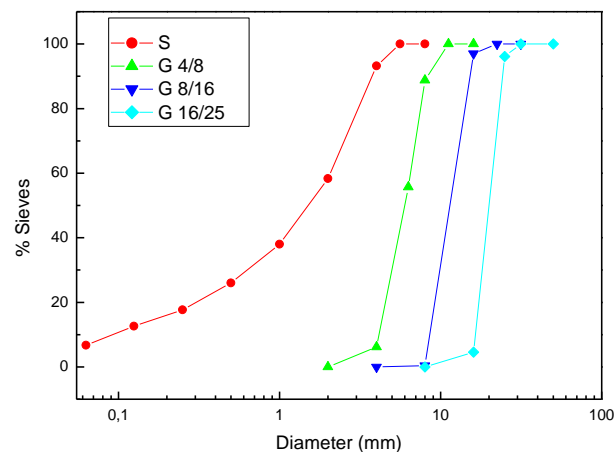
Source: Authors

#### 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 m<sup>2</sup>/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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	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	Constituents						
	Cement [kg]	Filler [kg]	Sand 0/4 [kg]	Gravel 4/8 [kg]	Gravel 8/16 [kg]	Gravel 16/25 [kg]	Water [l]
BOS-SCIMAT-Fillers	350	110	493	195	373	628	200

Source: Authors

The mechanical properties studied of the prepared concretes are the compressive strength on standardized cylindrical specimens (16 x 32) cm<sup>2</sup> according to the NF P-18-406 standard and the tensile strength by flexion on prismatic specimens (7 x 7 x 28) cm<sup>3</sup> 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) cm<sup>3</sup> and three test pieces (5x5x5) cm<sup>3</sup> 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%.

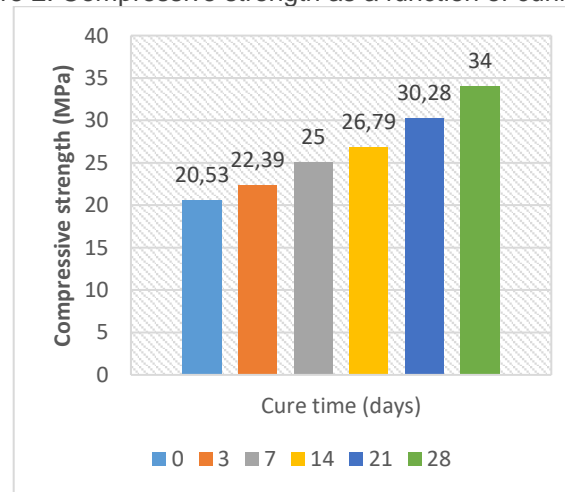
### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 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

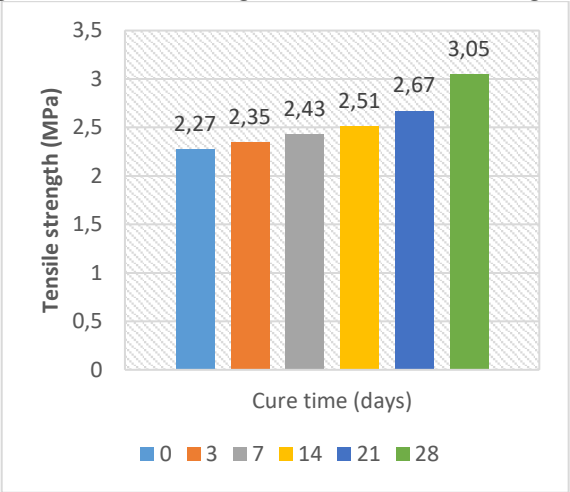


Source: Authors

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

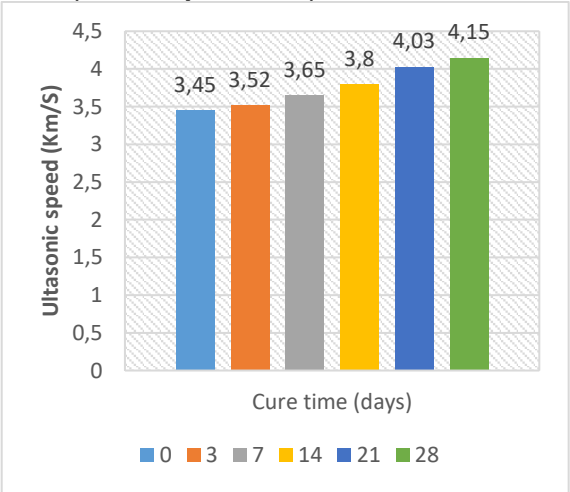


Source: Authors

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) cm<sup>2</sup>, 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).

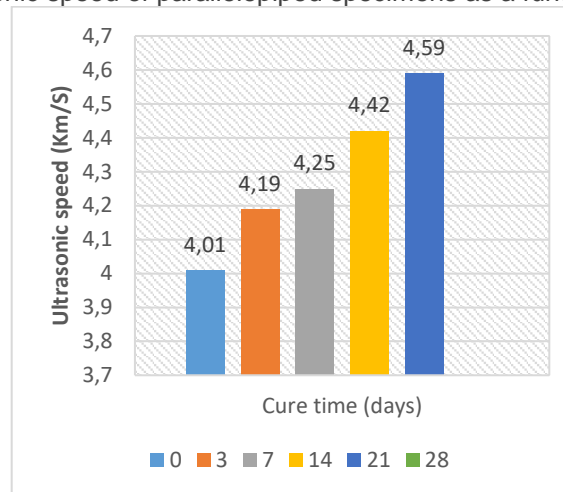
Figure 4: Ultrasonic speed of cylindrical specimens as a function of curing time



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) cm<sup>3</sup>, we also notice an increase in the ultrasonic speed of the concrete (approximately 4.01 km/s and 4.59 km/s).

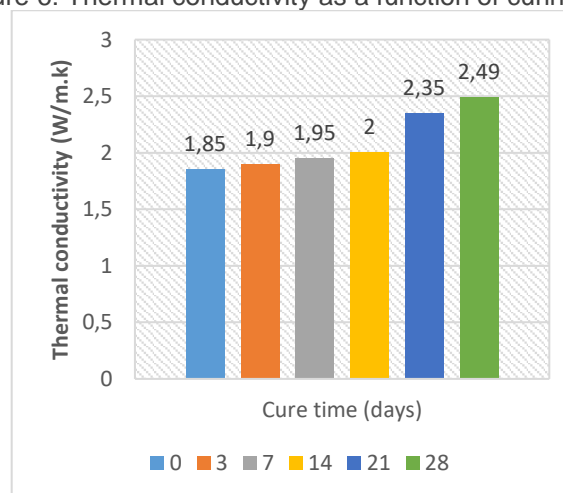
Figure 5: Ultrasonic speed of parallelepiped specimens as a function of curing time



Source: Authors

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 1.85 W/m.k to 2.49 W/m.k).

Figure 6: Thermal conductivity as a function of curing time



Source: Authors

## 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 geopolymer 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., Hanpongpan, 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.icemconres.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>.



