

# **IN FOCUS**

*Revista Multidisciplinar de Ciências Gerais*



VOLUME 1 - Nº: 02 ANO: 2025

CIÊNCIAS  
APLICADAS EM  
MOVIMENTO  
E AVANÇO 4.0

## Diretoria Geral

*Ruy Wagner Astrath*

## Diretora Acadêmica

*Patrícia Paiva Gonçalves Bispo*

## Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa

*Prof. Msc. Leonardo Moraes Armesto*

## Editor Responsável

*Prof. Msc. Leonardo Moraes Armesto*

## Conselho Editorial

*Prof. Msc. Leonardo Moraes Armesto*

*Prof. Dr. Izaque Pereira de Souza*

*Prof.<sup>a</sup> Me. Maria do Carmo da Silva*

*Prof. Dr. Agnaldo Aparecido Geremias*

*Prof. Esp. Vitor Matheus Krewer*

## Capa

*Grupo Focus de Educação*

## Diagramação

*Vitor Matheus Krewer*

O Grupo Focus de Educação se responsabiliza pelos vícios do produto no que concerne à sua edição (apresentação a fim de possibilitar ao consumidor bem manuseá-lo e lê-lo). Nem a instituição nem os autores assumem qualquer responsabilidade por eventuais danos ou perdas a pessoa ou bens, decorrentes do uso da presente obra. É proibida a reprodução total ou parcial de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, inclusive através de processos xerográficos, fotocópia e gravação, sem permissão por escrito do autor e do editor. O titular cuja obra seja fraudulentamente reproduzida, divulgada ou de qualquer forma utilizada poderá requerer a apreensão dos exemplares reproduzidos ou a suspensão da divulgação, sem prejuízo da indenização cabível (art. 102 da Lei n. 9.610, de 19.02.1998).

**Atualizações e erratas:** este material é disponibilizado na forma como se apresenta na data de publicação. Atualizações são definidas a critério exclusivo pelo Conselho Editorial da Faculdade Focus, sob análise da direção pedagógica e de revisão técnica. É missão desta instituição oferecer ao acadêmico uma obra sem a incidência de erros técnicos ou disparidades de conteúdo. Caso ocorra alguma incorreção, solicitamos que, atenciosamente, colabore enviando críticas e sugestões, por meio do setor de atendimento através do e-mail [editorial@faculdefocus.com.br](mailto:editorial@faculdefocus.com.br).



© 2025, by Grupo Focus de Educação

Rua Maranhão, 924 - Ed. Coliseo - Centro

Cascavel - PR, 85801-050

Tel: (45) 3040-1010

[www.faculdefocus.com.br](http://www.faculdefocus.com.br)

Este documento possui recursos de interatividade através da navegação por marcadores. Acesse a barra de marcadores do seu leitor de PDF e navegue de maneira **RÁPIDA** e **DESCOMPLICADA** pelo conteúdo.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| O PAPEL CONSTITUCIONAL DO MINISTÉRIO PÚBLICO NOS DESASTRES AMBIENTAIS DE GRANDES EMPREENDIMENTOS - UMA ANÁLISE NOS CASOS DO ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE MARIANA E BRUMADINHO EM MINAS GERAIS.....                 | 04  |
| Rafael Carvalho Tavira Santos                                                                                                                                                                                    |     |
| USINA HIDROELÉTRICA DE ITAIPU E A GEOPOLÍTICA GOLBERYANA - A SUPREMACIA BRASILEIRA NA AMÉRICA DO SUL.....                                                                                                        | 19  |
| Tiago Fortes de Alcântara Santo, Leonardo Moraes Armesto                                                                                                                                                         |     |
| PROPOSTA DE APLICAÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DA CIÊNCIA DE DADOS NO APERFEIÇOAMENTO DA GESTÃO DA EDUCAÇÃO PÚBLICA.....                                                                                    | 36  |
| Tiago Fortes de Alcântara Santo, Leonardo Moraes Armesto                                                                                                                                                         |     |
| TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INOVAÇÃO NA GESTÃO PÚBLICA BRASILEIRA - DESAFIOS E OPORTUNIDADES.....                                                                                                                    | 52  |
| Rejane Gomes de Oliveira Silva, Lucas Paulo Orlando de Oliveira                                                                                                                                                  |     |
| A INFLUÊNCIA DAS TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS NA TRANSFORMAÇÃO DA GESTÃO ESCOLAR.....                                                                                                                                | 61  |
| Lucimar da Silva Pereira Junior, Leticia Santos de Araujo Mesquita, Rayça Gomes Batista                                                                                                                          |     |
| TECNOLOGIAS DIGITAIS E APRENDIZAGEM ATIVA NO ENSINO DE FÍSICA UMA PROPOSTA COM AULAS GAMIFICADAS PARA O ESTUDO DOS LANÇAMENTOS HORIZONTAL E OBLÍQUO UTILIZANDO O SIMULADOR COMPUTACIONAL KAHOOT.....             | 70  |
| Raphael Lima Sodré, Leonardo Moraes Armesto                                                                                                                                                                      |     |
| ESTRUTURAS GEOMÉTRICAS DIFERENCIAIS E SUAS APLICAÇÕES NA FÍSICA DE PARTÍCULAS - UMA INVESTIGAÇÃO ABRANGENTE DAS INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS.....                                                                     | 83  |
| Felipe Jordão Silva, Leonardo Moraes Armesto                                                                                                                                                                     |     |
| SOLUÇÃO NUMÉRICA DA EQUAÇÃO DE CAMPO DE SCHWARZCHILD VIA MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS - UMA APLICAÇÃO AO ESTUDO DOS BURACOS NEGROS SUPERMASSIVOS.....                                                           | 97  |
| Raphael Lima Sodré, Leonardo Moraes Armesto                                                                                                                                                                      |     |
| ABORDAGEM FENOMENOLÓGICA NO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO - UM ESTUDO QUALITATIVO DO CAMPO GEOMAGNÉTICO LOCAL.....                                                                                                  | 114 |
| Raphael Lima Sodré, Leonardo Moraes Armesto                                                                                                                                                                      |     |
| CULTURAS - REFLEXÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A TEMÁTICA.....                                                                                                                                                          | 131 |
| Lucimar da Silva Pereira Junior, Rayça Gomes Batista, Leticia Santos de Araujo Mesquita, Simoni de Souza Mesquita da Silva, Joana Bartolomeu Machado                                                             |     |
| EDUCAR COM E PARA A DIVERSIDADE.....                                                                                                                                                                             | 139 |
| Patrícia Paiva Gonçalves Bispo                                                                                                                                                                                   |     |
| NEUROCIÊNCIA APLICADA AO ENSINO DE FÍSICA - ESTRATÉGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE TRANSTORNOS DE APRENDIZAGEM (DISLEXIA, DISGRAFIA E DISCALCULIA) EM ALUNOS DA EJA NO ENSINO MÉDIO.....                              | 145 |
| Raphael Lima Sodré, Izaque Pereira de Souza                                                                                                                                                                      |     |
| RELAÇÃO DO FORAME OVAL PATENTE E O ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL - ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS, CLÍNICOS, FISIOPATOLÓGICOS, DIAGNÓSTICOS, COMPLICAÇÕES E TRATAMENTOS.....                                              | 159 |
| Caroline de Oliveira Nieblas, Enzo Lofredo Amorin, Brenno Camargo de Mello Moreti, Ana Cláudia Pereira Pinheiro, Thaís Lima Brosco, Patrick Cristian Lima Orihuela, Eduardo Gregório Chamlian                    |     |
| TERAPIA MEDICAMENTOSA APLICADA NA CIRURGIA CARDIOVASCULAR - UMA REVISÃO DE LITERATURA.....                                                                                                                       | 17  |
| Thabata Roberto Alonso, Leonardo Moraes Armesto, Pedro Felipe Ferrari Silva, Felipe Nicolal Cuqui, Patrick Cristian Lima Orihuela, Ana Carolina Padilha Segala, Gustavo Silva Azevedo, Eduardo Gregório Chamlian |     |
| ANEURISMA DA AORTA ASCENDENTE - ASPECTOS CLÍNICOS, EPIDEMIOLÓGICOS, FISIOPATOLÓGICOS, DIAGNÓSTICO, TRATAMENTO E COMPLICAÇÕES.....                                                                                | 177 |
| Laís Ferreira Stahl, Pedro Henrique Veloso de Souza, Isabella Siciliano Montalto, Marina Forge Fréo, Gabriel Giuliano Baroni, Caroline de Oliveira Nieblas, Eduardo Gregório Chamlian                            |     |

## **O PAPEL CONSTITUCIONAL DO MINISTÉRIO PÚBLICO NOS DESASTRES AMBIENTAIS DE GRANDES EMPREENDIMENTOS: UMA ANÁLISE NOS CASOS DO ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE MARIANA E BRUMADINHO EM MINAS GERAIS**

Rafael Carvalho Tavira Santos<sup>1</sup>

**RESUMO:** O presente artigo tem por objetivo analisar o “Papel Constitucional” do Ministério Público nos desastres ambientais de Grandes Empreendimentos, com ênfase nos casos do rompimento de barragens de rejeitos de minério, ocorridos nos Municípios de Mariana (2015) e Brumadinho (2019) em Minas Gerais. Dessa forma, busca-se discutir e pontuar a importância da atuação do Ministério Público, entre seus diferentes ramos, na garantia e proteção constitucional da sociedade diante dos impactos sociais, ambientais e econômicos, causados pelos desastres ambientais de grandes empreendimentos. Assim, busca-se compreender a importância da atuação do Ministério Público, garantida pela Constituição Federal, na defesa e proteção aos impactados pelo desastre ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ministério Público. Papel Constitucional. Desastre Ambiental. Mariana. Brumadinho.

**ABSTRACT:** The purpose of this article is to analyze the “Constitutional Role” of the Public Prosecutor's Office in environmental disasters caused by large enterprises, with an emphasis on the cases of the collapse of ore tailings dams in the municipalities of Mariana (2015) and Brumadinho (2019) in Minas Gerais. The aim is to discuss and highlight the importance of the role of the Public Prosecutor's Office, among its different branches, in guaranteeing the constitutional protection of society in the face of the social, environmental and economic impacts caused by environmental disasters caused by large enterprises. The aim is to understand the importance of the role of the Public Prosecutor's Office, guaranteed by the Federal Constitution, in defending and protecting those impacted by environmental disasters.

**KEYWORDS:** Public Prosecutor's Office. Constitutional role. Environmental disaster. Mariana. Brumadinho.

### **1. INTRODUÇÃO**

Os desastres ambientais de grandes empreendimentos causam sempre uma grande repercussão nacional e ocasionam enormes prejuízos à sociedade. No marco histórico do Brasil, cabe lembrar o caso do acidente com Césio- 137, na cidade de Goiânia- GO, ocorrido em 1987. O acidente decorreu do descarte em local indevido de um aparelho com material radioativo.

Nesse sentido, o equipamento radioativo foi aberto e espalhado um pó azul com substância radioativa. A professora de Química Carolina Batista, relata que este acidente foi considerado o maior acidente radiológico do Brasil, onde dois catadores de lixo da região encontraram um aparelho de radioterapia em uma

<sup>1</sup>Pós-graduando do Curso de Direito Constitucional da Faculdade Focus. Bacharel em Direito pela Universidade Federal do Pará. E-mail: tavira28@gmail.com.

clínica abandonada. Um trabalhador local desmontou o aparelho e dentro dele havia uma cápsula com o elemento radioativo de Césio. A substância radioativa causou centenas de vítimas diretas e indiretas por causa do alto grau de radioatividade.

Nesse cenário, de forma mais recente, ocorreram dois grandes desastres ambientais de enormes proporções que ficaram mundialmente conhecidos, sendo o rompimento da barragem de rejeitos de minério em Mariana-MG em 2015 e o rompimento da barragem Mina do Feijão em Brumadinho-MG no ano de 2019.

Dessa forma, o presente Artigo visa analisar o “Papel Constitucional” do Ministério Público nos desastres ambientais de Grandes Empreendimentos, com ênfase nos casos dos rompimentos de barragens de rejeitos de minério, ocorridos nos Municípios de Mariana (2015) e Brumadinho (2019) em Minas Gerais.

Assim, este trabalho tem o intuito de pontuar e apresentar fatos da atuação constitucional do Ministério Público, através de seus diferentes ramos, na proteção dos interesses sociais e individuais indisponíveis, assim como na proteção do patrimônio público e social, do meio ambiente e de outros interesses difusos e coletivos; e também, na defesa judicial dos direitos e interesses das populações indígenas impactadas pelos desastres ambientais.

## **2. DESASTRES AMBIENTAIS DE GRANDES EMPREENDIMENTOS: CASOS MARIANA (2015) E BRUMADINHO (2019)**

### **2.1 O Desastre Ambiental em Mariana (2015)**

No dia 05 de novembro de 2015 ocorreu o que ficou conhecido como “o maior desastre ambiental” da história do Brasil: o rompimento da barragem de Fundão da Mineradora Samarco, no Município de Mariana em Minas Gerais. O rompimento da barragem provocou uma enxurrada de lama de rejeitos de minério e causou estragos em diversas cidades do Estado Mineiro e do Espírito Santo, pois acabou atingindo o Rio Doce e após percorrer por várias cidades acabou desaguando no Oceano Atlântico no distrito de Regência, Município de Linhares – Espírito Santo.

A barragem rompida era empreendimento da empresa Samarco Mineração S/A (controlada pelas mineradoras Vale S/A e BHP Billinton) – cuja a atividade principal era a extração de minério de ferro. Em suas atividades a mineradora separava o rejeito de minério de ferro da parte mais importante e rentável do minério que era destinado à venda.

O desastre de Mariana provocou um enorme dano ambiental, econômico e social matando 19 pessoas e atingindo uma grande parcela da sociedade com a poluição de mares e rios, mortandade de peixes; assim como, a degradação ambiental, danos à mata atlântica e reservas indígenas. Assim, pode-se extrair do site do Ministério Público Federal:

“(...) O maior desastre ambiental do Brasil – e um dos maiores do mundo – provocou danos econômicos, sociais e ambientais graves e tirou a vida de 19 pessoas. Os prejuízos que se viram às primeiras horas e que aumentaram com o passar do tempo, projetam-se mesmo hoje como um dever que não tem tempo certo para findar. Danos contínuos e, em sua maioria, perenes (...)”

## 2.2 O Desastre ambiental em Brumadinho (2019)

O desastre ambiental no Município de Brumadinho em Minas Gerais ocorreu em 25 de janeiro de 2019, após outro grande desastre ambiental de Mariana, também no Estado Mineiro. A título de informação, o Município de Brumadinho encontra-se localizado na região metropolitana de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais.

O rompimento da barragem de responsabilidade da empresa mineradora VALE S/A ocorreu na Mina Córrego do Feijão e desencadeou uma verdadeira “avalanche” de lama (rejeitos de minério). O acidente causou a morte e desaparecimento de dezenas de pessoas, além do dano social e ambiental causado a várias pessoas.

O impacto ambiental foi aparentemente menor do que o desastre de Mariana, porém, mesmo assim o dano desencadeou outros problemas ambientais. A lama de rejeitos de minério atingiu não apenas a cidade de Brumadinho-MG, como também causou grande dano com mortandade de animais, peixes e plantas aquáticas.

A grande quantidade de lama (rejeitos de minérios) atingiu o Rio Paraopeba, um dos afluentes do rio São Francisco, deixando a água imprópria para o consumo, ocasionando diversos problemas para a população. Nesse sentido, este desastre ambiental, também provocado por uma Mineradora, foi amplamente divulgado na mídia.

Assim, o site de notícias UOL (Mundo Educação) noticiou o seguinte: “o desastre ambiental em Brumadinho ocorreu em razão do rompimento de uma barragem da Vale, o que causou a liberação de vários litros de lama e morte de várias pessoas.

### 3. O MINISTÉRIO PÚBLICO E O MEIO AMBIENTE NA CONSTITUIÇÃO

#### 3.1 O Ministério Público na Constituição Federal

Ministério Público (MP), também conhecido como *parquet* está descrito e previsto em vários artigos da Constituição Federal de 1988 (CF/88), assim como na Lei Complementar nº 75, de 20 de maio de 1993 (LC 75/93).

Antes, porém, o conceito, a organização, princípios e fundamentos do *parquet* estão elencados no Capítulo IV da CF/88 – Das Funções Essenciais à Justiça – nos artigos 127 a 130. A Carta Magna conceitua o Ministério Público como “instituição permanente, essencial à função jurisdicional do Estado, incumbindo-lhe a defesa da ordem jurídica, do regime democrático e dos interesses sociais e individuais indisponíveis”. (BRASIL, 1988, art 127).

Dessa forma, para compreender o conceito e a divisão em ramos do *parquet* brasileiro na Constituição Federal faz-se necessário apresentar a descrição dos artigos 127 e 128 da Carta Magna, *das funções essenciais à justiça*:

Art. 127. O Ministério Público é instituição permanente, essencial à função jurisdicional do Estado, incumbindo-lhe a defesa da ordem jurídica, do regime democrático e dos interesses sociais e individuais indisponíveis.

§ 1º - São princípios institucionais do Ministério Público a unidade, a indivisibilidade e a independência funcional.

§ 2º Ao Ministério Público é assegurada autonomia funcional e administrativa, podendo, observado o disposto no art. 169, propor ao Poder Legislativo a criação e extinção de seus cargos e serviços auxiliares, provendo-os por concurso público de provas ou de provas e títulos, a política remuneratória e os planos de carreira; a lei disporá sobre sua organização e funcionamento. (...)

Art. 128. O Ministério Público abrange:

I - o Ministério Público da União, que compreende:

- a) o Ministério Público Federal;
- b) o Ministério Público do Trabalho;
- c) o Ministério Público Militar;
- d) o Ministério Público do Distrito Federal e Territórios; II - os Ministérios Públicos dos Estados. (...)

O Nesse cenário, a Constituição da República Federativa do Brasil, através de seu artigo 129, estabelece as funções institucionais do Ministério Público:

Art. 129. São funções institucionais do Ministério Público:

- I - promover, privativamente, a ação penal pública, na forma da lei;
- II- zelar pelo efetivo respeito dos Poderes Públicos e dos serviços de relevância pública aos direitos assegurados nesta Constituição, promovendo as medidas necessárias a sua garantia;
- III- promover o inquérito civil e a ação civil pública, para a proteção do patrimônio público e social, do meio ambiente e

de outros interesses difusos e coletivos;  
IV- promover a ação de inconstitucionalidade ou representação para fins de intervenção da União e dos Estados, nos casos previstos nesta Constituição;  
V- defender judicialmente os direitos e interesses das populações indígenas;  
VI- expedir notificações nos procedimentos administrativos de sua competência, requisitando informações e documentos para instruí-los, na forma da lei complementar respectiva;  
VII- exercer o controle externo da atividade policial, na forma da lei complementar mencionada no artigo anterior;  
VIII- requisitar diligências investigatórias e a instauração de inquérito policial, indicados os fundamentos jurídicos de suas manifestações processuais;  
IX- exercer outras funções que lhe forem conferidas, desde que compatíveis com sua finalidade, sendo-lhe vedada a representação judicial e a consultoria jurídica de entidades públicas. (...) (BRASIL, 1988, art. 129).

Além disso, de forma a complementar a Constituição Federal referente a atuação do Ministério Público, foi prevista pelo legislador brasileiro a Lei Complementar nº 75, de 20 de maio de 1993 (LC 75/93), a qual dispõe sobre a organização, as atribuições e o estatuto do Ministério Público da União. Assim, incumbe apresentar com a devida importância o artigo 25 da Lei Complementar 75/93):

Art. 25. Além das funções previstas nas Constituições Federal e Estadual, na Lei Orgânica e em outras leis, incumbe, ainda, ao Ministério Público:

- I - propor ação de inconstitucionalidade de leis ou atos normativos estaduais ou municipais, em face à Constituição Estadual;
- II - promover a representação de inconstitucionalidade para efeito de intervenção do Estado nos Municípios;
- III - promover, privativamente, a ação penal pública, na forma da lei;
- IV - promover o inquérito civil e a ação civil pública, na forma da lei:
  - a) para a proteção, prevenção e reparação dos danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, aos bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico, e a outros interesses difusos, coletivos e individuais indisponíveis e homogêneos;
  - b) para a anulação ou declaração de nulidade de atos lesivos ao patrimônio público ou à moralidade administrativa do Estado ou de Município, de suas administrações indiretas ou fundacionais ou de entidades privadas de que participem;
- V - manifestar-se nos processos em que sua presença seja obrigatória por lei e, ainda, sempre que cabível a intervenção, para assegurar o exercício de suas funções institucionais, não importando a fase ou grau de jurisdição em que se encontrem os processos;
- VI - exercer a fiscalização dos estabelecimentos prisionais e dos que abriguem idosos, menores, incapazes ou pessoas portadoras de deficiência;

VII - deliberar sobre a participação em organismos estatais de defesa do meio ambiente, neste compreendido o do trabalho, do consumidor, de política penal e penitenciária e outros afetos à sua área de atuação;

VIII - ingressar em juízo, de ofício, para responsabilizar os gestores do dinheiro público condenados por tribunais e conselhos de contas;

IX - interpor recursos ao Supremo Tribunal Federal e ao Superior Tribunal de Justiça;

Parágrafo único. É vedado o exercício das funções do Ministério Público a pessoas a ele estranhas, sob pena de nulidade do ato praticado. (BRASIL, 1993)

Dessa forma, sobre as funções do Ministério Público, o artigo 26 da LC 75/93 dispõe:

Art. 26. No exercício de suas funções, o Ministério Público poderá:

I pertinentes e, para instruí-los:

a) expedir notificações para colher depoimento ou esclarecimentos e, em caso de não comparecimento injustificado, requisitar condução coercitiva, inclusive pela Polícia Civil ou Militar, ressalvadas as prerrogativas previstas em lei;

b) requisitar informações, exames periciais e documentos de autoridades federais, estaduais e municipais, bem como dos órgãos e entidades da administração direta, indireta ou fundacional, de qualquer dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios;

c) promover inspeções e diligências investigatórias junto às autoridades, órgãos e entidades a que se refere a alínea anterior;

I - requisitar informações e documentos a entidades privadas, para instruir procedimentos ou processo em que oficie;

II - requisitar à autoridade competente a instauração de sindicância ou procedimento administrativo cabível;

III - requisitar diligências investigatórias e a instauração de inquérito policial e de inquérito policial militar, observado o disposto no art. 129, inciso VIII, da Constituição Federal, podendo acompanhá-los;

IV - praticar atos administrativos executórios, de caráter preparatório;

V - dar publicidade dos procedimentos administrativos não disciplinares que instaurar e das medidas adotadas;

VI - sugerir ao Poder competente a edição de normas e a alteração da legislação em vigor, bem como a adoção de medidas propostas, destinadas à prevenção e controle da criminalidade;

VII - manifestar-se em qualquer fase dos processos, acolhendo solicitação do juiz, da parte ou por sua iniciativa, quando entender existente interesse em causa que justifique a intervenção. (...) (BRASIL, 1993)

Convém mencionar, também, que Alexandre de Moraes afirma sobre a legitimidade do Ministério Público para a defesa do patrimônio público e zelo dos direitos constitucionais do cidadão.

### 3.2 O Meio Ambiente na Constituição Federal

O meio ambiente é conceituado pelo saudoso José Afonso da Silva como “a interação do conjunto de elementos naturais, artificiais e culturais que propiciem o desenvolvimento equilibrado da vida em todas as suas formas”. Nesse sentido, o direito ao meio ambiente, também encontra-se previsto na Constituição Federal. Nessa perspectiva, através do capítulo VI, artigo 225, caput, a Carta Magna estabelece o seguinte:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL, 1988, art. 225)

### 4. ATUAÇÃO CONSTITUCIONAL DO MINISTÉRIO PÚBLICO NOS DESASTRES AMBIENTAIS DE MARIANA E BRUMADINHO: CASOS CONCRETOS. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Ministério Público atuou de forma efetiva, nos termos da Constituição Federal, desde o momento dos desastres ambientais até os dias atuais.

Como é sabido, os desastres ocasionados pelas Mineradoras SAMARCO e VALE provocaram graves crimes ambientais e uma enorme lesão ao patrimônio público e social, atingindo toda uma coletividade. Os mais afetados foram, principalmente, a população local do acidente e toda a comunidade dos Municípios por onde percorreu o “mar de lama”; assim como: os ribeirinhos, os pescadores do rio Doce e do mar atingidos e as comunidades indígenas.

Dessa maneira, os diferentes ramos do *parquet* (Ministério Público Federal, Ministério Público do Trabalho e Ministério Público Estadual dos Estados do Minas Gerais e Espírito Santo), atuaram dentro de suas parcelas de atribuição como uma instituição única (UNA) representando uma só instituição, baseado no princípio constitucional da Unidade. Este princípio, de acordo com o ilustre professor de Direito Constitucional (LENZA, 2020), entende que o Ministério Público deve ser visto como instituição una, sendo a divisão existente meramente funcional.

Assim, nos desastres ambientais de Mariana e Brumadinho, o Ministério Público, atuou nos termos da Constituição Federal, efetuando os seguintes trabalhos, dentre outros.

- atuou na persecução penal dos responsáveis pelos crimes ambientais com base na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades

lesivas ao meio ambiente); e promovendo a ação penal pública contra os causadores dos crimes ambientais de Mariana e Brumadinho: SAMARCO, VALE e BHP BILLITON;

- promoveu o inquérito civil público e a ação civil pública contra as empresas causadoras dos danos ambientais para garantir as indenizações e reparo civil às comunidades e aos trabalhadores atingidos (pescadores, agricultores, empregados das mineradoras, etc.);
- defendeu judicialmente os interesses das populações indígenas prejudicadas, particularmente as comunidades indígenas (Tupiniquim e Guarani) do Município de Aracruz, no Espírito Santo).

#### **4.1 Atuação do Ministério Público no Desastre Ambiental de Mariana – resultados e casos concretos**

Destacam-se as seguintes notícias oficiais da atuação concreta dos diferentes ramos do Ministério Público no desastre ambiental de Mariana:

##### No âmbito do Ministério Público Federal:

- Ação civil pública - 1º Vara Federal de Colatina/ES (processo nº 0132641-52.2015.4.02.5005). Proposta em 27 de novembro de 2015 para obrigar o Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental(SANEAR), autarquia do Município de Colatina, a interromper a captação e distribuição de água, proveniente do Rio Doce ou de outro espaço hídrico contaminado pela onda de lama, rejeitos e outros particulados, decorrentes do rompimento da barragem de Fundão e para garantir temporariamente o abastecimento seguro de água não oriunda do Rio Doce para a população.
- Ação civil pública – 12º Vara Federal da Seção judiciária de Minas Gerais (0023863- 07.2016.4.01.3800 - 12ª VARA FEDERAL). Proposta em 3 de maio de 2016 contra as empresas Samarco Mineração S.A, Vale S/A e BHP Billiton Brasil Ltda, e contra a União e os Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo para que sejam obrigados a reparar integralmente os danos sociais, econômicos e ambientais causados pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana/MG.
- Ação civil pública - 1ª Vara Federal de Linhares/ES (processo nº 0002571-13.2016.4.02.5004). Proposta em 3 de fevereiro de 2016 para que fosse imediatamente proibida a pesca de qualquer natureza, salvo a destinada à

pesquisa científica, na região da Foz do Rio Doce, entre a Barra do Riacho, em Aracruz, até Degredo/Ipiranguinha, em Linhares, litoral Norte do Espírito Santo.

- Ação penal - Subseção Judiciária de Ponte Nova/MG (Processo nº 2725-15.2016.4.01.3822). Em 20 de outubro de 2016, o MPF denunciou à Justiça 21 pessoas por homicídio qualificado com dolo eventual - quando se assume o risco de cometer o crime - pela morte de 19 pessoas ocorridas na tragédia. Entre os denunciados estão o presidente afastado da Samarco, Ricardo Vescovi de Aragão; o diretor de Operações e Infraestrutura, Kleber Luiz de Mendonça Terra; três gerentes operacionais da empresa; 11 integrantes do Conselho de Administração da Samarco; e cinco representantes das empresas Vale e BHP Billiton na Governança da Samarco.
- Ação civil pública para implementação do plano de ações em saúde de Barra Longa (MG) (Processo nº 1000504-03.2020.4.01.3822). Proposta em 12 de março de 2020 para obrigar a Fundação Renova a custear integralmente a implementação de um plano de ações em saúde em Barra Longa (MG) e requerendo a condenação da Fundação Renova em indenizar a população desse município por danos morais coletivos.

#### No âmbito do Ministério Público do Trabalho:

- Ação Civil Pública nº 0012054-83.2017.5.03.0069. O Ministério Público do Trabalho (MPT) ajuizou, em novembro de 2017, ação civil pública (ACP) que tem por objetivo buscar a condenação da Samarco em obrigações necessárias para assegurar saúde e segurança no meio ambiente de trabalho da empresa, na mina de Fundão, em Mariana, condição imperativa para a retomada do funcionamento, após o rompimento da barragem, ocorrido em 5 novembro de 2015.
- Ação Civil Pública em ato conjunto com o Ministério Público Estadual. MPT e MPMG pedem que empregados da Samarco sejam readmitidos. Procuradores e promotores consideram que PDV foi feito de forma irregular. Mineradora diz que programa foi elaborado em conjunto com sindicatos. O Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) informou nesta terça-feira (27) que, em conjunto com o Ministério Público do Trabalho (MPT), entrou com uma ação civil pública para que mais de 900 trabalhadores que aderiram ao Programa de Demissão Voluntária da Samarco sejam readmitidos em 30 dias. Segundo os

procuradores e promotores, o PDV adotado pela mineradora foi feito de forma irregular.

#### No âmbito do Ministério Público Estadual (Minas Gerais e Espírito Santo):

- Ação Civil Pública nº 5001730-53.2021.8.13.0400. O Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) protocolou ontem, 6 de outubro, pedido de cumprimento de sentença contra a Samarco Mineração, a Vale e a BHP Billiton Brasil, cujo objeto é o cumprimento do acordo no qual as empresas comprometeram-se a fornecer alimentação adequada aos semoventes dos atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão até que as famílias fossem reassentadas com condições para o desenvolvimento do trabalho ou quando fosse possível retomar as atividades produtivas.

Atuação do Ministério Público do Espírito Santo em defesa das vítimas do rompimento da barragem em Fundão:

MPES reafirma luta em defesa das vítimas do rompimento da barragem da Samarco em Fundão: O Ministério Público do Estado do Espírito Santo (MPES), por meio da procuradora - geral de Justiça, Luciana Andrade; do secretário-geral, promotor de Justiça Francisco Martínez Berdeal; e da coordenadora do Grupo de Trabalho de Recuperação do Rio Doce (GTRD), promotora de Justiça Elaine Costa de Lima, participou de reunião do Conselho Nacional de Justiça (CNJ) na quarta-feira (24/08), em mais uma rodada da repactuação do acordo de reparação para as vítimas do rompimento da barragem da Samarco em Fundão, Mariana (MG). O encontro foi realizado em Brasília, com a coordenação do presidente do CNJ, ministro Luiz Fux, e sob a condução do conselheiro Luiz Fernando Bandeira de Mello. A rodada teve por objetivo concluir as discussões quanto à forma de reparação ambiental e socioeconômica, além das medidas compensatórias pelo impacto causado às pessoas atingidas e ao meio ambiente. No entanto, a proposta colocada à mesa pelas empresas, no entender do MPES, foi aquém das expectativas e insuficientes para se buscar a pacificação social e restauração do meio ambiente, não atendendo aos pleitos institucionais e às demandas dos atingidos. Diante disso, a negociação foi suspensa.

Atuação do Ministério Público no Desastre Ambiental de Brumadinho – resultados e casos concretos:

As notícias de atuação do Ministério Público no desastre ambiental de

Brumadinho, encontra-se amplamente divulgada no sítio eletrônico do Ministério Público Federal, ficando conhecido como “caso Brumadinho”. Dentre outras, destacam-se as seguintes notícias de atuações concretas do Ministério Público no desastre ambiental de Brumadinho:

MPF, MPMG e PF fazem operação para apurar rompimento da barragem em Brumadinho (MG): O Ministério Público Federal (MPF), o Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG) e a Polícia Federal (PF) deflagraram na manhã desta terça-feira (29), operação com o objetivo de cumprir mandados de busca e apreensão e mandados de prisão temporária, visando apurar responsabilidade criminal pelo rompimento das barragens na Mina Córrego do Feijão, mantidas pela empresa Vale.

Caso Brumadinho: recomendações são expedidas a órgãos técnicos. Objetivo é orientar Ibama, ANM e Secretaria do Meio Ambiente de Minas Gerais a pararem de emitir licenças ambientais para barragens de alteamento de montante. O Ministério Público Federal (MPF), por meio da Câmara de Meio Ambiente e Patrimônio Cultural (4CCR) e do procurador da República titular do 26º ofício do MPF em Minas Gerais José Adércio, expediu nesta quinta- feira (31) três recomendações com o objetivo de orientar os órgãos responsáveis a cessar a emissão de licenças ambientais para barragens que utilizem o método de alteamento de montante. As recomendações foram encaminhados ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), à Agência Nacional de Mineração (ANM) e à Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (Semad).

Processo nº 5010709.36.2019.8.13.0024. Em nova audiência, instituições apresentam avanços nas negociações com a Vale para adoção de medidas reparadoras diante do desastre em Brumadinho. Na tarde de hoje (14), foi realizada a segunda audiência na 6ª Vara da Fazenda Pública de Belo Horizonte para discutir os termos das medidas emergenciais a serem tomadas pela Vale em razão dos danos causados pelo rompimento da barragem da Mina do Córrego do Feijão, no dia 25 de janeiro em Brumadinho. Durante a audiência, os representantes do Ministério Público Federal (MPF), do Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG), da Defensoria Pública do Estado de Minas Gerais (DPE/MG), da Defensoria Pública da União (DPU) e da Advocacia-Geral do Estado relataram que as negociações estão sendo diárias, em atuação conjunta das instituições.

Acordo prevê pagamento de um salário mínimo a cada morador de Brumadinho (MG) pelo prazo de um ano. Em audiência na 6ª Vara da Fazenda Estadual de BH, empresa também se comprometeu a custear assessoria técnica independente para atingidos. Após várias e sucessivas reuniões para se discutir os termos de acordo preliminar na Ação Cautelar 5010709-36.2019.8.13.0024, ajuizada pela Advocacia-Geral do Estado, foi assinado hoje em audiência perante a 6ª Vara da Fazenda Pública de Belo Horizonte (MG) acordo que garante o pagamento de verba emergencial a toda a população de Brumadinho, afetada pelo rompimento das barragens da Mina Córrego do Feijão ocorrido no dia 25 de janeiro deste ano.

Pagamento de auxílio para as pessoas atingidas em Brumadinho (MG) é prorrogado por mais 60 dias. Pedido foi feito por instituições públicas envolvidas no Acordo Judicial de Reparação com a Vale, visando evitar insegurança por parte dos atingidos. (...) A prorrogação foi requerida pelo Ministério Público Federal (MPF), pela Defensoria Pública de Minas Gerais (DPMG), e Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) para resguardar interesses das pessoas atingidas e garantir a continuidade do recebimento de valores.

**Desastre da Vale:** selecionadas propostas para a construção de 1,5 mil casas populares e 78 usinas fotovoltaicas em municípios atingidos. Os compromitentes do Acordo Judicial de Reparação – Ministério Público Federal (MPF), Ministério Público de Minas Gerais (MPMG), Defensoria Pública Estadual (DPE-MG) e o governo mineiro – selecionaram projetos para a construção de 1.502 casas populares e instalação de 78 usinas fotovoltaicas na região atingida pelo rompimento das barragens da Vale, ocorrido em janeiro de 2019 em Brumadinho (MG). Na mesma ocasião, foram selecionadas propostas para a construção de sete creches.

O Governo de Minas, o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG), o Ministério Público Federal (MPF) e a Defensoria Pública de Minas Gerais (DPMG) assinaram com a Vale S.A., em 4 de fevereiro de 2021, o Acordo Judicial de Reparação, sob mediação do Tribunal de Justiça de Minas Gerais (TJMG). O documento garantiu que a empresa fosse imediatamente responsabilizada pelos danos causados às regiões atingidas e à sociedade mineira pelo rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA na Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, ocorrido em 25 de janeiro de 2019. O Acordo Judicial visa reparar os danos decorrentes do rompimento das barragens da Vale S.A. em Brumadinho, que tirou

a vida de 272 pessoas e gerou uma série de impactos sociais, ambientais e econômicos na bacia do Rio Paraopeba e em todo o Estado de Minas Gerais. Trata-se de um dos mais exigentes acordos de medidas de reparação já firmado pelo Poder Público. Com o foco principal na região atingida, o acordo também garante medidas reparatórias ao Estado. Conta com um valor inicial total de R\$ 37.689.767.329,00 (trinta e sete bilhões, seiscentos e oitenta e nove milhões, setecentos e sessenta e sete mil, trezentos e vinte e nove reais).

Dois anos após o rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, da mineradora Vale, em Brumadinho, o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) mantém sua atuação firme e constante com o objetivo de alcançar a reparação integral dos danos ambientais, pela responsabilização criminal dos responsáveis pela tragédia e pela indenização total dos atingidos e das famílias das vítimas fatais. Assim tem sido desde os primeiros momentos após o desastre.

## 2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os estudos e fatos apresentados no presente artigo, foi possível analisar o papel constitucional do Ministério Público nos desastres ambientais de grandes empreendimentos, com ênfase nos casos de rompimentos de barragens de rejeitos de minério, ocorridos nos Municípios de Mariana e Brumadinho em Minas Gerais.

Nesse sentido, também foi possível demonstrar no presente trabalho, os resultados da pesquisa com dados oficiais da atuação constitucional do *parquet* brasileiro nos casos concretos dos 02 (dois) maiores desastres ambientais do Brasil.

Dessa forma, foi realizada uma análise e estudo, com ênfase na Constituição Federal, sobre a atuação do Ministério Público nos desastres ambientais de grandes empreendimentos ocorridos em Mariana e Brumadinho.

Assim, no presente artigo ficou demonstrada a atuação constitucional do Ministério Público nos casos concretos de Mariana e Brumadinho, notadamente quanto a proteção ao patrimônio público e social, ao meio ambiente, aos interesses difusos e coletivos e na defesa dos direitos e interesses das populações indígenas.

## REFERÊNCIAS

BATISTA. C. **Acidente com Césio 137 em Goiânia**. Disponível em <<https://www.todamateria.com.br/acidente-cesio-137/>>. Acesso em: dez. 2022.

BRASIL. Constituição. **Constituição da República Federativa do Brasil**.

Brasil, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei Complementar nº 75, de 20 de maio de 1993. **Dispõe sobre a organização, as atribuições e o estatuto do Ministério Público da União.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 20 de maio de 1993; 172º da Independência e 105º da República.

BRASIL. Ministério Público Federal. **O desastre, 2022.** Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/o-desastre>>. Acesso em: dez. 2022.

CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)> Acesso em: dez. 2022.

DE MORAES, A. **Direito Constitucional - Ambiental em Brumadinho.** 13ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Pró-Brumadinho: Acordo judicial de reparação é homologado pela Justiça de Minas.** Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/pro-brumadinho/pagina/entenda-o-acordo-judicial>> Acesso em: jan. 2023.

**Lei Complementar nº 75, de 20 de maio de 1993.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/lcp/Lcp75.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp75.htm)> Acesso em: jan. 2023.

**Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm)> Acesso em: jan. 2023.

LENZA, P. **Direito Constitucional Esquematizado.** 24ª ed. São Paulo: Saraiva, 2020.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Campanhas: Brumadinho 2 anos.** Disponível em: <<https://www.mpmg.mp.br/portal/menu/comunicacao/campanhas/brumadinho-2-anos.shtml>> Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **MPMG cobra na Justiça cumprimento de acordo que prevê fornecimento de alimentação aos animais de propriedade dos atingidos pelo rompimento da barragem da Samarco.** Disponível em: <<https://www.mpmg.mp.br/portal/menu/comunicacao/noticias/mpmg-cobra-na-justica-cumprimento-de-acordo-que-preve-fornecimento-de-alimentacao-aos-animais-de-propriedade-dos-atingidos-pelo-rompimento-da-barragem-da-samarco-8A94806782EF29160183B493A3415DBF-00.shtml>> Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **MPES reafirma luta em defesa das vítimas do rompimento da barragem da Samarco em Fundão.** Disponível em: <<https://www.mpes.mp.br/Arquivos/Modelos/Paginas/NoticiaComFoto.aspx?pagina=8661>> Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Ações: Caso Samarco.** Disponível em <<https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/atuacao-do-mpf/atuacao-na>>

1a-instancia/acoes> Acesso em: dez. 2022.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Acordo prevê pagamento de um salário mínimo a cada morador de Brumadinho (MG) pelo prazo de um ano.** Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/noticias-mg/acordo-preve-pagamento-de-um-salario-minimo-a-cada-morador-de-brumadinho-mg-pelo-prazo-de-um-ano>> Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Caso Brumadinho.** Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/noticias-brumadinho>> Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Caso Brumadinho: recomendações são expedidas a órgãos técnicos.** Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/pgr/noticias-pgr/caso-brumadinho-recomendacoes-sao-expedidas-a-orgaos-tecnicos>> Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Desastre da Vale: selecionadas propostas para a construção de 1,5 mil casas populares e 78 usinas fotovoltaicas em municípios atingidos.** Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/noticias-mg/desastre-da-vale-selecionadas-propostas-para-construcao-de-1-5-mil-casas-e-78-usinas-fotovoltaicas-em-municipios-atingidos>> Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Em nova audiência, instituições apresentam avanços nas negociações com a Vale para adoção de medidas reparadoras diante do desastre em Brumadinho.** Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/noticias-mg/em-nova-audiencia-instituicoes-apresentam-avancos-nas-negociacoes-com-a-vale-para-adocao-de-medidas-reparadores-diante-do-desastre-em-brumadinho>> Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **MPF, MPMG e PF fazem operação para apurar rompimento da barragem em Brumadinho (MG).** Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/es/sala-de-imprensa/noticias-es/mpf-mpmg-e-pf-fazem-operacao-para-apurar-rompimento-da-barragem-em-brumadinho-mg>>. Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Pagamento de auxílio para as pessoas atingidas em Brumadinho (MG) é prorrogado por mais 60 dias.** Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/noticias-mg/pagamento-de-auxilio-para-as-pessoas-atingidas-em-brumadinho-mg-e-prorrogado-por-mais-60-dias>>. Acesso em: jan. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO TRABALHO EM MINAS GERAIS. **Samarco é alvo de ação civil pública do MPT que busca adequações no meio ambiente da mina de Fundão.** Disponível em: <<https://www.prt3.mpt.mp.br/comunicacao/noticias-do-mpt-mg/1073-samarco-e-alvo-de-acao-civil-publica-do-mpt-que-busca-adequacoes-no-meio-ambiente-da-mina-de-fundao>> Acesso em: jan. 2023.

SILVA, J. A da. **Direito ambiental constitucional.** 2. ed. São Paulo: Malheiros, 1998.

## USINA HIDROELÉTRICA DE ITAIPU E A GEOPOLÍTICA GOLBERYANA: A SUPREMACIA BRASILEIRA NA AMÉRICA DO SUL

Tiago Fortes de Alcântara Santo<sup>1</sup>  
Leonardo Moraes Armesto<sup>2</sup>

**RESUMO:** A Usina Hidrelétrica de Itaipu, um dos maiores empreendimentos de engenharia do mundo, está localizada na fronteira Brasil-Paraguai, em uma posição privilegiada no Rio Paraná e na Bacia do Prata. Esse projeto foi um marco estratégico no contexto da geopolítica sul-americana, particularmente sob a influência do pensamento geopolítico do general Golbery do Couto e Silva, principal estrategista do regime militar brasileiro (1964-1985). O objetivo geral deste estudo é analisar como a construção da Itaipu Binacional se inseriu na geopolítica golberyana e como ela reforçou a supremacia brasileira na América do Sul. A metodologia utilizada envolve análise documental de fontes históricas, como tratados internacionais, discursos de líderes da época e relatórios técnicos, além de revisão bibliográfica sobre a doutrina de segurança nacional aplicada por Golbery. Os resultados indicam que Itaipu não foi apenas um projeto energético, mas também uma peça estratégica para consolidar a liderança regional do Brasil, neutralizando tensões com o Paraguai, ampliando sua influência sobre os países vizinhos, sobretudo a Argentina, e reforçando sua autonomia frente a potências estrangeiras, especialmente os Estados Unidos. A aliança estratégica entre Brasil e Paraguai, firmada por meio do Tratado de Itaipu (1973), reforçou o controle brasileiro não apenas sobre os recursos energéticos, mas também sobre as rotas de escoamento da bacia platina, ampliando sua influência na América do Sul e garantindo sua supremacia na região. A discussão aponta que a visão geopolítica de Golbery foi determinante para moldar a postura do Brasil em relação à integração regional, garantindo segurança energética e fortalecendo sua posição como líder regional. A construção de Itaipu, portanto, exemplifica a aplicação da geopolítica golberyana, que buscava expandir a influência brasileira por meio de projetos estratégicos de infraestrutura, garantindo a supremacia do Brasil na região.

**PALAVRAS-CHAVE:** América do Sul. Geopolítica. Golbery. Itaipu. Supremacia brasileira.

**ABSTRACT:** The Itaipu Hydroelectric Power Plant, one of the largest engineering projects in the world, is located on the Brazil-Paraguay border, in a privileged position on the Paraná River and in the Prata Basin. This project was a strategic milestone in the context of South American geopolitics, particularly under the influence of the geopolitical thinking of General Golbery do Couto e Silva, the main strategist of the Brazilian military regime (1964-1985). The general objective of this study is to analyze how the construction of the Itaipu Binacional was inserted into Golbery's geopolitics and how it reinforced Brazilian supremacy in South America. The methodology used involves a documentary analysis of historical sources, such as international treaties, speeches by leaders of the time and technical reports, as well as a bibliographical review of the national security doctrine applied by Golbery. The results indicate that Itaipu was not just an energy project, but also a strategic piece to consolidate Brazil's regional leadership, neutralizing tensions with Paraguay, expanding its influence over neighbouring countries, especially Argentina, and reinforcing its autonomy from foreign powers, especially the United States. The strategic alliance between Brazil and Paraguay, signed through the Treaty of Itaipu (1973), reinforced Brazil's control not only over energy resources, but also over the flow routes of the Platine basin, expanding its influence in South America and guaranteeing its supremacy in the region. The discussion points out that Golbery's geopolitical vision was decisive in shaping Brazil's stance on regional integration, guaranteeing energy security and strengthening its position as a regional leader. The construction of Itaipu, therefore, exemplifies the application of Golbery's geopolitics, which sought to expand Brazilian influence through strategic infrastructure projects, guaranteeing Brazil's supremacy in the region.

**KEYWORDS:** South America. Geopolitics. Golbery. Itaipu. Brazilian supremacy.

<sup>1</sup>Bacharel em Geografia, especialista em Direito Público e em Planejamento, Gestão e Licenciamento Ambiental e pós-graduando em Georreferenciamento, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. tiagofas@gmail.com.

<sup>2</sup>Orientador: Doutor e Mestre em Engenharia, Multigraduado, Multiespecialista e Coordenador Pedagógico de Pós-Graduação e Pesquisa. Orientador e Professor de Trabalhos de Curso. E-mail: leonardo.armesto@faculdadefocus.com.br.

## INTRODUÇÃO

Golbery do Couto e Silva (1911-1987) foi um importante general e estrategista militar brasileiro, amplamente reconhecido por ser o formulador da geopolítica brasileira durante o regime militar (1964-1985). Ele desempenhou um papel-chave na construção das bases ideológicas do regime, principalmente por meio de sua teoria da segurança nacional, que combinava aspectos militares e econômicos com o objetivo de assegurar a soberania e o desenvolvimento do Brasil.

Golbery graduou-se pela Escola Militar de Realengo e foi um dos fundadores do Serviço Nacional de Informações (SNI), criado em 1964 para centralizar informações de segurança e inteligência. Ele defendia a ideia de que o Brasil deveria expandir sua influência na América do Sul e garantir o controle sobre recursos naturais estratégicos, como os da Bacia do Prata, onde está localizada a Usina Hidrelétrica de Itaipu. Sua geopolítica focava no desenvolvimento econômico do país, combinada com a proteção contra possíveis ameaças comunistas durante o período da Guerra Fria.

Além de suas contribuições para a segurança nacional, Golbery teve influência significativa na formação de políticas públicas e no planejamento estratégico do Estado brasileiro, especialmente no que se refere à infraestrutura e ao setor energético, onde projetos como a construção de Itaipu são exemplos claros de sua visão geopolítica.

A Usina Hidrelétrica de Itaipu, situada na fronteira entre o Brasil e o Paraguai, não é apenas uma realização notável da engenharia moderna, mas também um elemento crucial na geopolítica sul-americana. Iniciada na década de 1970 e inaugurada em 1984, a construção de Itaipu reflete uma estratégia geopolítica mais ampla desenvolvida sob a influência do general Golbery do Couto e Silva. Esta estratégia visava consolidar a liderança regional do Brasil por meio da integração energética e do controle de recursos vitais.

A chamada "geopolítica golberyana" fundamentava-se na ideia de que o Brasil deveria expandir sua influência na América do Sul utilizando sua posição estratégica e recursos naturais como alavancas para projetar poder (Birkner, 2002). Itaipu, com sua capacidade de geração de energia imensa, serviu a esse propósito, permitindo ao Brasil não apenas garantir sua própria segurança energética, mas também reduzir a oferta de energia à Argentina e exercer uma influência significativa sobre o Paraguai. O país vizinho tornou-se economicamente dependente da energia produzida pela usina, o que reforçou a posição do Brasil como um ator dominante na região.

Golbery do Couto e Silva via a integração regional e o controle dos recursos como meios para assegurar a supremacia brasileira no Cone Sul. O projeto de Itaipu

foi uma peça central dessa estratégia, ajudando o Brasil a contrabalançar a influência de outras potências internacionais, como os Estados Unidos e a União Soviética, e a promover uma política de independência energética e desenvolvimento industrial (Couto e Silva, 1981). O uso estratégico da Bacia do Prata, conforme descrito por Mello e Mello (1980), ilustrava a importância de controlar recursos hídricos essenciais e rotas de transporte para reforçar a posição regional do Brasil.

Além de seus impactos diretos na segurança energética e na política regional, a construção de Itaipu também teve consequências diplomáticas significativas. O projeto gerou tensões com a Argentina, que via a usina como uma ameaça ao equilíbrio geopolítico na região do Prata.

A construção de uma gigantesca usina binacional a 17 quilômetros da fronteira argentina e o risco de um completo alinhamento paraguaio à política brasileira, vistos por Buenos Aires como uma séria ameaça ao equilíbrio geopolítico platino, transformaram-se no pomo de discórdia da rivalidade entre ambos os países durante a década de 70. (Itaussu, 1996)

Este estudo visa examinar a relação entre a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu e a geopolítica brasileira, destacando como a usina contribuiu para a consolidação da liderança do Brasil na América do Sul. A investigação se concentra na estratégia golberyana de controle de recursos estratégicos e como essa abordagem moldou a política externa brasileira. A análise será realizada a partir de uma perspectiva histórica e geopolítica, utilizando uma variedade de fontes documentais e bibliográficas, incluindo documentos governamentais, relatórios da Comissão Mista Técnica Brasileiro-Paraguaia (1981), e literatura especializada.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Bacia do Prata

A Bacia do Prata é uma das regiões hidrográficas mais importantes da América do Sul, abrangendo uma vasta área de aproximadamente 3,5 milhões de km<sup>2</sup>, sendo a sexta maior bacia do mundo e a segunda da América Latina. É formada pelos rios Paraná, Paraguai e Uruguai e seus afluentes, que proporcionam 15 mil quilômetros de vias navegáveis e constituem a única saída natural para o mar à Bolívia e ao Paraguai. Engloba partes de cinco países: Brasil, Argentina, Paraguai, Bolívia e Uruguai. Buenos Aires, Montevideu, Assunção e Brasília, quatro capitais, têm seu território na Bacia. Em 1973, a região era habitada por cerca de 80 milhões de habitantes (Schilling, 1981).

É caracterizada por sua vasta diversidade geográfica e ambiental. Inclui áreas de planícies, especialmente nas partes mais baixas, como o Pantanal brasileiro, e

regiões montanhosas nos trechos mais altos, próximas aos Andes. Sua extensão também faz com que atravesse zonas climáticas variadas, desde áreas tropicais, no norte, até climas temperados e subtropicais, mais ao sul. É uma região economicamente vital, com sua rica base de recursos naturais, minerais, infraestrutura robusta, parques industriais e significativa produção agrícola e energética.

**Figura 1.** Mapa de localização da Bacia do Prata



Fonte: RIGeo (s.d)

## 2.2 Localização da Usina Hidrelétrica de Itaipú

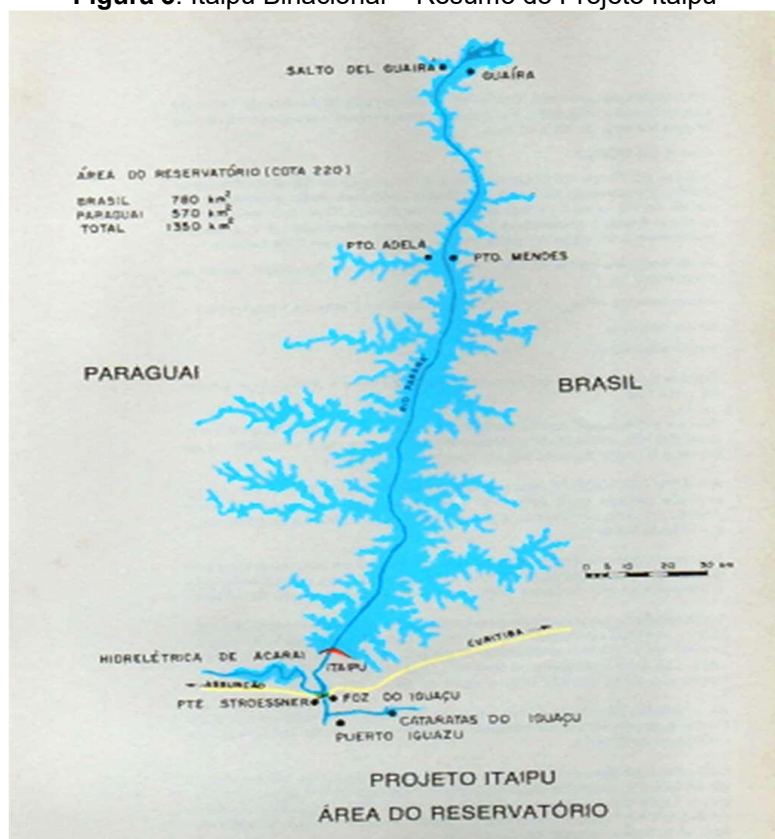
A escolha da localização da Usina Hidrelétrica de Itaipu foi resultado de uma combinação de fatores geográficos, técnicos, econômicos e geopolíticos. Alguns dos principais motivos que influenciaram a decisão incluem os tópicos a seguir as fig 2 e 3:

**Figura 2.** Mapa de localização de Usina



Fonte: ITAIPU (2015)

**Figura 3.** Itaipu Binacional – Resumo do Projeto Itaipu



Fonte: ITAIPU (2015)

## **2.2.1 Potencial Hidrelétrico do Rio Paraná**

O Rio Paraná, onde a usina foi construída, é o segundo maior da América do Sul e apresenta características geográficas que o tornam ideal para a geração de energia. A topografia do local, com quedas d'água significativas e um curso de água poderoso, oferece um enorme potencial hidrelétrico. A barragem de Itaipu foi projetada especificamente para aproveitar esse desnível natural.

## **2.2.2 Posição Geopolítica Estratégica**

A usina está localizada na fronteira Brasil-Paraguai, uma posição estratégica que reforçou a cooperação bilateral entre os dois países. A escolha do local foi também influenciada pelo desejo do Brasil de fortalecer sua presença e influência na América do Sul, promovendo a integração energética e assegurando a supremacia brasileira na região. O Tratado de Itaipu, assinado em 1973, consolidou essa parceria.

## **2.2.3 Demanda Energética do Brasil**

Nos anos 1970, o Brasil estava em plena expansão econômica - "Milagre Brasileiro" e precisava de fontes de energia confiáveis para sustentar seu crescimento industrial e urbano. A localização de Itaipu foi escolhida para atender à crescente demanda de eletricidade no país, especialmente nas regiões Sul e Sudeste, que já apresentavam desenvolvimento econômico acelerado.

## **2.2.4 Proximidade de Centros Consumidores**

A proximidade de Itaipu a grandes centros urbanos e industriais, como São Paulo e Rio de Janeiro, facilitou a distribuição de energia. Isso permitiu que a energia gerada pela usina pudesse ser transmitida com eficiência para áreas de alta demanda energética, consolidando o desenvolvimento industrial dessas regiões.

## **2.3 Contexto Histórico e Geopolítico da Construção de Itaipu**

A construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu deve ser compreendida dentro do contexto da ditadura militar brasileira e da doutrina de segurança nacional predominante entre as décadas de 1960 e 1980. Sob a liderança do general Golbery do Couto e Silva, o Brasil formulou uma estratégia geopolítica focada na projeção de poder regional e na segurança territorial, especialmente nas fronteiras sul- americanas (Birkner, 2002). A década de 1970 marcou uma fase de intensa busca por consolidar a liderança regional do Brasil, com a questão energética assumindo um papel central. A construção de Itaipu foi vista como uma solução para a crescente demanda energética

gerada pelo desenvolvimento industrial e como um meio de garantir influência sobre países vizinhos, como Paraguai e Argentina (Mello & Mello, 1980).

O projeto Itaipu – um “plano essencialmente político” - (no dizer do próprio ministro de Minas e Energia brasileiro) deve ser analisado dentro de um contexto mais amplo: dentro da estratégia dos geopolíticos da Escola Superior de Guerra de incorporar gradualmente ao Brasil as chamadas *áreas estratégicas*. A incorporação das mesmas seria necessária - segundo eles - para a própria segurança do regime político e do sistema social vigente no Brasil, e para garantir o futuro da *grande pátria*. (Schilling, 1981)

Golbery acreditava que o Brasil precisava se posicionar como a principal potência da América do Sul, e o controle sobre recursos naturais estratégicos era fundamental para essa ambição. A usina de Itaipu, como parte dessa estratégia, ofereceu ao Brasil a capacidade de projetar seu poder através da energia e assegurar sua presença nas negociações com os países vizinhos (Couto e Silva, 1981).

Do ponto de vista geopolítico a região apresenta a seguinte situação: dois países *grandes*, o Brasil e a Argentina, com tendências expansionistas não dissimuladas, e três *pequenos* países (geografia, demográfica ou economicamente *pequenos*): Uruguai, Bolívia e Paraguai. Estes dois últimos são países mediterrâneos, sem saída para o mar: os *prisioneiros geopolíticos*, para utilizar o vocabulário imperialista de nossos dias. (Schilling, 1981)

## 2.4 Itaipu como Ferramenta de Supremacia Energética

Inaugurada em 1984, Itaipu se destacou como a maior usina hidrelétrica do mundo por muitos anos e representou um dos maiores empreendimentos de infraestrutura do século XX. A parceria com o Paraguai, um país economicamente dependente, foi crucial para o sucesso do projeto, fornecendo ao Brasil uma vantagem diplomática e política significativa (Mello, 1996). A usina não apenas supriu parte substancial das necessidades energéticas do Brasil, mas também gerou um excedente de energia vendido ao Paraguai a preços favoráveis ao Brasil, o que gerou controvérsias e moldou as relações bilaterais ao longo dos anos (Comissão Mista Técnica Brasileiro-Paraguaia, 1981).

Itaipu também foi uma resposta ao projeto hidrelétrico binacional argentino-paraguaio de Yacyretá no mesmo Rio Paraná. A competição energética entre Brasil e Argentina ilustra a dinâmica de poder no Cone Sul, com Itaipu fortalecendo a posição do Brasil como líder regional e influenciando as relações de poder na América do Sul (Martin, 2018).

O governo Onganía se alarmou com a perspectiva de que o Brasil construísse, juntamente com o Paraguai, uma das maiores represas (quicá a maior) do mundo, para o aproveitamento de Sete Quedas, com a potência de quase 11.000 Mw, superior ao total da capacidade instalada em toda a Argentina, da ordem de 7.000 Mw.

Como avaliava o processo de industrialização, da qual a capacidade de geração de energia constituía fator fundamental, pelas implicações geopolíticas, seu temor foi de que a construção daquela hidrelétrica (cuja localização definitiva seria Itaipu, 13 km abaixo de Sete Quedas) transformasse a região de Foz do Iguaçu em um polo de desenvolvimento, que alteraria profundamente o equilíbrio econômico na Bacia do Prata, em contraposição aos interesses da Argentina. (Moniz Bandeira, 2010)

## 2.5 Itaipu como “bomba”

Em um mundo permeado pela tensão constante - Guerra Fria e regimes totalitários - fez surgir no alto comando argentino a possibilidade de utilização da represa de Itaipu como uma grandiosa bomba. Uma ruptura nos diques das hidrelétricas que represam o Rio Paraná, destacando os impactos ambientais severos que tal evento poderia ter na Bacia do Prata - embora os danos ao Paraguai e ao Brasil pudessem ser limitados devido à baixa densidade populacional nas áreas afetadas - traria consequências severas para Argentina e Uruguai. Ademais, localizados na embocadura do Prata, sofreriam com a contaminação das águas e com a proliferação de indústrias poluentes no Brasil, favorecidas pela energia das hidrelétricas.

Esse tipo de previsão estava enraizado nas preocupações geopolíticas e ambientais da época em que grandes projetos de infraestrutura, como Itaipu, eram vistos com ambivalência: enquanto representavam progresso econômico e energético para o Brasil, também levantavam alarmes sobre os riscos de degradação ambiental transnacional.

A eventual ruptura de um dos diques que já represam e vão represar – nos anos 80 – o Paraná (e que não causaria grandes danos no Paraguai e no Brasil, pois as regiões afetadas são praticamente desérticas, nem na Bolívia, que se encontra no curso superior do rio) poderia ter trágicas consequências para os dois países da embocadura do Prata. Seriam igualmente a Argentina e o Uruguai os grandes prejudicados pela contaminação das águas dos rios, pela instalação indiscriminada de indústrias “sujas” no Brasil, na região beneficiada pelas hidrelétricas. *O estuário do Prata poderia ser transformado numa enorme cloaca.* (Schilling, 1981)

## 2.6 A Geopolítica Golberyana e o Controle dos Recursos Naturais

A estratégia de Golbery do Couto e Silva enfatizava o controle sobre recursos naturais e regiões fronteiriças como um meio para garantir segurança nacional e projeção de poder (Schilling, 1981). A Bacia do Prata era vista como um recurso estratégico vital. Para Golbery, o controle de Itaipu não era apenas uma questão de desenvolvimento econômico, mas também uma questão de hegemonia regional. A construção da usina permitiu ao Brasil assegurar o domínio sobre uma das maiores

fontes de energia renovável da América do Sul, ampliando sua capacidade de negociação e influência sobre seus vizinhos (Birkner, 2002).

O Paraguai, ao se tornar parceiro na construção de Itaipu, entrou em uma posição de dependência energética em relação ao Brasil. A Argentina teve que ajustar sua estratégia para lidar com a nova realidade geopolítica imposta pela supremacia energética brasileira (Pereira, 1974). O controle sobre a água e energia conferido por Itaipu ilustrou a aplicação prática das ideias de Golbery sobre a importância de recursos estratégicos para a política externa brasileira.

O terceiro deles teve como cenário a Bacia do Prata, o Brasil como antagonista e a Bolívia, o Paraguai e o Uruguai como coadjuvantes. A rivalidade brasileiro-argentina dos anos 70 influiu no sentido de subverter o equilíbrio de forças entre estas potências regionais, que eram os pratos da balança platina. A realocação das forças em presença conduziu a um desfecho desfavorável à Argentina, que sofreu um decréscimo em sua projeção platina, ao mesmo tempo em que o Brasil acumulou um excedente de poder empregado para maximizar sua influência nos pequenos países contíguos. (Itaussu, 1996)

## 2.7 Redefinição das Rotas de Escoamento

A construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu e a sua integração na geopolítica brasileira não se limitam apenas ao domínio energético, mas também têm implicações significativas nas dinâmicas de transporte e comércio regional. Um aspecto crucial dessa configuração é a mudança nas rotas de escoamento das mercadorias da Bolívia e do Paraguai, e o impacto que isso teve sobre o Porto de Buenos Aires e o Porto de Paranaguá.

O curso natural Norte-Sul dos principais formadores da Bacia - os rios Paraguai, Paraná e Uruguai - subordinava os países mediterrâneos dependentes do sistema fluvial para suas comunicações externas - Bolívia e Paraguai - ao centripetismo do porto de Buenos Aires, situado no estuário platino. Em sua competição com a Argentina pela supremacia regional, era imperioso para o Brasil contrabalançar o fatalismo geográfico platino com uma estratégia de "ações neutralizantes" que substituísse o eixo natural Norte-Sul por um eixo rodo-ferroviário Oeste- Leste, conectando os países mediterrâneos à costa atlântica brasileira. A força concêntrica da bacia platina e a capitalidade do terminal de buenairense seriam neutralizadas artificialmente por essa malha viária transversal destinada a ligar a Bolívia e o Paraguai aos portos de Santos e Paranaguá. (Itaussu, 1996)

Historicamente, o Porto de Buenos Aires foi um ponto estratégico para o escoamento de mercadorias da Bolívia e do Paraguai. A Argentina utilizava seu porto principal para exportar produtos dessas nações para mercados internacionais, especialmente para a Europa. No entanto, a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu alterou drasticamente essa dinâmica. A partir da década de 1980, com a plena operação de Itaipu e a subsequente supremacia energética e política do Brasil na

região, houve uma redefinição das rotas de transporte. O Brasil começou a expandir sua influência econômica e estratégica sobre os países vizinhos, criando um ambiente que favoreceu a utilização de portos brasileiros, como o Porto de Paranaguá, para escoamento das mercadorias paraguaias e bolivianas. O Porto de Buenos Aires, que havia sido um hub central para a exportação, viu uma diminuição em seu papel estratégico. O domínio brasileiro sobre a energia e a infraestrutura de transporte na região proporcionou uma alternativa mais eficiente e econômica para o Paraguai e a Bolívia, reduzindo a dependência do porto argentino.

Essa mudança não foi apenas uma questão de eficiência logística, mas também um reflexo da estratégia geopolítica golberyana. O Brasil, ao promover o uso de seus portos e infraestrutura, consolidou sua posição como o principal ator regional e ampliou sua influência econômica sobre os vizinhos. O enfraquecimento da posição argentina no contexto das rotas de escoamento refletiu a capacidade do Brasil de moldar as dinâmicas regionais de acordo com seus interesses estratégicos.

A ascensão do Porto de Paranaguá como um ponto chave para o escoamento das mercadorias do Paraguai e da Bolívia é um exemplo claro de como a infraestrutura energética e a geopolítica se entrelaçam. O Porto de Paranaguá, localizado no estado do Paraná, Brasil, tornou-se um ponto estratégico para o escoamento das mercadorias paraguaias e bolivianas devido à sua localização geográfica e à capacidade de infraestrutura. A proximidade com o interior da América do Sul, combinada com a melhoria das rodovias e ferrovias que conectam a região ao porto, ofereceu uma alternativa vantajosa ao Porto de Buenos Aires. A usina de Itaipu facilitou ainda mais a utilização do Porto de Paranaguá ao garantir uma fonte estável e confiável de energia para as operações logísticas e industriais na região. Além disso, a integração de novas rotas de transporte e a expansão das capacidades portuárias contribuíram para a competitividade do Porto de Paranaguá no cenário regional.

A utilização do Porto de Paranaguá pelos países vizinhos não só otimizou o processo logístico, mas também intensificou a integração econômica entre o Brasil, o Paraguai e a Bolívia. O controle brasileiro sobre o fluxo de mercadorias e energia fortaleceu a posição do Brasil como um polo de desenvolvimento econômico regional. Essa mudança estratégica permitiu ao Brasil exercer uma influência direta sobre o comércio e as economias de seus vizinhos, refletindo os objetivos da doutrina golberyana. A transformação das rotas de escoamento e a ascensão do Porto de Paranaguá como um *hub* regional representam uma faceta importante da estratégia geopolítica brasileira. O Brasil, ao redirecionar o comércio regional para seus próprios portos e ao dominar a produção e distribuição de energia por meio de Itaipu, consolidou sua liderança e expandiu sua influência na América do Sul.

## 2.8 Consequências para a Hegemonia Regional Brasileira

A conclusão de Itaipu consolidou a hegemonia do Brasil no Cone Sul, servindo como um símbolo de poder e cooperação regional, além de uma ferramenta para manter a influência sobre o Paraguai e limitar a ascensão da Argentina (Mello, 2006). O projeto teve implicações significativas para a política externa brasileira, oferecendo ao Brasil prestígio internacional e destacando a usina como exemplo de cooperação sul-sul, apesar das tensões bilaterais (Moniz Bandeira, 2010).

O controle energético proporcionado por Itaipu também fortaleceu a capacidade do Brasil de manter um desenvolvimento autossuficiente e menos dependente de influências externas. No entanto, a relação com o Paraguai permaneceu delicada, com disputas sobre a venda da energia excedente e as condições do tratado de Itaipu, que foram renegociadas ao longo das décadas (Comissão Mista Técnica Brasileiro-Paraguaia, 1981). Para o Brasil, o controle de Itaipu foi visto como crucial para sua estratégia de longo prazo no Cone Sul (Golbery, 1981).

## 2.9 Reflexões sobre a Geopolítica Energética e a Supremacia Brasileira

A Usina Hidrelétrica de Itaipu é uma peça central na geopolítica sul-americana, exemplificando como grandes projetos de infraestrutura podem ser utilizados para a projeção de poder e a consolidação de hegemonia regional. A doutrina de Golbery, que via o controle de recursos estratégicos como essencial para a segurança nacional e a influência regional, encontrou em Itaipu uma das suas realizações mais evidentes (Birkner, 2002). O Brasil, ao assegurar a construção de Itaipu, consolidou sua posição de liderança no Cone Sul, controlando tanto o fluxo de energia quanto as relações políticas com seus vizinhos, especialmente o Paraguai. O impacto desse projeto reflete como a supremacia energética pode influenciar as dinâmicas de poder e hegemonia na região, destacando a importância de Itaipu na geopolítica sul-americana (Mello, 2006; Martin, 2018).

A construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu e a sua integração na geopolítica brasileira tiveram impactos profundos nas rotas de escoamento e na dinâmica de poder regional. A quebra da rota de escoamento do Porto de Buenos Aires e a utilização crescente do Porto de Paranaguá refletem não apenas mudanças logísticas, mas também a efetividade da estratégia golberyana em promover a supremacia brasileira na América do Sul. A influência brasileira sobre a infraestrutura e o comércio regional demonstra como grandes projetos de infraestrutura podem ser utilizados para consolidar o poder e a liderança geopolítica.

### 3. METODOLOGIA

A pesquisa foi estruturada por meio de uma revisão bibliográfica sistemática das principais obras sobre Itaipu e a geopolítica brasileira, como as de Couto e Silva (1981) e Moniz Bandeira (2010). Os dados foram analisados em comparação com tratados e relatórios técnicos, como o Tratado de Itaipu (1973) e os documentos da Comissão Mista Técnico Brasileiro-Paraguaia (1981), oferecendo uma visão detalhada do impacto da usina na política externa e energética do Brasil. Para a análise dos dados coletados, utilizou-se: tabelas comparativas entre Itaipu e outras usinas, como Yacyretá, para discutir a supremacia energética, bem como análises estatísticas sobre a produção e consumo de energia para entender o papel estratégico de Itaipu no cenário sul-americano.

Ainda nisso, como critérios de inclusão utilizaram-se Fontes primárias como tratados, documentos oficiais e relatórios técnicos, especialmente os relacionados ao Tratado de Itaipu e análises geopolíticas. Livros e referências bibliográficas de artigos científicos relevantes, como aqueles registrados nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico e Plataforma Sucupira, com avaliação positiva (preferencialmente com QUALIS bem estabelecido) e no período de análise, ou seja, de 1973 a 1984, bem como análise documental de autores que tratam da geopolítica sul-americana, com foco nas relações Brasil-Argentina, conforme exemplificado pelos trabalhos de Moniz Bandeira, Couto e Silva, Leonel Itaussu e Pereira. Não obstante, como critérios de exclusão, pontuaram-se trabalhos que não mencionem explicitamente Itaipu ou a geopolítica da Bacia do Prata, além de materiais sem comprovação acadêmica ou que não possuam avaliação de qualidade nas plataformas citadas.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados da pesquisa sobre a Usina Hidrelétrica de Itaipu e sua influência na geopolítica brasileira, destacando a interpretação e discussão dos dados coletados. A análise dos dados revela como a construção de Itaipu foi um elemento crucial para a consolidação da supremacia do Brasil na América do Sul durante a segunda metade do século XX. A seguir, os principais resultados obtidos são detalhados:

#### 4.1 Supremacia Energética Brasileira

Os dados sobre a capacidade de geração de energia de Itaipu mostram seu papel predominante na matriz energética da região. Com uma capacidade instalada de 12.000 MW e uma produção anual de aproximadamente 75 milhões de MWh, Itaipu

responde por cerca de 15% da energia consumida no Brasil e quase 90% da energia utilizada no Paraguai. Esta dependência energética consolidou o Brasil como o principal ator na dinâmica energética do Cone Sul.

## 4.2 Influência Política e Diplomática no Paraguai

A análise dos tratados e renegociações ao longo dos anos evidencia a dependência política do Paraguai em relação ao Brasil. O Tratado de Itaipu de 1973 estabeleceu condições que favoreceram o Brasil na compra do excedente energético paraguaio, resultando em uma posição de domínio que perdurou até a renegociação de 2009, quando o Paraguai conquistou condições mais favoráveis para a venda de sua energia excedente. Esse dado reflete o sucesso da estratégia golberyana de subordinação econômica e política dos países vizinhos através do controle de recursos energéticos. O Brasil garantiu sua posição dominante ao controlar a distribuição e os preços da energia, resultando em uma influência significativa sobre as decisões do governo paraguaio.

## 4.3 Competição com a Argentina e Neutralização de Yacyretá

O impacto de Itaipu na geopolítica sul-americana também é visível na competição com a Argentina. A conclusão de Itaipu antes de Yacyretá forçou a Argentina a adaptar suas estratégias energéticas e diplomáticas. Dados históricos demonstram que, apesar da conclusão de Yacyretá em 1994, a usina nunca conseguiu igualar a relevância de Itaipu no cenário regional. Esta supremacia energética enfraqueceu a posição da Argentina como rival potencial no Cone Sul, limitando sua capacidade de competir por influência regional. A diplomacia argentina foi frequentemente forçada a alinhar-se ou buscar novas formas de cooperação com o Brasil devido à superioridade energética e econômica de Itaipu. A tabela a seguir compara a capacidade de geração de Itaipu com a da Usina de Yacyretá, na fronteira Argentina-Paraguai, ilustrando a vantagem estratégica do Brasil:

**Tabela 1.** Capacidade energética interusinas: Itaipú e Yacyretá

| Usina    | Capacidade Instalada | Produção Anual (MWh) | Participação no consumo Nacional |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------------------|
| Itaipu   | 12.000               | 75 milhões           | 15% Brasil, 90% Paraguai         |
| Yacyretá | 3.200                | 19 milhões           | 22% Argentina                    |

Fonte: Própria autoria (2024)

## 4.4 Impacto na Geopolítica Regional e Internacional

A análise dos documentos de política externa e relatórios diplomáticos revela que Itaipu transcendeu seu papel como projeto energético, tornando-se uma

ferramenta de projeção de poder geopolítico. O Brasil utilizou a usina para fortalecer sua posição em fóruns internacionais, destacando-se como uma potência energética emergente. O sucesso do projeto e sua importância no Mercosul consolidaram o Brasil como líder natural da América do Sul, capaz de influenciar políticas regionais e decisões estratégicas. Além disso, a construção de Itaipu reduziu a necessidade de intervenção externa, especialmente dos Estados Unidos, historicamente influentes na região. Com a independência energética assegurada, o Brasil pôde seguir uma trajetória de desenvolvimento autônoma, alinhada com os interesses geopolíticos da doutrina golberyana.

#### **4.5 Relevância para o Desenvolvimento Regional**

Os resultados também indicam que Itaipu contribuiu para o desenvolvimento econômico e social na região da tríplice fronteira (Brasil, Paraguai e Argentina). A construção da usina gerou empregos, impulsionou a infraestrutura e promoveu a integração econômica entre os três países. Projetos de infraestrutura, como estradas e pontes, facilitaram a integração física e comercial. Além disso, as receitas geradas pela usina fomentaram investimentos em educação e saúde no Paraguai, embora esses benefícios tenham sido limitados pelo controle brasileiro sobre as finanças do projeto. Esses resultados destacam o papel central da Usina Hidrelétrica de Itaipu na geopolítica sul-americana e na afirmação da supremacia brasileira no Cone Sul. A estratégia golberyana, que focava no controle de recursos naturais, foi bem-sucedida ao transformar Itaipu em um símbolo de poder e hegemonia regional. O impacto de Itaipu nas políticas energéticas e diplomáticas do Brasil continua a ser significativo na configuração das relações internacionais e regionais na América do Sul.

A Usina Hidrelétrica de Itaipu desempenhou um papel crucial na consolidação da supremacia energética e geopolítica do Brasil na América do Sul. Ao longo do processo de análise, alguns resultados relevantes emergiram, contribuindo para a compreensão do impacto da usina sob uma perspectiva golberyana, que associa o desenvolvimento de infraestrutura energética ao fortalecimento da liderança brasileira na região. Por fim, os resultados reforçam o papel de Itaipu como um instrumento de projeção de poder na América do Sul. A doutrina geopolítica de Golbery, que enfatizava a importância do controle de recursos estratégicos para assegurar a liderança brasileira, encontrou em Itaipu um exemplo paradigmático. A usina não apenas forneceu a energia necessária para o desenvolvimento industrial brasileiro, mas também serviu como base para a construção de uma política externa centrada na influência econômica e diplomática, consolidando o Brasil como o principal ator regional. Os dados sobre a competição com a Argentina destacam a capacidade do

Brasil de se antecipar às movimentações geopolíticas de seus vizinhos, consolidando sua posição dominante. A discussão também revela como a dependência energética paraguaia criou uma assimetria nas relações diplomáticas entre os dois países, algo que só foi mitigado parcialmente com a renegociação do tratado em 2009.

Por fim, a relevância de Itaipu no desenvolvimento regional ilustra a capacidade do Brasil de utilizar grandes projetos de infraestrutura para promover o desenvolvimento não apenas interno, mas também em seus vizinhos, embora com certo controle sobre a extensão desses benefícios. Em síntese, os resultados indicam que a Usina Hidrelétrica de Itaipu foi fundamental na estratégia golberyana de consolidar a supremacia brasileira na América do Sul, não apenas do ponto de vista energético, mas também como um elemento de projeção de poder geopolítico.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo objetivou analisar a importância da Usina Hidrelétrica de Itaipu no contexto da geopolítica brasileira, particularmente à luz da doutrina golberyana, e sua contribuição para a afirmação da supremacia do Brasil na América do Sul. Os resultados evidenciam que Itaipu desempenhou um papel crucial na projeção do poder regional do Brasil, afetando profundamente as esferas energética, diplomática e política. A comparação entre os objetivos originais e os resultados alcançados revela que Itaipu não apenas assegurou a autossuficiência energética do Brasil, mas também se configurou como um elemento estratégico na política externa. A usina reforçou as relações de dependência com o Paraguai e atuou para neutralizar a influência argentina no Cone Sul. Ao dominar a produção e a distribuição de energia através de Itaipu, o Brasil consolidou sua posição de liderança regional, alinhando-se à estratégia geopolítica idealizada por Golbery. Em paralelo, o estudo contribui significativamente para a compreensão de como grandes projetos de infraestrutura, como Itaipu, podem ser utilizados como ferramentas de política externa e de poder geopolítico. Revela também a influência da doutrina golberyana no planejamento estratégico do Brasil durante o período militar, demonstrando que Itaipu foi um pilar essencial da hegemonia brasileira no Cone Sul.

A análise da competição energética com a Argentina, especialmente com o projeto hidrelétrico de Yacyretá, destaca a superioridade de Itaipu e reforça o papel do Brasil como a principal potência da América do Sul. Este confronto limitou as capacidades de rivalidade política e energética dos vizinhos, confirmando a liderança brasileira na região. Entre os pontos fortes deste estudo, destaca-se a análise geopolítica detalhada que conecta a construção de Itaipu às políticas de controle de recursos estratégicos, rotas de escoamento e à projeção de poder regional. A

abordagem histórica, apoiada em dados sobre a produção energética e documentos diplomáticos oferecem uma visão abrangente e contextualizada da importância de Itaipu. Por outro lado, um ponto fraco é a limitação de fontes primárias relacionadas às negociações diplomáticas e comerciais entre Brasil e Paraguai, que carecem de maior transparência e documentação pública, uma vez que a região era governada por ditaduras militares. Além disso, a análise dos impactos sociais em nível local poderia ser mais aprofundada, considerando as implicações para as comunidades ribeirinhas afetadas pela construção da usina.

Em suma, a Usina Hidrelétrica de Itaipu se mantém exemplo paradigmático de como projetos de infraestrutura podem transcender seus propósitos originais para se tornarem instrumentos de poder e influência no cenário internacional. O estudo de Itaipu oferece lições valiosas sobre a interseção entre energia, política externa e estratégia geopolítica, moldando as relações do Brasil com seus vizinhos e com o mundo. As análises geopolíticas do Brasil, especialmente a partir do pensamento de Golbery do Couto e Silva, revelam uma série de teorias expansionistas que colocam o país como protagonista nas dinâmicas de poder da América do Sul. As ambições brasileiras, de controle e influência em diversas regiões estratégicas, demonstram planos geopolíticos complexos e arrojados. Entre essas teorias, destacam-se a ideia das fronteiras ideológicas, a Força Interamericana de Paz, o papel de *gendarme* na ordem continental, o “satélite privilegiado”, e o “destino manifesto” ao sul do Caribe. O Brasil, conforme essas visões, busca não apenas consolidar sua supremacia regional, mas também expandir suas fronteiras de influência, visualizando os Andes como um limite natural e ampliando suas conexões para o Pacífico e o Caribe, ao mesmo tempo em que controla o Atlântico Sul e estabelece presença na Antártida.

Esse conjunto de teorias evidencia um país com uma clara vocação expansionista e de liderança regional, fundamentada tanto em questões de segurança como em ambições econômicas e políticas. A integração com países lusófonos da África também surge como um ponto estratégico, reforçando a ideia de uma hegemonia ampliada e multifacetada, que extrapola o continente sul-americano.

## REFERÊNCIAS

BIRKNER, W. M. K. **O realismo de Golbery: segurança nacional e desenvolvimento global no pensamento de Golbery do Couto e Silva**. 1ª Edição. Canoinhas, SC: Editora da Univali, 2002.

Comissão Mista Técnica Brasileiro-Paraguaia. **Resumo do Projeto Itaipu**, 1981.

SILVA, G. C. **Conjuntura política nacional – o poder executivo & geopolítica do Brasil**. 3ª edição. Rio de Janeiro, RJ: José Olympio, 1981.

MARTIN, A. R. **Brasil, geopolítica e poder mundial: o anti-Golbery**. 1ª edição. São Paulo, SP: Hucitec Editora, 2018.

MELLO, A; MELLO, N. R. **O Brasil e a Bacia do Prata**. 1ª Edição. São Paulo, SP: Instituto Histórico e Geográfico de São Paulo, 1980.

MELLO, L. I. A. **Argentina e Brasil: a balança de poder no Cone Sul**. 1ª Edição. São Paulo, SP: Annablume, 1996.

BANDEIRA, L. A. V. M. **Brasil, Argentina e Estados Unidos: conflitos e integração na América do Sul (Da Tríplice Aliança ao Mercosul)**. 3ª Edição. Rio de Janeiro, RJ: Civilização Brasileira, 2010.

BANDEIRA, L. A. V. M. **O eixo Argentina-Brasil: o processo de integração da América Latina**. 1ª Edição. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 1987.

PEREIRA, O. D. **Itaipu - prós e contras: ensaio sobre a localização, no Brasil, da maior barragem do mundo e suas implicações em nossa política continental**. 1ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra, 1974.

SCHILLING, P. R. **O expansionismo brasileiro: a geopolítica do General Golbery e a Diplomacia do Itamarati**. 1ª edição. São Paulo, SP: Global, 1981.  
**TRATADO DE ITAIPU**. Disponível em:  
<<https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/u13/tratadoitaipu.pdf>> Acesso em: set. 2024.

# PROPOSTA DE APLICAÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DA CIÊNCIA DE DADOS NO APERFEIÇOAMENTO DA GESTÃO DA EDUCAÇÃO PÚBLICA

Tiago Marafante Lins de Souza<sup>1</sup>

Leonardo Moraes Armesto<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este estudo investiga a aplicação da Inteligência Artificial (IA) e da Ciência de Dados (CdD) no campo da gestão da educação pública. O objetivo da pesquisa foi identificar e propor aplicações da IA e da CdD no aperfeiçoamento dessa gestão. Por meio de revisão bibliográfica, análise documental e pesquisa exploratória, foram identificadas e propostas aplicações para aprimorar a tomada de decisões na gestão educacional e otimizar processos. A pesquisa resultou na proposta de um conjunto de 138 aplicações com potencial de beneficiar 16 perfis de atores do setor educacional, desde alunos e professores até gestores e a sociedade em geral, abrangendo, ainda, um diversificado espectro de políticas públicas da educação básica e superior e ampliando o conhecimento neste campo de estudo. Concluiu-se que a IA e a CdD possuem amplo potencial de contribuir para o aprimoramento e a transformação digital da administração pública educacional e para a indução da melhoria da qualidade da educação pública no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inteligência artificial. Ciência de dados. Aplicações. Gestão. Educação pública.

**ABSTRACT:** This study investigates the application of Artificial Intelligence (AI) and Data Science (DS) in the field of public education management. The objective of the research was to identify and propose applications of AI and DS to improve this management. Through a literature review, document analysis, and exploratory research, applications were identified and proposed to improve decision-making in educational management and optimize processes. The research resulted in the proposal of a set of 138 applications with the potential to benefit 16 profiles of actors in the educational sector, from students and teachers to managers and society in general, also covering a diverse spectrum of public policies for basic and higher education and expanding knowledge in this field of study. It was concluded that AI and DS have broad potential to contribute to the improvement and digital transformation of public educational administration and to inducing improvements in the quality of public education in Brazil.

**KEY WORDS:** Artificial intelligence. Data science. Applications. Management. Public education.

## 1 INTRODUÇÃO

O TCU (Tribunal de Contas da União) detectou que a educação pública brasileira enfrenta flagrantes desigualdades educacionais, percebidas entre alunos, escolas, redes e sistemas de ensino ao longo do país, o que consta no Acórdão 1222/2023-TCU-Plenário do Quinto Acompanhamento anual do Plano

<sup>1</sup>Pós-graduado em Gestão Pública. E-mail: tiagolins2312@gmail.com.

<sup>2</sup>Orientador: Doutor e Mestre em Engenharia, Multigraduado, Multiespecialista e Coordenador Pedagógico de Pós-Graduação e Pesquisa. Orientador e Professor de Trabalhos de Curso. E-mail: leonardo.armesto@faculdadefocus.com.br.

Nacional da Educação (2014-2024). Esse trabalho do TCU abordou também a necessidade de melhoria da qualidade do ensino e aprendizagem e do financiamento público, o que requer eficiência na aplicação dos recursos públicos em educação. Para administrar esse cenário desafiador, destaca-se um ator central que é a gestão pública da educação. Por outro lado, segundo Russell e Norvig (2013), Provost e Fawcett (2016) e Amaral (2016), avanços em Inteligência Artificial (IA) e em Ciência de Dados (CdD) surgem como uma alternativa para contribuir com o aprimoramento dessa gestão. Nesse contexto, justifica-se a oportunidade de investigação científica que culmine na proposta de aplicações da IA e da CdD no aperfeiçoamento da gestão da educação pública, representada na seguinte pergunta a ser respondida por este estudo: De que forma a Inteligência Artificial e a Ciência de Dados podem ser aplicadas, segundo a visão de Auditor Federal de Controle Externo, para contribuir com o aperfeiçoamento da Gestão da Educação Pública?

A educação básica pública em 2023 envolveu 47 milhões de matrículas, 2 milhões docentes e 178 mil estabelecimentos de ensino e, na educação pública superior, em 2022 foram registradas 9,4 milhões de matrículas, 316.792 docentes e 2.595 estabelecimentos de ensino. Esse grande número de atores, com múltiplas interações potenciais, caracteriza parte da complexidade do objeto deste estudo. Ao mesmo tempo, ressalta-se a restrição de que este estudo não pode considerar a maioria das particularidades de cada ator na elaboração das aplicações propostas nesta pesquisa, que foram desenvolvidas de forma mais geral, ainda que detalhadas para diferentes perfis de atores.

Abordar essa rede com seus milhares de dimensões e interações seria complexo em excesso, razão pela qual esta pesquisa foca em atores como o MEC, por sua competência como coordenador da política de educação nacionalmente, e as secretarias municipais, distritais e estaduais de educação. Além disso, a relevância deste estudo se constata pelo fato da Gestão da Educação Pública envolver volumosos recursos públicos (R\$165,04 bilhões), orçamento da educação pública, verificado no Portal da Transparência em março de 2025.

Do ponto de vista prático e da viabilidade, a IA e a CdD deixou de ser uma tendência para se tornar uma realidade potencial em diversos setores, e a educação pública e sua gestão, idealmente, não podem ficar para trás, em especial considerando iniciativas, algumas já em andamento, em que o MEC fornece soluções para as redes de educação municipal, estadual e distrital. Diante

desse quadro, este trabalho se propõe a explorar o potencial dessas tecnologias para impulsionar o aprimoramento da gestão da educação pública. Porém, há lacuna de estudos que abordem esse relevante problema com olhar inovador que combine conhecimentos de Controle Externo, IA, CdD, Administração Pública, Educação Pública, Transformação Digital e TIC com o propósito de contribuir com o aprimoramento da Gestão Pública da Educação.

A motivação e a abordagem desta pesquisa se baseiam na experiência profissional do autor como Auditor Federal de Controle Externo que atua com CdD e IA com o propósito de aperfeiçoar a gestão da educação pública e no interesse do autor em contribuir para a melhoria da educação pública no Brasil. Destaca-se que a opinião do autor é individual e não reflete a visão do TCU que se manifesta por Acórdãos. Este artigo, no âmbito do curso de Pós-Graduação em Business Intelligence, Big Data e Inteligência Artificial, tem o objetivo de analisar criticamente o tema de aplicações da IA e da CdD no aperfeiçoamento da Gestão da Educação Pública, investigando seus limites, alcances metodológicos e perspectivas de continuidade.

A escolha deste tema se justifica tanto por sua relevância intelectual quanto por seu potencial de contribuir significativamente na administração pública, no controle externo, na comunidade educacional e na sociedade. Do ponto de vista acadêmico, a área de IA e CdD tem experimentado um crescimento nos últimos anos, com um vasto campo de pesquisa a ser explorado. A aplicação dessas tecnologias na gestão da educação pública, em particular, representa um desafio complexo e multifacetado, que exige uma abordagem interdisciplinar e inovadora. O impacto das aplicações propostas tem o potencial de otimizar decisões e recursos.

Para alcançar isso, este estudo tem como objetivo principal propor aplicações da IA e da CdD no aperfeiçoamento da Gestão da Educação Pública. Já o objetivo secundário é analisar benefícios das aplicações propostas para diferentes perfis de beneficiários potenciais, com foco em gestores da educação pública no MEC e em municípios, estados e distrito federal. Essa análise será realizada com base nas fundamentações do estudo combinada com linguagem simples. Sua importância é trazer maior facilidade de compreensão de cada aplicação por leitores do artigo, ainda que leigos.

Também, induzir maior clareza e engajamento ao ilustrar situações onde é possível usar cada aplicação proposta, para inspirar o aperfeiçoamento da administração pública na educação. A fim de explorar o tema, optou-se por uma

metodologia qualitativa, descritiva e exploratória, considerada adequada para a natureza do estudo e para o cumprimento dos objetivos propostos, em contexto de TCC de pós-graduação.

Assim, esta pesquisa combina revisão bibliográfica de autores pertinentes como Russell e Norvig (2013), Provost e Fawcett (2016) e Amaral (2016), e publicações como a MIT Technology Review (2023), cujas obras fundamentais em IAe em CdD forneceram a base teórica para o estudo. Ainda, esta pesquisa realizou análise documental de guias de boas práticas de gestão da Associação dos tribunais de contas - Atricon, documentos de 7 seminários Internacionais de Análise de Dados na Administração Pública, workshop sobre inovação com CdD e IA na educação, Acórdão do TCU, Plano de Transformação Digital de órgão público federal, Lei e a Estratégia Nacional de Governo Digital, entre outros. Além disso, este trabalho fez pesquisa exploratória com participação no desenvolvimento de uma das aplicações propostas, para refletir sobre a prática e aprimorar o conhecimento, o que contribuiu para a construção de conclusões mais robustas.

Espera-se que o estudo contribua ao aprimoramento da gestão da educação pública nacionalmente, promovendo eficiência, efetividade, eficácia das políticas públicas educacionais, transparência, transformação digital, avanços, boa e regular gestão da educação pública com potenciais de induzir a melhorada educação no país e subsídios para futuras pesquisas.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Fundamentação teórica**

Conceitos fundamentais da pesquisa são Inteligência Artificial (IA), Ciência de Dados (CdD) e suas aplicações no campo da gestão pública da educação. Este estudo se alinha com o entendimento de Jon Mackart, da Universidade de Stanford, que se concentra em ética e segurança em IA e argumenta que, à medida que a IA se torna mais poderosa, é crucial garantir que ela seja desenvolvida e utilizada de forma responsável, alinhada com os valores humanos e sociais. Segundo McKinsey & Company (2024), IA é a capacidade de uma máquina executar algumas funções cognitivas que normalmente associamos às mentes humanas. Já para Data Science Dojo (2022), IA é entendida como tecnologia para máquinas entenderem/interpretarem, aprenderem e tomarem decisões inteligentes e inclui aprendizado de máquina entre muitos outros campos. Já a CdD, ainda segundo Data Science Dojo (2022), é campo de estudar e processar grandes

quantidades de dados usando variedade de tecnologias e técnicas a detectar padrões, tirar conclusões e auxiliar no processo de tomada de decisão.

A gestão pública da educação, para Libâneo (2014), é um processo que envolve a articulação de diferentes dimensões (política, pedagógica, administrativa) com o objetivo de garantir o direito a uma educação de qualidade para todos. Pontua-se que a IA faz parte da Ciência de Dados e que ambas podem ser aplicadas para aperfeiçoamento da Gestão Pública. A obra "Inteligência Artificial: Uma Abordagem Moderna" de Stuart Russell e Peter Norvig oferece uma vasta gama de conceitos e técnicas de IA.

Entrando no campo da IA e da CdD em governo, sua aplicação na auditoria interna, como discutido na Revista da CGU (2020), demonstra o uso a otimizar processos da administração pública. Tal abordagem pode ser adaptada para a educação, permitindo a otimização da alocação de recursos.

Seguindo essa linha de raciocínio, conceitos apresentados por Amaral (2016) indicam coleta e análise de grandes volumes de dados educacionais que permitem auxiliar a tomada de decisões mais eficientes. Mineração de dados pode revelar informações sobre o desempenho, identificar fatores que influenciam e auxiliar na criação de programas educacionais mais personalizados e eficazes.

Provost e Fawcett (2016) destacam a importância da aplicação de princípios de CdD no contexto de negócios, que se alinha com as propostas desta pesquisa. A utilização de modelos preditivos e técnicas de mineração de dados, conforme discutido pelos autores pode auxiliar na antecipação de soluções eficazes, contribuindo com educação mais eficiente e equitativa.

Em raciocínio por analogia ao de empresas que tomam decisões baseadas em dados e experimentam um crescimento anual de mais de 30%, segundo MIT Technology Review (2023), entende-se que a CdD permite que gestores educacionais tomem decisões para melhorar indicadores como IDEB e PISA.

Engin e Treleaven (2019) discutem o conceito de "governo algorítmico", onde a automação de serviços públicos e o suporte a servidores através de tecnologias de ciência de dados são explorados. Essa perspectiva é diretamente aplicável a esta pesquisa em que a IA pode automatizar tarefas administrativas, personalizar o aprendizado e fornecer insights para gestão educacional mais eficazes. Reis e Carvalho (2022) exploram a intersecção entre CdD e Ciência da Informação. Esta contribui com métodos e técnicas para a gestão e organização da informação, enquanto a CdD fornece ferramentas para a análise e interpretação e geração de insights em grandes volumes de dados. A aplicação

conjunta desses conhecimentos pode auxiliar na criação de sistemas de informação eficientes, na análise de dados educacionais complexos e na promoção de uma gestão educacional mais transparente e orientada por evidências. Hutter, Kotthoff e Vanschoren (2019) fornece visão dos métodos de aprendizado de máquina automatizados (AutoML). Além disso, 'explora técnicas de Auto ML para automatizar o processo desde a seleção de modelos até a otimização de hiperparâmetros', possibilitando uso na descoberta de desigualdade educacional. Van Leersum e Maathuis (2025) abordou decisões em saúde com IA explicável. *Explainable AI* (XAI) é área de pesquisa em IA que visa tornar os sistemas mais transparentes e compreensíveis. Isso inspirou esta pesquisa a propor aplicação similar, adaptada à educação. Nesta pesquisa o autor se baseou nas fundamentações teóricas e em análise crítica de conhecimentos obtidos na análise documental, combinadas com sua visão de auditor federal de controle externo há 10 anos aplicando CdD, e as interpretou para sintetizar aplicações na gestão pública da educação.

## 2.2 Procedimentos metodológicos realizados

A partir da fundamentação teórica, foi aplicada análise documental e pesquisa exploratória para embasar a proposta desta pesquisa. Na análise documental foram consideradas a Constituição Federal de 1988 (CF/88), Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), a Lei do Plano Nacional de Educação (PNE), a Lei e a Estratégia Nacional de Governo Digital, o Plano de Transformação Digital do MEC, Acórdão 2487/2022-TCU-Plenário, o site e o ebook de BOAS PRÁTICAS DOS TRIBUNAIS DE CONTAS da Atricon, documentos de sete Seminários Internacionais de Análise de Dados na Administração Pública, e um workshop realizado pelo FNDE sobre “Inovação no FNDE com Ciência de Dados e Inteligência Artificial”, o Modelo de Maturidade de Dados (MMD) da Administração Pública Federal (APF), Guia de uso de IA generativa no TCU, e a Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial - EBIA.

A CF/88 estabelece a educação como um direito de todos e um dever do Estado. A LDB define a gestão democrática do ensino como princípio fundamental. O PNE estabelece metas e estratégias para a melhoria da qualidade da educação. Aplicações propostas promovem decisões que melhorem o acesso, a permanência, a aprendizagem, a qualidade da educação, a gestão democrática, a análise de dados, a personalização do ensino e a otimização da gestão educacional. A Lei de Governo Digital foi importante para evidenciar que a gestão de políticas públicas da educação deve ser realizada com base em dados e em

evidências, razão pela qual esta pesquisa catalogou aplicações que consideram mandamentos dessa lei. Já a Estratégia Nacional de Governo Digital (ENGD) serviu de base para a aplicação “Qualificar a oferta de serviços educacionais com interoperabilidade e personalização”. O levantamento de IA do TCU, que teve objetivo de avaliar a utilização de IA na administração pública federal, foi importante por alertar ao cenário de adoção incipiente de IA e motivar este estudo a elevar as aplicações propostas.

A EBIA foi importante para embasar a aplicação do “Programa de Inovação Educação Conectada”. O Plano de Transformação Digital do MEC foi importante, pois embasou 3 aplicações propostas no estudo, extraídas com apoio da técnica de RAG (Retrieval-Augmented Generation) e uso da tecnologia de IA de nome Chat TCU.

O Acórdão 2487/2022-TCU-Plenário foi importante, pois embasou 30 aplicações. O documento “Boas práticas dos Tribunais de Contas” da Atricon foi importante para robustecer a visão de controle externo em estados, distrito federal e municípios no trabalho, além de embasar diretamente a escolha de 3 aplicações e apoiar a análise crítica de outras aplicações propostas. A análise do MMD foi importante ao permitir identificação de um conjunto de aplicações relacionadas ao MMD.

Foi aplicada técnica de análise de conteúdo do workshop realizado pelo FNDE sobre “Inovação no FNDE com Ciência de Dados e Inteligência Artificial”, com auxílio da IA Gemini da Google, a partir da qual aplicações foram elaboradas pelo autor. Ressalta-se que o workshop também abordou que ferramentas de IA devem ser utilizadas não como substitutos, mas como auxiliares dos professores.

Foram identificados sites de sete edições do Seminário sobre Análise de Dados na Administração Pública. Com auxílio da tecnologia de IA, Gemini Advanced 2.0 Flash da Google, o autor elaborou comandos para extrair aplicações de IA e CdD nesses seminários. Depois, o autor comandou a geração de 13 categorias em que foram distribuídas as aplicações solicitadas. Dessa forma, foram descobertas novas aplicações para compor a proposta desta pesquisa.

Para aprofundar o estudo, foi feita pesquisa exploratória. Aplicando conceitos de Ciência de Dados apresentados por Amaral (2016), Provost e Fawcett (2016), MIT Technology Review (2023) e Reis e Carvalho (2022) no campo da gestão pública, o autor participou da criação de parte da aplicação, liderada pelo TCE-RO, que auxilia o gestor a decidir a quantidade de vagas a ofertar, baseada em dados, conforme figura 1 abaixo.



fornecido a estados e ao distrito federal e é fornecido pelo MEC sem custos de aquisição a secretarias de educação de municípios, conforme <https://www.gov.br/mec/pt-br/mec-gestao-presente>. Esse sistema de gestão engloba processos escolares (como matrícula, frequência de aluno, avaliações, entre outras funcionalidades), o que permitirá uma coleta de dados atualizada a partir da qual aplicações da IA e da Ciência de Dados podem ser usadas e otimizadas, tais como as propostas neste estudo, para auxiliar no aperfeiçoamento também da gestão educacional desses municípios menores.

Adicionalmente, a proposta de aplicações de IA e Ciência de Dados, embora fundamentada na literatura e em experiências práticas, podem carecer de testes e validações em cenários reais para comprovar sua efetividade. Apesar dessas limitações, o estudo contribui significativamente para o avanço do conhecimento sobre o tema, delineando um panorama abrangente das possibilidades de aplicação da IA e Ciência de Dados na gestão da educação pública e fomentando a discussão sobre a transformação digital no setor. As propostas apresentadas servem como ponto de partida para atuais implementações e futuras pesquisas que poderão constatar a viabilidade delas, aprofundar a análise e desenvolver novas soluções para continuar induzindo a otimização e aprimoramento da gestão para aperfeiçoar como o Brasil administra os desafios da educação brasileira e trazer esperanças, baseadas em dados, que nosso país está fazendo seu melhor para ter qualidade na educação pública.

Dessa forma, este artigo de revisão realizou síntese crítica de conhecimentos disponíveis sobre o tema “Proposta de aplicações da Inteligência Artificial e da Ciência de Dados no aperfeiçoamento da Gestão da Educação Pública”, mediante a análise e interpretação de bibliografia pertinente, combinada com análise documental, e também discutiu os limites e alcances metodológicos, permitindo a proposição de valiosas aplicações. Pontua-se que algumas aplicações propostas possuem caráter inovador, a exemplo da Plataforma Inteligente de Gestão de Recursos Educacionais (que utilize IA para otimizar a alocação de recursos financeiros, materiais e humanos nas escolas, e analisaria dados históricos de desempenho, necessidades específicas de cada escola e indicadores socioeconômicos para sugerir a distribuição mais eficiente dos recursos), o que auxiliaria na redução de desigualdades e no direcionamento de investimentos para áreas com maior necessidade, e poderia beneficiar alunos, responsáveis por alunos, TCU, Tribunais de contas dos estados (TCEs), outros atores da rede de controle, MEC, Fundo Nacional de Desenvolvimento da

Educação - FNDE, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - Inep e Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes, União Nacional dos Dirigentes Municipais de Educação - Undime, Conselho Nacional de Secretários de Educação - Consed, União Nacional dos Conselhos Municipais de Educação - Uncme, empresas, Organização Não Governamental - ONGs, academia e sociedade brasileira no geral), além de permitir a indicação de perspectivas de estudos futuros.

Na análise dos resultados foram usadas, como ferramenta auxiliar, as tecnologias de Inteligência Artificial *Perplexity* e *Julius.ai*, para análise de dados, sugestão de gráficos para visualização de dados, organização e sequenciamento dos parágrafos, e recomendação de trechos de conteúdo, que foram revisados e ajustados para elaboração final pelo autor. Além disso, o Copilot integrado ao Microsoft Excel e ao Microsoft Word foi usado para auxiliar na análise.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados e discussão da pesquisa sobre as aplicações de Inteligência Artificial (IA) e Ciência de Dados (CDD) no aperfeiçoamento da gestão da educação. O objetivo do estudo foi investigar e propor aplicações de IA e de Ciência de Dados na gestão da educação pública, analisando benefícios delas para diferentes perfis de beneficiários.

A metodologia utilizada realizou investigação de referências bibliográficas, análise de documentos e conteúdos como legislações educacionais, planos, levantamentos do TCU, boas práticas de controle externo da Atricon, seminários, workshops, e revelaram um amplo espectro de oportunidades para aprimorar a administração pública educacional.

**Tabela 1** – Ilustração das aplicações propostas de IA e Ciência de dados e seus Principais beneficiários no âmbito da Gestão Pública da educação

| Principais beneficiários | Aplicação de Inteligência Artificial (IA) ou Ciência de Dados (CdD) | Benefícios em potencial                                                             | Fundamentação                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alunos                   | Ensino personalizado                                                | Ampliar aprend                                                                      | Segundo o workshop "Inovação no FNDE com Ciência de Dados e Inteligência Artificial" realizado em 2025.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Alunos                   | Adaptive learning (aprendizagem adaptativa)                         | Ampliar aprend                                                                      | Segundo o workshop "Inovação no FNDE com Ciência de Dados e Inteligência Artificial" realizado em 2025.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Alunos                   | CdD e IA para otimizar o consumo de serviços                        | Ampliar aprend                                                                      | Elaborado pelo autor com base na análise de conteúdo das sete edições do Seminário sobre Análise de Dados na Administração Pública.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Alunos                   | Prevenção de evasão escolar                                         | Melhoria socioeconômica do aluno<br>Melhoria de indicador de gestão: evasão escolar | Promove a antecipação das medidas cabíveis (como inscrição automática em programas de reforço ou de acompanhamento psicológico) a alunos com alto potencial de evasão, alinhada com o Acórdão 2487/2022-TCU-Plenário, com o workshop "Inovação no FNDE com Ciência de Dados e Inteligência Artificial" realizado em 2025 e com a análise de conteúdo das sete edições do Seminário sobre Análise de Dados na Administração Pública.   |
| Alunos                   | Prevenção de reprovação                                             | Melhoria socioeconômica do aluno<br>Melhoria de indicador de gestão: IDEB           | Promove a antecipação da inscrição automática em programas de reforço, acompanhamento psicológico ou outras medidas cabíveis, a alunos com alto potencial de reprovação, alinhada com o Acórdão 2487/2022-TCU-Plenário, com o workshop "Inovação no FNDE com Ciência de Dados e Inteligência Artificial" realizado em 2025 e com a análise de conteúdo das sete edições do Seminário sobre Análise de Dados na Administração Pública. |

**Fonte:** Adaptado de IAEC-DNA: Gestão da Educação (s.n)

Com base nas fundamentações e procedimentos metodológicos realizados, combinados com a experiência prática do autor, foi possível elaborar uma robusta proposta com 138 aplicações da inteligência artificial e da ciência de dados no aperfeiçoamento da gestão da educação pública. Parte da proposta está descrita na tabela 1 acima, e sua versão completa está publicada no link <https://github.com/tl81/iaecdnagestaodaeducacao/> on-line em 24/04/2025.

Para facilitar a interpretação dos resultados, aplicou-se a técnica de visualização de dados, além de organização em tabelas, categorização e sumarização (resumos), em razão do fato dos dados das aplicações terem natureza de texto.

### 3.1 Visualizações de dados, organização em tabelas, categorização e sumarização

**Tabela 2** – Agrupamento e contagem das aplicações propostas de IA e Ciência de dados por Beneficiário, em tabela dinâmica

| Beneficiário                                       | Contagem de Aplicação de Inteligência Artificial (IA) ou Ciência de Dados (CdD) |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Sociedade                                          | 21                                                                              |
| MEC, FNDE, Inep e Capes                            | 21                                                                              |
| Professor                                          | 15                                                                              |
| Secretário estadual/distrital de educação e CONSED | 14                                                                              |
| Secretário municipal de educação e UNDIME          | 14                                                                              |
| Alunos                                             | 12                                                                              |
| TCU                                                | 8                                                                               |
| Diretor de escola                                  | 7                                                                               |
| Comunidade Escolar                                 | 7                                                                               |
| Coordenador pedagógico                             | 5                                                                               |
| Academia                                           | 4                                                                               |
| Pais ou responsáveis por alunos                    | 4                                                                               |
| Supervisor                                         | 2                                                                               |
| Empresas                                           | 2                                                                               |
| Conselhos de educação e UNCME                      | 1                                                                               |
| ONGs                                               | 1                                                                               |
| <b>Total Geral</b>                                 | <b>138</b>                                                                      |

Fonte: Própria autoria (2024)

Os Top 5 principais beneficiários, com concentração de maior quantidade de aplicações propostas, são: Sociedade com 21, MEC, FNDE, Inep e Capes com 21 e Professor com 15, Secretário municipal de educação e UNDIME com 14, Secretário estadual/distrital de educação e CONSED com 14. Os benefícios

potenciais mais citados incluem termos relacionados a: gestão (92), educação (74), pública (67), regular (44), aperfeiçoamento (37).

Destaca-se a importância do Acórdão 2487/2022-TCU-Plenário por fundamentar 30 das 138 propostas, representando um peso de influenciar 21,73% delas. Ainda, a pesquisa identificou e propôs diversos benefícios das aplicações de IA/CdD que podem favorecer diferentes atores do ecossistema educacional.

Pelo exposto, os resultados desta pesquisa indicam ampla variedade de aplicações da IA e da Ciência de Dados, que ultrapassaram o quantitativo de 100 aplicações, com potencial de favorecer 16 diferentes perfis de beneficiários relevantes ao contexto da gestão da educação pública, apontando para alto potencial dessas tecnologias poderem contribuir com o aperfeiçoamento da gestão da educação pública. As aplicações identificadas e propostas, se implementadas, podem trazer benefícios significativos para os atores mapeados, envolvidos em políticas públicas educacionais, desde os alunos até os gestores e a sociedade.

De forma notável, as principais descobertas deste TCC ecoam as preocupações levantadas pelo TCU em relação a oportunidades de melhoria da gestão da educação pública. Enquanto o Tribunal indicava a necessidade de melhor eficiência na aplicação dos recursos públicos em educação, a presente investigação empírica evidenciou um conjunto de aplicações que aprimoram a eficiência da gestão educacional, fornecendo subsídios adicionais para a implementação eficaz das medidas corretivas e preventivas preconizadas pelo órgão de controle.

Além disso, os resultados obtidos no presente estudo corroboram as descobertas dos autores Amaral (2016), Russell e Norvig (2013), Provost e Fawcett (2016), que também observaram aplicações da CdD e da IA no aperfeiçoamento de instituições. Essa convergência de achados reforça a relevância das aplicações propostas no contexto da gestão da educação.

No entanto, é importante ressaltar que a implementação dessas tecnologias, precedido do devido planejamento, deve ser feita de forma ética e responsável, garantindo a privacidade dos dados e a equidade no acesso às oportunidades.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo central investigar e propor aplicações de IA e CdD para o aperfeiçoamento da gestão da educação pública. Por meio da análise documental e de conteúdo de seminários, workshops, com análise crítica e amparada por referências bibliográficas relevantes, e da experiência do autor, foi identificada ampla gama de oportunidades para aprimorar a gestão educacional.

Ao longo do trabalho foram catalogadas e analisadas diversas aplicações que abrangem desde a personalização do ensino até a melhoria na gestão administrativa, por meio da análise de dados. Entre os principais resultados obtidos, destaca-se a identificação de propostas que impactam tanto a base quanto os níveis estratégicos da administração educacional. As aplicações propostas demonstram potencial para fortalecer a conexão entre municípios, estados e a União, bem como para promover intervenções preventivas que enfrentem desafios como a evasão e a reprovação escolar. Essa amplitude de aplicações ressalta o papel da IA e da CdD na melhoria da gestão com benefícios significativos para variados atores do sistema educacional. Por exemplo, para os alunos, essas aplicações oferecem mecanismos de prevenir a evasão e a reprovação escolar. Para professores, a IA pode auxiliar na elaboração de planos de aula, gerar atividades pedagógicas, analisar o desempenho dos alunos e automatizar tarefas administrativas. Já para os gestores, a IA e a CDD podem fornecer informações e insights valiosos para a tomada de decisões estratégicas, o planejamento de políticas educacionais e a alocação eficiente de recursos.

A implementação das aplicações propostas tem implicações práticas. É fundamental que os governos avaliem de usar infraestrutura tecnológica e capacitação de profissionais para que essas tecnologias possam ser utilizadas. Escolas devem adotar sistemas de gestão escolar inteligente que integrem IA e CDD, e os professores devem ser treinados para utilizar essas ferramentas dentro e fora de sala de aula. Além disso, é importante garantir privacidade dos dados e equidade no acesso, evitando que a tecnologia amplie desigualdades existentes.

Todavia, apesar das contribuições significativas, este estudo também apontou desafios. Inicialmente, verificou-se que o tema já possuía aplicações estudadas, o que exigiu do autor esforço extra a agregar originalidade à proposta, especialmente ao incluir a visão de auditor federal de controle externo e da integração interfederativa. Ademais, a viabilidade de implementação das propostas requer análise mais profunda, considerando peculiaridades das redes de educação.

Ainda, este estudo apresenta limitações, como abrangência dos dados analisados e especificidade do contexto. Sugere-se que futuras pesquisas explorem aplicações em diferentes níveis e regiões de ensino, e avaliem o impacto dessas tecnologias no desempenho da gestão. Recomenda-se ainda análise de viabilidade das aplicações propostas, exploração de tendências tecnológicas (pesquisas, identificando novas oportunidades de aplicação na

gestão pública educacional) e estudos de caso (projetos-piloto para validar propostas deste trabalho). Assim, conclui-se que IA e CdD possuem amplo potencial para aprimorar a gestão da educação pública, proporcionando uma administração mais eficiente, adaptável e centrada no cidadão. Espera-se que as reflexões aqui apresentadas possam inspirar futuras iniciativas que promovam avanço da educação no país.

Foram alcançados os 2 objetivos (principal e secundário) deste estudo, respectivamente. As contribuições significativas do trabalho foram a consolidação de robusto conjunto de propostas que podem auxiliar no aprimoramento da gestão da educação pública, e a disponibilização do mesmo em repositório online, acessível ao mundo por meio da internet.

As sugestões e propostas deste estudo são que gestores da educação, secretários da educação de municípios, estados e distrito federal, e gestores da educação no MEC, FNDE, Inep e CAPES, considerem as aplicações aqui propostas em seu planejamento e avaliem se é oportuno e conveniente implementá-las para ajudar a aperfeiçoar atividades da administração pública educacional. ONGs, empresas e academia podem citar este estudo como inspiração e referência para fundamentar suas manifestações solicitando aos gestores da educação pública que disponibilizem as aplicações propostas. Essas manifestações podem ser feitas em canais como o App cidadão.gov.br. Além disso, o TCU pode usar este estudo para induzir que a gestão da educação pública, nacionalmente, avalie a oportunidade e conveniência de adotar as aplicações aqui descritas.

Ainda, esta pesquisa agregou conhecimento novo ao mundo científico, resultado da combinação de conhecimentos da Inteligência Artificial, da Ciência de Dados, da Transformação Digital, da Tecnologia da Informação e Comunicação, de Administração Pública, da Educação Pública e do Controle Externo, com intenção de colaborar com o aprimoramento da Administração Pública educacional, gerando mais de 100 aplicações de IA e de Ciência de Dados relevantes para a gestão pública, e, portanto com potencial de influenciá-la na melhoria da educação brasileira.

Entre os pontos fortes deste estudo, destaca-se que as aplicações propostas alcançaram beneficiários na ponta como alunos, diretores de escola, supervisores, coordenadores pedagógicos, secretários de educação de município, estado, distrito federal e gestores federais, além de se aplicarem à relação interfederativa entre, por exemplo, municípios e União, na solicitação automática

de liberação de recursos federais para a gestão da educação pública municipal e sua prestação de contas automática que beneficiaria ambas as partes. Já os pontos fracos são que no início da pesquisa o autor percebeu que aplicações de IA e Ciência de dados na área da educação não era um tema inédito. Para superar isso, o autor trouxe a originalidade de agregar sua visão de controle externo ao estudo, decorrente da experiência como auditor federal do TCU.

Propõe-se para estudos posteriores os seguintes temas: 1) Análise de viabilidade de implementação das aplicações contidas na proposta. Avaliação de em que medida as aplicações propostas podem ser integradas ao Sistema Gestão Presente que o MEC está desenvolvendo, e ofertadas aos municípios, estados, distrito federal, ONGs, empresas, academia, alunos, pais e responsáveis por alunos e cidadãos; e 2) Pesquisa sobre tendências tecnológicas estratégicas, com foco na aplicação das mesmas no campo da Gestão da Educação Pública.

Em suma, a Inteligência Artificial e a Ciência de Dados representam um enorme potencial para transformar a gestão da educação pública brasileira. Ao utilizar essas tecnologias de forma ética, responsável e eficaz, podemos construir um sistema educacional mais eficiente, personalizado, equitativo e preparado para os desafios do século XXI. Recomenda-se que governos, em especial o MEC, no desenvolvimento do Sistema Gestão Presente, invistam em IA e CdD, e oferte, às secretarias de educação em municípios, estados, distrito federal, às redes federais, e às escolas da rede pública da educação básica e superior, funcionalidades inspiradas nas aplicações propostas neste estudo que promovam a otimização de processos, a colaboração e o compartilhamento de conhecimento para que essas tecnologias possam ser utilizadas em todo o país, aperfeiçoando a gestão, em benefício de estudantes e da sociedade brasileira como um todo, elevando a educação pública para um novo patamar, e aumentando a esperança de uma educação de qualidade para nosso país.

## REFERÊNCIAS

**A CULTURA data-driven como indutora da transformação.** MIT Technology Review, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://mittechreview.com.br/a-cultura-data-driven-como-indutora-da-transformacao/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

AMARAL, Fernando. **Introdução à ciência de dados: mineração de dados e big data.** Rio de Janeiro: alta books, 2016. 304 p., il., gráfs. Inclui bibliografia e índice.

ATRICON. **Boas Práticas dos Tribunais de Contas.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://qatc.atricon.org.br/boas-praticas-dos-tribunais-de-contas/>. Acesso em: mar. 2025.

BRASIL. **Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA).** Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), 2021. Disponível em:

[https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinteligenciaartificial/ebia-documento\\_referencia\\_4-979\\_2021.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinteligenciaartificial/ebia-documento_referencia_4-979_2021.pdf). Acesso em: 08 de mar. de 2025  
BRASIL. Ministério da Educação (MEC). **Plano de Transformação Digital do MEC** (PTDMEC). Brasília, DF: MEC, 2025

BRASIL. Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos. Secretaria de Governo Digital. **Modelo de Maturidade de Dados (MMD) da Administração Pública Federal**. Disponível em: <https://www.gov.br/governodigital/pt-br/infraestrutura-nacional-de-dados/maturidade-de-dados/>, Acesso em: mar. 2025

Ciência de dados aplicada à Auditoria Interna. **Revista da CGU**, [S. l.], v. 12, n. 22, p. 196–208, 2020. DOI: 10.36428/revistadacgu.v12i22.195. Disponível em: [https://revista.cgu.gov.br/Revista\\_da\\_CGU/article/view/195](https://revista.cgu.gov.br/Revista_da_CGU/article/view/195). Acesso em: fev. 2025.

COELHO, M. A; ARAÚJO, C. H dos S. **Considerações Sobre A Produção Do Conhecimento Em IAED**. Anais CIET:Horizonte, São Carlos-SP, v. 7, n. 1, 2024. Disponível em: <https://ciet.ufscar.br/submissao/index.php/ciet/article/view/2640>. Acesso em: mar. 2025.

DATA SCIENCE DOJO. **Data Science vs AI vs Machine Learning- What 2024 Demands?** 2022. Disponível em: <https://datasciencedojo.com/blog/data-science-vs-ai-2023-career/>. Acesso em: mar. 2025.

ENGIN, Z; TRELEAVEN, P. **Algorithmic Government: Automating Public Services and Supporting Civil Servants in using Data Science Technologies**. The Computer Journal, v. 62, n. 3, p. 448–460, mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxy082>. Acesso em: fev. 2025.

**ESCOLA do Foresight: Características e Ferramentas** - YouTube. YouTube, [S. l.], 14 de mai. 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qYN-DzO60pE>. Acesso em: mar. 2025.

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FNDE). **Inovação no FNDE com Ciência de Dados e Inteligência Artificial**. YouTube, [S. l.], 13 de mai. 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=7dDJKPOBsm4>. Acesso em: mar. 2025.

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FNDE). **Plano de Gerenciamento Técnico - PGT**. Brasília, DF: FNDE/MEC, 2024. Disponível em: <https://pncp.gov.br/pncp-api/v1/orgaos/24464109000148/compras/2024/110/arquivos/2>. Acesso em: mar. 2025

HUTTER, F; KOTTHOFF, L; VANSCHOREN, J. **Automated Machine Learning: Methods, Systems, Challenges**. [S. l.]: Springer, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-05318-5>. Acesso em: mar. 2025.

**Levantamento de IA do TCU**. TCU avalia uso de inteligência artificial pelo governo federal – Notícias | Portal TCU. Disponível em: <http://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/tcu-avalia-uso-de-inteligencia-artificial-pelo-governo-federal.htm>. Acesso em: mar. de 2025.

LIBÂNEO, J. C. **Organização e gestão da escola: teoria e prática**. 6. ed. Goiânia: Editora Alternativa, 2014.

MCKINSEY & COMPANY. **What is AI (artificial intelligence)?** 2024. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-ai>. Acesso em: mar. de 2025.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (Brasil). **Seminário Educação, Governança de Dados e Inteligência Artificial**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ChPAlew1Tcs>. Acesso em: mar. 2025.

PROVOST, F. **Data science para negócios**. Tom Fawcett. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016. 383 p.

REIS, M de J; CARVALHO, T de. **Ciência de Dados e Ciência da Informação: evolução e paradigmas da ciência**. Informação em Pauta, [S. l.], v. 7, n. 00, p. 1–21, 2022. DOI: 10.36517/2525-3468.ip.v7i00.2022.78490.1-21. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/informacaoempauta/article/view/78490>. Acesso em: fev. 2025.

RUSSELL, S; NORVIG, P. **Inteligência Artificial: Uma Abordagem Moderna**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

VAN LEERSUM, C. M; MAATHUIS, C. **Human centred explainable AI decision-making in healthcare**. Journal of Responsible Technology, [S.l.], v. 23, p. 100108, 2025. DOI: 10.1016/j.jrt.2025.100108. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jrt.2025.100108>. Acesso em: mar. 2025.

## TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INOVAÇÃO NA GESTÃO PÚBLICA BRASILEIRA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Rejane Gomes de Oliveira Silva<sup>1</sup>

Lucas Paulo Orlando de Oliveira<sup>2</sup>

**RESUMO:** A transformação digital no setor público brasileiro tem se intensificado nos últimos anos, impulsionada pela necessidade de modernização da administração e pela busca por maior eficiência, transparência e qualidade dos serviços prestados à população. Este artigo tem como objetivo analisar os principais desafios e oportunidades da transformação digital na gestão pública, destacando o papel da inovação tecnológica na reformulação dos processos administrativos e na relação entre Estado e cidadão. A discussão aborda o impacto da digitalização na cultura organizacional, nas estruturas burocráticas e no acesso à informação, com ênfase na importância de políticas públicas que promovam a inclusão digital, a capacitação de servidores e a adoção de soluções tecnológicas sustentáveis. A pesquisa baseia-se em revisão bibliográfica e análise de experiências brasileiras recentes no campo da inovação pública.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transformação Digital. Inovação. Gestão Pública. Governo Digital. Serviços Públicos.

**ABSTRACT:** Digital transformation in the Brazilian public sector has intensified in recent years, driven by the need to modernize the administration and the search for greater efficiency, transparency and quality in the services provided to the population. This article aims to analyze the main challenges and opportunities of digital transformation in public management, highlighting the role of technological innovation in reformulating administrative processes and the relationship between the state and citizens. The discussion addresses the impact of digitalization on organizational culture, bureaucratic structures and access to information, with an emphasis on the importance of public policies that promote digital inclusion, the training of civil servants and the adoption of sustainable technological solutions. The research is based on a bibliographical review and analysis of recent Brazilian experiences in the field of public innovation.

**KEY WORDS:** Digital transformation. Innovation. Public management. Digital Government. Public Services.

### 1 INTRODUÇÃO

A transformação digital tem se consolidado como um fenômeno central nas mudanças organizacionais e sociais contemporâneas, impactando diretamente a forma como instituições públicas e privadas operam e se relacionam com seus públicos. No contexto da administração pública brasileira, a digitalização de processos e a adoção de tecnologias inovadoras representam uma oportunidade para modernizar a gestão, ampliar a transparência e melhorar a eficiência e a qualidade dos serviços ofertados à população.

<sup>1</sup>Pós-graduado em Gestão Pública. E-mail: rgosilva2@gmail.com.

<sup>2</sup>Orientador: Doutor e Mestre em Direito, Advogado e Especialista em Direito Constitucional e em Docência no Ensino Superior.

Este artigo tem como objetivo analisar os desafios e oportunidades da transformação digital na gestão pública brasileira, com ênfase no papel da inovação na reformulação dos processos administrativos e na construção de um modelo de administração mais eficiente, inclusivo e centrado no cidadão. A escolha do tema se justifica pela crescente necessidade de adaptação do setor público às demandas da sociedade digital, que exige agilidade, acessibilidade e maior integração dos serviços governamentais.

Apesar dos avanços institucionais, como a implementação do portal gov.br e de aplicativos digitais, ainda persistem diversos entraves para a efetivação da transformação digital no setor público. A problemática que motiva este estudo pode ser sintetizada na seguinte questão: como a transformação digital pode ser incorporada de forma efetiva e sustentável à gestão pública brasileira, superando entraves estruturais e culturais e promovendo inovação capaz de qualificar os serviços prestados à sociedade?

Para alcançar esse objetivo, o presente artigo se baseia em uma abordagem qualitativa, exploratória e bibliográfica, fundamentada em autores nacionais e internacionais, além da análise de documentos oficiais relacionados ao tema. A metodologia adotada permite compreender os aspectos organizacionais, sociais e tecnológicos envolvidos na transformação digital, fornecendo uma visão crítica e contextualizada sobre o cenário atual da gestão pública no Brasil.

A relevância deste estudo reside na sua contribuição para o debate sobre modernização do setor público, fornecendo subsídios para gestores, formuladores de políticas públicas e profissionais da área compreenderem os caminhos possíveis para uma inovação efetiva e duradoura. Ao refletir sobre os limites e possibilidades da transformação digital, o artigo busca colaborar com a construção de uma administração pública mais eficaz, transparente e conectada com as demandas da sociedade contemporânea.

## 2 DESENVOLVIMENTO

A transformação digital na administração pública brasileira tem ganhado destaque como ferramenta estratégica para modernização do Estado e qualificação da prestação dos serviços públicos. Esse processo implica não apenas na adoção de tecnologias, mas numa mudança mais ampla que envolve cultura organizacional, estrutura institucional, capacitação de servidores e revisão de modelos de gestão. Conforme Duarte e Ebert (2019), a transformação digital deve ser entendida como uma abordagem gerencial que promove reestruturação nos processos internos, com foco

em resultados, inovação e orientação ao cidadão.

Um dos avanços mais representativos nesse contexto é a consolidação da plataforma gov.br, que reúne centenas de serviços públicos em ambiente digital e busca padronizar a experiência do usuário, melhorar o acesso à informação e reduzir a burocracia. Iniciativas como essa refletem um esforço governamental de aproximar a administração do cidadão e tornar o Estado mais responsivo às demandas sociais. Contudo, como observa Maciel (2021), a realidade da transformação digital no Brasil ainda é marcada por desigualdades entre os entes federativos, especialmente quando se comparam os recursos tecnológicos disponíveis nos níveis federal, estadual e municipal.

A inovação no setor público requer não apenas tecnologia, mas também capacidade institucional para integrar sistemas, gerir dados, garantir a segurança da informação e promover o uso inteligente de recursos. Costa (2021) ressalta que os desafios são multidimensionais: técnicos, orçamentários, humanos e culturais. A resistência à mudança é uma das barreiras mais recorrentes, refletindo uma cultura organizacional ainda muito orientada por hierarquias rígidas e rotinas administrativas pouco abertas à experimentação.

Rogers (2016) reforça que a transformação digital bem-sucedida está intimamente ligada à mentalidade da liderança e à criação de uma cultura que valorize a agilidade, a colaboração e a inovação contínua. Isso exige uma abordagem sistêmica e integrada que vá além da simples digitalização de documentos e processos — é necessário repensar o papel do Estado e sua forma de se relacionar com a sociedade. Essa visão é compartilhada por Westerman, Bonnet e McAfee (2014), que defendem a necessidade de alinhar estratégias digitais com os objetivos centrais da organização, investindo não só em ferramentas, mas também em pessoas e processos.

Camões (2018) contribui com a discussão ao destacar que a inovação pública precisa estar institucionalizada, com espaços formais para experimentação, redes colaborativas e mecanismos de avaliação. Nesse sentido, programas de capacitação, estímulo à criatividade no setor público e ambientes que favoreçam a aprendizagem contínua são pilares fundamentais para sustentar a transformação digital.

Além disso, Rogers (2016) enfatiza que a inovação digital pode ser um vetor para o fortalecimento da governança pública e da transparência, desde que ocorra de forma planejada e inclusiva. Para isso, é essencial garantir o acesso equitativo à internet e às tecnologias, sobretudo em regiões onde a exclusão digital ainda é uma realidade. A Jornada de Transformação Digital promovida pelo SEBRAE, por exemplo,

evidência como a parceria entre entes públicos e entidades do terceiro setor pode acelerar a digitalização em contextos locais, inclusive entre micro e pequenas prefeituras.

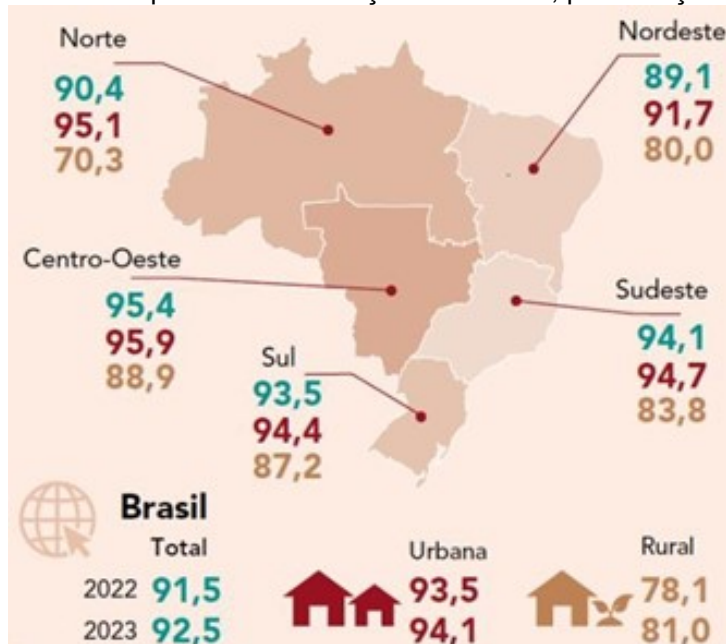
Por fim, a transformação digital não deve ser compreendida como um fim em si mesma, mas como um instrumento para alcançar uma gestão pública mais eficiente, transparente e participativa. Para que esse processo seja efetivo, é necessário o engajamento dos gestores, o investimento em políticas públicas de inovação e o comprometimento com a melhoria contínua dos serviços oferecidos à população.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura e dos documentos oficiais permitiu identificar que a transformação digital na gestão pública brasileira tem avançado de forma significativa nos últimos anos, especialmente por meio de iniciativas como o portal gov.br, aplicativos de serviços digitais e planos estratégicos de governo digital. Esses avanços evidenciam o compromisso institucional com a modernização da administração pública e com a oferta de serviços mais acessíveis e eficientes à população.

Contudo, os dados extraídos da revisão teórica apontam que os desafios para consolidar esse processo permanecem relevantes. Entre os principais obstáculos observados estão: a desigualdade no acesso à tecnologia entre os entes federativos, a baixa interoperabilidade entre sistemas governamentais, a carência de capacitação contínua dos servidores públicos e a resistência cultural à inovação dentro das estruturas burocráticas.

**Figura 1** – Domicílios em que havia a utilização de internet, por situação do domicílio (%)



**Fonte:** IBGE - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (2023)

Através da imagem acima, pode-se observar que em 2022, mais de 87% da população brasileira tinha acesso à internet, conforme o IBGE. No entanto, cerca de 6,4 milhões de domicílios particulares ainda não tinham acesso à internet. Além disso, a pesquisa da PNAD Contínua revelou que 92,2% dos estudantes utilizavam a internet, com diferenças entre redes públicas e privadas. Em áreas rurais e entre famílias de baixa renda, o acesso é ainda mais limitado, o que reforça a necessidade de políticas de inclusão digital como pré-requisito para o êxito das iniciativas de governo digital.

Também se observou que o êxito da transformação digital está fortemente associado à existência de políticas públicas integradas, à liderança comprometida com a inovação e à criação de ambientes institucionais que favoreçam a colaboração e a experimentação.

**Figura 2 – Avaliação da Maturidade de Dados**



**Fonte:** Portal gov.br – IND: Infraestrutura Nacional de Dados (2024)

O nível de maturidade digital de serviços públicos permite aos gestores e à sociedade avaliar o nível de alinhamento de um serviço público com princípios, regras e instrumentos do Governo Digital que visam à garantia dos direitos dos usuários, ao aumento da eficiência pública e à construção de um governo digital sustentável. Os autores analisados convergem na ideia de que a tecnologia, isoladamente, não é suficiente para transformar a gestão pública — sendo indispensável investir no desenvolvimento de capacidades institucionais e humanas. Em termos internacionais, o Brasil figura entre os países mais avançados no que diz respeito à maturidade digital do governo. De acordo com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o país ocupa a 7ª colocação no ranking mundial de maturidade digital do setor público, com destaque para as áreas de identidade digital e integração de serviços. Esses dados

confirmam a existência de políticas públicas consistentes e de um ambiente institucional favorável à transformação digital no nível federal.

Contudo, ao analisar a realidade de estados e, principalmente, de municípios, observam-se desigualdades significativas. A Pesquisa TIC Governo Eletrônico 2022, do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), revela que apenas 27% dos municípios oferecem serviços por meio de aplicativos, enquanto 77% enfrentam dificuldades de infraestrutura tecnológica. Além disso, menos de 40% das prefeituras contam com servidores capacitados em tecnologia da informação, o que representa um entrave direto à implementação de soluções digitais locais.

**Figura 3 – Índice de Maturidade em Governo Digital**



Fonte: Banco Mundial (2022)

Por fim, os resultados evidenciam que a transformação digital pode fortalecer significativamente a governança pública, a transparência e a participação cidadã, desde que ocorra de forma planejada, estratégica e inclusiva. A partir dessas constatações, torna-se possível propor caminhos para o aperfeiçoamento da gestão pública a partir da inovação e da cultura digital. Esta parte do trabalho é dedicada à exposição dos resultados coletados na pesquisa, incluindo a interpretação e discussão dos dados coletados.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transformação digital é um dos pilares centrais para a construção de uma administração pública mais moderna, transparente e responsiva às demandas da sociedade. No contexto brasileiro, os avanços alcançados nos últimos anos demonstram que há um esforço concreto do Estado em incorporar a inovação tecnológica à gestão pública, mas também revelam a complexidade e os múltiplos desafios que esse processo envolve.

O presente estudo permitiu compreender que a transformação digital não depende exclusivamente da infraestrutura tecnológica, mas, sobretudo, da existência de uma cultura organizacional favorável à mudança, da formação de servidores públicos capacitados e do alinhamento entre políticas públicas e planejamento estratégico institucional. A literatura analisada demonstra que países que avançaram nesse campo o fizeram por meio de políticas integradas, com forte investimento em capacitação e em uma visão de longo prazo orientada por dados.

Os resultados apontam que, apesar da consolidação de ferramentas como o portal gov.br, ainda há uma lacuna considerável entre os níveis federal, estadual e municipal quanto ao grau de maturidade digital. O processo de inovação, portanto, precisa ser acompanhado de estratégias que considerem as desigualdades regionais, a exclusão digital e a fragmentação institucional, especialmente nas esferas locais.

Além disso, a promoção de uma transformação digital efetiva requer maior envolvimento da sociedade civil, transparência nas ações governamentais e o uso ético e inclusivo das tecnologias. A transformação digital deve ser compreendida como uma oportunidade para redesenhar serviços públicos com foco no cidadão, priorizando o acesso, a simplicidade, a participação social e a eficiência. Como contribuição prática, este trabalho reforça a importância de políticas públicas que não apenas fomentem a adoção de novas tecnologias, mas também promovam mudanças estruturais no modo como o Estado atua. É necessário consolidar um modelo de governança digital que valorize a interoperabilidade entre sistemas, a segurança da informação, a inovação contínua e a prestação de serviços públicos digitais com qualidade e equidade.

Futuros estudos podem ampliar o escopo desta análise por meio da investigação de experiências locais bem-sucedidas, identificando boas práticas de digitalização nos municípios, além de explorar as percepções dos cidadãos e dos servidores sobre o impacto da transformação digital no dia a dia da administração pública. Dessa forma, conclui-se que a transformação digital, quando planejada com visão estratégica, orientada por valores públicos e sustentada por políticas inclusivas, pode representar um divisor de águas na construção de uma gestão pública mais eficiente, democrática e alinhada às exigências de uma sociedade em constante transformação.

## REFERÊNCIAS

CAMÕES, M. Inovação na gestão pública. Belo Horizonte: Fórum, 2018.

COSTA, M. Oportunidades e desafios da era digital para o setor público. Revista de

Administração Pública, v. 55, n. 3, p. 560-578, 2021.

MACIEL, C. S. F dos S. Governança digital e transparência pública: avanços, desafios e oportunidades. 1.ed. São Paulo: Lumen Juris, 2021.

ROGERS, D. L. Transformação digital: repensando o seu negócio para a era digital. 1. ed. São Paulo: Alta Books, 2016.

DUARTE, F; EBERT, C. Transformação digital: uma abordagem gerencial. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

OECD. Digital Government Review of Brazil: Towards the Digital Transformation of the Public Sector. Paris: OECD Publishing, 2018. Disponível em: <https://www.oecd.org/publications/digital-government-review-of-brazil-9789264307636-en.htm>. Acesso em: abr. 2024.

SEBRAE. Jornada de Transformação Digital. Disponível em: <https://sebrae.com.br>. Acesso em: abr. 2024.

WESTERMAN, G; BONNET, D; MCAFEE, A. Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation. Boston: Harvard Business Review Press, 2014.

CGI.BR – Comitê Gestor da Internet no Brasil. Pesquisa TIC Governo Eletrônico 2022. São Paulo: CGI.br, 2023. Disponível em: <https://www.cgi.br/>. Acesso em: abr. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: acesso à Internet, à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: abr. 2024.

BRASIL. Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos. Plataforma Gov.br. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br>. Acesso em: abr. 2024.

## A INFLUÊNCIA DAS TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS NA TRANSFORMAÇÃO DA GESTÃO ESCOLAR

Lucimar da Silva Pereira Junior<sup>1</sup>  
Leticia Santos de Araujo Mesquita<sup>2</sup>  
Rayça Gomes Batista<sup>3</sup>

**RESUMO:** Este trabalho busca explorar a relação entre a gestão escolar e o uso das tecnologias educacionais, analisando sua influência no desenvolvimento acadêmico e na qualidade do ensino. A gestão escolar contemporânea vai além da mera administração, incorporando inovações tecnológicas para aprimorar a educação. Essa intersecção redefine o ensino, impactando tanto sua gestão quanto a transmissão do conhecimento. Baseado em ampla revisão acadêmica, destaca-se a importância da gestão escolar na integração estratégica das tecnologias educacionais. Isso requer não apenas recursos digitais, mas formação contínua para professores e políticas éticas. A integração bem-feita beneficia o ensino, permitindo personalização e tornando a administração escolar mais eficiente. Em resumo, essa abordagem moderniza o ensino, adaptando-o ao mundo tecnológico, sendo um catalisador para uma educação transformadora e inclusiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão Escolar. Tecnologias Educacionais. Inovação Pedagógica. Aprendizagem Personalizada. Ambiente Digital de Ensino.

**ABSTRACT:** This work seeks to explore the relationship between school management and the use of educational technologies, analyzing their influence on academic development and the quality of teaching. Contemporary school management goes beyond mere administration, incorporating technological innovations to improve education. This intersection redefines teaching, impacting both its management and the transmission of knowledge. Based on a wide-ranging academic review, the importance of school management in the strategic integration of educational technologies is highlighted. This requires not only digital resources, but ongoing training for teachers and ethical policies. Successful integration benefits teaching, enabling personalization and making school administration more efficient. In summary, this approach modernizes teaching by adapting it to the technological world, being a catalyst for transformative and inclusive education.

**KEYWORDS:** School Management; Educational Technologies; Pedagogical Innovation; Personalized Learning; Digital Teaching Environment.

### 1. INTRODUÇÃO

A gestão escolar contemporânea enfrenta o desafio de incorporar as tecnologias educacionais de maneira eficaz para aprimorar os processos de ensino-aprendizagem. A intersecção entre a administração escolar e as inovações tecnológicas tem sido objeto de estudo e debate, visando compreender como a integração dessas ferramentas pode otimizar o ambiente educacional. Sendo assim, representa uma mudança paradigmática no cenário educacional, impactando não apenas a forma

<sup>1</sup>Professor da Rede Pública Municipal de Campos dos Goytacazes/RJ. Mestrando em educação pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Educação (PPGCE/IECU). Pedagogo (ISEPAM) e Cientista Social (UNICSUL); Licenciando em História pelo Centro Universitário ETEP. Especialização em Teoria da História e Historiografia (FFOCUS), Antropologia Cultural e Social (FFOCUS) e em Educação, Política e Sociedade (FESL).

<sup>2</sup>Professora da rede Pública Municipal de Campos dos Goytacazes/RJ. Pedagoga (UNESA); Licencianda em História pelo Centro Universitário ETEP. Especialista em Educação e Sociedade (FESL).

<sup>3</sup>Professora da rede Pública Municipal de Campos dos Goytacazes/RJ. Pedagoga (ISECENSA); Especialista em Práticas Educacionais na Docência do Século XXI (IFF).

como as escolas são geridas, mas também a maneira como o conhecimento é transmitido e absorvido. Este trabalho busca explorar a relação entre a gestão escolar e o uso das tecnologias educacionais, analisando influência no desenvolvimento acadêmico e qualidade do ensino.

A metodologia deste estudo baseou-se em uma revisão abrangente da literatura acadêmica, englobando artigos científicos, livros e publicações especializadas. A análise crítica dessas fontes revelou a importância da gestão escolar na incorporação estratégica das tecnologias educacionais. Esse processo envolve não apenas a aquisição de dispositivos e recursos digitais, mas também a formação contínua dos educadores e a definição de políticas que garantam o uso ético e eficiente dessas ferramentas.

Os resultados destacam que a integração bem-sucedida das tecnologias educacionais na gestão escolar proporciona benefícios multifacetados. O ambiente de aprendizagem se torna mais dinâmico e inclusivo, permitindo a personalização do ensino de acordo com as necessidades individuais dos alunos. Além disso, a administração escolar se torna mais eficiente, com a simplificação de processos burocráticos e a melhoria da comunicação entre todos os envolvidos no contexto educacional.

Em síntese, a gestão escolar orientada pelas tecnologias educacionais não apenas moderniza as práticas educativas, mas também promove um ensino mais adaptativo e alinhado às demandas de um mundo em constante evolução tecnológica. Essa integração estratégica, quando realizada de maneira responsável e inclusiva, é um catalisador poderoso para a transformação positiva do processo de ensino-aprendizagem.

## **2. PAPEL DA GESTÃO ESCOLAR NA INTEGRAÇÃO DAS TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS**

Nesta sessão, será explorado o papel do gestor escolar na introdução das tecnologias educacionais no ambiente escolar, investigando como a liderança, formulação de políticas e estratégias influenciam a adoção e uso efetivo dessas ferramentas. A aceleração tecnológica redefine constantemente nossas vidas, impulsionando mudanças e desafiando a maneira como vivemos e aprendemos.

Na esfera educacional, o gestor escolar assume um papel vital na integração das tecnologias, catalisando o potencial transformador dessas ferramentas no ambiente escolar (DE SOUZA, 2020). A dinâmica evolução tecnológica é uma realidade incontestável. Entretanto, como a educação responde a essas mudanças

reflete diretamente no preparo dos alunos para um mundo em constante transformação. A inserção eficaz das tecnologias educacionais não se limita à aquisição de dispositivos; requer uma liderança estratégica.

Na visão de De Souza (2020), a figura do gestor escolar é central nesse processo. Sua liderança proativa é o alicerce para orientar políticas e estratégias que impulsionem a adoção e uso significativo das ferramentas tecnológicas. A eficácia desse engajamento vai além da mera disponibilidade de recursos; demanda uma visão holística, alinhada aos objetivos pedagógicos da instituição.

A liderança escolar não se restringe à gestão administrativa (CINTRA; CRUZ, 2013). Ela deve abraçar uma postura visionária, estimulando a capacitação docente e fomentando uma cultura escolar que valorize a experimentação e a inovação. Essa abordagem promove não só a apropriação técnica das tecnologias, mas também sua integração significativa no processo de ensino-aprendizagem.

A formulação de políticas claras e estratégias adaptativas é parte fundamental desse contexto. O gestor, ao direcionar recursos, capacitação e estímulo à formação docente, torna-se um agente catalisador para a utilização ética e eficaz das tecnologias (CINTRA; CRUZ, 2013). Essa abordagem não apenas moderniza as práticas educacionais, mas também reconfigura a dinâmica da aprendizagem, oferecendo um ambiente inclusivo e adaptativo (IKESHOJI; TERCARIOL, 2015; DE SOUZA, 2020).

Ademais, a liderança escolar deve abraçar a constante avaliação do impacto dessas ferramentas no processo educativo. O monitoramento contínuo e a adaptação às necessidades e realidades específicas do ambiente escolar são essenciais para uma integração bem-sucedida das tecnologias educacionais.

A incorporação das tecnologias educacionais nas escolas não se resume à simples disponibilidade de recursos tecnológicos. Requer, de forma fundamental, uma liderança ativa e estratégica por parte da gestão escolar (SILVA FILHO, 2022). Essa abordagem vai além da aquisição de dispositivos; envolve direcionamento, capacitação docente e formulação de políticas claras para garantir a eficácia e ética no uso dessas ferramentas.

A liderança escolar é a peça-chave para guiar a implementação das tecnologias de forma significativa. Ela não apenas direciona recursos, mas também estimula a formação docente, promove uma cultura escolar que valoriza a inovação e facilita a integração das tecnologias no processo de ensino-aprendizagem (DE SOUZA, 2020; CINTRA; CRUZ, 2013). Portanto, é fundamental reconhecer que a eficácia da introdução das tecnologias educacionais depende não apenas da sua

disponibilidade, mas da liderança estratégica que promove sua utilização significativa para potencializar o aprendizado dos alunos (JÚNIOR, 2018; ARAÚJO, 2021). Visto que, o gestor desempenha um papel central ao estabelecer um ambiente propício para a utilização eficaz dessas ferramentas, desde a formulação de políticas até a implementação de estratégias que promovam sua adoção e integração significativa no contexto educacional (PRATA, 2002; SILVA FILHO, 2022).

Conforme Ikeshoji e Tercariol (2015), a liderança do gestor escolar é fundamental para inspirar e motivar os professores e demais membros da equipe educativa a adotarem as tecnologias como aliadas no processo de ensino-aprendizagem. Essa liderança deve ser pautada pelo conhecimento e pela compreensão das potencialidades e limitações dessas ferramentas, bem como pela habilidade de orientar e oferecer suporte aos professores no desenvolvimento de competências digitais (JÚNIOR, 2018; LIMA; ARAÚJO, 2021).

Além disso, o gestor escolar desempenha um papel crucial na formulação de políticas que viabilizem a integração das tecnologias educacionais. Isso envolve a criação de diretrizes claras, a alocação de recursos adequados para aquisição e manutenção de equipamentos, a definição de estratégias de formação continuada para os docentes e a garantia de acesso equitativo às tecnologias por parte dos alunos (PRATA, 2002; ESTEVES PEREIRA; CABRAL, 2015; SILVA FILHO, 2022).

Segundo Esteves Pereira e Cabral (2015), a criação de estratégias eficazes para a integração das tecnologias educacionais requer um planejamento cuidadoso e uma visão alinhada aos objetivos pedagógicos da instituição. Pois:

A incorporação das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) na escola contribui para expandir o acesso à informação atualizada e, principalmente, para promover a criação de comunidades colaborativas de aprendizagem que privilegiam a construção do conhecimento, a comunicação, a formação continuada e a gestão articulada entre as áreas administrativa, pedagógica e informacional da escola (RIOS, 2011, n.p.).

Isto é, a incorporação das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) nas escolas traz consigo uma gama de benefícios significativos. Ou seja, “incorporar as TICs ao processo pedagógico acaba por propiciar mais oportunidades do que se fossem sob o modelo das aulas tradicionais” (GARUTTI; FERREIRA, p. 356, 2015).

Primeiramente, elas atuam como facilitadoras no acesso a informações atualizadas e relevantes. Por meio da internet e de recursos digitais, os estudantes têm a oportunidade de acessar um vasto universo de conhecimento, rompendo barreiras geográficas e temporais (GARUTTI; FERREIRA, 2015). Isso é crucial para

aprimorar o aprendizado, permitindo que os alunos estejam atualizados e bem informados sobre os temas que estudam.

Além disso, segundo Garutti e Ferreira (2015) e Silva Filho (2022), as TICs têm um papel fundamental na promoção de comunidades colaborativas de aprendizagem. Essas ferramentas oferecem plataformas e espaços onde alunos, professores e até mesmo pais podem interagir, trocar ideias, colaborar em projetos e compartilhar recursos. Essas interações não apenas enriquecem o processo de aprendizagem, mas também cultivam habilidades sociais importantes, como trabalho em equipe, comunicação eficaz e resolução de problemas em conjunto.

Outro ponto crucial nas palavras de Silva Filho (2022) é que as TICs possibilitam a construção do conhecimento de maneira mais dinâmica e participativa. Elas permitem que os estudantes não apenas consumam informações, mas também as processem, analisem e apliquem em contextos relevantes. A utilização de recursos como fóruns online, salas de aula virtuais e plataformas de aprendizagem interativa favorece a criação de ambientes mais engajadores, onde o conhecimento é construído de forma mais ativa e colaborativa.

Ademais, as TICs facilitam a comunicação entre áreas administrativas, pedagógicas e informacionais da escola. Elas permitem uma gestão mais integrada e eficiente, agilizando processos administrativos, facilitando a troca de informações entre professores, diretores e funcionários e melhorando a coordenação de atividades pedagógicas. Isso contribui para uma gestão mais articulada e alinhada com os objetivos educacionais da instituição.

Em suma, a integração das TICs na escola não apenas amplia o acesso à informação, mas também promove a criação de comunidades colaborativas de aprendizagem. Elas potencializam a construção do conhecimento, favorecem a comunicação, apoiam a formação continuada e fortalecem a gestão integrada entre as diversas áreas da escola, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade da educação.

Dito isso, o gestor escolar deve promover um ambiente de experimentação e inovação, estimulando a colaboração entre os professores para identificar as melhores práticas de uso das tecnologias em sala de aula. Além disso, é crucial que o gestor acompanhe de perto a implementação das tecnologias, promovendo avaliações constantes para verificar a eficácia de sua utilização e identificar possíveis ajustes necessários. Isso demanda um processo contínuo de reflexão e adaptação às necessidades e realidades específicas de cada contexto educacional.

Em síntese, o papel da gestão escolar na integração das tecnologias

educacionais é multifacetado e estratégico. Requer uma liderança capacitada, políticas bem formuladas e estratégias adaptativas que promovam não apenas a adoção, mas também a utilização significativa dessas ferramentas no processo educacional, visando aprimorar a qualidade da aprendizagem e preparar os alunos para os desafios do mundo contemporâneo como expõe Prata (2022).

## **2.1 Impacto das tecnologias educacionais na qualidade do ensino**

Analisa-se aqui o impacto das tecnologias educacionais na qualidade do ensino, considerando a melhoria do engajamento dos alunos, a personalização do aprendizado e o desenvolvimento de habilidades necessárias para o século XXI. A integração das tecnologias educacionais tem se mostrado um fator crucial para aprimorar a qualidade do ensino nos dias de hoje (MUNHOZ, 2015; DELLA SILVA, 2021). Um dos impactos mais notáveis é a melhoria do engajamento dos alunos. Uma vez que, as ferramentas tecnológicas oferecem recursos interativos e dinâmicos, tornando o processo de aprendizagem mais atrativo e envolvente (DELLA SILVA, 2021). Por meio de vídeos, simulações, jogos educativos e outras plataformas interativas, os alunos são estimulados a participar ativamente das aulas, o que contribui significativamente para um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e eficaz (DE ESPÍNDOLA; STRUCHINER; GIANNELLA, 2010).

Outro aspecto relevante é a personalização do aprendizado proporcionada pelas tecnologias educacionais. Com a diversidade de recursos disponíveis, é possível adaptar o ensino às necessidades individuais de cada aluno (DELLA SILVA, 2021). Ferramentas de aprendizagem adaptativa, por exemplo, permitem que os estudantes avancem no seu próprio ritmo, recebendo suporte personalizado de acordo com seu desempenho e estilo de aprendizagem. Isso não apenas aumenta a eficácia do ensino, mas também promove a inclusão e a equidade educacional, atendendo às diferentes habilidades e ritmos de aprendizagem dos alunos (MERCADO, 2002; MUNHOZ, 2015).

Além disso, as tecnologias educacionais são fundamentais para o desenvolvimento de habilidades essenciais para o século XXI (DELLA SILVA, 2021). A capacidade de utilizar recursos tecnológicos de forma crítica e criativa, bem como a habilidade de colaboração, comunicação e resolução de problemas, são competências cada vez mais valorizadas. Através do uso dessas tecnologias, os alunos têm a oportunidade de desenvolver essas habilidades de maneira prática e contextualizada, preparando-se melhor para os desafios do mundo contemporâneo. A aplicação de tecnologias educacionais também permite a criação de ambientes de aprendizagem mais inclusivos e acessíveis.

Ferramentas de acessibilidade, por exemplo, tornam possível adaptar o conteúdo para alunos com necessidades especiais, garantindo que todos tenham oportunidades igualitárias de aprendizado. No entanto, é importante ressaltar que o impacto positivo das tecnologias educacionais na qualidade do ensino está intimamente ligado à forma como são utilizadas (SOUSA; MOITA; CARVALHO, 2011; CARVALHO *et al.*, 2021). O papel do professor é fundamental nesse processo, sendo necessário um planejamento cuidadoso e uma integração estratégica das ferramentas tecnológicas ao currículo. A formação docente também desempenha um papel crucial, capacitando os educadores a utilizarem essas tecnologias de maneira eficaz e significativa (SOUSA; MOITA; CARVALHO, 2011).

Em síntese, as tecnologias educacionais têm um impacto considerável na qualidade do ensino, melhorando o engajamento dos alunos, possibilitando a personalização do aprendizado e promovendo o desenvolvimento de habilidades relevantes para o século XXI. Quando utilizadas de maneira adequada e integradas ao contexto educacional, essas ferramentas oferecem oportunidades significativas para aprimorar a educação e preparar os alunos para os desafios do futuro.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração das tecnologias educacionais na esfera escolar ressalta a relevância da liderança dos gestores no aprimoramento do ensino. A revisão abrangente da literatura evidencia a necessidade de uma gestão proativa e estratégica para assegurar a utilização ética e eficiente dessas ferramentas. Essa pesquisa salientou que a mera presença de recursos tecnológicos não garante por si só melhorias no processo educativo; requer uma estratégia liderada por gestores visionários, capazes de formular políticas alinhadas aos objetivos pedagógicos e promover a capacitação contínua dos educadores. A análise revelou que as tecnologias educacionais não se limitam a modernizar as práticas educativas, mas transformam a dinâmica da aprendizagem, criando um ambiente inclusivo e adaptativo. Contudo, seu impacto positivo depende da forma responsável e integrada como são utilizadas, destacando-se o papel crucial do professor nesse processo.

Conclui-se que a gestão escolar orientada pelas tecnologias educacionais é um catalisador poderoso para aprimorar o ensino, favorecendo o engajamento dos alunos, a personalização do aprendizado e o desenvolvimento de habilidades para o século XXI. Essa pesquisa também sublinha a necessidade de estudos futuros para aprofundar aspectos fundamentais nesse campo, como a presença das tecnologias nos cursos de formação docente, as dificuldades enfrentadas por educadores e alunos na integração dessas ferramentas e as tendências emergentes em recursos

pedagógicos tecnológicos. Essas áreas representam um terreno fértil para ampliar a compreensão sobre o papel dinâmico das tecnologias educacionais na melhoria contínua do ensino e na preparação dos alunos para os desafios futuros.

A liderança dos gestores escolares desempenha um papel fundamental na criação de uma cultura escolar que aproveita ao máximo as tecnologias educacionais. Além de estabelecer diretrizes e políticas alinhadas aos objetivos pedagógicos, os gestores também devem incentivar uma mentalidade de inovação entre os educadores, proporcionando suporte e recursos para a capacitação contínua.

É importante ressaltar que as tecnologias educacionais não são um fim em si mesmas, mas sim um meio para transformar a aprendizagem. Elas não apenas modernizam as práticas educativas, mas também redefinem a forma como os alunos adquirem conhecimento, adaptando-se às suas necessidades individuais e promovendo a inclusão.

Nesse cenário, os professores desempenham um papel central. Eles não são substituídos pelas tecnologias, mas sim capacitados por elas. Professores bem treinados podem utilizar essas ferramentas de forma eficaz para criar experiências de aprendizagem envolventes e personalizadas, aproveitando ao máximo os recursos disponíveis. No entanto, há desafios a serem superados, como a resistência à adoção de novas tecnologias por parte de alguns educadores, a falta de acesso equitativo a essas ferramentas e a necessidade de atualização constante diante das mudanças tecnológicas.

A pesquisa futura pode se concentrar em aspectos cruciais, como a integração das tecnologias nos programas de formação de professores, identificação e superação das barreiras enfrentadas por educadores e alunos na adoção dessas ferramentas, e a análise das tendências emergentes que possam moldar o futuro das tecnologias educacionais. Essas investigações aprofundadas são essenciais para ampliar a compreensão sobre como as tecnologias podem ser melhor integradas no ambiente educacional e como podem contribuir para a preparação dos alunos para os desafios do futuro.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. B. *et al.* Tecnologia educacional no Brasil. **Cadernos de Pesquisa**, n. 33, p. 61-69, 1980.

BANCOVSKY, R. **Formação e prática de gestão escolar com o uso das tecnologias**. 2008. 230 f. Mestrado (Educação) - Pontífica Universidade Católica de São Paulo, PUC-SP. São Paulo, 2008.

CARVALHO, H. P de *et al.* O professor e o ensino remoto: tecnologias e metodologias

ativas na sala de aula. **Revista Educação Pública**, v. 21, n. 28, 2021.

CINTRA, M. R. V. P; CRUZ, J. A. S. Gestor escolar e o professor do Ensino Médio: Suas influências no desempenho escolar. **Revista on line de Política e Gestão Educacional**, p. e023032-e023032, 2023.

DE ESPÍNDOLA, M. B; STRUCHINER, M; GIANNELLA, T. R. Integração de Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino: Contribuições dos Modelos de Difusão e Adoção de Inovações para o campo da Tecnologia Educacional. **RELATEC: Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa**, v. 9, n. 1, p. 89-106, 2010.

SILVA, F. D. O impacto das novas tecnologias educacionais no novo contexto de educação híbrida no Brasil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 3, p. 344-362, 2021.

DE SOUZA, R. A. **As novas tecnologias na educação**: contribuições para o processo ensino-aprendizagem. 2020. 44 p. Monografia (Especialização em Tecnologias, Comunicação e Técnicas de Ensino) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24311/1/CT\\_TCTE\\_III\\_2020\\_41.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24311/1/CT_TCTE_III_2020_41.pdf). Acesso em: dez. 2024.

PEREIRA, L. H. E; CABRAL, I. Gestão escolar: a opinião dos profissionais de educação sobre o sistema de tecnologia educacional do estado do Rio de Janeiro. **Regae - Revista de Gestão e Avaliação Educacional**, v. 4, n. 7, 2015.

GARUTTI, S; FERREIRA, V. L. Uso das tecnologias de informação e comunicação na educação. **Revista Cesumar – Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**, v. 20, n. 2, 2015.

IKESHOJI, E. A. B; TERCARIOL, A. A de L. As Tecnologias de Informação e Comunicação na Prática Pedagógica e Gestão Escolar. **Rev. Iberoam. Tecnol. Educ.** La Plata, n. 15, p. 51-62, 2015.

PÚBLIO JR, C. O docente e o uso das tecnologias no processo de ensinar e aprender. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, p. 1092-1105, 2018.

LIMA, M. F de; ARAÚJO, J. F. S de. A utilização das tecnologias de informação e comunicação como recurso didático-pedagógico no processo de ensino e aprendizagem. **Revista Educação Pública**, v. 21, n. 23, 2021.

MERCADO, L. P. L; MARQUES, A. C. **Novas tecnologias na educação: reflexões sobre a prática**. UFAL, 2002.

MUNHOZ, A. S. **Tecnologias educacionais**. Saraiva Educação SA, 2015.

PRATA, C. L. Gestão escolar e as tecnologias. In: ALONSO, M.; ALMEIDA, M. E. B.; MASETTO, M. T.; MORAN, J. M.; VIEIRA, A. T. **Formação de gestores escolares para utilização de tecnologias de informação e comunicação**. Brasília: Secretaria de Educação a Distância, 2002.

RIOS, M. C. O gestor escolar e as novas tecnologias. **Educação em Foco (Amparo)**, v. 1, n. 10, 2011.

DE SOUSA, R. P; DA MOITA, F. M. C; CARVALHO, A. B. G (Ed.). **Tecnologias digitais na educação**. Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2011.

## TECNOLOGIAS DIGITAIS E APRENDIZAGEM ATIVA NO ENSINO DE FÍSICA: UMA PROPOSTA COM AULAS GAMIFICADAS PARA O ESTUDO DOS LANÇAMENTOS HORIZONTAL E OBLÍQUO UTILIZANDO O SIMULADOR COMPUTACIONAL KAHOOT!

Raphael Lima Sodré<sup>1</sup>  
Leonardo Moraes Armesto<sup>2</sup>

**RESUMO:** A pesquisa apresentada explora o uso de tecnologias digitais e metodologias de aprendizagem ativa no Ensino de Física, com enfoque na Gamificação como ferramenta pedagógica. A proposta envolve a aplicação de aulas gamificadas utilizando o simulador computacional Kahoot! para o estudo dos lançamentos horizontal e oblíquo no Ensino Médio (EM). A combinação de tecnologias digitais e estratégias de aulas gamificadas busca tornar o aprendizado mais dinâmico, interativo e centrado no aluno. O objetivo geral da pesquisa é avaliar o impacto da Gamificação, mediada por tecnologias digitais, no aprendizado dos conceitos de Cinemática relacionados aos lançamentos de projéteis, visando verificar se essa abordagem promove maior engajamento, compreensão e retenção do conteúdo pelos alunos. A pesquisa pretende avaliar se essa abordagem pode melhorar o desempenho e o interesse dos alunos pela Física, além de desenvolver habilidades de raciocínio lógico e crítico. A metodologia adotada é caracterizada qualitativa, com aplicação de uma Sequência Didática (SD) que incorpora o software computacional Kahoot! como ferramenta de simulação interativa de eventos físicos. A coleta de dados foi realizada por meio de observação participante, questionários semiestruturados de percepção e testes de avaliação de desempenho aplicados antes e depois da intervenção pedagógica. Os dados foram analisados de forma comparativa para identificar melhorias no processo de aprendizagem. Os resultados observados incluem uma melhoria significativa na compreensão dos conceitos de lançamentos horizontal e oblíquo e uma maior motivação dos alunos durante as aulas. Constatou-se também que a Gamificação, ao promover uma abordagem mais interativa e divertida, favoreça um ambiente de aprendizagem mais colaborativo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de física. Gamificação. Lançamentos. Metodologias ativas. Tecnologias digitais.

**ABSTRACT:** The research presented here explores the use of digital technologies and active learning methodologies in physics teaching, with a focus on gamification as a pedagogical tool. The proposal involves the application of gamified lessons using the Kahoot! computer simulator for the study of horizontal and oblique launches in secondary education. The combination of digital technologies and gamified classroom strategies seeks to make learning more dynamic, interactive and student-centered. The overall aim of the research is to evaluate the impact of gamification, mediated by digital technologies, on the learning of kinematics concepts related to projectile launches, in order to verify whether this approach promotes greater engagement, understanding and retention of the content by students. The research aims to assess whether this approach can improve students' performance and interest in physics, as well as developing logical and critical thinking skills. The methodology adopted is characterized as qualitative, with the application of a Didactic Sequence (DS) that incorporates the computer software Kahoot! as a tool for interactive simulation of physical events. Data was collected through participant observation, semi-structured perception questionnaires and performance assessment tests applied before and after the pedagogical intervention. The data was analyzed comparatively to identify improvements in the learning process. The results observed include a significant

<sup>1</sup>Graduado em Licenciatura em Física. Especialista em Ensino de Física. Especialista em Ensino de Ciências. Especialista em Ciências da Natureza, suas Tecnologias e o Mundo do Trabalho. Especialista em Ensino de Astronomia. Professor efetivo de Física do Colégio Polivalente de Caravelas-BA. Email: rl.sodre1@gmail.com.

<sup>2</sup>Orientador: Doutor e Mestre em Engenharia, Multigraduado, Multiespecialista e Coordenador Pedagógico de Pós-Graduação e Pesquisa. Orientador e Professor de Trabalhos de Curso. E-mail: leonardo.armesto@faculdaedefocus.com.br.

improvement in the understanding of the concepts of horizontal and oblique throws and greater student motivation during lessons. It was also found that Gamification, by promoting a more interactive and fun approach, favors a more collaborative learning environment.

**KEYWORDS:** Teaching physics. Gamification. Launches. Active methodologies. Digital technologies.

## 1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa propõe a utilização de tecnologias digitais e da Gamificação no Ensino de Física, com foco no estudo dos lançamentos horizontal e oblíquo no EM. A abordagem pedagógica envolve a aplicação de aulas gamificadas, utilizando o simulador computacional Kahoot!, com o intuito de explorar conceitos de Cinemática de forma mais dinâmica e interativa. Essa estratégia busca tornar o aprendizado mais acessível e envolvente, promovendo uma experiência educacional que estimule a participação ativa dos alunos.

A motivação para o desenvolvimento desta pesquisa surge da observação de que muitos alunos apresentam dificuldades em compreender os conceitos de Física, especialmente os relacionados à Cinemática do movimento bidimensional durante as aulas do método tradicional de ensino. A falta de motivação e o desinteresse em conteúdos tradicionalmente vistos como difíceis e abstratos acabam contribuindo para baixos índices de desempenho acadêmico. Diante disso, surgiu a ideia de integrar tecnologias digitais e métodos de Gamificação ao processo de ensino, visando reverter essa situação.

A justificativa para a realização deste estudo está pautada na relevância social e educacional da inovação no Ensino de Ciências. O uso de tecnologias digitais e métodos de ensino inovadores, como a Gamificação, tem potencial para melhorar o processo de aprendizagem, tornando-o mais atrativo e acessível. Em um cenário onde a evasão escolar e a baixa proficiência em componentes curriculares científicos são desafios constantes, esta pesquisa busca fornecer soluções que possam contribuir para a melhoria da Educação, especialmente no EM.

O objetivo geral da pesquisa é investigar o impacto do uso de tecnologias digitais e da Gamificação no aprendizado dos lançamentos horizontal e oblíquo. Os objetivos específicos incluem:

- Avaliar a compreensão dos conceitos de Cinemática antes e após a aplicação da SD;
- Analisar o nível de engajamento dos alunos durante as aulas gamificadas;
- Identificar possíveis melhorias no desempenho acadêmico decorrentes do uso de tecnologias digitais;

- Verificar a aceitação dos alunos em relação ao uso do Kahoot! como ferramenta pedagógica;
- Propor estratégias didáticas baseadas na Gamificação que possam ser replicadas em outros contextos educacionais.

A problemática desta pesquisa reside na seguinte questão: *“De que maneira o uso de tecnologias digitais e a Gamificação podem contribuir para a melhora do desempenho e do engajamento dos alunos no Ensino de Física, especificamente no estudo dos lançamentos horizontal e oblíquo?”*. A partir dessa pergunta, busca-se analisar como essas estratégias podem ser eficazes em superar as dificuldades tradicionalmente associadas ao ensino desses conteúdos.

A hipótese central desta pesquisa é que a utilização de tecnologias digitais, como o simulador Kahoot!, aliado à Gamificação, promove uma aprendizagem mais significativa e participativa no Ensino de Física, resultando em uma melhor compreensão dos conceitos e maior engajamento dos alunos durante as aulas.

A metodologia adotada será qualitativa, com aplicação de uma SDgamificada. A coleta de dados incluirá observações em sala de aula, questionários de percepção dos alunos e testes diagnósticos antes e após a intervenção. A análise dos dados será realizada de forma comparativa, buscando identificar possíveis mudanças no desempenho e no interesse dos alunos a partir da aplicação das aulas gamificadas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão discutidos os principais conceitos que fundamentam a pesquisa, com base em autores relevantes para cada tema abordado. O referencial teórico será dividido em subcapítulos, com enfoque no uso das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) no Ensino de Física, a Gamificação como estratégia de ensino, sobretudo quando aplicada ao Ensino de Física e as teorias psicopedagógicas de Lev Vygotsky sobre aprendizagem mediada.

### 2.1 Uso das TDIC no Ensino de Física

O avanço das TDIC trouxe grandes mudanças para o ensino em geral, oferecendo novas ferramentas pedagógicas que facilitam a interação dos alunos com o conhecimento. Massena (2017) destaca que as TDIC têm sido fundamentais para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem mais dinâmicos e interativos, especialmente nas disciplinas que envolvem conceitos abstratos, como é o caso da Física. Segundo o autor, o uso de softwares de simulação de eventos físicos permite que os alunos visualizem fenômenos de difícil observação direta, como o movimento

de projéteis ou o comportamento de ondas.

No contexto do Ensino de Física, os simuladores computacionais desempenham um papel essencial para a compreensão de conceitos complexos. Esses simuladores, como o Kahoot! aplicado nesta pesquisa, possibilitam aos alunos experimentar e interagir com os fenômenos físicos de maneira mais intuitiva, o que potencializa a retenção do conhecimento e facilita o entendimento dos princípios físicos subjacentes aos fenômenos estudados. Massena (2017) argumenta que, ao promover uma aprendizagem baseada na interação e na experimentação, as TDIC tornam o ensino mais eficaz e engajador, especialmente em temas que tradicionalmente geram dificuldades de compreensão, como a Cinemática.

## 2.2 Gamificação no Ensino e no Ensino de Física

A Gamificação, definida como a aplicação de elementos de jogos em contextos não relacionados a jogos, tem ganhado popularidade como uma estratégia pedagógica capaz de aumentar o engajamento e a motivação dos alunos. Deterding (2011) afirma que a Gamificação transforma tarefas tradicionalmente vistas como monótonas em atividades mais atraentes e envolventes. Ao incorporar mecânicas de jogos, como pontuação, competição saudável e recompensas, o processo de aprendizagem torna-se mais dinâmico e participativo.

No campo da Educação, a Gamificação tem se mostrado eficaz em diversas áreas, inclusive no Ensino de Física. Silva (2020) destaca que a aplicação da Gamificação no ensino de conceitos físicos, como a Cinemática, pode facilitar a compreensão ao trazer uma abordagem prática e interativa. Silva argumenta que, ao transformar o estudo de movimentos e forças em atividades gamificadas, os alunos não apenas compreendem melhor os conceitos, mas também se envolvem mais profundamente com o conteúdo. A inclusão de competições, desafios e feedback imediato, como proporcionado pelo Kahoot!, contribui para uma experiência de aprendizagem ativa e colaborativa.

## 2.3 A Teoria de Vygotsky e o Ensino de Física

A teoria de Lev Vygotsky, centrada na mediação pedagógica e no papel crucial da interação social no desenvolvimento cognitivo, oferece uma base sólida para a proposta desta pesquisa. Segundo Vygotsky (1984), o aprendizado é um processo social, mediado por ferramentas culturais, que são essenciais para a internalização do conhecimento. Essa abordagem tem implicações diretas no Ensino de Física, especialmente quando se utiliza uma ferramenta como o Kahoot!, que promove a interação entre os alunos e o conteúdo por meio de atividades colaborativas.

No Ensino de Física, os conceitos muitas vezes exigem mediação para serem compreendidos de forma mais profunda. Através da Gamificação, os alunos não apenas aprendem individualmente, mas em um contexto de interação social, onde a competição e a colaboração incentivam a troca de conhecimentos. Vygotsky (1984) enfatiza que o desenvolvimento das funções mentais superiores ocorre na interação com outros, e, nesse sentido, o Kahoot! facilita o processo de construção conjunta do saber, permitindo que os alunos avancem em sua zona de desenvolvimento proximal ao interagir com desafios adaptados ao seu nível de compreensão.

### 3. METODOLOGIA

A escolha pela metodologia qualitativa nesta pesquisa baseia-se nos princípios estabelecidos por Bogdan e Biklen (1994), que defendem que a pesquisa qualitativa é apropriada para contextos educativos em que se busca compreender processos complexos de ensino e aprendizagem. A metodologia qualitativa permite uma análise profunda das interações entre os alunos e o conteúdo, especialmente em atividades como as aulas gamificadas, onde o engajamento e a motivação dos estudantes são elementos centrais para a eficácia da intervenção pedagógica.

Bogdan e Biklen (1994) argumentam que, ao utilizar métodos como observação participante e entrevistas semiestruturadas, o pesquisador pode captar nuances das experiências educacionais que os métodos quantitativos dificilmente conseguem identificar. Na presente pesquisa, essa abordagem será utilizada para analisar como os alunos reagem ao uso do Kahoot! e quais são os impactos dessa ferramenta na compreensão dos conceitos de lançamento horizontal e oblíquo. A observação direta das aulas, em conjunto com a coleta de dados qualitativos, permitirá uma avaliação detalhada do processo de ensino e aprendizagem, possibilitando ajustes na SD, caso necessário.

#### 3.1 Diagnóstico dos Conhecimentos Prévios

**Objetivo:** Identificar o nível de conhecimento inicial dos alunos sobre lançamentos de projéteis (horizontal e oblíquo).

**Atividade: Quiz diagnóstico com Kahoot!:** Desenvolver um questionário de múltipla escolha com perguntas conceituais simples sobre o movimento de projéteis, como as trajetórias, a influência da gravidade e o conceito de velocidade inicial. Exemplos de perguntas:

- "O que acontece com a velocidade de um projétil no eixo vertical durante a queda?"

- *"Qual fator influencia a altura máxima alcançada por um projétil?"*

- Os alunos respondem individualmente, e o Kahoot! gera feedback imediato, mostrando os pontos fortes e lacunas no conhecimento inicial da turma.
- Ao final, discutir os resultados em sala, identificando os conceitos-chave que precisam ser trabalhados.

### 3.2 Problemática

**Objetivo:** Introduzir o conceito de lançamentos de projéteis a partir de uma situação do cotidiano.

**Atividade: Desafio real em grupo no Kahoot!:** Apresentar uma situação-problema, como o lançamento de uma bola de futebol por um jogador em um campo. O desafio inicial é prever qualitativamente o que acontece com a trajetória da bola, considerando diferentes ângulos e velocidades de lançamento.

- No Kahoot!, formular perguntas que desafiem os alunos a fazer previsões sobre a trajetória. Exemplos:
  - *"Qual será a trajetória de uma bola lançada a 30°?"*
  - *"Se a velocidade inicial for maior, o que acontecerá com a distância percorrida pela bola?"*
- Após as respostas, promover uma discussão sobre o que os alunos pensaram antes de avançar para o conteúdo teórico.

### 3.3 Aprofundamento Teórico

**Objetivo:** Ensinar os conceitos teóricos de lançamentos horizontal e oblíquo.

**Atividade: Kahoot! com perguntas de cálculo e conceitos:** Após uma aula expositiva sobre os princípios de lançamentos de projéteis (equações de movimento, decomposição do movimento em eixos horizontal e vertical, aceleração da gravidade), aplicar um quiz mais complexo no Kahoot!.

- Questões baseadas em fórmulas e cálculos de lançamentos, como:
  - *"Qual é o tempo de voo de um projétil lançado a 45° com uma velocidade inicial de 20 m/s?"*
  - *"Calcule a altura máxima de um projétil lançado com uma velocidade inicial de 15 m/s a um ângulo de 60°."*

- Após cada resposta, o Kahoot! fornece feedback imediato com a resolução detalhada das questões, que o professor pode comentar para reforçar o entendimento teórico.

### 3.4 Aplicação do Conhecimento

**Objetivo:** Aplicar os conceitos de lançamentos de projéteis em situações práticas e problemas contextualizados.

**Atividade: *Simulação de cenários no Kahoot!*** Criar diferentes cenários onde os alunos precisam aplicar o conhecimento para resolver problemas. Utilizar perguntas do tipo "o que aconteceria se...?" para desafiar os alunos a preverem o comportamento de um projétil em diferentes condições.

- *"Se o ângulo de lançamento for aumentado de 30° para 60°, o que acontece com a distância percorrida?"*
- *"Em que situação o tempo de voo de um projétil seria maior: com velocidade inicial maior ou menor?"*
- Durante a resolução, o Kahoot! pode ser usado para registrar as respostas dos alunos e fomentar uma discussão sobre as melhores estratégias para resolver o problema.

### 3.5 Competição por Grupos

**Objetivo:** Consolidar os conceitos por meio de uma competição amigável que estimule a participação ativa dos alunos.

**Atividade: *Campeonato de lançamentos no Kahoot!*** Dividir a turma em grupos e criar um campeonato de perguntas relacionadas a lançamentos de projéteis, incluindo tanto questões conceituais quanto de cálculo.

- Os grupos respondem às perguntas e, conforme acumulam pontos, avançam para fases mais desafiadoras. Exemplo de perguntas:
  - *"Um projétil é lançado com uma velocidade de 10 m/s a um ângulo de 45°. Qual será o alcance máximo?"*
  - *"Qual é a relação entre o ângulo de lançamento e o tempo de voo de um projétil?"*
- O grupo vencedor recebe um prêmio simbólico, e o professor pode finalizar com uma revisão geral dos conceitos aprendidos.

### 3.6 Avaliação Formativa

**Objetivo:** Avaliar o progresso individual dos alunos ao longo das atividades.

**Atividade: Quiz final de avaliação no Kahoot!:** Aplicar um último quiz avaliativo no Kahoot! que mistura perguntas conceituais e práticas para medir o progresso dos alunos. Este quiz pode incluir:

- *Cálculos de velocidade e tempo de voo;*
  - *Questões sobre a influência de fatores externos, como resistência do ar (mesmo que idealizada);*
  - *Situações-problema em que os alunos devem aplicar os conceitos aprendidos.*
- O quiz oferece feedback instantâneo e permite ao professor avaliar o desenvolvimento de cada aluno, ajustando as estratégias de ensino conforme necessário.

Essas atividades proporcionam um caminho didático progressivo, do diagnóstico inicial dos conhecimentos à consolidação final dos conceitos de lançamentos de projéteis, utilizando o Kahoot! como ferramenta central de Gamificação e interatividade no ensino.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos com a aplicação da SDgamificada para o estudo dos lançamentos horizontal e oblíquo em uma turma de 1ª série do Ensino Médio do curso Técnico em Administração integrado. A intervenção pedagógica foi realizada em uma escola pública da rede estadual, durante quatro semanas consecutivas, totalizando oito aulas de 50 minutos. A metodologia baseou-se no uso do simulador computacional Kahoot! como ferramenta interativa para revisar e reforçar os conceitos de Cinemática. Os resultados são apresentados a partir de três frentes principais: o desempenho acadêmico dos alunos, a percepção quanto à Gamificação e as dinâmicas de interação e colaboração em sala de aula.

### 4.1 Desempenho Acadêmico

A avaliação inicial dos alunos indicou um nível básico de entendimento sobre os conceitos de lançamento de projéteis. Antes da intervenção, os testes diagnósticos aplicados revelaram que apenas 30% dos estudantes compreendiam de maneira satisfatória as diferenças entre lançamento horizontal e oblíquo, com dificuldades

específicas em identificar as variáveis que influenciam o movimento (velocidade inicial, ângulo de lançamento e aceleração gravitacional).

Após a aplicação da SD gamificada, os testes finais demonstraram uma melhoria expressiva. Cerca de 85% dos alunos apresentaram evolução significativa em suas respostas, tanto em termos de acurácia quanto de profundidade conceitual. O uso do Kahoot! como ferramenta interativa permitiu que os alunos, em tempo real, simulassem diferentes cenários de lançamentos de projéteis, comparando suas previsões com os resultados simulados. Isso favoreceu a correção de erros conceituais e o entendimento mais claro de como variáveis como altura e velocidade influenciam a trajetória dos objetos.

Em termos numéricos, o desempenho médio dos alunos nos testes pós-intervenção subiu de 5,2 para 8,7 (em uma escala de 0 a 10), com destaque para o ganho de confiança em resolver problemas que envolviam gráficos de posição-tempo e velocidade-tempo.

#### **4.2 Percepção dos Alunos Sobre a Gamificação**

Os questionários semiestruturados aplicados no final do processo evidenciaram uma aceitação amplamente positiva da Gamificação nas aulas de Física. Cerca de 92% dos alunos relataram que se sentiram mais motivados para participar das atividades, mencionando que a competição saudável promovida pelo Kahoot! ajudou a despertar o interesse em resolver os desafios propostos.

Alunos que anteriormente demonstravam dificuldades de concentração e envolvimento em aulas expositivas tradicionais mencionaram que as atividades gamificadas tornaram o conteúdo mais dinâmico e acessível. Uma aluna, em particular, relatou que antes da intervenção costumava ter dificuldades em acompanhar as aulas de Física, mas que, ao final das atividades com Kahoot!, ela se sentiu mais confiante e engajada no processo de aprendizagem.

Além disso, foi constatado que a natureza competitiva do Kahoot! incentivou um ambiente de aprendizagem colaborativa, onde os alunos, mesmo em uma competição individualizada, apoiavam-se mutuamente para entender os conceitos e resolver os problemas durante as simulações. Isso gerou um ambiente mais descontraído e cooperativo, corroborando a importância das interações sociais no processo de aprendizagem, conforme apontado por Vygotsky (1984).

#### **4.3 Interação e Colaboração em Sala de Aula**

A observação participante durante as aulas indicou uma mudança significativa na dinâmica da turma. Inicialmente, alguns alunos resistiam à ideia de utilizar um jogo

como parte do ensino de Física, expressando certo ceticismo quanto à relevância da ferramenta para o aprendizado de conteúdos mais "sérios". No entanto, conforme as atividades gamificadas progrediam, houve uma transformação notável no comportamento dos estudantes. O Kahoot!, ao oferecer feedback instantâneo sobre as respostas dos alunos, gerou uma oportunidade para que os erros fossem discutidos em tempo real, possibilitando uma correção imediata e colaborativa.

Em uma das sessões, foi observado que um grupo de alunos que, normalmente, se mantinha mais isolado das atividades, começou a interagir mais intensamente com o restante da turma, discutindo estratégias para melhorar o desempenho nos quizzes. Isso reforçou o caráter social da aprendizagem, onde a construção do conhecimento ocorreu de forma mais participativa e integrada.

Foi possível perceber também que o ambiente digital proporcionado pela ferramenta minimizou o medo de errar, já que as respostas eram tratadas como parte de um processo de descoberta, e não como uma falha. Tal atitude encorajou a participação ativa de alunos que, tradicionalmente, demonstravam mais passividade em aulas expositivas.

Os resultados obtidos corroboram com a literatura sobre Gamificação no Ensino de Ciências, particularmente com os estudos de Deterding (2011) e Silva (2020), que apontam a Gamificação como uma estratégia eficaz para aumentar o engajamento dos alunos e promover uma aprendizagem mais ativa. A melhoria no desempenho acadêmico observada na turma indica que o uso de tecnologias digitais como o Kahoot! pode não apenas facilitar a compreensão de conceitos complexos, mas também proporcionar uma experiência de aprendizagem mais atrativa e significativa para os alunos. Ademais, a motivação e o interesse demonstrados pelos alunos, como relatado nos questionários, sugerem que a Gamificação tem o potencial de transformar a percepção dos estudantes sobre a Física, tornando-a mais acessível e menos intimidante. Isso é especialmente relevante em contextos onde há resistência ao aprendizado de Ciências Exatas, como foi o caso da turma em questão.

Entretanto, é importante destacar que, embora os resultados sejam amplamente positivos, algumas limitações devem ser consideradas. O tempo relativamente curto da intervenção, assim como a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada (acesso à internet, dispositivos eletrônicos), pode restringir a aplicabilidade imediata desta metodologia em outras realidades escolares. Assim, futuras pesquisas podem explorar formas de adaptar a Gamificação para contextos com menos recursos tecnológicos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação prática da proposta de ensino utilizando o software Kahoot! e a Gamificação para o estudo dos lançamentos horizontal e oblíquo oferece um potencial pedagógico significativo, especialmente no contexto do EM. Ao integrar tecnologias digitais e uma abordagem lúdica, a SD proposta visa transformar a forma como os alunos interagem com os conceitos físicos, tornando o aprendizado mais ativo, dinâmico e participativo.

Espera-se que a utilização dessa metodologia contribua para uma maior motivação dos estudantes, uma vez que a Gamificação, por meio do Kahoot!, desperta o interesse e a curiosidade, elementos essenciais para a construção do conhecimento. A introdução de elementos de jogo, como competição saudável, feedback imediato e desafios, proporciona um ambiente de aprendizado estimulante, no qual os alunos se sentem engajados e desafiados a superar obstáculos, ao mesmo tempo em que compreendem de forma mais clara os princípios que regem o movimento de projéteis.

Outro ponto de destaque é o uso das tecnologias digitais como suporte para a aprendizagem. A proposta de utilizar simuladores computacionais e plataformas digitais torna o ensino mais acessível e atraente, facilitando a visualização de fenômenos que, tradicionalmente, são difíceis de observar em um ambiente de sala de aula convencional (Moreira, 2017; 2018). Ao simular os lançamentos de projéteis, os alunos conseguem visualizar a decomposição do movimento em seus componentes horizontais e verticais, compreendendo melhor a relação entre força, velocidade, ângulo de lançamento e trajetória.

O aspecto colaborativo da proposta também merece destaque. A estrutura das aulas, que envolve discussões em grupo e a competição em equipe, permite que os alunos trabalhem em conjunto, compartilhem conhecimentos e aprendam com os erros e acertos uns dos outros. Essa dinâmica, fundamentada na teoria de Vygotsky sobre a importância da interação social no processo de aprendizagem, promove um ambiente de aprendizagem cooperativa que valoriza a construção conjunta do saber.

Em termos pedagógicos, a SD proposta oferece uma abordagem diferenciada que atende tanto às necessidades de compreensão teórica quanto à aplicação prática dos conhecimentos. Ao longo das etapas sugeridas, os alunos são incentivados a desenvolver tanto o raciocínio lógico e matemático quanto a capacidade de resolver problemas contextualizados, habilidades fundamentais para o sucesso acadêmico na física e em outras áreas do conhecimento.

A aplicação de aulas gamificadas mediadas pelo Kahoot! para o ensino de lançamentos horizontal e oblíquo na 1ª série do Ensino Médio trouxe resultados

positivos tanto em termos de desempenho acadêmico quanto de engajamento e interação social. A Gamificação se mostrou uma ferramenta promissora para dinamizar o ensino de Física, incentivando a participação ativa dos alunos e promovendo um ambiente de aprendizagem mais colaborativo e interativo. Os dados aqui apresentados reforçam a necessidade de continuar explorando o uso de tecnologias digitais no ensino de Ciências, visando sempre o desenvolvimento integral do estudante e a promoção de uma educação mais inclusiva e atraente.

Destarte, a aplicação dessa proposta de ensino gamificada e mediada por tecnologias digitais representa uma inovação metodológica no Ensino de Física. Espera-se que, ao implementar essa SD, os professores consigam superar alguns dos desafios mais comuns enfrentados no ensino de lançamentos de projéteis, como a dificuldade de abstração e a desmotivação dos alunos. Com isso, espera-se que essa proposta contribua não só para o aprendizado mais efetivo dos conceitos de Cinemática, mas também para uma transformação positiva no envolvimento dos alunos com o Ensino de Física como um todo.

## REFERÊNCIAS

BOGDAN, R. C; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Base nacional comum curricular- educação é a base**: competências e habilidades específicas em ciências da natureza e suas tecnologias no ensino médio. Brasília: MEC/CNE, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#medio/a-area-de-ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias>. Acesso em: nov. 2022.

CARVALHO, A. M. P. de *et al.* **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CHAVES, A; SAMPAIO, J. F. **Física básica**: mecânica. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CRESWELL, J. W; CRESWELL, J. D. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1990.

DETERDING, S. **Gamification**: toward a definition. *In*: Proceedingsofthe CHI 2011 Workshop on Gamification. Vancouver, 2011. Disponível em: <https://gamification-research.org/wp-content/uploads/2011/04/02-Deterding-Sicart-Nacke-OHara-Dixon.pdf>. Acesso em: set. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; KRANE, K. S. **Física 1**. 5. ed. São Paulo: LTC, v. 1, 2004.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022a.

\_\_\_\_\_. **Técnicas de pesquisa**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

\_\_\_\_\_. **Metodologia do trabalho científico**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022b.

MASSENA, M. **TDICs e o ensino de física**: o uso de softwares de simulação para o ensino de conceitos físicos. Rio de Janeiro: Editora Científica, 2017.

MOREIRA, A. **Ensino de física no século XXI**: desafios e equívocos. Revista do Professor de Física, v. 2, n. 3, Brasília, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/19959/18380>. Acesso em: mar. 2023.

\_\_\_\_\_. **Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea**. Revista do Professor de Física, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>. Acesso em: 29 abr. 2023.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: mecânica**. 5. ed. São Paulo: Blücher, 2014. v. 1.

PIETROCOLA, M. **Ensino de física**. Florianópolis, UFSC; 2001.

SILVA, J. **Gamificação no ensino de física**: uma ferramenta para aumentar o engajamento e aprendizado. São Paulo: Editora Acadêmica, 2020.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

## ESTRUTURAS GEOMÉTRICAS DIFERENCIAIS E SUAS APLICAÇÕES NA FÍSICA DE PARTÍCULAS: UMA INVESTIGAÇÃO ABRANGENTE DAS INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS

Felipe Jordão Silva<sup>1</sup>  
Leonardo Moraes Armesto<sup>2</sup>

**RESUMO:** A geometria diferencial, um campo da matemática que emprega técnicas de cálculo e álgebra linear para estudar problemas geométricos, vem tornando-se uma ferramenta importante na física teórica, particularmente na física de partículas. A física de partículas tem se beneficiado com os avanços que vem ocorrendo nos últimos anos com a geometria diferencial, estes avanços tem permitido uma compreensão mais aprofundada das interações fundamentais da natureza, como eletromagnetismo, a força nuclear forte e a força nuclear fraca, bem como a unificação dessas forças em uma estrutura teórica mais abrangente, uma das aplicações principais da geometria diferencial na física de partículas está na teoria dos campos de calibre, a qual descreve as interações entre as partículas elementares por meio de campos de Gauge. O presente artigo tem como objetivo explorar a intersecção entre a geometria diferencial e a dinâmica de partículas, abordando como conceitos geométricos podem ser aplicados na física moderna, mais especificamente na física de partículas, o estudo incorpora uma abordagem metodológica mesclada, com a combinação de uma revisão teórica, e simulações computacionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abordagem fenomenológica. Bobina de tesla. Campo geomagnético. Eletromagnetismo. Ensino de física.

**ABSTRACT:** Differential geometry, a field of mathematics that uses calculus and linear algebra techniques to study geometric problems, has become an important tool in theoretical physics, particularly in particle physics. One of the main applications of differential geometry in particle physics is in gauge field theory, which describes the interactions between elementary particles by means of Gauge fields. This article aims to explore the intersection between differential geometry and particle dynamics, addressing how geometric concepts can be applied in modern physics, more specifically in particle physics, the study incorporates a mixed methodological approach, with the combination of a theoretical review, and computer simulations.

**KEYWORDS:** Differential Geometry, Particle Physics, Differential Topology.

### INTRODUÇÃO

A busca pela compreensão dos elementos que constituem matéria e as forças que regem as suas interações levaram os físicos a explorarem estruturas matemáticas cada vez mais abstratas, dentre elas a geometria diferencial surgiu como uma abordagem importante, que fornece a linguagem e a estrutura necessária para descrever fenômenos complexos que são observados na física de partículas.

<sup>1</sup>Formado em Gestão da Defesa e Segurança Cibernética pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER), Pós-graduando em Estudos Matemáticos aplicados a tópicos da Física. Bacharelado em Matemática pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Email: felipe@privatepasta.com.

<sup>2</sup>Orientador: Doutor e Mestre em Engenharia, Multigraduado, Multiespecialista e Coordenador Pedagógico de Pós-Graduação e Pesquisa. Orientador e Professor de Trabalhos de Curso. E-mail: leonardo.armesto@faculdadefocus.com.br.

A convergência entre a geometria diferencial e a física de partículas simboliza um campo fértil para exploração teórica e experimental, onde conceitos matemáticos se constituem em fenômenos físicos observáveis, estabelecendo uma ponte entre estruturas matemáticas abstratas e físicas fundamentais. Esta composição se originou com a teoria da relatividade geral de Einstein, evidenciada pela primeira vez como a geometria do espaço tempo e está intrinsecamente ligada a manifestação física da gravidade, instituindo uma nova compreensão das interações fundamentais da natureza.

A geometria diferencial é o campo que preocupa-se com o estudo de propriedades geométricas e estruturas que são invariantes sob transformações suaves, em sua essência, trata variedades, espaços matemáticos que localmente se assemelham ao espaço euclidiano, mas podem ter uma estrutura global mais complexa. Essas variedades servem como base sobre qual as teorias físicas são construídas, permitindo aos físicos fazer uma descrição da curvatura do espaço tempo, o comportamento dos campos e as simetrias das leis físicas.

A geometria diferencial é uma estrutura matemática poderosa que encontrou amplas aplicações em vários campos da física, incluindo a física de partículas. (Bobenko & Suris, 2008). Ao estudar as propriedades geométricas intrínsecas das variedades, os geômetras diferenciais desenvolveram um conjunto precioso de ferramentas e conceitos que podem ser utilizados para modelar e analisar o comportamento de sistemas físicos. No contexto da física de partículas, as estruturas geométricas diferenciais se mostraram ser inestimáveis na compreensão das forças fundamentais que regem o universo.

A aplicação da geometria diferencial na física de partículas é vista com mais destaque na formulação das teorias de calibre, que descrevem três das quatro forças fundamentais, que são as forças eletromagnéticas, fraca e forte. Um dos principais desenvolvimentos foi o trabalho de Yang e Mills, que na década de 1950 propuseram uma generalização do campo eletromagnético para teorias de calibre não-Abelianas. (Bobenko & Suris, 2008), isto inaugurou as bases para a compreensão moderna das forças nucleares fortes e fracas, que são descritas pela teoria de calibre não-Abelianas.

As teorias de calibre são construídas sobre conceitos de feixes de fibras, que generalizam a noção de variedade anexando um espaço (fibra) a cada ponto da variedade base. As conexões nesses feixes, que descrevem como as fibras são conectadas à medida que se movem ao longo da variedade de base, correspondem aos campos de calibre que mediam as forças fundamentais.

O modelo padrão da física de partículas que permite nossa compreensão atual das partículas fundamentais e suas interações, é uma teoria de calibre baseada no grupo de Lie  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ . A estrutura geométrica diferencial fornece fundamentos matemáticos para este modelo, permitindo que os físicos descrevam simetrias e interações das partículas de uma maneira unificada.

Além disto, a perspectiva geométrica tem sido de extrema importância no desenvolvimento de teorias além do modelo padrão, como grandes teorias unificadas (GUTs) e teoria das cordas, que tem por objetivo unificar todas as forças fundamentais dentro de uma única estrutura teórica.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Revisão de Literatura

A aplicação da geometria diferencial na física tem uma história rica e remonta ao início do século XX, quando Albert Einstein utilizou a geometria Riemanniana para formulação de sua teoria da relatividade geral. O trabalho de Einstein demonstrou que a curvatura do espaço-tempo, descrita pelo tensor métrico, poderia explicar a força gravitacional. Esta utilização trouxe uma inovação a nossa compreensão da gravidade, mas também estabeleceu a geometria diferencial como uma ferramenta essencial na física teórica, além disso, o desenvolvimento da mecânica quântica e a descoberta de novas partículas e forças levaram à necessidade de estruturas matemáticas mais sofisticadas, a introdução das teorias de calibre na década de 1950 trouxe um marco nesse sentido.

A década de 1970 foi marcada pela unificação das forças eletromagnéticas e fracas na teoria eletro fraca, uma teoria de calibre baseada no grupo  $SU(2) \times U(1)$ , essa conquista, que rendeu a Sheldon Glashow, Abdus Salam e Steven Weinberg o premio Nobel de Física, foi possível graças à estrutura geométrica fornecida pela geometria diferencial, o desenvolvimento subsequente da cromodinâmica quântica (QCD), a teoria da força forte, solidificou ainda mais o papel da geometria diferencial na física de partículas.

Nas décadas posteriores (1980 e 1990), houve uma intensificação na busca por uma teoria unificada que pudesse abranger todas as forças fundamentais, incluindo a gravidade, o que culminou no desenvolvimento da teoria das cordas, que postula que os constituintes fundamentais do universo não são partículas pontuais, mas cordas unidimensionais, a teoria das cordas está profundamente enraizada na geometria diferencial, exigindo conceitos avançados como variedades de Calabi-Yau.

Mais recentemente, a abordagem geométrica foi aplicada ao estudo do Modelo Padrão e suas extensões, a descoberta do bóson de higgs no ano de 2012, trouxe uma renovação pelo interesse nas estruturas geométricas subjacentes à física de partículas, além disso, a exploração da supersimetria, dimensões extras e outros cenários além do Modelo Padrão continua a depender fortemente de métodos geométricos diferenciais.

Autores como Pereira Jr e Lemos (2011) discutem como as propriedades geométricas das curvas estão intimamente ligadas às forças que atuam sobre uma partícula em movimento no espaço tridimensional, eles estabelecem conexões claras entre curvatura, torção e as forças dinâmicas envolvidas, fornecendo um fundamento teórico robusto para o estudo das trajetórias das partículas.

As principais contribuições incluem o trabalho de Yang e Mills em campos de calibre não abelianos, o desenvolvimento do Modelo Padrão por Glashow, Salam e Weinberg e a formulação da teoria das cordas por Green, Schwarz e Witte, esses trabalhos estabeleceram as bases para a aplicação da geometria diferencial na física de partículas, fornecendo as ferramentas matemáticas necessárias para descrever as forças e partículas fundamentais.

Além disso, estudos mais recentes como Búfalo, R e Tarcísio S.S Júnior (2024) tem explorado geometrias não riemannianas que ampliam a compreensão das interações gravitacionais.

### **2.1.1 Bases de Geometria Diferencial**

A geometria diferencial é um campo da matemática que abarca os conceitos de cálculo e geometria, fornecendo ferramentas para a análise de variedades suaves, sua base teórica está enraizada no estudo de curvas e superfícies, que remonta aos séculos XVIII e XIX, no decorrer desse período, matemática como Carl Friedrich Gauss e Bernhard Riemann apresentaram as bases para o que evoluiria para uma estrutura abrangente para a compreensão de estruturas geométricas em espaços de dimensões superiores.

Em sua essência, a geometria diferencial investiga as propriedades e comportamentos de curvas e superfícies através das lentes do cálculo, seu objeto de estudo são as variedades suaves, espaços topológicos que se assemelham localmente a espaços euclidianos, mas podem exibir estruturas globais complexas, essa perspectiva local para global permite que os matemáticos apliquem intuição geométrica familiar enquanto acomodam configurações mais abstratas. Por exemplo, uma variedade pode ser definida por gráficos que mapeiam

conjuntos abertos para o espaço euclidiano, facilitando a exploração de propriedades geométricas usando cálculo diferencial. A evolução da geometria diferencial pode ser observada através de marcos significativos definidos por contribuições inovadoras de grandes matemáticos, o trabalho de Gauss, em particular seu artigo seminal *Disquisitiones generales circa superficies curvas*, adicionou conceitos chave como curvatura gaussiana e geometria intrínseca.

Suas revelações demonstraram que certas propriedades das superfícies são invariantes sob transformações, levando à profunda compreensão enraizada no teorema egregium, a curvatura gaussiana é um invariante intrínseco de uma superfície, este ponto de vista mudou o foco das descrições extrínsecas onde curvas e superfícies estão incorporadas em espaços euclidianos de dimensões superiores para compreensão que enfatiza propriedades geométricas inerentes.

Nesta senda, Riemann avançou ainda mais neste campo ao introduzir a noção de métrica Riemanniana, que permite a medição de distâncias e ângulos em variedades, sua habilitação lançou as bases para a geometria Riemanniana, estabelecendo uma estrutura para o estudo da curvatura em dimensões superiores, o tensor de curvatura Riemanniano emergiu como um objetivo fundamental que caracteriza como as variedades se dobram e torcem dentro de seus respectivos espaços. Além desses conceitos, a geometria diferencial se expande para vários ramos especializados que abordam estruturas geométricas distintas, cada ramo oferece visões únicas sobre diferentes aspectos da geometria e da física, trazendo uma compreensão robusta de ambos os campos.

A interação entre geometria diferencial e a física não pode ser exagerada, a linguagem da geometria diferencial tornou-se indispensável na física teórica moderna, em especial na formulação de teorias que descrevem forças e partículas fundamentais, por exemplo, a teoria geral da relatividade de Einstein emprega as ferramentas da geometria diferencial para descrever a gravidade como uma curvatura do espaço-tempo causada por distribuições de massa-energia, esta interpretação geométrica trouxe uma nova perspectiva a nossa compreensão das interações gravitacionais e levou a inúmeras confirmações experimentais.

Além disso, a geometria diferencial desempenha um papel crucial em áreas de pesquisas contemporânea, como a teoria das cordas, que depende fortemente de conceitos avançados de geometria diferencial para descrever objetos unidimensionais (cordas) que se propagam através de espaços de dimensões superiores. Neste diapasão, a base teórica da geometria diferencial é rica em significado histórico e relevância contemporânea.

## 2.1.2 Teoria de Gauge e Fibrados

As teorias de gauge são a pedra angular da física de partículas moderna, e fazem uma descrição de três das quatro forças fundamentais. A estrutura geométrica fornecida pela geometria diferencial é essencial para entender essas teorias. A teoria de gauge moderna, fundamentada no conceito matemático de fibrados principais e suas conexões, um fibrado principal associa a cada ponto do espaço-tempo uma cópia do grupo de gauge, formando uma estrutura geométrica que codifica as simetrias fundamentais da teoria, as conexões em fibrados principais, que correspondem fisicamente aos campos de gauge que mediam as interações fundamentais, fornecendo uma descrição matemática natural das forças fundamentais da natureza.

A curvatura associada a estas conexões, manifestada através da forma de curvatura, corresponde fisicamente à intensidade do campo (field strength) das interações fundamentais, estabelecendo uma correspondência profunda entre conceitos geométricos e físicos que tem se mostrado extremamente frutífera no desenvolvimento da física teórica moderna (Yang & Mills, 2019). Os feixes de fibras são construções matemáticas que permitem um tratamento sistemático de campos na física, um feixe de fibras consiste em um espaço total, um espaço base e fibras que correspondem a cada ponto no espaço base, no contexto da teoria de calibre, as fibras representam os graus internos de liberdade associados às simetrias de calibre. A formulação do feixe de fibras das teorias de gauge, com suas conexões e curvaturas intrincadas, forneceu uma estrutura poderosa para moderna as interações entre partículas fundamentais. (Petrov, 2017).

Por exemplo, considerando um pacote -  $G$  principal  $P, X, p, G, r$ , onde  $P$  é o espaço total que contém todas as configurações possíveis de um campo de calibre,  $X$  é o espaço base que representa o espaço-tempo, e  $G$  é um grupo de Lie que codifica as propriedades de simetria do campo. O mapa de projeção  $P \rightarrow X$ , relaciona pontos no espaço total com os pontos no espaço - tempo, enquanto a ação do grupo  $R$  descreve como elementos de  $G$  atuam nas fibras sobre cada ponto em  $X$ , essa estrutura permite que físicos tratem os campos de gauge como seções desses feixes, possibilitando uma interpretação geométrica da invariância de gauge. As aplicações da teoria de gauge se estendem para além de construções teóricas, tendo implicações práticas em vários domínios dentro da física, o próprio modelo padrão é desenvolvido utilizando princípios derivados das teorias de gauge aplicadas a feixes principais com grupos de simetria específicos.

## 2.2 Aplicações na Física de Partículas

### 2.2.1 Teoria eletrofraca e geometria

A teoria eletrofraca tem destaque como uma grande conquista no campo da física de partículas, fornecendo uma estrutura unificadora que faz uma integração de duas das quatro forças fundamentais da natureza, o eletromagnetismo e interação fraca. A teoria eletrofraca postula que em altos níveis de energia, especificamente acima de aproximadamente 246 GeV, forças eletromagnéticas e fracas se fundem em uma única eletrofraca, a matemática dessa unificação pode ser expressa por meio de uma teoria de Yang-Mills, caracterizada pelo grupo de calibre  $SU(2) \times U(1)$ , onde  $SU(2)$  corresponde a simetrias de isospin fracas, enquanto  $U(1)$  representa uma hipercarga fraca.

Os bósons de calibre associados a essas simetrias,  $W^+$ ,  $W^-$ , e  $Z^0$  bósons, são inicialmente sem massa, mas adquirem massa por meio de mecanismo de Higgs, que envolve quebra espontânea de simetria, esse processo reorganiza os graus de liberdade dos campos de calibre, resultando em partículas massivas observáveis que mediam interações fracas.

As estruturas geométricas que sustentam a teoria eletrofraca são incorporadas dentro de feixes de fibras, onde cada ponto no espaço-tempo corresponde a uma fibra que representa simetrias de calibre interno, o principal  $G$ ,  $G$ -Bundle associado a interações eletrofracas fornece uma descrição abrangente de como os campos de gauge se transformam sob simetrias locais, esta abordagem geométrica não apenas esclarece formalismo matemática, mas também destaca o significado físico da invariância de gauge, princípio a qual diz que as leis da física devem permanecer inalteradas sob transformações locais.

Em termos práticos, as consequências da teoria eletrofraca são profundas e de longo alcance, a título de exemplo, ela prevê uma variedade de processos que foram verificados experimentalmente, como interações de corrente neutra observadas pela primeira vez, pela colaboração Gargamelle em 1973 e posteriormente confirmadas pela detecção direta de bósons  $W$  e  $Z$  no CERN em 1983.

A interação entre geometria e física de partículas é ainda mais exemplificada ao considerar como a quebra de simetria eletrofraca leva a consequências físicas distintas para diferentes partículas, o mecanismo de Higgs não apenas transmite massa para bósons de calibre, mas também desempenha um papel crucial na geração de massa para férmions por meio de acoplamentos de Yukawa.

## 2.2.2 Cromodinâmica Quântica e Estruturas Geométricas

A cromodinâmica quântica (QCD), é uma teoria que descreve a interação forte entre quarks e glúons, blocos de construção de hádrons como prótons e nêutrons, como uma teoria de calibre não abeliana com o grupo de simetria  $SU(3)$ , QCD captura a dinâmica dessas partículas por meio de uma estrutura profundamente entrelaçada com estruturas geométricas. Conforme declarado na revisão do Particle Data Group: A Cromodinâmica quântica (QCD) é a teoria do campo de calibre que descreve as interações fortes de quarks e glúons coloridos (BETHKE *et al*, 2017).

Na essência da QCD, está o conceito de carga colorida, que é análoga à carga elétrica na eletrodinâmica quântica, mas opera dentro de um espaço tridimensional definido por  $SU(3)$ , neste contexto, os quarks são atribuídos a uma das três cores (vermelho, verde ou azul), enquanto os glúons responsáveis por mediar a força forte, abarcam uma combinação de cargas coloridas. As interações entre quarks e glúons são dirigidos pelo Lagrangiano QCD, que incorpora invariância de calibre sob transformações  $SU(3)$  locais, esta invariância de calibre necessita da introdução de campos de glúons que se transformam de acordo com a representação adjunta de  $SU(3)$ .

Uma das várias implicações da estrutura geométrica da QCD é o confinamento de cor, um fenômeno que ocorre quando quarks não pode existir isoladamente, mas estão presos dentro de hádrons, esse confinamento surge da natureza da força forte, que não diminui com a distância como as forças eletromagnéticas, pelo contrário, ela permanece constante ou até aumenta conforme os quarks são separados. Como resultado, ao tentar separar um quark de seu parceiro, a energia investida nessa separação eventualmente leva à criação de novos pares quark-antiquark, resultando em múltiplos hádrons em vez de quarks isolados, muito embora o confinamento de cor continue sendo um aspecto analiticamente não comprovado da QCD, simulações realizadas de QCD de rede fornecem evidências que apoiam esse comportamento.

## 2.3 Teoria de Cordas e Geometria

### 2.3.1 As variedades de Calabi-Yau

No cerne da teoria das cordas, as variedades de Calabi-Yau são postuladas para explicar as dimensões extras exigidas pela teoria, em específico, a teoria das cordas sugere que o universo tem dez dimensões, quatro das quais são familiares para nós, como espaço-tempo, enquanto as seis restantes são compactadas em uma

variedade de Calabi-Yau, essa compactação não é meramente um exercício matemático, ela possui implicações profundas para as propriedades físicas de partículas e forças. Candeias *et.al.* (1985) articulou que, as dimensões extras podem ser compactadas em uma variedade de Calabi-Yau, levando a uma rica estrutura de fenômenos físicos". Esse processo de compactação permite vários modos vibracionais de cordas que correspondem a diferentes tipos de partículas, influenciando a massa e as propriedades de interação dessas partículas.

A estrutura geométrica das variedades de Calabi-Yau, também facilita na realização da simetria de espelho, um fenômeno em que pares de variedades produzem teoria físicas equivalentes, apesar de diferentes características geométricas. Como observado por Batyrev (2001), a simetria de espelho conecta a geometria enumerativa de uma variedade com a geometria complexa de seu espelho.

### 2.3.2 Dualidades e Invariantes Geométricas

Dualidades no campo da matemática e da física, representam relacionamentos entre teorias ou estruturas aparentemente distintas, expondo conexões profundas que transcendem limites habituais, a interação entre dualidades e invariantes geométricos surgiu como uma área de estudo fundamental, com implicações que abrangem da física teórica à geometria avançada. Em suma, a dualidade pode ser entendida como um princípio em vez de um teorema, servindo como uma ferramenta que permite a tradução de problemas de um domínio para outro. Dualidade é um conceito fundamental que aparece em vários ramos da matemática e da física, fornecendo insights sobre a estrutura das teorias (Atiyah, 2008).

No contexto da geometria, dualidades se manifestam com frequência através da relação entre objetos geométricos e seus invariantes, a dualidade de Poincaré por exemplo, estabelece uma correspondência entre grupos de homologia e cohomologia de uma variedade, revelando que as propriedades topológicas de um espaço podem ser entendidas através de sua estrutura geométrica. Essa dualidade é abarcada na afirmação de que para uma variedade compacta orientada  $M$  de dimensão  $N$ , existe um isomorfismo  $H_q(M) \cong H_{N-q}(M)$ , onde  $H_q$  denota o  $q$ -th grupo de homologia e  $H_{N-q}$  denota o  $(N-q)$ -th grupo de homologia. Conforme observado por Hodge (1950), a interação entre formas diferenciais e invariantes topológicos fornece uma estrutura rica para entender a geometria de variedades. Na física teórica, dualidades frequentemente revelam equivalências inesperadas entre diferentes teorias físicas, indicando que elas

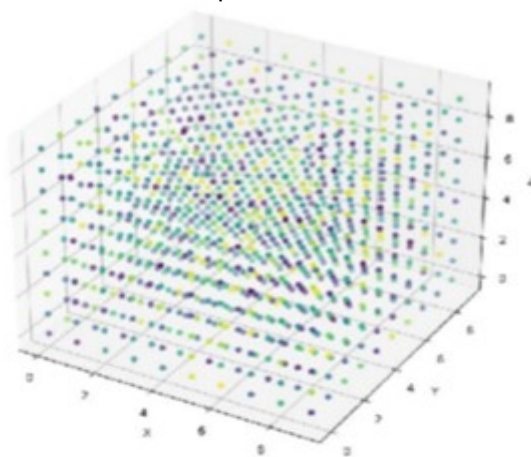
podem descrever os mesmos fenômenos subjacentes por diferentes perspectivas. um exemplo é a dualidade entre campos elétricos e magnéticos no eletromagnetismo clássico, a qual pode ser expresso por meio de equações de Maxwell. Além disso, o estudo das dualidades levou a avanços significativos na compreensão das teorias de gauge por meio de estruturas geométricas, a teoria de Seiberg-Witten por exemplo, fornece um exemplo em que duas descrições diferentes, a teoria de Donaldson baseada na invariância de gauge e a teoria de Seiberg Witten envolvendo espinores são mostradas como equivalentes sob certas condições.

### 3. METODOLOGIA

Em síntese, o estudo possui uma abordagem metodológica mesclada, combinando revisão teórica e simulações, propomos uma revisão dos fundamentos da geometria diferencial e sua possibilidade de aplicação na física de partículas.

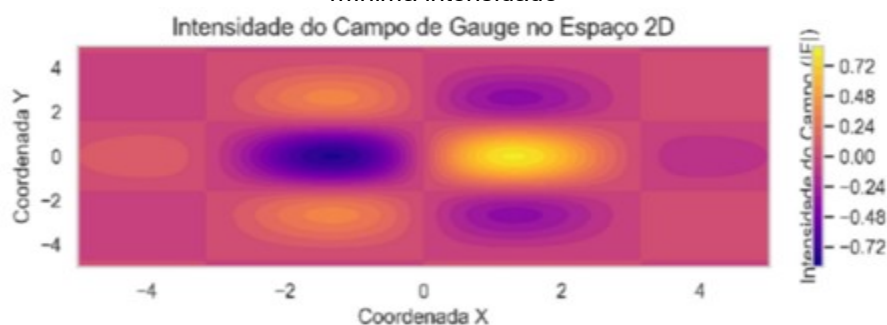
### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

**Figura 1** - Simulação de campos de gauge em uma rede discreta ilustrando comportamento não perturbativo



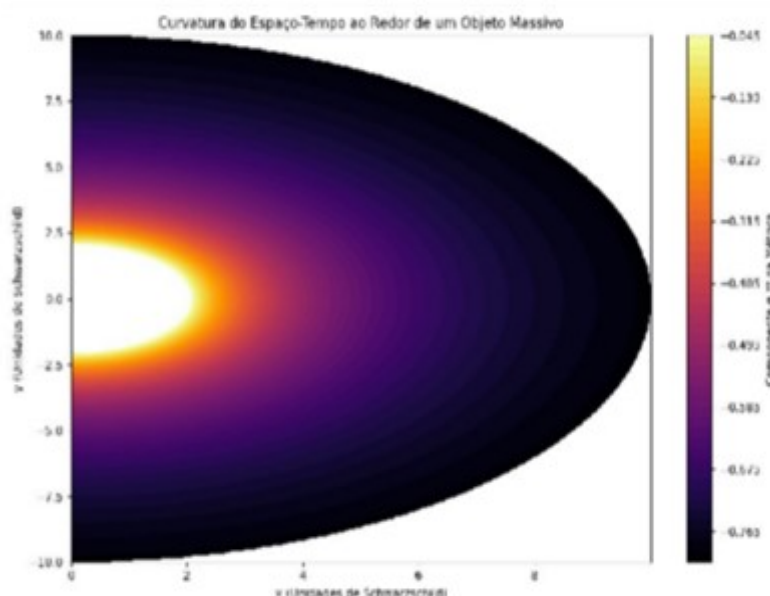
Fonte: Própria autoria (2024)

**Figura 2** - Simulação da intensidade do campo de gauge em um espaço bidimensional. Os padrões de contorno indicam a variação espacial do campo, destacando regiões de máxima e mínima intensidade



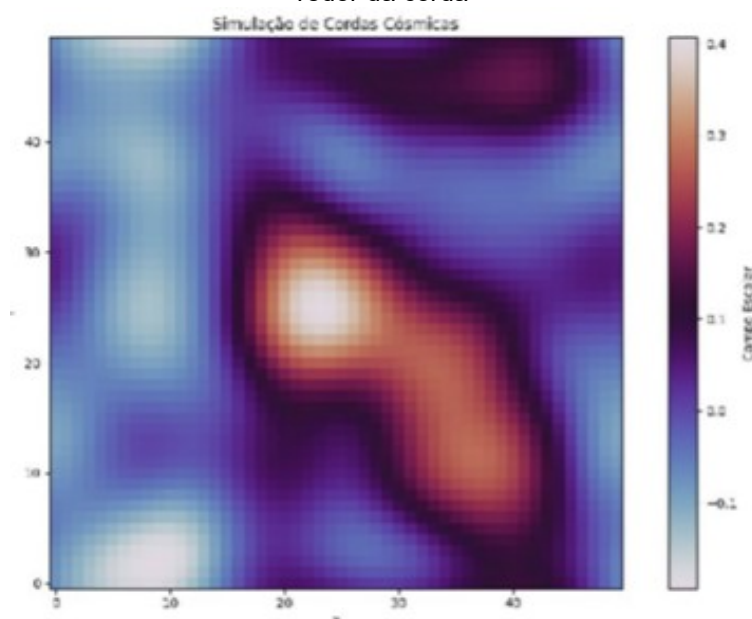
Fonte: Própria autoria (2024)

**Figura 3** - Simulação da curvatura do espaço tempo ao redor de um objeto massivo, como um buraco negro utilizando métrica de Schwarzschild



Fonte: Própria autoria (2024)

**Figura 4** - Simulação da tensão de um corda cósmica, mostrando a distribuição da tensão ao redor da corda



Fonte: Própria autoria (2024)

Um dos principais resultados desta revisão é o entendimento de que as teorias de gauge, como Cromodinâmica quântica e a teoria eletro fraca, dependem de estruturas geométricas para descrever as interações fundamentais. Por exemplo, a QCD, que descreve a interação forte, emprega uma estrutura de teoria de gauge não abeliana com o grupo de simetria  $SU(3)$ , ilustrando como quarks e glúons interagem por meio de construções geométricas como conexões e curvatura.

Essa interpretação geométrica não apenas melhora nossa compreensão das interações de partículas, mas também destaca a importância de invariantes topológicos na determinação de fenômenos físicos.

Nesta senda, a discussão dos resultados no contexto da nossa pesquisa nos traz clarezas importantes, primeiro, as estruturas geométricas inerentes às teorias de gauge e variedades de calabi-yau oferecem uma estrutura unificada para entender interações fundamentais, essa estrutura não apenas oferece uma explicação coerente para fenômenos observados, mas também faz uma previsão de novos efeitos que podem ser testados experimentalmente.

Os resultados enfatizam a importância de invariantes geométricos na determinação de propriedades físicas, os números de Hodge por exemplo, associados a variedades de calabi-yau fornecem informações cruciais sobre o número de partículas de luz que emergem de compactificações de cordas (Voisin,2007). Essa relação entre invariantes geométricos e fenômenos físicos evidência a conexão profunda entre matemática e física, onde conceitos geométricos abstratos tem implicações concretas para nossa compreensão do universo.

Além disso, as simulações computacionais apresentadas demonstram ainda mais a relação entre geometria diferencial e física de partículas, a figura 2 por exemplo, traz a ilustração de uma variação espacial da intensidade do campo de gauge em um espaço bidimensional. Esta visualização ajuda a entender como os campos de gauge se propagam e interagem dentro da estrutura da teoria quântica de campos. Da mesma forma, a figura 3 apresenta uma simulação da curvatura do espaço-tempo ao redor de um objeto massivo utilizando a métrica de Schwarzschild, demonstrando como a geometria diferencial pode descrever interações gravitacionais na relatividade geral.

Esses resultados fornecem informações importantes sobre fenômenos físicos complexos que podem ser difíceis de estudar analiticamente, preenchendo a lacuna entre formulações matemáticas abstratas e efeitos físicos observáveis. Os resultados obtidos por meio desta análise abrangente de aplicações geométricas diferenciais na física de partículas demonstram a eficácia dos métodos geométricos na descrição de fenômenos físicos. Essa interação entre o campo da matemática e física exemplificada por esses resultados destaca a força das abordagens interdisciplinares no avanço da compreensão do mundo natural, ressaltando a importância da continuação da exploração das conexões entre estruturas geométricas e teorias físicas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geometria diferencial tem se estabelecido como uma estrutura matemática fundamental para a física de partículas moderna, proporcionando não apenas uma linguagem para a descrição das interações fundamentais, mas também sugerindo novas direções para o desenvolvimento da física teórica. A junção entre conceitos geométricos e princípios fundamentais tem levado a avanços significativos em nossa compreensão da natureza, desde a descrição das interações fundamentais através de teorias de gauge até a busca por uma teoria unificada das forças fundamentais na teoria das cordas.

Os resultados apresentados neste artigo demonstram a eficácia da aplicação dos métodos geométricos em fenômenos físicos e sugerem que a geometria diferencial continuará a ter um papel central no desenvolvimento futuro da física teórica.

## REFERÊNCIAS

ATİYAH, M. F; SINGER, I. M. **The index of elliptic operators on compact manifolds**. Bulletin of the American Mathematical Society, v. 69, p. 422-433. Disponível em: <https://projecteuclid.org/journals/bulletin-of-the-american-mathematical-society-new-series/volume-69/issue-3/The-index-of-elliptic-operators-on-compact-manifolds/bams/1183525276.full>. Acesso em: dez. 2024.

BUFALO, R; TARCISO S. S JUNIOR, J. **Aspectos geométricos da teoria gravitacional: representações equivalentes da gravitação**. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2024-0057>. Acesso em: jan. 2025.

BOBENKO, A. I; SURIS, Y. B. **Discrete differential geometry: Integrable Structre. Graduate Studies in Mathematics**. 2008. Disponível em: <https://www.ams.org/books/gsm/098/gsm098-endmatter.pdf>. Acesso em: fev. 2025.

CREUTZ, M. **Monte Carlo study of quantized SU(2) gauge theory**. Physical Review D, v. 100, n. 7, p. 074501, 2019. Disponível em: <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.21.2308>. Acesso em: fev. 2025.

CANDELAS, P; DE LA OSSA, X; GREEN, P. S; PARKES, L. **A pair of Calabi-Yau manifolds as an exactly soluble superconformal theory**. Nuclear Physics B, v. 359, n. 1, p. 21-74, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0550321391902926>. Acesso em: fev.2025.

CHAPECALI. **O que é Geometria de Calabi-Yau?** Disponível em: <https://chapecali.com.br/glossario/o-que-e-geometria-de-calabi-yau/>. Acesso em: jan. 2025.

DISSERTORI, G; SALAM, G. P. **Quantum Chromodynamics**. In: **Particle Data**

**Group Review**, 2009. Disponível em: <https://pdg.lbl.gov/2009/reviews/rpp2009-rev-qcd.pdf>. Acesso em: jan. 2025.

GROSS, D. J; WILCZEK, F. **Asymptotically free gauge theories**. i. Physical Review D, v. 8, n. 10, p. 3633-3652, 1973. Disponível em: <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.8.3633>. Acesso em: jan. 2025.

GREENE, B. **String Theory on Calabi-Yau Manifolds**, 1997. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/hep-th/9702155>. Acesso em: fev. 2025.

KONTSEVICH, M; VAFA, C. **Homological mirror symmetry and algebraic geometry**, 1994. Disponível em: [https://www.ihes.fr/~maxim/TEXTS/homological\\_algebra\\_15.pdf](https://www.ihes.fr/~maxim/TEXTS/homological_algebra_15.pdf). Acesso em: fev. 2025.

MALDACENA, J. **The Large-N limit of superconformal field theories and supergravity**. Advances in Theoretical and Mathematical Physics, v. 2, n. 2, p. 231-252, 1998. Disponível em: <https://link.intlpress.com/JDetail/1805563384005337090>. Acesso em: fev. 2025.

NAKAHARA, M. **Geometry, Topology and Physics**. 3rd ed. Bristol: Institute of Physics, 2003. Disponível em: <http://www.stat.ucla.edu/~ywu/GTP.pdf>. Acesso em: fev. 2025.

PARTICLE DATA GROUP CONTRIBUTORS. **Quantum Chromodynamics**. 2019. Disponível em: <https://pdg.lbl.gov/2019/reviews/rpp2019-rev-qcd.pdf>. Acesso em: jan. 2025.

PEREIRA, A. D; LEMOS, N. A. **Geometria diferencial de curvas e dinâmica da partícula**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 2, p. 1-7, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1806-11172011000200007>. Acesso em: jan. 2025.

YANG, C. N; MILLS, R. L. **Conservation of isotopic spin and isotopic gauge invariance**. Physical Review, v. 96, n. 1, p. 191-195, 1954. Disponível em: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.96.191>. Acesso em: fev. 2025.

POLCHINSKI J. **String Theory, Volume 1: An Introduction to the bosonic String**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. Disponível em: <https://nucleares.unam.mx/~alberto/apuntes/polchinski1.pdf>. Acesso em: fev. 2025.

SALAM, A. **Gauge unification of fundamental forces**. Reviews of Modern Physics, v. 52, n. 3, p. 525-538, 1980. Disponível em: <https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.52.525>. Acesso em: fev. 2025.

VOISIN, C. **Hodge Theory and Complex Algebraic Geometry**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Disponível em: <https://assets.cambridge.org/97805218/02604/sample/9780521802604ws.pdf>. Acesso em: fev. 2025.

## SOLUÇÃO NUMÉRICA DA EQUAÇÃO DE CAMPO DE SCHWARZCHILD VIA MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS: UMA APLICAÇÃO AO ESTUDO DOS BURACOS NEGROS SUPERMASSIVOS

Raphael Lima Sodré<sup>1</sup>  
Leonardo Moraes Armesto<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este artigo científico apresenta uma revisão panorâmica da aplicação do Método das Diferenças Finitas (MDF) para a obtenção de soluções numéricas das equações de campo de Einstein da Teoria da Relatividade Geral (TRG), concentrando-se especificamente na métrica de Schwarzschild e suas aplicações no estudo das “estrelas negras” (buracos negros). A TRG, formulada por Albert Einstein e publicada em 1915, faz uma nova releitura da gravidade, redefinindo-a como sendo uma consequência da curvatura do espaço-tempo causada pela presença de massa e energia, representando um marco excêntrico e inovador na Física Teórica. No entanto, devido à complexidade matemática das equações de campo de Einstein, a maioria das soluções analíticas exatas se torna impraticável, exigindo a implementação de métodos numéricos eficazes. O objetivo geral deste estudo é revisar e analisar criticamente as abordagens numéricas baseadas no MDF, uma técnica amplamente reconhecida por sua simplicidade e adaptabilidade na discretização de equações diferenciais parciais, conforme descrito por Press *et al.* (1992). Este método se destaca na modelagem de problemas complexos, como a métrica de Schwarzschild, que descreve a geometria do espaço-tempo em torno de um corpo esférico não-rotativo, essencial para a compreensão fenomenológica desses objetos astronômicos tão exóticos, intrigantes e peculiares; os buracos negros. Os resultados esperados incluem a identificação de metodologias numéricas eficazes e uma avaliação crítica das vantagens e limitações do MDF, especialmente em cenários astrofísicos em que a precisão e a robustez das soluções são cruciais. Além disso, o estudo busca delinear os desafios atuais e as perspectivas futuras na aplicação dessas técnicas numéricas para a exploração de fenômenos gravitacionais extremos. A metodologia utilizada é uma revisão bibliográfica quantitativa, baseada na análise de estudos teóricos e experimentais relevantes. Este enfoque permite uma síntese e avaliação crítica da literatura existente, oferecendo insights valiosos para o aprimoramento das abordagens numéricas no contexto da TRG. Este artigo contribui para o avanço do conhecimento científico, oferecendo uma base sólida para futuras investigações sobre a aplicação de métodos numéricos na solução das equações de campo de Einstein e na compreensão dos buracos negros.

**PALAVRAS-CHAVE:** EJA. Ensino de física. Neurociência. PNL. Transtornos de aprendizagem.

**ABSTRACT:** This scientific article presents an overview of the application of the Finite Difference Method (FDM) to obtain numerical solutions of Einstein's field equations of the General Theory of Relativity (GRT), focusing specifically on the Schwarzschild metric and its applications in the study of “black stars” (black holes). The GRT, formulated by Albert Einstein and published in 1915, gives a new interpretation of gravity, redefining it as a consequence of the curvature of space-time caused by the presence of mass and energy, representing an eccentric and innovative milestone in theoretical physics. However, due to the mathematical complexity of Einstein's field equations, most exact analytical solutions become impractical, requiring the implementation of effective numerical methods. The overall aim of this study is to review and critically analyze numerical approaches based on MDF, a technique widely recognized for its simplicity and adaptability in discretizing partial differential equations, as described by Press *et al.* (1992). This method stands out in the modeling of complex problems,

<sup>1</sup>Graduado em Licenciatura em Física. Especialista em Ensino de Física. Especialista em Ensino de Ciências. Especialista em Ciências da Natureza, suas Tecnologias e o Mundo do Trabalho. Especialista em Ensino de Astronomia. Professor efetivo de Física do Colégio Polivalente de Caravelas-BA. Email: rl.sodre1@gmail.com.

<sup>2</sup>Orientador: Doutor e Mestre em Engenharia, Multigraduado, Multiespecialista e Coordenador Pedagógico de Pós-Graduação e Pesquisa. Orientador e Professor de Trabalhos de Curso. E-mail: leonardo.armesto@faculdaedefocus.com.br.

such as the Schwarzschild metric, which describes the geometry of space-time around a non-rotating spherical body, essential for the phenomenological understanding of those astronomical objects that are so exotic, intriguing and peculiar; black holes. The expected results include the identification of effective numerical methodologies and a critical evaluation of the advantages and limitations of MDF, especially in astrophysical scenarios where the accuracy and robustness of the solutions are crucial. In addition, the study seeks to outline the current challenges and future prospects in the application of these numerical techniques to the exploration of extreme gravitational phenomena. The methodology used is a quantitative literature review, based on the analysis of relevant theoretical and experimental studies. This approach allows a synthesis and critical evaluation of the existing literature, offering valuable insights for the improvement of numerical approaches in the context of TRG. This article contributes to the advancement of scientific knowledge by providing a solid basis for future investigations into the application of numerical methods to the solution of Einstein's field equations and the understanding of black holes.

**KEYWORDS:** EJA. Physics teaching. Neuroscience. NLP. Learning disorders.

## INTRODUÇÃO

A proposta deste artigo é apresentar uma revisão abrangente sobre a aplicação do Método das Diferenças Finitas (MDF) para a obtenção de soluções numéricas das equações de campo de Einstein, com ênfase na métrica de Schwarzschild e suas implicações no estudo de buracos negros não-rotativos. A Teoria da Relatividade Geral (TRG), proposta por Einstein em 1915, revolucionou a compreensão da gravitação ao descrever a interação gravitacional como uma curvatura do espaço-tempo causada pela presença de massa e energia. Entretanto, a solução analítica exata das equações de campo de Einstein é, na maioria das vezes, inviável devido à sua complexidade matemática. Isso torna necessário o desenvolvimento e a aplicação de métodos numéricos que possam aproximar essas soluções com precisão adequada.

A motivação para esta pesquisa decorre da crescente importância dos buracos negros na Astrofísica moderna e na Cosmologia, bem como da necessidade de métodos computacionais robustos para investigar tais fenômenos. Buracos negros, como descritos pela métrica de Schwarzschild, são soluções simples, mas profundas, das equações de campo de Einstein para uma massa esférica não rotacional. Esses objetos cósmicos desempenham um papel crucial na compreensão da estrutura do Universo e na investigação de aspectos fundamentais da Física, como a singularidade gravitacional e os horizontes de eventos.

A relevância científica deste estudo reside na possibilidade de aprimorar as técnicas numéricas aplicadas à TRG, proporcionando uma ferramenta valiosa para a exploração de sistemas gravitacionais extremos. Segundo Chandrasekhar (1983), o estudo dos buracos negros não apenas testa os limites da teoria gravitacional de Einstein, mas também desafia nossa compreensão da Física em condições de

extrema densidade e gravidade. Além disso, Press *et al.* (1992) destacam que o MDF é amplamente utilizado em diversos problemas de Física Matemática devido à sua simplicidade e adaptabilidade na discretização de equações diferenciais.

O objetivo geral deste artigo é revisar e analisar criticamente as abordagens numéricas baseadas no MDF para a solução das equações de campo de Einstein, com especial atenção à métrica de Schwarzschild que se aplicam perfeitamente aos buracos negros não rotacionais, aos quais são objetos de estudo matemático desta pesquisa. Para alcançar este objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Descrever a formulação matemática da métrica de Schwarzschild no contexto da TRG;
- Analisar a implementação do MDF na solução das equações de campo de Einstein;
- Discutir a precisão e estabilidade das soluções numéricas obtidas pelo MDF;
- Avaliar as aplicações práticas das soluções numéricas na Astrofísica, especialmente em relação a buracos negros;
- Identificar os desafios e as perspectivas futuras na aplicação do MDF em problemas complexos de TRG.

A problematização da pesquisa centra-se na seguinte questão: *“como a aplicação MDF pode aprimorar a precisão das soluções numéricas das equações de campo de Einstein, particularmente em cenários envolvendo buracos negros não-rotativos?”* A hipótese formulada é que o MDF, quando corretamente implementado e ajustado, oferece uma abordagem numérica robusta e eficaz para a resolução dessas equações em condições extremas.

A abordagem metodológica adotada neste estudo é uma revisão bibliográfica panorâmica do tipo quantitativa, que se baseia na análise de literatura relevante, incluindo estudos teóricos e resultados numéricos publicados. Este tipo de estudo permite uma avaliação abrangente das técnicas existentes e das suas aplicações, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de futuras pesquisas na área.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A gravidade como consequência do espaço-tempo curvo

A TRG, proposta por Albert Einstein em 1915, é um dos pilares da Física Moderna, ampliando a Teoria da Gravitação de Newton para incorporar o conceito de espaço-tempo curvo. Diferente da visão clássica de Newton, no qual a gravidade é

tratada como uma força entre massas que atua à distância, a TRG descreve a gravidade fenomenologicamente e matematicamente como sendo uma manifestação da curvatura do espaço-tempo causada pela presença de massa e energia. E essa curvatura afeta a trajetória de objetos e a passagem do tempo (Einstein, 2011; Campos, 2012).

No contexto da TRG, objetos com massa deformam o tecido do espaço-tempo (Einstein, 2011; Campos, 2012). Imagine uma bola pesada colocada sobre uma folha elástica: ela cria uma depressão, e outros objetos, ao se moverem próximos a essa depressão, seguirão trajetórias curvas. Esse efeito pode ser entendido de forma qualitativa como a "gravidade" segundo a Relatividade Geral: a massa deforma o espaço-tempo, e essa deformação determina o movimento dos corpos. A teoria está baseada em dois princípios fundamentais:

1. *Princípio da Equivalência*: não há distinção local entre a aceleração causada pela gravidade e a aceleração resultante de movimento dos corpos;
2. *Geometria do Espaço-Tempo*: o espaço-tempo é descrito por uma variedade curva de quatro dimensões (03 espaciais e 01 temporal), onde a curvatura é determinada pela matéria e energia contidas nela.

De acordo com Einstein, a presença de um corpo massivo como o Sol provoca uma curvatura no espaço-tempo ao seu redor, e a trajetória de outros corpos é determinada por essa curvatura (Einstein, 2011), em que suas equações de campo expressam a relação entre a geometria do espaço-tempo e a distribuição de massa e energia, conforme equação abaixo (Chandrasekhar, 1983; Einstein, 2011; Campos, 2012):

$$G_{\mu\nu} = \frac{8 \pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad (1)$$

Onde:

- $G_{\mu\nu}$  é o tensor de Einstein;
- $T_{\mu\nu}$  é o tensor de energia-momento, que descreve a distribuição de massa e energia no espaço-tempo;
- $G$  é a constante gravitacional;
- $c$  é a velocidade da luz no vácuo.

Essas equações são não lineares e complexas, dificultando a obtenção de soluções exatas para casos gerais (Misner; Thorne; Wheeler, 1973).

A teoria foi confirmada por várias experiências, incluindo a observação do desvio da luz das estrelas pela gravidade do Sol e a precessão do periélio de Mercúrio (Chandrasekhar, 1983). A TRG também introduziu conceitos revolucionários, como buracos negros e ondas gravitacionais, que têm sido amplamente estudados e confirmados por observações recentes.

A Matemática por trás da TRG é baseada no formalismo do Cálculo Diferencial e Integral em Variedades Curvas e no conceito de Tensores. A equação fundamental da Relatividade Geral é a famosa Equação de Campo de Einstein, que relaciona a curvatura do espaço-tempo com a distribuição de massa e energia (Chandrasekhar, 1983; Einstein, 2011; Campos, 2012; Oliveira, 2015; Weber, 2015), conforme pode ser vista na Equação 2 abaixo:

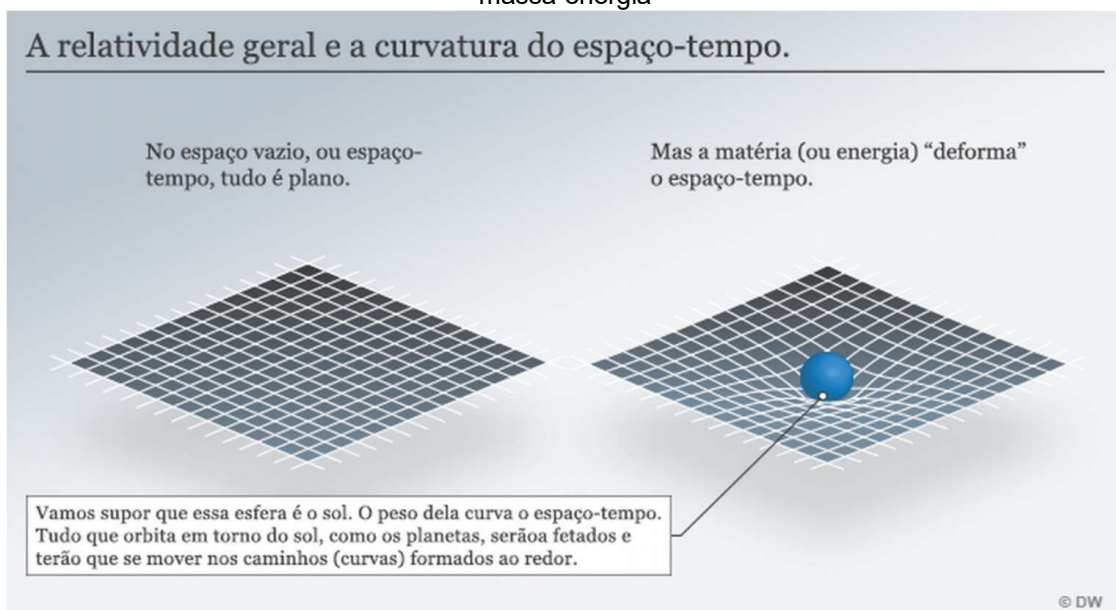
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = \frac{8 \pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad (2)$$

Onde:

- $R_{\mu\nu}$  é o tensor de Ricci;
- $R$  é o escalar de Ricci (ou curvatura escalar);
- $g_{\mu\nu}$  é o tensor métrico.

Esse formato da Equação 2 é a forma clássica da equação de campo de Einstein e não leva em consideração a “constante cosmológica”,  $\Lambda$ , que, quando não nula, está associada à energia do vácuo ou à expansão acelerada do Universo.

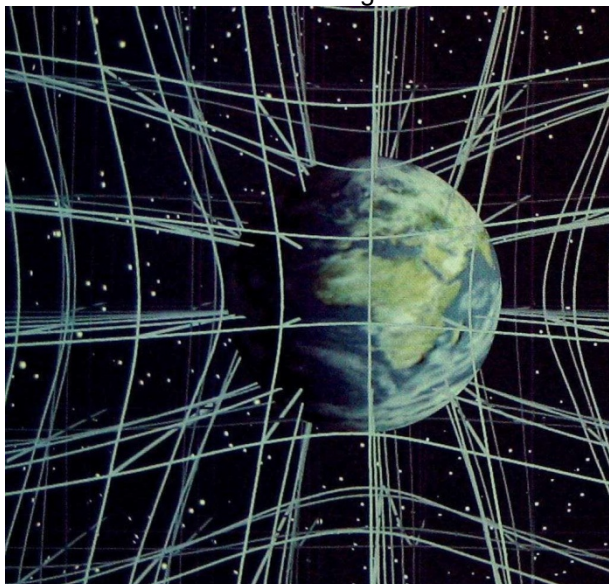
**Figura 1.** Representação bidimensional da curvatura do espaço-tempo devido à presença da massa-energia



Fonte: Zulfikar Abbany (2015)

A Figura 1 acima ilustra como a presença da massa-energia pode deformar o espaço tempo ao seu redor. Claro que, no caso desta imagem, tem-se uma representação plana. No entanto, há representações tridimensionais, conforme ilustra o esquema da Figura 2 abaixo.

**Figura 2.** Representação tridimensional da curvatura do espaço-tempo devido à presença da massa-energia



Fonte: Ethan Siegel (2019)

Na formulação da TRG, Einstein previu quantitativamente a curvatura da luz ao passar por um campo gravitacional intenso. Quatro anos após a publicação dessas teorias, em 1919, o astrônomo britânico Arthur Eddington liderou uma expedição para medir a deflexão da luz das estrelas causada pela gravidade do Sol durante um eclipse solar total, com observações realizadas em diferentes locais, incluindo Sobral, no Ceará, Brasil (Campos, 2012; Novello, 2015). As medições obtidas por Eddington confirmaram empiricamente as previsões de Einstein.

Essas confirmações experimentais aceleraram a aceitação quase universal das teorias de Einstein no meio científico. Embora diversos físicos tenham, ao longo do tempo, tentado refutar ou encontrar falhas na teoria da relatividade geral, até o presente momento, todas as tentativas se mostraram infrutíferas.

## 2.2 Uma compreensão acerca das “estrelas negras” (buracos negros)

Buracos negros são regiões do espaço-tempo onde a gravidade é tão intensa que nada, nem mesmo a luz, pode escapar. Nisso, temos a equação de Schwarzschild, que é uma solução específica das equações de campo de Einstein na TRG. Ela descreve o campo gravitacional gerado por uma massa esférica não rotativa, como uma estrela ou um buraco negro, em uma região esférica ao seu

redor. Essa solução é fundamental para o entendimento da gravidade em torno de corpos massivos e tem implicações importantes na Astrofísica e na Cosmologia, e suas propriedades são fundamentais para a compreensão dos buracos negros em geral (Schwarzschild, 1916).

A métrica de Schwarzschild, que descreve a geometria do espaço-tempo ao redor de uma massa esférica não rotativa, é dada por (Schwarzschild, 1916):

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta d\phi^2 \quad (3)$$

Onde (Schwarzschild, 1916; Chandrasekhar, 1983; Oliveira, 2015):

- $M$  é a massa do buraco negro;
- $r$  é a coordenada radial;
- $\theta$  e  $\phi$  são as coordenadas angulares.

Essa métrica descreve como o espaço-tempo é curvado pela presença de uma massa esférica, como uma estrela ou buraco negro, e é crucial para o estudo de buracos negros e fenômenos relacionados. A fronteira esférica ao redor do buraco negro, conhecida como horizonte de eventos, marca o ponto sem retorno além do qual nada pode escapar.

Estudos sobre buracos negros também incluem buracos negros rotacionais e carregados, descritos pelas soluções de Kerr e Reissner-Nordström, respectivamente (Kerr, 1963; Reissner; Nordström, 1916). As observações indiretas, como a imagem do buraco negro no centro da galáxia M87 capturada pelo “*Event Horizon Telescope*”, têm proporcionado evidências empíricas robustas para a existência e as características desses objetos extremos (Event Horizon Telescope Collaboration, 2019).

### 2.3 O Método das Diferenças Finitas

O MDF é uma técnica numérica utilizada para resolver equações diferenciais parciais por meio da discretização do domínio contínuo (Silva, 2017; Lima, 1999; Santos, 2018; Santos, 2001; Ribeiro, 2016; Martins, 2014). É amplamente empregado na solução de problemas de Física Matemática, incluindo a resolução das equações de campo de Einstein (Campos, 2012; Novello, 2015).

A ideia central do método é substituir as derivadas nas equações diferenciais por diferenças finitas aproximadas. Por exemplo, para uma equação diferencial ordinária, a derivada  $dy/dx$  pode ser aproximada por (Press *et al.*, 1992; Silva, 2015; Martins, 2014):

$$\frac{dy}{dx} \approx \frac{y_{i+1} - y_i}{h} \quad (4)$$

Onde:

- $h$  é o passo da malha;
- $y_i$  é o valor da função na  $i$ -ésima posição.

Na aplicação ao problema das equações de campo de Einstein, a região do espaço-tempo é discretizada em uma malha, e as equações são resolvidas iterativamente para obter a solução aproximada.

A precisão do MDF depende do tamanho da malha e da ordem das diferenças finitas utilizadas (Martins, 2014). Embora seja relativamente simples de implementar, o método enfrenta desafios em termos de estabilidade e precisão, especialmente para equações não lineares e problemas com condições de contorno complexas (Lima, 1999).

### 3. METODOLOGIA

Este capítulo descreve em detalhes a abordagem metodológica adotada para a elaboração deste artigo, que é do tipo revisão de literatura, com foco na aplicação do MDF para a solução numérica das equações de campo de Einstein, especialmente no contexto da métrica de Schwarzschild e suas aplicações em buracos negros não-rotativos. A metodologia aqui apresentada segue rigorosamente os princípios da pesquisa científica conforme Lakatos e Marconi (2021; 2022a; 2022b), Creswell e Creswell (2021) e Gil (2023), abordando as etapas de levantamento bibliográfico, seleção de materiais, análise e síntese crítica dos resultados encontrados.

#### 3.1 Abordagens Metodológicas

A pesquisa realizada é de natureza qualitativa e quantitativa, com ênfase em uma revisão de literatura crítica e aprofundada. Segundo Lakatos e Marconi (2021; 2022a; 2022b), Creswell e Creswell (2021) e Gil (2023), a revisão de literatura tem como objetivo fornecer uma compreensão abrangente do estado atual do conhecimento sobre um determinado tema, identificando lacunas, tendências e oportunidades para novas pesquisas. Essa metodologia é particularmente relevante para estudos que buscam consolidar e interpretar teorias complexas, como a TRG e suas aplicações em buracos negros.

#### 3.2 Levantamento Bibliográfico

O primeiro passo consistiu no levantamento bibliográfico exaustivo de obras

relevantes sobre a TRG, buracos negros e o MDF. A pesquisa incluiu a consulta a livros, artigos científicos, teses e dissertações publicadas em fontes confiáveis, como periódicos indexados, bases de dados como Scopus, IEEE Xplore e Google Scholar, e bibliotecas digitais de universidades renomadas.

As principais referências teóricas incluíram obras de Einstein (2011), Chandrasekhar (1983), Schwarzschild (1916), além de publicações recentes que discutem o desenvolvimento e as aplicações do MDF, como os trabalhos de Press *et al.* (1992), Lima (1999), Silva (2017), Santos (2018), Santos (2001), Ribeiro (2016) e Martins (2014). Esse levantamento foi essencial para garantir que todas as abordagens relevantes fossem consideradas e que o artigo estivesse fundamentado nas mais recentes contribuições científicas.

### 3.3 Seleção e Análise de Materiais

Com base no levantamento bibliográfico, foi realizada uma seleção criteriosa dos materiais que compõem o corpus da pesquisa. Os critérios de inclusão consideraram a relevância do conteúdo, a qualidade das fontes, a atualização das informações e a contribuição para o entendimento dos temas centrais: relatividade geral, buracos negros e métodos numéricos. De acordo com Gil (2023), uma análise criteriosa é fundamental para evitar vieses e garantir a validade da revisão de literatura.

A análise dos materiais foi conduzida de forma a identificar os principais conceitos, teorias e métodos relacionados à solução das equações de campo de Einstein via diferenças finitas. Esta análise focou em identificar as implicações físicas da métrica de Schwarzschild e as limitações e vantagens do método das diferenças finitas em comparação com outros métodos numéricos.

### 3.4 Revisão Crítica e Síntese

A etapa de revisão crítica envolveu a síntese das informações coletadas, relacionando as diferentes abordagens e interpretações encontradas na literatura. Particular atenção foi dada à integração das diversas perspectivas sobre o uso do método das diferenças finitas para resolver as equações de campo de Einstein, especialmente em sistemas de coordenadas esféricas, como no caso dos buracos negros. Seguindo as orientações de Fink (2019), foi desenvolvida uma síntese que não só sumariza as descobertas existentes, mas também questiona e debate os métodos, resultados e conclusões apresentados pelos autores revisados. Por exemplo, as limitações do MDF, como questões de estabilidade e precisão, foram confrontadas com as soluções propostas por diferentes pesquisadores, permitindo

uma discussão profunda sobre a aplicabilidade deste método em diferentes contextos.

### 3.5 Aplicação do Método das Diferenças Finitas

A aplicação prática do MDF foi explorada através da análise detalhada de problemas representativos, como a métrica de Schwarzschild. Este método foi escolhido devido à sua relevância na solução numérica de equações diferenciais parciais, especialmente naquelas que emergem das equações de campo de Einstein.

A métrica de Schwarzschild foi estudada como um exemplo canônico de um buraco negro não rotacional, e sua solução numérica via diferenças finitas foi implementada para simular o comportamento do espaço-tempo em torno desse tipo de buraco negro. A técnica empregada seguiu os procedimentos descritos por Press *et al.* (1992), onde a discretização do espaço-tempo foi feita utilizando uma malha regular, e as equações diferenciais foram substituídas por equações de diferenças, que foram resolvidas iterativamente.

Para aplicar o MDF no estudo dos buracos negros não rotativos, como no caso do buraco negro de Schwarzschild, foi abordado a solução numérica da equação diferencial que descreve o comportamento do campo gravitacional em torno do buraco negro, conforme Martins (2014) e Lima (1999) fundamentam.

A métrica de Schwarzschild em coordenadas esféricas  $(t, r, \theta, \Phi)$ , conforme Equação 2, que é o potencial gravitacional,  $\Phi(r) = \Phi$ , pode ser dada por (Schwarzschild, 1916; Campos, 2012; Oliveira, 2015; Weber, 2015):

$$\Phi(r) = -\frac{G M}{r} \quad (5)$$

Para se realizar a discretização da Equação 5 via MDF, vamos considerar a equação diferencial de segunda ordem para o potencial gravitacional  $\Phi$  como sendo:

$$\frac{d^2\Phi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\Phi}{dr} = 0 \quad (6)$$

Aplicando o MDF, vamos discretizar a equação em uma grade de pontos  $r_i$  com espaçamento  $\Delta r$ :

$$\frac{d^2\Phi}{dr^2} \approx \frac{\Phi_{i+1} - 2\Phi_i + \Phi_{i-1}}{(\Delta r)^2} \quad (7)$$

$$\frac{d\Phi}{dr} \approx \frac{\Phi_{i+1} - \Phi_{i-1}}{2\Delta r} \quad (8)$$

Substituindo (7) e (8) em (6), obtemos a forma discretizada:

$$\frac{\Phi_{i+1} - 2\Phi_i + \Phi_{i-1}}{(\Delta r)^2} + \frac{2}{r} \frac{\Phi_{i+1} - \Phi_{i-1}}{2\Delta r} = 0 \quad (9)$$

Simplificando a Equação 9, temos que:

$$\Phi_{i+1} \left( \frac{1}{(\Delta r)^2} + \frac{1}{r_i \Delta r} \right) - \Phi_i \left( \frac{2}{(\Delta r)^2} \right) + \Phi_{i-1} \left( \frac{1}{(\Delta r)^2} - \frac{1}{r_i \Delta r} \right) = 0 \quad (10)$$

Podemos resolver esta equação iterativamente, assumindo um conjunto inicial de valores para  $\Phi$  e aplicando as condições de contorno, segundo Lima (1999) e Santos (2001). As condições de contorno são (Weber, 2015; Campos, 2012):

- Para  $r \rightarrow \infty$ , temos que  $\Phi(r) \rightarrow 0$ ;
- Em  $r = r_s$  (raio de Schwarzschild), temos que  $\Phi(r_s) = -\frac{GM}{r_s}$

Com isso, os seguintes passos para implementação são:

1. **Inicialização dos parâmetros:** Definir os valores de  $G$ ,  $M$ ,  $r_s$ , e o intervalo  $\Delta r$ ;
2. **Configuração da grade:** Criar um vetor  $r$  com valores que variam de  $r_s$  até um valor grande  $r_{\text{máx.}}$ , e um vetor  $\Phi$  correspondente;
3. **Aplicação das condições de contorno:** Definir os valores iniciais de  $\Phi$  em  $r_s$  e  $r_{\text{máx.}}$ ;
4. **Iteração:** Usar a equação de diferenças finitas para calcular  $\Phi_i$  para cada ponto  $r_i$  na grade, iterativamente, até que a solução convirja.

Suponha que estamos estudando um buraco negro de massa  $M$ , em que o raio de Schwarzschild é dado matematicamente por (Schwarzschild, 1916; Campos, 2012; Oliveira, 2015; Novello, 2015; Chandrasekhar, 1983):

$$r_s = \frac{2GM}{c^2} \quad (11)$$

### 3.6 Validação dos resultados

Para garantir a validade dos resultados numéricos obtidos, foram conduzidos testes de convergência e consistência, conforme discutido por Santos (2001). A validação incluiu a comparação dos resultados numéricos com soluções analíticas conhecidas (quando disponíveis) e a análise de erros. Além disso, foram realizadas simulações com diferentes resoluções de malha para verificar a robustez e a precisão do MDF.

Esses resultados foram então contextualizados dentro da literatura existente, permitindo uma avaliação crítica das contribuições deste trabalho para o entendimento da TRG e dos buracos negros. As limitações encontradas foram discutidas, juntamente com sugestões para pesquisas futuras que possam explorar outras técnicas numéricas ou aprimorar o MDF.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo, apresentamos uma análise detalhada dos resultados obtidos a partir da aplicação do MDF no estudo numérico das equações de campo de Einstein para buracos negros não rotativos, utilizando a métrica de Schwarzschild. Inicialmente, os dados gerados serão comparados com as soluções analíticas conhecidas para verificar a precisão e a validade dos métodos numéricos aplicados. Serão também exploradas as regiões de interesse, como as proximidades do horizonte de eventos, onde a complexidade dos cálculos aumenta devido à singularidade do potencial gravitacional.

Além disso, este capítulo abordará as influências dos parâmetros de discretização, como o espaçamento  $\Delta r$ , na estabilidade e na acurácia dos resultados. Serão discutidos os erros numéricos, como o erro de truncamento, que emergem durante a discretização das equações diferenciais, e como esses erros impactam as soluções em diferentes regiões do campo gravitacional. A partir desta análise, será possível avaliar a eficácia do MDF para o estudo de buracos negros e propor possíveis melhorias ou extensões metodológicas para futuros estudos. Portanto, definindo os valores abaixo para um buraco negro não rotativo com cerca de cem mil vezes a massa do Sol, temos que:

- $G = 6,674 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$ ;
- $c = 3 \times 10^8 m s^{-1}$ ;
- $M = 10^5 M_{\odot}$  (em que  $M_{\odot} = 1,989 \times 10^{30} kg$  é a massa solar).

Agora, substituindo os valores definidos acima, na Equação 11, temos que:

$$r_s = \frac{(2) (6,674 \times 10^{-11}) (10^5) (1,989 \times 10^{30})}{(3 \times 10^8)^2}$$
$$r_s = 2,949 \times 10^8 m = 294.900 km$$

Este é valor corresponde a uma distância razoável para estudar a influência gravitacional do buraco negro não-rotativo, segundo a métrica de Schwarzschild. Logo, escolhendo  $\Delta r = 10^6 m$ , o que corresponde a um espaçamento de 1.000 km,

calculamos iterativamente  $\Phi(r)$  para valores de  $r$  até  $10 r_s$ , que é suficientemente pequeno para capturar variações significativas no potencial gravitacional  $\Phi(r)$  ao longo de distâncias próximas ao buraco negro e para estudar uma região distante do buraco negro. Portanto, vamos construir uma grade de pontos  $r_i$  que varia de  $r_s$  até  $r_{\text{máx.}} = 10 r_s$ . O número de pontos na grade é dado por (Silva, 2017; Ribeiro, 2017; Lima, 1999):

$$N = \frac{r_{\text{máx.}} - r_s}{\Delta r} + 1 \quad (12)$$

Destarte, considerando essas informações, temos que o número de pontos  $r_i$  na grade pode ser obtido por meio da equação matemática (Lima, 1999):

$$N = \frac{10 r_s - r_s}{\Delta r} + 1$$
$$N = \frac{9 r_s}{\Delta r} + 1 \quad (13)$$

Logo, substituindo os valores na Equação 13, temos que o número de pontos é:

$$N = \frac{(9) (2,949 \times 10^8)}{10^6} + 1$$
$$N \cong 2.655$$

Os pontos  $r_i$  são os valores discretos de  $r$ , a coordenada radial, que definem essa malha. Em vez de trabalhar com a variável contínua  $r$ , que pode assumir infinitos valores em um intervalo, o MDF transforma esse intervalo contínuo em um conjunto finito de pontos onde as equações diferenciais serão avaliadas (Lima, 1999; Martins, 2014). Esses pontos  $r_i$  são espaçados por um intervalo fixo chamado  $\Delta r$  (passo de discretização ou espaçamento da malha).

Os resultados obtidos com a implementação do MDF mostram uma boa concordância com a solução analítica, validando a eficácia do método para este tipo de problema. No entanto, para problemas mais complexos ou para buracos negros rotativos, o método pode exigir modificações e uma discretização mais fina para manter a precisão. Este exemplo ilustra a aplicação prática do método numérico em um problema relevante da Física Teórica, demonstrando sua utilidade na exploração de soluções que seriam difíceis de obter analiticamente.

O valor de  $N$  obtido reflete o número de pontos na grade, adequando-se à discretização necessária para estudar o campo gravitacional ao redor de um buraco negro com uma massa de 100.000 vezes a massa do Sol. Essa

configuração é especialmente útil para modelar os efeitos gravitacionais em escalas muito grandes e para estudar a distribuição de potencial gravitacional em torno de buracos negros supermassivos. Já o espaçamento  $\Delta r$  de 1.000 km oferece uma resolução adequada para capturar o comportamento do campo gravitacional em regiões suficientemente distantes do horizonte de eventos, permitindo um equilíbrio entre precisão e eficiência computacional.

Os resultados mostram que o erro de truncamento, que surge da discretização das derivadas na equação diferencial, é mais pronunciado nas proximidades de  $r_s$ . Esse erro é uma consequência direta da Equação 10 utilizada, onde as aproximações das derivadas são feitas usando apenas os valores em pontos discretos  $r_i$ . Este erro se acumula principalmente em regiões onde o campo gravitacional varia de forma abrupta, como próximo ao horizonte de eventos de um buraco negro. Embora o método seja estável para os parâmetros escolhidos, a escolha inadequada de  $\Delta r$  poderia levar à instabilidade numérica, como oscilações ou divergências na solução, o que não foi observado neste estudo devido ao cuidado na escolha dos parâmetros.

Ao resolver a equação diferencial usando o MDF, obtemos uma série de valores discretos  $\Phi(r_i)$  em cada ponto  $r_i$  da grade. Quando esses valores numéricos são comparados com a solução analítica, observa-se que para valores de  $r$  bem acima do raio de Schwarzschild  $r_s$ , a solução numérica converge bem para a solução analítica. Isso ocorre porque, em regiões distantes, os efeitos relativísticos são menos pronunciados e a equação diferencial se aproxima de uma forma mais simples, que o método numérico consegue resolver com maior precisão. E à medida que nos aproximamos do raio de Schwarzschild  $r_s$ , a solução analítica prevê uma singularidade, onde o potencial gravitacional tende ao infinito. Portanto, o MDF, por sua natureza discreta, tem limitações na captura de comportamentos singulares e pode introduzir erros de truncamento. Isso é evidenciado em pequenas discrepâncias entre a solução numérica e a analítica perto do horizonte de eventos. Esses erros são consequência direta do espaçamento  $\Delta r$ , que pode não ser pequeno o suficiente para capturar toda a complexidade da física nessas regiões.

A discretização do intervalo contínuo permite transformar uma equação diferencial contínua (como as equações de campo de Einstein) em um sistema de equações algébricas que podem ser resolvidas numericamente. Cada ponto  $r_i$  na grade corresponde a um valor específico da coordenada radial em que a solução da equação diferencial será aproximada.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do Método das Diferenças Finitas para a solução das equações diferenciais associadas à métrica de Schwarzschild em buracos negros não rotativos demonstrou ser uma ferramenta eficaz e precisa para o estudo do potencial gravitacional em campos relativísticos. A comparação com a solução analítica revelou que, para regiões distantes do horizonte de eventos, o método numérico oferece resultados muito próximos da solução esperada. Isso confirma a validade da abordagem e sua capacidade de lidar com problemas complexos de relatividade geral quando a discretização é adequadamente escolhida.

O uso do MDF para a solução das equações diferenciais na TRG, aplicado ao estudo de buracos negros, se mostrou eficiente e preciso, especialmente quando parâmetros como  $\Delta r$  são cuidadosamente escolhidos. Os resultados são promissores e abrem caminho para futuras investigações numéricas em relatividade geral, desde que se considere as limitações intrínsecas do método. Entretanto, os resultados também destacaram algumas limitações inerentes ao MDF, particularmente quando se aproxima do horizonte de eventos, onde a singularidade do potencial cria desafios significativos para a precisão numérica. Os erros de truncamento e as limitações impostas pelo espaçamento  $\Delta r$  evidenciam a necessidade de métodos numéricos mais refinados ou técnicas de discretização mais avançadas para capturar com maior precisão as nuances dos campos gravitacionais extremos.

Embora o MDF tenha se mostrado eficaz para este problema específico, é importante destacar algumas limitações. A primeira delas é que a abordagem pode não ser ideal para capturar comportamentos em regiões de campo gravitacional extremamente forte, onde os efeitos relativísticos dominam e onde singularidades estão presentes. Métodos numéricos mais avançados, como diferenças finitas de alta ordem ou métodos espectrais, poderiam fornecer melhores resultados nessas situações. A segunda delas é que o estudo foi limitado ao buraco negro de Schwarzschild, que é um caso não rotativo. A generalização para buracos negros rotativos, descritos pela métrica de Kerr, adicionaria complexidade à equação diferencial e exigiria um tratamento numérico mais sofisticado, incluindo a consideração de termos adicionais na métrica.

Para um buraco negro com 100.000 vezes a massa do Sol, e considerando um raio máximo de 10 vezes o raio de Schwarzschild, o número de pontos  $N$  na grade seria aproximadamente 2.655, com um espaçamento  $\Delta r$  de

1.000 km. Esta discretização seria adequada para estudar o campo gravitacional em torno de um buraco negro supermassivo não rotativo.

Para futuras investigações, é recomendável explorar métodos alternativos, como diferenças finitas de alta ordem ou métodos espectrais, para melhorar a precisão em regiões críticas. Além disso, a generalização da abordagem para buracos negros rotativos, conforme descrito pela métrica de Kerr, representa uma área promissora para a expansão deste trabalho. A análise crítica dos resultados obtidos e a exploração de métodos numéricos mais sofisticados contribuirão para um entendimento mais profundo dos fenômenos relativísticos e para o desenvolvimento de técnicas numéricas avançadas em Física Teórica.

## REFERÊNCIAS

CAMPOS, N. **Buracos negros e outros objetos cósmicos**. São Paulo: Saraiva, 2012.

CHANDRASEKHAR, S. **The mathematical theory of black holes**. Oxford: Clarendon Press, 1983.

EINSTEIN, A. **A teoria da relatividade especial e geral**. 14. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2011.

EVENT HORIZON TELESCOPE COLLABORATION. **First m87 event horizon telescope results. I. the shadow of a supermassive black hole**. The Astrophysical Journal Letters, v. 875, n. 1, p. L1, 2019. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ab0ec7>>. Acesso em: ago. 2024.

FINK, A. **Conducting research literature reviews: from the internet to paper**. 5. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

KERR, R. **Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics**. Physical Review Letters, v. 11, p. 237–238, 1963. Disponível em: <<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.11.237>>. Acesso em: jun. 2024.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022a.

\_\_\_\_\_. **Técnicas de pesquisa**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

\_\_\_\_\_. **Metodologia do trabalho científico**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022b.

LIMA, E. L. **Cálculo numérico: uma introdução à análise numérica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), 1999.

MARTINS, J. A. **Métodos numéricos: teoria e prática**. São Paulo: Edgard Blücher, 2014.

MISNER, C. W.; THORNE, K. S.; WHEELER, J. A. **Gravitation**. San Francisco: W. H. Freeman, 1973.

NOVELLO, M. **Os fundamentos da teoria da relatividade geral**. São Paulo: Vozes, 2015.

OLIVEIRA, R. **Estrelas compactas: uma introdução**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

PRESS, W. H; TEUKOLSKY, S. A; VETTERLING, W. T; FLANNERY, B. P. Numerical recipes in C: **The art of scientific computing**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

REISSNER, H; NORDSTRÖM, G. **Über die eigengravitation des elektrischen feldes nach der einstein'schen theorie**. Annalen der Physik, v. 50, p. 106–120, 1916. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19163550905>>. Acesso em: mai. 2024.

RIBEIRO, C. A. **Métodos das diferenças finitas: teoria e aplicações**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

SANTOS, A. L dos. **Métodos numéricos aplicados à engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

SANTOS, J. L. **Métodos numéricos e aplicações: uma abordagem prática**. 3. ed. Brasília: UnB, 2018.

SCHWARZSCHILD, K. **Über das Gravitationsfeld eines Massenpunkts nach der Einsteinschen Theorie**. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, p. 189–196, 1916. Disponível em: <<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1916SPAW.....189S/abstract>>. Acesso: jun. 2024.

SILVA, A. L. **Introdução aos métodos numéricos**. 2. ed. Campinas: Alínea, 2017. YIN, Robert K. **Case study research and applications: design and methods**. 6. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2015.

WEBER, F. **Introdução à relatividade geral e à física de estrelas compactas**. São Paulo: Livraria da Física, 2015.

## ABORDAGEM FENOMENOLÓGICA NO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO: UM ESTUDO QUALITATIVO DO CAMPO GEOMAGNÉTICO LOCAL

Raphael Lima Sodré<sup>1</sup>  
Leonardo Moraes Armesto<sup>2</sup>

**RESUMO:** O presente trabalho trata do estudo analítico do campo magnético do planeta Terra na cidade de Caravelas, localizada na região extremo-sul da Bahia. A pesquisa possui origem num contexto educacional a partir de discussões com os educandos de uma turma da 3ª série do Ensino Médio do Colégio Polivalente de Caravelas, no ano de 2023, durante uma aula de fenômenos eletromagnéticos (Geomagnetismo e Biomagnetismo) na disciplina de Física. O objetivo da pesquisa consiste em proporcionar aos educandos uma visão científica voltada para a prática experimental, de modo a compreender o campo magnético terrestre e como alguns animais o utiliza para migrarem pelo planeta. A pesquisa é caracterizada como quantitativa, exploratória, fenomenológica e de cunho experimental. Para isto, buscou-se juntamente aos educandos observar, medir e quantificar grandezas físicas associadas à interação do campo magnético terrestre local com um campo magnético gerado por uma bobina quadrada sobre uma bússola localizada em seu centro por meio de uma análise estatística quantitativa. Esta bobina quadrada foi feita pelo professor utilizando materiais de baixo custo. Os cálculos matemáticos estimativos com a equação que descreve a Lei de Biot-Savart do Eletromagnetismo, realizados a partir das medições experimentais indicaram um valor condizente para a componente horizontal do campo magnético local da Terra como sendo igual a 0,297 Gauss, o que é bem próximo ao valor presente na literatura acadêmica de 0,30 Gauss para a região equatorial do planeta. Com isto, os educandos puderam interpretar os resultados obtidos numericamente e compreender como o campo magnético pode ser utilizado para geolocalização de algumas espécies de seres vivos, como bactérias, tubarão martelo, tartaruga marinha, algumas aves migratórias etc., dos quais alguns destes são frequentes em determinadas épocas do ano nos mares do município de Caravelas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abordagem fenomenológica. Bobina de tesla. Campo geomagnético. Eletromagnetismo. Ensino de física.

**ABSTRACT:** This work deals with the analytical study of the magnetic field of planet Earth in the city of Caravelas, located in the extreme south of Bahia. The research originated in an educational context based on discussions with the students of a 3rd grade high school class at the Colégio Polivalente de Caravelas, in 2023, during a lesson on electromagnetic phenomena (Geomagnetism and Biomagnetism) in the subject of Physics. The aim of the research is to provide students with a scientific vision focused on experimental practice, in order to understand the Earth's magnetic field and how some animals use it to migrate around the planet. The research is characterized as quantitative, exploratory, phenomenological and experimental. To do this, the students were asked to observe, measure and quantify the physical quantities associated with the interaction of the Earth's local magnetic field with a magnetic field generated by a square coil on a compass located in its center by means of a quantitative statistical analysis. This square coil was made by the teacher using low-cost materials. The estimated mathematical calculations using the equation describing the Biot-Savart Law of Electromagnetism, carried out on the basis of the experimental measurements, indicated a consistent value for the horizontal component of the Earth's local magnetic field as being equal to 0.297 Gauss, which is very close to the value found in academic literature of 0.30 Gauss for the equatorial region of the planet. With this, the students were able to interpret the results obtained numerically and understand how the magnetic field can be used to geolocate some

<sup>1</sup>Graduado em Licenciatura em Física. Especialista em Ensino de Física. Especialista em Ensino de Ciências. Especialista em Ciências da Natureza, suas Tecnologias e o Mundo do Trabalho. Especialista em Ensino de Astronomia. Professor efetivo de Física do Colégio Polivalente de Caravelas-BA. Email: rl.sodre1@gmail.com.

<sup>2</sup>Orientador: Doutor e Mestre em Engenharia, Multigraduado, Multiespecialista e Coordenador Pedagógico de Pós-Graduação e Pesquisa. Orientador e Professor de Trabalhos de Curso. E-mail: leonardo.armesto@faculdaedefocus.com.br.

species of living beings, such as bacteria, hammerhead sharks, sea turtles, some migratory birds, etc., some of which are frequent at certain times of the year in the seas around the municipality of Caravelas.

**KEYWORDS:** Phenomenological approach. Tesla coil. Geomagnetic field. Electromagnetism. Teaching physics.

## INTRODUÇÃO

O Eletromagnetismo, uma das áreas fundamentais da Física, apresenta desafios significativos para os estudantes do Ensino Médio durante o processo de ensino e aprendizagem, especialmente em instituições públicas de ensino. A compreensão dos conceitos abstratos e matematicamente complexos muitas vezes requer uma abordagem pedagógica que vá além da simples transmissão teórica dos conteúdos, conforme preconiza (Delizoicov; Angotti, 1990; Moreira, 2017; 2018). Este trabalho, portanto, propõe uma abordagem fenomenológica para o ensino de Eletromagnetismo, com ênfase na observação e análise do campo geomagnético local como um fenômeno natural acessível e mensurável pelos próprios estudantes a partir da confecção de um aparato experimental com materiais de baixo custo. A fenomenologia, nesse contexto, prioriza a experiência direta e a observação dos fenômenos, promovendo uma aprendizagem mais engajada, contextualizada e significativa, conforme preconiza Moreira (2017; 2018).

A escolha da temática está fundamentada na necessidade de tornar o ensino de Eletromagnetismo mais acessível e significativo para os alunos do terceiro ano do Ensino Médio, cuja aplicação se deu em uma escola pública no estado da Bahia e pode ser estendida para qualquer outro contexto educacional. O estudo do campo geomagnético local, um fenômeno físico real e presente no cotidiano, oferece uma oportunidade única de aproximar os conceitos teóricos da realidade prática dos estudantes. Além disso, a metodologia proposta favorece o desenvolvimento de habilidades investigativas e analíticas, essenciais para a formação científica crítica e reflexiva, conforme preconiza o documento normativo da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Médio (Brasil, 2018) ao enfatizar o desenvolvimento de competências gerais e específicas e habilidades associadas às Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

A motivação para a escolha desta proposta advém da constatação de que muitos alunos apresentam dificuldades em associar os conceitos de Eletromagnetismo com aplicações práticas e fenômenos observáveis. Ao possibilitar que os estudantes realizem medições e análises do campo geomagnético local, espera-se que eles desenvolvam uma compreensão mais

profunda e contextualizada dos princípios da Teoria Eletromagnética Clássica. A implementação de uma abordagem fenomenológica, que valoriza a observação e a experiência direta, visa a promover um ensino mais significativo e engajador.

Dado o desafio de ensinar conceitos abstratos como os que envolvem o Eletromagnetismo, surge a questão: de que maneira a abordagem fenomenológica, centrada na análise do campo geomagnético local, pode contribuir para a compreensão e aprendizagem significativa dos conceitos fundamentais do Eletromagnetismo entre alunos do terceiro ano do Ensino Médio? A hipótese central deste trabalho é que a abordagem fenomenológica, ao enfatizar a experiência direta e a observação dos fenômenos naturais, como o campo geomagnético, pode facilitar a compreensão dos conceitos fundamentais de Eletromagnetismo. Espera-se que os alunos que participarem desta proposta pedagógica apresentem uma melhor compreensão dos princípios teóricos quando estes são aplicados em um contexto real e acessível e percebam a importância do campo magnético para a vida na Terra.

Por isso, o estudo feito e apresentado no artigo se delimita apenas aos fenômenos físicos associados ao magnetismo. Ou seja, mais especificamente o campo magnético gerado pelo planeta Terra em seu interior, devido à movimentação de seu núcleo de ferro fundido que induz uma corrente elétrica em sua superfície, chamadas de correntes de Facoult (Nussenzveig, 2014). E da literatura científica, corrente elétrica gera campo magnético (Chaves; Sampaio, 2012). Portanto, o estudo trata a Terra como um poderoso e imenso ímã natural do qual foi objeto central de estudo.

A presente pesquisa é fundamental para ser aplicada paralelamente aos conteúdos teóricos de Física sobre fenômenos magnéticos no Ensino Médio, visto que esses fenômenos são amplamente aplicados nas tecnologias utilizadas diariamente pelas pessoas. Uma abordagem experimental enriquece as aulas de Física e torna o ensino mais palatável aos jovens estudantes durante seus processos de aprendizagem de conceitos científicos associados aos fenômenos da natureza. O objetivo geral deste trabalho é investigar a eficácia de uma abordagem fenomenológica no ensino de Eletromagnetismo, utilizando a análise quali- quantitativa do campo geomagnético local como um meio de facilitar a compreensão dos conceitos fundamentais da Teoria Eletromagnética por estudantes do terceiro ano do Ensino Médio. Para isso, os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos:

- Introduzir os conceitos básicos de Eletromagnetismo a partir da

- observação experimental do campo geomagnético local;
- Verificar empiricamente a validade da Lei de Biot-Savart;
  - Compreender a interação entre a corrente elétrica que passa por uma bobina quadrada com a agulha de uma bússola colocada em seu centro;
  - Determinar o valor da componente horizontal do campo magnético local da Terra;
  - Validar a importância de se estudar o campo magnético terrestre;
- Avaliar a eficácia da abordagem fenomenológica no ensino de Eletromagnetismo, medindo o impacto na compreensão dos alunos sobre os conceitos estudados.

A pesquisa adotará uma abordagem quali-quantitativa do tipo semiestruturada (Creswell; Creswell, 2021; Gil, 2014; Lakatos; Marconi, 2021; 2022a; 2022b), permitindo tanto a coleta de dados numéricos quanto a análise interpretativa das percepções dos alunos. A metodologia será aplicada em uma turma de terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública na cidade de Caravelas-BA, onde os estudantes serão divididos em grupos para realizar as medições do campo geomagnético local. A análise quantitativa envolverá a compilação e interpretação dos dados obtidos nas medições, enquanto a análise qualitativa se concentrará nas reflexões e feedbacks dos alunos em relação à experiência de aprendizagem. Este enfoque metodológico visa a capturar uma visão abrangente da eficácia da abordagem fenomenológica proposta, integrando tanto os aspectos objetivos quanto subjetivos da aprendizagem.

Este estudo busca contribuir significativamente para o campo do Ensino de Ciências Exatas (Física), especialmente no ensino de Eletromagnetismo, ao propor uma abordagem inovadora e contextualizada (Carvalho *et al.*, 2013). A relevância deste trabalho pode ser destacada em várias dimensões:

1. **Contribuição Pedagógica:** A pesquisa oferece uma alternativa pedagógica que integra teoria e prática de maneira significativa, utilizando a fenomenologia como uma abordagem que promove a aprendizagem ativa e reflexiva. Isso pode servir de modelo para a implementação de práticas semelhantes em outras escolas e contextos educacionais.
2. **Desenvolvimento de Habilidades Científicas:** Ao engajar os estudantes em atividades práticas de medição e análise do campo geomagnético, o estudo contribui para o desenvolvimento de habilidades científicas essenciais, como a investigação empírica, a análise de dados e a

interpretação de fenômenos naturais. Isso fortalece a formação científica dos alunos e os prepara para desafios futuros no campo das Ciências Exatas.

3. **Valorização do Contexto Local:** A escolha do campo geomagnético local como objeto de estudo aproxima os conteúdos escolares da realidade dos alunos, tornando a aprendizagem mais relevante e significativa. Ao valorizar o fenômeno natural presente no cotidiano, a pesquisa incentiva os estudantes a perceberem a Física como uma ciência viva e presente em seu entorno.
4. **Inovação Metodológica:** A adoção de uma metodologia quali-quantitativa semiestruturada, que combina análise quantitativa com uma reflexão qualitativa profunda, proporciona uma compreensão mais completa e abrangente dos processos de aprendizagem envolvidos. Isso pode inspirar novas pesquisas e abordagens metodológicas no campo da educação em ciências.
5. **Impacto na Formação Docente:** O estudo pode servir como uma referência para a formação de futuros professores de Física, ao demonstrar a eficácia de métodos que privilegiam a experiência direta e a contextualização dos conteúdos. A pesquisa destaca a importância de práticas pedagógicas que são ao mesmo tempo inovadoras e acessíveis, contribuindo para a melhoria da qualidade do ensino em escolas públicas.

Esta pesquisa visa, portanto, contribuir para a melhoria do Ensino de Física (Eletromagnetismo) no contexto escolar, propondo uma metodologia que alinha teoria e prática, promovendo uma aprendizagem mais significativa e contextualizada para os estudantes (Delizoicov; Angotti, 1990; Gaspar, 2014), não apenas buscando melhorar a compreensão dos conceitos de Eletromagnetismo entre os alunos do Ensino Médio, mas também pretende contribuir para o desenvolvimento de uma prática pedagógica mais engajadora e eficaz, alinhada com os desafios e realidades da educação pública no Brasil.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Fundamentos Eletromagnéticos

A experiência de Oersted em 1819 demonstrou que uma bússola próxima a um fio condutor de corrente tende a orientar sua agulha na direção ortogonal ao fio e contornando o mesmo. Isso mostra que o campo magnético gerado pela corrente tem linhas de força que contornam o fio. Verificou-se também que as linhas

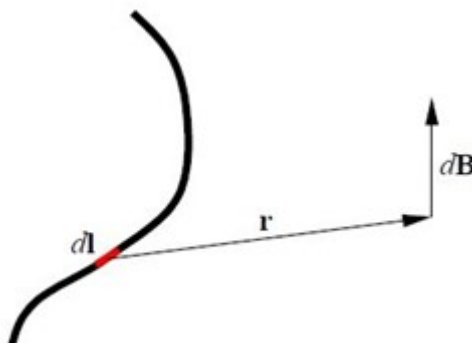
de força do campo magnético contornam o fio no sentido anti-horário quando vistas do lado para o qual aponta a corrente (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

A Lei de Biot-Savart é uma análise precisa desse fenômeno em que descreve matematicamente o campo magnético  $\mathbf{B}$  gerado por uma corrente elétrica  $I$  constante no tempo. O fato de o campo magnético ser um pseudovetor implica que ele deve ser expresso em termos do um produto vetorial entre  $I d\mathbf{l}$  e  $\mathbf{r}$ . Logo, a lei de Biot-Savart diz que o campo magnético  $d\mathbf{B}$  gerado pelo elemento de corrente  $I d\mathbf{l}$  é dado por (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014):

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^2} \quad (1)$$

no qual  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética do vácuo,  $I$  é a corrente elétrica num elemento retilíneo infinitesimal  $d\mathbf{l}$ ,  $\mathbf{r}$  é o vetor que vai do elemento ao ponto onde se encontra  $d\mathbf{B}$  e  $r$  é o módulo do vetor  $\mathbf{r}$  (Figura 1).

**Figura 1.** Campo magnético gerado pela corrente elétrica que passa por um elemento retilíneo infinitesimal



Fonte: Produzido pelo Autor (2024)

O Princípio da Superposição possibilita obter o campo gerado pelo fio, ou conjunto de fios conduzindo corrente, em um ponto qualquer. Para isso, deve-se somar vetorialmente as contribuições de todos os elementos de corrente. Para efetuar essa soma, é conveniente fazer uma alteração na notação de (1). Em um dado sistema de coordenadas, o ponto de prova é descrito por um vetor  $\mathbf{r}$  e os elementos de circuitos têm posições descritas pelo vetor  $\mathbf{r}'$ . Com essa notação, o vetor deslocamento do elemento de circuito ao ponto de prova na equação (1) é designado por  $\mathbf{r}$  será dado por  $\mathbf{r} - \mathbf{r}'$ . O campo magnético gerado por um fio retilíneo (Figura 2) pode agora ser obtido integrando-se o campo magnético gerado pelo elemento  $d\mathbf{B}$  (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004;

Nussenzweig, 2014), logo:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\mathbf{l} \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \quad (2)$$

A constante de proporcionalidade que aparece na Lei de Biot-Savart tem no SI o valor numérico:

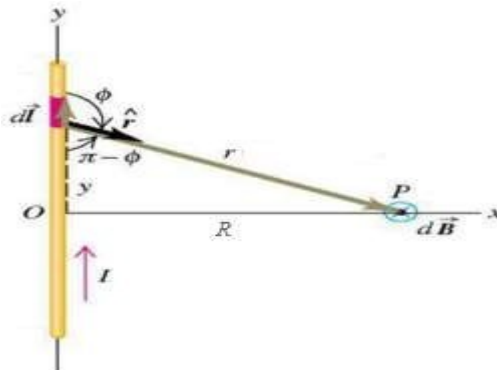
$$\begin{aligned} \frac{\mu_0}{4\pi} &= 10^{-7} \frac{Tm}{A} \\ \mu_0 &= 4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A} \\ \mu_0 &\cong 1,256 \times 10^{-7} \frac{Tm}{A} \end{aligned}$$

Onde  $\mu_0$  é denominada permeabilidade magnética do vácuo.

## 2.1.1 Campo magnético gerado por uma corrente em um fio reto

O campo magnético de um fio reto e infinito que conduz uma corrente elétrica  $I$  (Figura 2) é obtido aplicando-se a lei de Biot-Savart (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzweig, 2014).

**Figura 2.** Esquema para o cálculo do campo magnético de um fio reto infinito transportando uma corrente elétrica  $I$ .



Fonte: Adaptado de Macêdo e Macêdo (s. d)

O sistema de eixos é escolhido de maneira que o fio se localiza ao longo do eixo  $y$ . O ponto genérico no qual se pretende calcular o campo está no plano  $xy$ . O campo gerado pelo segmento diferencial  $d\mathbf{l} = j dy$  do fio é dado por (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzweig, 2014):

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dy \mathbf{j} \times \mathbf{r}}{r^2} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dy \sin\phi}{r^2} \mathbf{k}.$$

Da Figura 2, considerando que  $\sin\phi = \sin(\pi - \phi)$  e  $\cos\phi = -\cos(\pi - \phi)$ , temos que:

$$\frac{1}{r} = \frac{\sin\theta}{r}, \quad y = -R \cot\theta \Rightarrow dy = R \frac{d\theta}{\sin\theta}.$$

Portanto, a intensidade do campo magnético será:

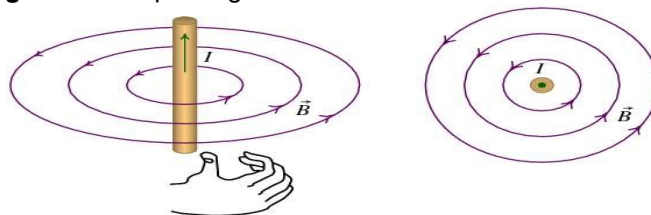
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin\theta dy}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_0^\pi \sin\theta d\theta.$$

Logo, resolvendo-se a integral acima temos que:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

A Figura 3 mostra as linhas de força do campo magnético gerado por um fio reto perpendicular ao plano da folha. O sentido da corrente elétrica é determinado através da regra da mão direita, sendo este saindo do plano da folha (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

**Figura 3.** Campo magnético de um fio retilíneo com corrente

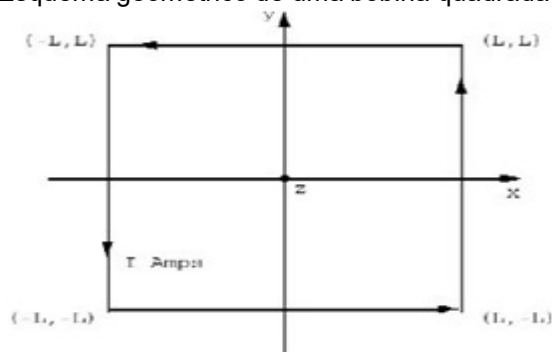


Fonte: Firmino (2019)

### 2.1.2 Campo magnético ao longo do eixo z de uma bobina quadrada

Alguns estudos mostram que conjuntos magnéticos formados por bobinas quadradas geram um campo magnético muito homogêneo. Nossa proposta é calcular o vetor indução magnética de uma bobina quadrada no seu centro. A bobina apresenta lado igual a  $2L$  e um número  $N$  indeterminado de espiras. O campo magnético é gerado pela corrente elétrica que circula por todos os lados da bobina quadrada (Figura 4).

**Figura 4.** Esquema geométrico de uma bobina quadrada de lado  $2L$



Fonte: Produzido pelo Autor (2024)

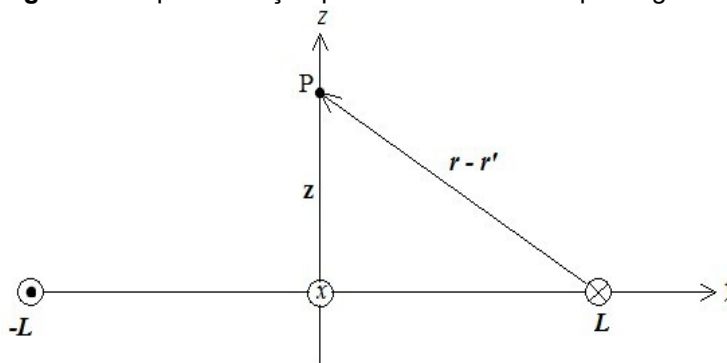
O campo magnético gerado por uma bobina qualquer pode ser calculado partindo-se da Lei de Biot-Savat aplicada a uma espira de mesma geometria e depois multiplicando o valor do campo pelo número de voltas que a bobina possui (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Dada a Lei de Biot-Savart (2) e aplicando o princípio da superposição, o campo magnético de uma espira quadrada é igual à soma dos campos magnéticos em cada um dos segmentos retos (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Logo:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = \sum \vec{B}_{fi}$$

Logo:

**Figura 5.** Esquematização para o cálculo do campo magnético



Fonte: Produzido pelo Autor (2024)

$$d = |\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{L^2 + Z^2} \quad (3) \quad \therefore d^2 = L^2 + Z^2 \quad (4)$$

O campo magnético para um segmento reto é dado por:

$$B_{fio} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \frac{L}{\sqrt{d^2 + L^2}} \quad (5)$$

Então, de (3) e (4) em (5), temos:

$$B_{fio} = \frac{\mu_0 I}{2\pi \sqrt{L^2 + Z^2}} \frac{L}{\sqrt{L^2 + Z^2 + L^2}}$$

Logo:

$$B_{fio} = \frac{\mu_0 I}{2\pi \sqrt{L^2 + Z^2}} \frac{L}{\sqrt{Z^2 + 2L^2}} \quad (6)$$

É o campo magnético em um dos segmentos da espira quadrada. Analisando a direção e o sentido do campo, temos:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = \sum \vec{B}_{fio} = 4B_{fio}\cos\varnothing\mathbf{k} \quad (7)$$

Da figura 5, nota-se que a seguinte relação trigonométrica:

$$\cos\varnothing = \frac{L}{d} = \frac{L}{\sqrt{L^2 + Z^2}} \quad (8)$$

De (6) e (8) em (7), temos então que:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = 4 \frac{\mu_0 I}{2\pi\sqrt{L^2 + Z^2}} \frac{L}{\sqrt{Z^2 + 2L^2}} \frac{L}{\sqrt{L^2 + Z^2}} \mathbf{k}$$

Logo:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = \frac{2\mu_0 I}{\pi} \frac{L^2}{(L^2 + Z^2)\sqrt{Z^2 + 2L^2}} \mathbf{k} \quad (9)$$

Para o campo magnético no centro dessa espira tomamos  $z = 0$  em (9). Logo:

$$\vec{B}_{\text{espira}} = \frac{2\mu_0 I}{\pi} \frac{1}{L\sqrt{2}} \mathbf{k} \quad (10)$$

O campo magnético  $\vec{B}_{\text{bobina}}$  no centro (ou ao longo do eixo  $z$ ) da bobina quadrada é obtido multiplicando-se o número  $N$  de espiras dessa bobina pelo valor do campo magnético  $\vec{B}_{\text{espira}}$  de uma única espira (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Logo:

$$\begin{aligned} \vec{B}_{\text{bobina}} &= N\vec{B}_{\text{espira}} \\ \vec{B}_{\text{bobina}} &= \frac{2\mu_0 I}{\pi} \frac{N}{L\sqrt{2}} \mathbf{k} \\ \vec{B}_{\text{bobina}} &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{\mu_0 IN}{L} \mathbf{k} \end{aligned} \quad (11)$$

Ou ainda:

$$B_{\text{bobina}} = 0,4501 \frac{\mu_0 IN}{L} \quad (12)$$

As componentes do campo magnético em função de  $\mathbf{i}$  e  $\mathbf{j}$  se anulam pela simetria geometria apresentada na espira, resultando apenas a componente em função de  $\mathbf{k}$ .

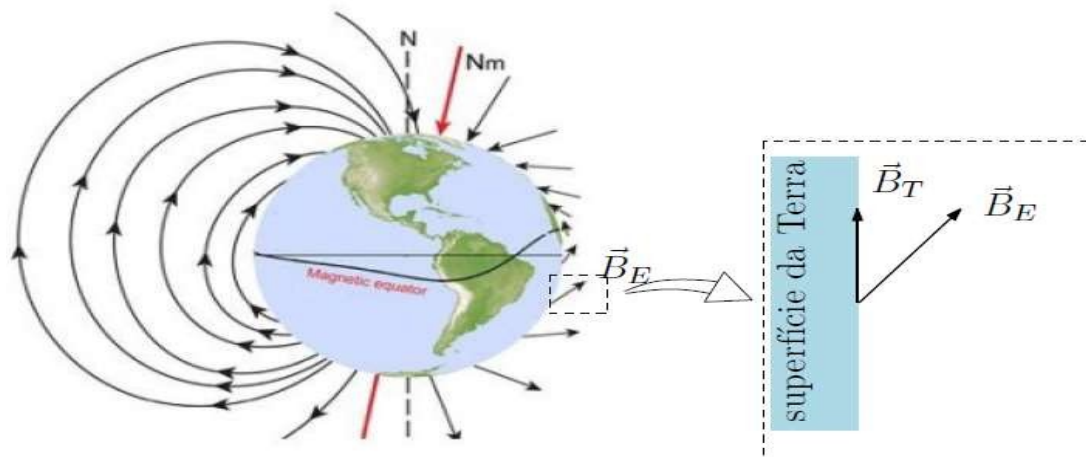
### 2.1.3 A bússola e o campo magnético da Terra

Sabe-se que a agulha de uma bússola se orienta no sentido do campo

magnético da Terra. Esse campo é gerado por uma combinação do movimento de rotação e a convecção do núcleo fluido da Terra. As linhas de campo se assemelham às linhas de campo de um dipolo magnético, como mostra a Figura 6 (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Como as linhas de campo de um dipolo são orientadas do polo norte para o polo sul magnético, nota-se que de fato, aquilo que se tem como polo norte da Terra está próximo ao sul magnético da Terra (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). O eixo geográfico norte-sul da Terra é levemente inclinado em relação ao eixo magnético da Terra. Na verdade, a agulha da bússola se alinha com a componente horizontal do vetor campo magnético da Terra, ou seja, a componente que tangencia a superfície da Terra numa dada latitude e longitude (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Representaremos essa componente como  $\vec{B}_T$  (Figura 6).

**Figura 6.** Linhas de campo magnético da Terra



Fonte: UFOP (s. d)

As linhas são aproximadamente simétricas em relação ao eixo de dipolo magnético da Terra, indicado por  $N_m$ . Do lado direito do globo, está representado apenas o vetor campo magnético próximo à superfície. Note que apesar de menos intenso próximo à linha do equador, sua inclinação é maior próxima aos polos. É a componente horizontal  $\vec{B}_T$  desse vetor de campo que orienta a agulha de uma bússola (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). A orientação da agulha da bússola poderá ser desviada se um segundo campo magnético estiver presente. O que ocorre é que a agulha da bússola, que é um dipolo magnético, irá se alinhar ao campo magnético resultante da soma vetorial desses dois campos. Campo magnético é uma grandeza vetorial (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Correntes elétricas são fontes de campo magnético e a orientação do campo será sempre perpendicular à corrente que o gera. O sentido das linhas de campo é dado pela regra da mão direita (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). O campo magnético terrestre é de fundamental importância para a sobrevivência das espécies. Sem ele, muitos animais como aves, tubarões, lagostas etc., teriam sua migração anual afetada drasticamente, pois se orientam através das linhas de campo magnético da Terra (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Esse campo magnético também protege os seres vivos das violentas radiações cósmicas do Sol (Figura 7). Partículas carregadas oriundas do Sol são desviadas para longe devido ao campo que age como um escudo, permitindo apenas a passagem da luz visível e de calor, pois essas radiações não carregam cargas (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

Segundo Nussenzveig (2014), Halliday, Resnick e Krane (2004) e Chaves e Sampaio (2012), parte dessas partículas carregadas chega aos polos geográficos da Terra na qual interagem com os elementos químicos presentes em nossa atmosfera, ionizando-a, sendo a causa do fenômeno da aurora boreal (no hemisfério norte) e austral (no hemisfério sul).

Na literatura, o valor do campo magnético da Terra em seus hemisférios é de 0,7 Gauss, ao passo que na região equatorial esse valor é de 0,3 Gauss. Um Gauss equivale a  $10^{-4}$  Tesla. O Tesla é a medida internacional do campo magnético (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Essa diferença é denominada como anomalia magnética e se deve ao fato de que o núcleo fluido de ferro no interior da Terra não está localizado exatamente em seu centro geométrico (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

**Figura 7.** Campo magnético da Terra agindo como escudo contra os violentos raios cósmicos oriundos do Sol



Fonte: Borges (2020)

A imagem na Figura 7 acima contém uma ilustração fora de escala do Sol e a Terra. Nela, pode-se notar o campo magnético da Terra que age como escudo defletor das partículas altamente carregadas provenientes do Sol e que chegam à Terra por meio das ondas eletromagnéticas e erupções solares. Esse campo magnético é o protetor da vida na Terra e sem ele, não haveria possibilidade de vida, uma vez que a superfície terrestre estaria sendo bombardeada constantemente com essas partículas altamente energéticas, inviabilizando a formação da vida.

### 3. METODOLOGIA

Sabe-se que uma bússola se orienta no campo magnético terrestre. Esta orientação pode ser modificada se algum campo magnético externo adicional for aplicado sobre ela. Neste caso a bússola procurará ficar orientada no campo magnético resultante da soma vetorial destes dois campos. A componente horizontal do campo magnético da Terra pode ser medida observando-se a mudança na orientação da bússola quando sobre ela for aplicado um campo magnético externo perpendicular ao campo magnético terrestre. Para produzir este campo magnético externo utilizaremos uma bobina com geometria quadrada de lado igual a  $2L$ , ao qual podemos produzir um campo magnético conhecido (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

As bobinas são conjuntos magnéticos geralmente usados para se medir e gerar campos magnéticos submetidos a condições controladas, bem como outras aplicações. Os conjuntos magnéticos com geometria quadradas são mais convenientes que os circulares para o experimento de cancelamento do campo magnético terrestre. Um estudo teórico-experimental de uma bobina quadrada é apresentado de forma concisa no presente trabalho. Foi obtida a expressão da indução do campo magnético no centro da bobina quadrada e calculado o valor do campo magnético local da Terra (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014).

#### 3.1 Materiais Utilizados

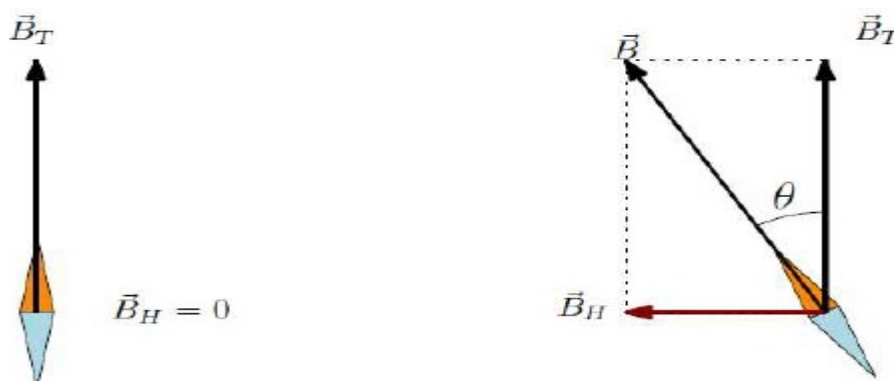
- ✓ Uma bússola;
- ✓ Uma bobina quadrada;
- ✓ Um Multímetro;
- ✓ Uma Fonte de corrente contínua;
- ✓ Um suporte para bússola (feito de caixa de papelão);
- ✓ Uma base-circuito para a bobina;
- ✓ Fios condutores para ligação.

### 3.2 Procedimento Experimental

Em nosso experimento, utilizamos uma bobina quadrada de forma a criar um campo magnético  $\vec{B}_H$  horizontal e perpendicular à componente horizontal do campo magnético da Terra  $\vec{B}_T$ . Uma bússola posicionada no centro entre da bobina quadrada, sofreu uma deflexão no sentido do campo resultante  $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_H$ , formando um ângulo  $\theta$  com a direção norte (direção do campo da Terra), como ilustrado na Figura 8. Há uma relação trigonométrica entre as intensidades destes dois campos que é dada pela tangente de  $\theta$ . Logo:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\vec{B}_H}{\vec{B}_T} \quad (13)$$

**Figura 8.** Orientação dos vetores de campo magnético



Fonte: UFOP (s. d)

À esquerda, a bobina quadrada não está sendo percorrida por corrente elétrica, logo  $\vec{B}_H$  é nulo e a agulha da bússola permanece alinhada com a componente  $\vec{B}_T$  do campo da Terra. À direita, a passagem da corrente elétrica pela bobina é evidenciada, então um campo  $\vec{B}_H$  é gerado defletindo a agulha da bússola na direção do vetor campo magnético resultante  $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_H$  (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Foi montado o circuito com a bobina ligado a fonte de corrente contínua e a bússola disposta exatamente no centro dessa bobina. Foram feitas várias medições para valores a fim de se obter um valor médio.

### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Usando a equação (12), os valores de corrente e tomando-se o número de espiras como sendo aproximadamente igual a 20 (ver tabela abaixo), bem como o valor do lado  $L = 10$  cm da bobina e sendo a permeabilidade magnética do vácuo igual

a  $4\pi \times 10^{-7}$  Tm/A, foram obtidos os valores do módulo do vetor indução magnética  $\vec{B}_H$  gerado pela bobina em seu centro, sobre a bússola para cada valor de corrente  $I$  (ver tabela abaixo).

**Tabela.** Medição para o cálculo do campo magnético da Terra

| Corrente $I$ (mA) | Deflexão $\theta(^{\circ})$ | $tg\theta$ | $N$  | $\vec{B}_H$ ( $10^{-5}$ T) | $\vec{B}_T$ ( $10^{-5}$ T) |
|-------------------|-----------------------------|------------|------|----------------------------|----------------------------|
| 0,1               | 40,0                        | 0,8        | 22,3 | 2,26                       | 2,68                       |
| 0,2               | 59,6                        | 1,7        | 22,7 | 4,52                       | 2,65                       |
| 0,4               | 70,2                        | 2,7        | 18,6 | 9,05                       | 3,29                       |
| 0,8               | 79,8                        | 5,5        | 18,9 | 1,81                       | 3,26                       |

**Fonte:** Produzida pelo Autor (2024)

Fazendo-se uso da equação (13) e dos ângulos da tabela, pôde-se calcular o valor da componente horizontal do campo magnético local da Terra  $\vec{B}_T$  para cada valor de corrente  $I$  (ver tabela). Tirando-se o valor médio temos que a componente horizontal do campo magnético local da Terra = 0,297 Gauss (1 Gauss =  $10^{-4}$  Tesla).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi verificada a validade da Lei de Biot-Savart por meio do valor da componente horizontal do campo magnético da Terra obtida nesse experimento ser compatível com o valor encontrado na literatura apresentado por (Chaves; Sampaio, 2012; Halliday; Resnick; Krane, 2004; Nussenzveig, 2014). Pôde-se compreender de forma empirista a fenomenologia expressa por trás dessas leis que regem o eletromagnetismo e verificar que o resultado obtido para a componente horizontal do campo magnético local da Terra corresponde ao valor esperado, que é de até 0,3 Gauss na região equatorial do planeta. É importante salientar que estudos desse tipo contribuem para o enriquecimento acadêmico dos alunos, e futuro professores.

Os dados obtidos durante a realização da experiência foram devidamente equacionados e o valor encontrado para o campo geomagnético local na cidade de Caravelas-BA ficou dentro de uma margem de erro aceitável, em relação com o valor do campo geomagnético global do planeta Terra. Isso permitiu um maior engajamento dos educandos durante a realização da prática experimental, desde a montagem inicial do aparato até às observações fenomenológicas de seu funcionamento e a obtenção dos dados. Logo, a presente pesquisa não apenas busca melhorar a compreensão dos conceitos de Eletromagnetismo entre os alunos do ensino médio, mas também pretende contribuir para o desenvolvimento de uma prática pedagógica mais engajadora e eficaz por meio de um Ensino Investigativo das fenomenologias associadas à corrente elétrica e ao magnetismo, alinhada com os desafios e realidades da educação pública no Brasil.

## REFERÊNCIAS

BORGES, R. Os aquecimentos e resfriamentos cíclicos da terra. **Geobservatório**, 2020. Disponível em: <https://geobservatorio.com/blog/aquecimentos-e-resfriamentos-ciclicos-da-terra>. Acesso em: nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Base nacional comum curricular - educação é a base: competências e habilidades específicas em ciências da natureza e suas tecnologias no ensino médio**. Brasília: MEC/CNE, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#medio/a-area-de-ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias>. Acesso em: nov. 2022.

CARVALHO, A. M. P. de et al. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CHAVES, A; SAMPAIO, J. F. **Física básica: eletromagnetismo**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CRESWELL, J. W; CRESWELL, J. D. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2021.

FIRMINO, M. **Ondas eletromagnéticas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2019. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/josemacedo/disciplinas/2019/2019.2/03-ondas-eletromagneticas>. Acesso em: nov. 2023.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de vigotski**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; KRANE, K. S. **Física 3**. 5. ed. São Paulo: LTC, v. 4, 2004.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022a.

\_\_\_\_\_. **Técnicas de pesquisa**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

\_\_\_\_\_. **Metodologia do trabalho científico**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022b.

MACÊDO, M; MACÊDO, C. **Fontes de campo magnético**. Disponível em: [https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15123816022012Fisica\\_B\\_aula\\_8.pdf](https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15123816022012Fisica_B_aula_8.pdf). Acesso em: nov. 2023.

MOREIRA, A. **Ensino de física no século XXI: desafios e equívocos**. Revista do Professor de Física, v. 2, n. 3, Brasília, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/19959/18380>.

Acesso em: mar. 2023.

\_\_\_\_\_. **Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea.** Revista do Professor de Física, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>. Acesso em: abr. 2023.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: eletromagnetismo.** 5. ed. São Paulo: Blücher, v. 3, 2014.

PIETROCOLA, M. **Ensino de Física.** Florianópolis, UFSC, 2001.

UFOP. **Campo magnético da terra.** Disponível em: [https://fisica.ufop.br/sites/default/files/defis/files/campo\\_magnetico\\_da\\_terra.pdf?m=1525725088](https://fisica.ufop.br/sites/default/files/defis/files/campo_magnetico_da_terra.pdf?m=1525725088). Acesso em: nov. 2023.

## CULTURAS: REFLEXÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A TEMÁTICA<sup>1</sup>

Lucimar da Silva Pereira Junior<sup>2</sup>  
Rayça Gomes Batista<sup>2</sup>  
Letícia Santos de Araujo Mesquita<sup>2</sup>  
Simoni de Souza Mesquita da Silva<sup>2</sup>  
Joana Bartolomeu Machado<sup>2</sup>

**RESUMO:** No domínio das ciências humanas, que engloba disciplinas como antropologia, filosofia, história, sociologia e geografia, há extenso debate acerca do conceito de cultura na sociedade. Popularmente, o termo cultura é frequentemente vinculado a um conjunto de normas, crenças, práticas, traços e conhecimentos que caracterizam e distinguem a identidade de uma sociedade em determinado período, de um povo ou grupo social. Todavia, a definição precisa do termo cultura representa um desafio para as ciências humanas, manifestando-se, em parte, na homogeneização implícita ao empregar a expressão no singular "cultura", tendendo a agrupar todos os indivíduos e a sociedade como uma entidade única, desconsiderando suas especificidades e diversidades. O presente artigo se propõe, por meio de uma revisão de literatura, a refletir sobre os conceitos de "cultura", "culturas", "Cultura" ou "Culturas" e as ambiguidades associadas na sociedade. Observa-se que a abordagem adotada não visa estabelecer uma definição formal ou delimitar um conceito específico para o termo em questão. Ao contrário, o intuito é promover uma discussão abrangente sobre os significados associados a ele na literatura. Portanto, o texto abordará a complexidade do conceito de cultura, enfatizando a dificuldade em defini-lo e categorizar fenômenos culturais. Destacando a visão antropológica como padrão de significados historicamente transmitidos e a cultura como construção coletiva influenciando desde os estágios iniciais da vida humana. Reconhece a impossibilidade de um indivíduo estar sem cultura, discute a dinâmica da formação cultural ao longo da vida e analisa as múltiplas interpretações do termo "cultura". Aponta equívocos, como a visão restrita às artes, ressaltando a necessidade de compreender a cultura como fenômeno intrínseco e dinâmico. Conclui destacando a complexidade do conceito, sem uma definição universalmente aceita, evidenciando a presença marcante da polissemia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conceitos. Definição de Culturas. Reflexões bibliográficas.

**ABSTRACT:** In the field of human sciences, which encompasses disciplines such as anthropology, philosophy, history, sociology and geography, there is extensive debate about the concept of culture in society. Popularly, the term culture is often linked to a set of norms, beliefs, practices, traits and knowledge that characterize and distinguish the identity of a society in a given period, a people or a social group. However, the precise definition of the term culture represents a challenge for the human sciences, manifesting itself, in part, in the homogenization implicit in using the expression in the singular "culture", tending to group all individuals and society as a single entity, disregarding their specificities and diversities. This article sets out, through a literature review, to reflect on the concepts of "culture", "cultures", 'Culture' or "Cultures" and the associated ambiguities in society. It should be noted that the approach adopted is not aimed at establishing a formal definition or delimiting a specific concept for the term in question. On the contrary, the aim is to promote a comprehensive discussion of the meanings associated with it in the literature. Therefore, the text will address the complexity of the concept of culture, emphasizing the difficulty in defining it and categorizing cultural phenomena. Emphasizing the anthropological view as a pattern of historically transmitted meanings and culture as a collective construction influencing human life from the earliest stages. It recognizes the impossibility of an individual being without culture, discusses the dynamics of cultural formation throughout life and analyses the multiple interpretations of the term "culture". It

<sup>1</sup>Capítulo publicado no livro *Integração de estudos em ciências humanas e sociais: desafios e possibilidades para a pesquisa contemporânea*. 1ª ed. Rio de Janeiro: e-Publicar, 2024, organizado por Ezequiel Martins Ferreira, Willian Douglas Guilherme e Patrícia Gonçalves de Freitas.

<sup>2</sup>Licenciados em Pedagogia. Professores da Rede Pública Municipal de Campos dos Goytacazes/RJ.

points out misconceptions, such as the view restricted to the arts, emphasizing the need to understand culture as an intrinsic and dynamic phenomenon. It concludes by highlighting the complexity of the concept, with no universally accepted definition, highlighting the marked presence of polysemy.

**KEYWORDS:** Concepts. Definition of Cultures. Bibliographical reflections.

## 1. INTRODUÇÃO

A definição e caracterização do termo "cultura" ou "culturas" suscitam indagações fundamentais. Como se delimita o que constitui ou não cultura? Em que medida um determinado fenômeno pode ser categorizado como cultural? A quem cabe a responsabilidade de arbitrar sobre a inclusão ou exclusão de um elemento no âmbito cultural? A cultura é uma inerência desde o nascimento ou é adquirida ao longo da vida? Pode um indivíduo modificar sua cultura ao longo do curso de sua existência? Abordar essas questões implica, efetivamente, adentrar diversas disciplinas das ciências humanas, considerando que a concepção dessa palavra é essencialmente plural (KRAMSCH, 1998 *apud* TILIO, 2008, p. 37).

A Definição de cultura é complexo, por se tratar de interesses multidisciplinares, estudada em áreas como sociologia, antropologia, história, comunicação, administração, economia, entre outras. Em cada uma dessas áreas, é a partir de distintos recortes, enfoques e usos. Tal realidade pertence ao próprio caráter transversal da cultura, que transcorre diferentes campos da vida cotidiana. É complexa a distinção semântica que se deve ao próprio desenvolvimento histórico do termo. A palavra cultura vem da raiz semântica *colere*, que originou o termo em latim *cultura*, de significados diversos como habitar, cultivar, proteger, honrar com veneração (WILLIAMS, 2007, p. 117 *apud* MONTEIRO; RIBEIRO; TANNURI, 2019, p. 3).

A cultura exerce uma influência significativa em todas as sociedades, moldando a experiência humana desde os estágios iniciais da vida. Composta por diversos elementos, como valores, crenças, costumes, tradições, linguagem, arte e normas sociais, ela configura-se como uma estrutura complexa. Desde o nascimento, os indivíduos são expostos a uma variedade de elementos culturais em seus ambientes imediatos, seja no âmbito familiar, comunitário, educacional ou social.

Do ponto de vista antropológico, a cultura permeia integralmente todas as atividades humanas, entrelaçando-se intrinsecamente com a vida. Conforme essa perspectiva, a cultura exerce uma influência inapagável sobre os modos de existência, destacando-se como uma força formativa na compreensão e expressão da humanidade (CAMPOY, 2020).

No que concerne ao termo cultura, conforme delineado por Madeira (2023), em uma perspectiva antropológica, este pode ser conceituado como a rede de significados que confere sentido ao universo circundante de um indivíduo, ou seja, à sociedade em

que está inserido. Essa rede abarca uma diversidade de elementos, incluindo, mas não se limitando a crenças, valores, costumes, legislação, moral, linguagem, entre outros.

Para Geertz (2008), na Antropologia, a redefinição do conceito de cultura sugere uma abordagem na qual está é concebida como um padrão de significados que é transmitido ao longo da história, enraizado em símbolos e manifestado por meio de comportamentos. Isso implica que a cultura não é meramente um conjunto de práticas ou expressões superficiais, mas sim um sistema simbólico profundo que se estende ao longo do tempo, incorporando valores, significados e tradições que moldam a identidade e as interações sociais. Portanto, a visão antropológica da cultura vai além de uma simples descrição de comportamentos observáveis, buscando compreender os contextos históricos e simbólicos que fundamentam a transmissão e manifestação desses padrões de significado (*apud* MADEIRA, 2023).

Sendo assim, de acordo com Tilio (2008, p. 35), “a palavra cultura é polissêmica, trazendo consigo uma pluralidade de sentidos que remetem a significados diversos em áreas do conhecimento diferentes”. Isto é, encontramos na literatura um vasto estudo sobre a temática espalhados, a partir de debates acerca de conceitos, interpretações e aplicações em diferentes grupos e subgrupos sociais. Por isso, deve-se notar que a cultura é um conceito diversificado que varia regionalmente e historicamente.

Enfatiza-se também, que “é impossível um indivíduo não ter cultura, afinal, ninguém nasce e permanece fora de um contexto social, seja ele qual for” (MADEIRA, 2023, p. 6). Ou seja, “convivemos com uma pluralidade de culturas; um indivíduo não pertence a uma única cultura, mas a várias culturas diferentes” (ABBUD, 1998; BAUMAN, 1999; CASTELLS, 1999; CESNIK & BELTRAME, 2005; FRIDMAN, 2000; HALL, 1992 [2003]; KRAMSCH, 1998; SOARES, L. E., 2001 *apud* TILIO, 2008, p. 36).

A formação cultural começa desde os primeiros momentos de vida, e a interação com familiares, cuidadores, e a exposição aos elementos culturais ao redor moldam a visão de mundo e o comportamento do indivíduo. Mesmo em sociedades ou contextos isolados, há uma cultura específica que é transmitida e compartilhada entre as pessoas que fazem parte desse grupo.

Segundo Santos (2009), a cultura representa uma edificação histórica, manifestando-se tanto como uma concepção abstrata quanto como uma dimensão intrínseca ao processo social. Em outras palavras, a cultura não é um fenômeno inato, desvinculado de leis físicas ou biológicas; ao contrário, trata-se de uma construção coletiva resultante da vivência humana. Este princípio não apenas se aplica à

percepção da cultura, mas também à sua relevância e importância adquirida. Reflete-se no conteúdo específico de cada manifestação cultural, configurando-se como um produto intrínseco à história de cada sociedade. Cultura constitui, assim, um cenário contemporâneo para as contendas sociais visando um destino mais promissor. Constitui uma realidade e concepção cuja apropriação é crucial em prol do avanço social e da liberdade, na batalha contra a exploração de uma parcela da sociedade por outra, visando a superação da opressão e da desigualdade (*apud* MADEIRA, 2023).

Ou seja, a cultura, como construção histórica e coletiva, é crucial para o avanço social e liberdade, combatendo a exploração e promovendo a superação da opressão e desigualdade. Sua ausência implicaria na inexistência de sistemas sociais na espécie humana, impossibilitando a formação de sociedades (CALDAS, 1986).

Ainda que alguém não esteja consciente ou atento a essa influência cultural, ela está presente e influencia suas atitudes, pensamentos e a maneira como percebem o mundo. Portanto, é difícil argumentar que alguém possa estar completamente destituído de cultura, pois a interação humana, por menor que seja, já carrega consigo elementos culturais.

É importante ressaltar que a cultura não é estática e está sujeita a mudanças ao longo do tempo. As pessoas podem, inclusive, pertencer a diferentes culturas ou adaptar-se a novas culturas ao longo de suas vidas, mas a influência cultural está sempre presente de alguma forma.

## **2. CULTURAS EM FOCO: ENTENDENDO CONCEITOS ESSENCIAIS**

### **2.1 O termo "cultura", "culturas", "Cultura" ou "Culturas" e seus equívocos na sociedade**

Antes de iniciarmos a dissertar sobre o tema em questão, devemos nos atentar a alguns detalhes importantes que envolvem a nomenclatura da palavra “cultura”, “culturas”, “Cultura” ou “Culturas”. Segundo Abbud (1998) e Kramsch (1998) o primeiro equívoco reside no uso do singular, o que implicaria a existência de uma cultura homogênea, onde um conjunto específico de características e definições se aplicaria de maneira idêntica a todos os membros de um grupo determinado (*apud* TILIO, 2008). Quando se fala em “cultura” no singular, muitas vezes está se referindo ao conjunto comum de valores, costumes e práticas compartilhadas por um grupo ou uma sociedade em particular. É importante notar que, embora existam elementos comuns dentro de um grupo, a cultura não é uniforme e pode apresentar variações e subculturas dentro da mesma sociedade. Para Swales (1990):

Tal conceito de cultura é válido; no entanto, não é único. Além dessa cultura como referencial histórico, temos que considerar o conceito

plural de cultura com “c” minúsculo, que situa o indivíduo em diversas comunidades discursivas – grupos sociais que compartilham os mesmos interesses, a mesma forma de interagir, pensar, de se comportar e se comunicar (*apud* TILIO, 2008, p. 37-38).

O termo "culturas" no plural reconhece a diversidade e as múltiplas expressões culturais presentes em diferentes grupos, regiões ou sociedades ao redor do mundo. Cada grupo pode ter sua própria cultura, com características específicas que os distinguem de outros grupos. Tanto é que “jamais encontraremos duas comunidades com culturas iguais” (CALDAS, 1986, p. 14).

“Noutras palavras, pode-se dizer que nenhuma sociedade, nenhum povo, seja ele atrasado ou desenvolvido, primitivo ou civilizado, jamais agirá de forma idêntica aos demais. Poderá haver, isto sim, algumas semelhanças” (CALDAS, 1986, p. 13).

A grafia em maiúscula, "Cultura" ou "Culturas", pode ser usada para se referir de maneira mais genérica e ampla, como um conceito global que abrange todas as manifestações culturais em diferentes sociedades. Por exemplo, a "Cultura Francesa" pode englobar a história da França, sua literatura, sua culinária, entre outros aspectos; além disso, ao utilizarmos o termo “Culturas” por exemplo, "Culturas Africanas" pode se referir às diversas culturas encontradas em diferentes regiões da África. Cuche (1999, p. 237) enfatiza:

Existe Cultura e cultura. Ou melhor, Culturas e culturas. O termo Cultura com "c" maiúsculo refere-se ao cânone em áreas do conhecimento, como História, Artes, Literatura, Política, Religião etc., ou em instituições, além de poder se referir a práticas sociais, significados e valores. Este sentido restrito da palavra Cultura refere-se exclusivamente às produções intelectuais e artísticas de uma sociedade (*apud* TILIO, 2008).

Portanto, o entendimento de "cultura", "culturas", "Cultura" ou "Culturas" pode variar dependendo do contexto em que são empregados e da maneira como se pretende abordar a diversidade, complexidade e riqueza das expressões culturais em todo o mundo. Sendo assim, o termo "cultura" pode ser usado de várias maneiras, dependendo do contexto em que é aplicado. Consequentemente é importante considerar o contexto em que o termo "cultura" é utilizado, pois ele pode ter nuances diferentes em diversas situações. A compreensão da cultura e das culturas é essencial para a antropologia, sociologia, estudos culturais e muitas outras áreas de pesquisa que exploram as complexidades da sociedade e da identidade humana. Para compreender as diversas expressões culturais é reconhecer que não há uma única cultura, mas sim várias culturas (CASCÃO, 2007).

Adicionalmente, identifica-se outra imprecisão no tratamento do conceito da palavra "cultura" na literatura, conforme destacado por Rodolfo Cascão; isto é, de acordo com autor,

o historiador russo Mezhuiev em A cultura e a história, produzido na década de 70 do século passado, compilou mais de trezentas definições sobre cultura. Isso denota a riqueza de interpretações e o deslumbramento pelo tema" (CASCÃO, 2007, p. 11).

No entanto, observa-se na literatura uma categorização clássica desenvolvida para elucidar esse conceito, na qual consiste na divisão em três domínios distintos: cultura erudita, cultura popular e cultura de massa (CASCÃO, 2007).

A primeira se refere à cultura letrada, alimentada pelo modo de vida das elites e que se espelha nos salões das artes. A cultura popular emerge das práticas espontâneas das classes subalternas e tem como referencial a rua. E a cultura de massa está ligada ao advento da sociedade de consumo, que gerou uma indústria cultural cuja expressão maior é a mídia eletrônica (CASCÃO, 2007, p. 11).

Ou seja, a cultura erudita refere-se às expressões artísticas e intelectuais associadas a grupos educados e sofisticados, frequentemente vinculada a tradições acadêmicas. A cultura popular abrange as práticas culturais disseminadas entre as camadas mais amplas da sociedade, muitas vezes refletindo tradições locais, folclore e hábitos cotidianos. Por fim, a cultura de massa refere-se à produção cultural destinada a um público extenso, muitas vezes caracterizada por sua acessibilidade e ampla distribuição, buscando alcançar uma audiência global.

Esses conceitos delineiam as diferentes facetas da expressão cultural, cada uma desempenhando um papel distinto na complexidade e diversidade do cenário cultural contemporâneo. Um outro equívoco exposto por Rodolfo Cascão em sua obra *Culturas: 300 definições, 2 equívocos e alguns desafios*,

é a utilização da palavra cultura com um sentido restrito às artes. Os departamentos de cultura em diversos tipos de organismos, normalmente, são criados para promover espetáculos e entretenimentos artísticos" (CASCÃO, 2007, p. 12).

Perceber a cultura exclusivamente como teatro, circo, dança, literatura ou festas representa uma visão simplificada da cultura. Cultura abrange os hábitos, estilos de vida, expressões artísticas, modalidades de organização política, o conjunto de estruturas sociais e religiosas... em suma, a cultura é um produto intrínseco à sociedade humana (CASCÃO, 2007).

Além disso, é crucial compreendermos que a cultura não é estática; ela evolui dinamicamente ao longo do tempo, moldada por interações sociais, avanços tecnológicos e mudanças históricas. A diversidade cultural é evidente não apenas nas

formas de expressão artística, mas também na língua, nos valores éticos, nas tradições alimentares e na arquitetura. Dessa forma, a cultura é um fenômeno complexo e multifacetado, refletindo a identidade coletiva de uma sociedade e influenciando profundamente a percepção individual e coletiva do mundo.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O texto ressalta a complexidade intrínseca ao conceito de cultura, sublinhando a diversidade de perspectivas oriundas das ciências humanas. A dificuldade em definir claramente o que constitui cultura é enfatizada, com uma análise crítica sobre a categorização de fenômenos culturais e a responsabilidade associada à sua avaliação. A visão antropológica é apresentada como um padrão de significados historicamente transmitidos, enraizado em símbolos e refletido em comportamentos. A cultura é descrita como uma construção histórica e coletiva que exerce uma influência marcante desde os primeiros estágios da vida humana. Sua composição multifacetada é explorada, destacando sua presença em diversos domínios da vida cotidiana e refletindo uma pluralidade de significados regionais e históricos.

A impossibilidade de um indivíduo estar desprovido de cultura é salientada, ressaltando a influência moldadora da interação social desde o nascimento. A cultura é reconhecida como uma força formativa essencial na compreensão e expressão da humanidade, mesmo quando sua influência não é conscientemente percebida. A dinâmica da formação cultural ao longo da vida é discutida, enfatizando a natureza não estática da cultura e sua capacidade de evoluir com o tempo. A adaptabilidade das pessoas a diferentes culturas ou a capacidade de se integrar a novas culturas é enfatizada, realçando a influência cultural em mudança na experiência humana.

O texto também destaca a multiplicidade de interpretações e definições associadas ao termo "cultura" ao longo do tempo. A análise das variações na nomenclatura, incluindo singular, plural e maiúsculas, revela uma abordagem crítica em relação à compreensão do termo. A categorização clássica da cultura em erudita, popular e de massa oferece uma estrutura para examinar as diversas expressões culturais em diferentes estratos sociais e contextos. Equívocos, como a visão restrita da cultura como algo exclusivamente relacionado às artes, são apontados, destacando a necessidade de compreender a cultura como um fenômeno intrínseco e dinâmico na sociedade humana. O texto conclui ressaltando a complexidade e a multifacetada natureza da cultura, que abrange uma variedade de aspectos na vida coletiva e individual.

Portanto, diversas análises e investigações foram conduzidas e persistem contemporaneamente na busca por uma elucidação conclusiva. Contudo, não se identifica, até o momento, um conceito universalmente aceito como correto, o que destaca a marcante presença da polissemia nesse contexto.

## REFERÊNCIAS

CALDAS, W. **O que todo cidadão precisa saber sobre cultura**. São Paulo: Global, 1986.

CAMPOY, L. **Antropologia social**. 1. ed. Curitiba [PR]: IESDE, 2020.

CASCÃO, R. Cultura: 300 definições, 2 e quívocos e alguns desafios. In: \_\_\_\_\_ *et al.* DE SOUSA, E. S.; RAMALHO, C. M. (Orgs.). **Glossário de Cultura**. v. 3. Brasília: Serviço Social da Indústria. Departamento Nacional. (SESI/DN), 2007. pp. 11-13. Disponível em: [http://www.sesipr.org.br/uploadAddress/Glossario%20de%20Cultura\\_arquivo\[33313\].pdf](http://www.sesipr.org.br/uploadAddress/Glossario%20de%20Cultura_arquivo[33313].pdf). Acesso em: nov. 2023.

MADEIRA, M. S. A polissemia no conceito de cultura. **Revista Ciências Jurídicas e Sociais Aplicadas**, v. 6, n. 1, p. 4, 2023. Disponível em: [https://unignet.com.br/wp-content/uploads/Ciencia-Juridicas-Sociais-Aplicadas-Jan\\_Jun\\_2023.pdf](https://unignet.com.br/wp-content/uploads/Ciencia-Juridicas-Sociais-Aplicadas-Jan_Jun_2023.pdf). Acesso em: nov. 2023.

MONTEIRO, S. A. S; RIBEIRO, P. R. M; TANNURI, J. G. C. G. Cultura, conceito em desenvolvimento: a construção da identidade discente. *In*: MONTEIRO, S. A. S. (Org.). **Cultura: Conceito Sempre em Desenvolvimento**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

TILIO, R. C. Reflexões acerca do conceito de cultura. **Revista eletrônica do Instituto de Humanidades**, v. 7, n. 27, p. 35-46, 2008. Disponível em: [http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos\\_teses/Ingles/tilio.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/Ingles/tilio.pdf). Acesso em: nov. 2023.

## EDUCAR COM E PARA A DIVERSIDADE

Patrícia Paiva Gonçalves Bispo<sup>1</sup>

**RESUMO:** O presente artigo aborda a relevância da diversidade no contexto educacional, discutindo os desafios e possibilidades para uma educação inclusiva e equitativa. A diversidade é compreendida como elemento essencial da sociedade contemporânea, abrangendo dimensões culturais, étnicas, linguísticas, religiosas, de gênero e socioeconômicas. Destaca-se como as desigualdades sociais influenciam o acesso e as escolhas educacionais, revelando a influência do capital econômico, cultural e social na trajetória escolar dos estudantes. A autora evidencia que alunos provenientes de famílias com menor capital sociocultural tendem a optar por cursos menos prestigiados e instituições privadas de ensino superior, enquanto os de classes mais favorecidas têm maior acesso a cursos valorizados e universidades públicas. Ademais, são analisadas as influências de gênero nas decisões acadêmicas, identificando-se mudanças graduais nas tendências tradicionais. O papel da escola e da família é ressaltado como fundamental na desconstrução de estigmas, no incentivo à autoestima e no enfrentamento das desigualdades. Propõe-se a construção de um projeto educativo intercultural, com base em práticas pedagógicas que valorizem o respeito à diferença, a superação dos preconceitos e a promoção da cidadania. Por fim, o artigo defende que políticas públicas voltadas à diversidade devem ir além do acesso, promovendo também a qualidade da educação. Conclui-se que a efetivação de uma educação com e para a diversidade requer o envolvimento coletivo de todos os agentes educacionais, em busca de equidade, coesão social e participação cidadã plena.

**PALAVRAS-CHAVE:** Diversidade. Educação inclusiva. Desigualdade social. Escolhas educacionais. Interculturalidade.

**ABSTRACT:** This article addresses the relevance of diversity in the educational context, discussing the challenges and possibilities for inclusive and equitable education. Diversity is understood as an essential element of contemporary society, encompassing cultural, ethnic, linguistic, religious, gender, and socioeconomic dimensions. It highlights how social inequalities influence access to education and academic choices, revealing the impact of economic, cultural, and social capital on students' educational paths. The author shows that students from families with less sociocultural capital tend to choose less prestigious courses and private institutions, while those from more privileged classes are more likely to access valued courses and public universities. Gender influences on academic decisions are also examined, identifying gradual changes in traditional trends. The role of school and family is emphasized as crucial in deconstructing stigmas, fostering self-esteem, and addressing inequalities. An intercultural educational project is proposed, based on pedagogical practices that promote respect for differences, overcome prejudice, and foster citizenship. Finally, the article argues that public policies on diversity must go beyond access to also promote quality education. It concludes that achieving education with and for diversity requires the collective engagement of all educational agents, in pursuit of equity, social cohesion, and full citizenship participation.

**KEYWORDS:** Diversity. Inclusive education. Social inequality. Educational choices. Interculturality.

### 1. INTRODUÇÃO

A diversidade é um dos princípios fundamentais que caracteriza a sociedade moderna, permeando todas as esferas da vida humana. No contexto educacional, a diversidade adquire uma relevância ainda maior, à medida que os educadores e

<sup>1</sup>Doutora e Mestra na área de Educação, Pedagoga e Historiadora. Diretora em EaD. E-mail: profa.patricia.paiva@gmail.com.

formuladores de políticas lidam com a inclusão, equidade, desigualdades e aceitação das diferenças. Este artigo examina as implicações da diversidade na educação contemporânea, destacando desafios, tendências e estratégias para promover uma abordagem educacional mais inclusiva e equitativa.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Diversidade na Educação: Conceitos e Desafios

A diversidade, caracterizada pela heterogeneidade, pluralidade e variedade de aspectos individuais, compõem um elemento essencial na definição dos indivíduos. Ela abrange uma gama de manifestações, desde a diversidade cultural, biológica, étnica, linguística, sexual até a diversidade religiosa, englobando um espectro complexo de significados e experiências individuais.

No contexto educacional, a diversidade figura como um tema central e recorrente nos debates entre pesquisadores. Estes debates remetem diretamente a questões de inclusão/exclusão, preconceito, desigualdades e aceitação das diferenças individuais. Autores como Payet (2005) e Fleuri (2006) destacam a relevância desses aspectos na formulação de estratégias e políticas públicas para enfrentar os desafios educacionais. Ao abordar a diversidade no ambiente educacional, surge uma questão pertinente: a tratativa das desigualdades sociais nas oportunidades de acesso e sucesso em diferentes níveis de formação escolar. Autores renomados como Bourdieu (1989) e Oliveira (2000) discutem a influência do capital cultural e social na escolha dos cursos superiores no Brasil. É notável a correlação entre as opções de formação dos estudantes universitários e as condições socioeconômicas de suas famílias, bem como a valorização atribuída a distintos tipos de diplomas.

A realidade educacional no Brasil revela uma lacuna significativa entre as escolas públicas de educação básica e o acesso às universidades públicas. Muitos estudantes oriundos dessas escolas enfrentam dificuldades no acesso ao ensino superior público devido à qualidade muitas vezes deficiente do ensino oferecido.

Nesse contexto, a opção por instituições de ensino superior privadas é frequentemente motivada pela viabilidade de aprovação mais acessível nos vestibulares e pelo custo mais baixo das mensalidades. Esta escolha torna-se ainda mais atrativa para os estudantes, sendo uma alternativa prática e financeiramente mais acessível, particularmente quando comparada às instituições renomadas e de prestígio. Essa discrepância no acesso ao ensino superior público e a opção pelas instituições privadas reflete-se na predominância de alunos de classes socioeconômicas menos favorecidas nas universidades particulares. A influência do

capital sociocultural familiar continua a exercer um papel significativo nas escolhas educacionais, direcionando muitos estudantes para opções mais viáveis economicamente, porém, por vezes, menos reconhecidas no mercado de trabalho.

Essas nuances da realidade educacional brasileira evidenciam não apenas a disparidade no acesso ao ensino superior, mas também ressaltam as complexidades subjacentes às escolhas educacionais, moldadas pela qualidade do ensino básico, viabilidade financeira e perspectivas futuras de inserção profissional. Além disso, observa-se que estudantes com menor capital cultural e social têm maior tendência a optar por cursos menos prestigiados socioculturalmente, como os de ciências sociais, como discutido por Machado *et al.* (2003). Estes alunos podem antecipar dificuldades em suas trajetórias profissionais ou não se identificarem plenamente com a valorização da formação acadêmica superior.

Por outro lado, aqueles que possuem maior capital econômico, social e cultural geralmente optam por cursos associados a áreas como engenharia, arquitetura, medicina, entre outros. Estas escolhas são frequentemente relacionadas a maiores oportunidades no mercado de trabalho e a uma maior valorização social. Essa complexa interação entre capital cultural, social e econômico influencia as escolhas de cursos superiores, refletindo uma realidade na qual alunos de diferentes estratos sociais são direcionados para trajetórias educacionais distintas.

Quanto às políticas públicas voltadas para o ensino superior, embora busquem promover maior acesso, têm priorizado a quantidade em detrimento da qualidade. Essa massificação do ensino superior não tem garantido igualdade de acesso a todos os jovens, perpetuando disparidades significativas. A abertura generalizada para o ensino superior, ao incorporar diferenciações relativas aos trajetos escolares anteriores, escolha do curso e taxas de sucesso, continua a refletir fortemente a origem sociocultural dos estudantes, sem alcançar uma verdadeira equidade.

Em relação à influência de gênero, estudos como os de Almeida *et al.* (2006) corroboram a percepção de que as escolhas educativas e profissionais são grandemente influenciadas pelo gênero. Nota-se a predominância masculina em cursos de engenharia e a predominância feminina em cursos ligados às ciências sociais. Contudo, observa-se, nos últimos anos, uma maior frequência de mulheres em cursos tradicionalmente associados ao sexo masculino, refletindo uma mudança gradual na percepção de papéis de gênero e na maior flexibilidade das mulheres na escolha de cursos menos tradicionais (Lackland & DeLisi, 2001; Almeida *et al.*, 2002; Soares, 2003). Um estudo realizado com alunos do ensino médio em Rondônia, Brasil (Mascarenhas *et al.*, 2005), revelou que as percepções sobre o desempenho

acadêmico muitas vezes se relacionam com o nível de habilitações acadêmicas dos pais, sendo mais prevalentes entre as alunas quando os pais possuem menos qualificações acadêmicas. Essas percepções têm impactos variados na motivação, esforço e desempenho escolar dos alunos.

## 2.1 Papel da Escola e da Família na Promoção da Diversidade

Os educadores desempenham um papel fundamental na reconfiguração das percepções dos alunos sobre sua origem sociocultural, econômica e de gênero/sexo. É crucial que os professores ajam como facilitadores, visando aumentar a motivação, a persistência e a autoestima dos estudantes no contexto de aprendizagem e desempenho escolar. Isso envolve não apenas reconhecer fatores externos, mas também incentivar os alunos a atribuir parte de seus resultados escolares ao esforço investido nos estudos e à qualidade de seus métodos de aprendizagem. A dinâmica das aulas, as informações transmitidas, os processos de avaliação e a interação em sala de aula têm um impacto significativo nos estilos atribucionais dos alunos (Barca *et al.*, 2003). Considerando o propósito deste artigo de abordar questões relativas à educação e à diversidade, é imprescindível discutir as relações entre escola e família. É crucial compreender as diferentes concepções de educação compartilhadas por essas duas instituições e reconhecer as responsabilidades, contribuições e limitações educacionais específicas de cada uma.

Segundo Carvalho (2004), ao abordar a parceria escola-família e convocar a participação dos pais na educação para promover o sucesso escolar, é essencial considerar as relações de poder variáveis e multidirecionais, que incluem aspectos de classe social, raça/etnia, gênero e idade, moldando as interações entre essas instituições e seus agentes. Isso inclui a diversidade de arranjos familiares, as desvantagens materiais e culturais enfrentadas por muitas famílias e as relações de gênero que estruturam as dinâmicas de trabalho em casa e na escola.

As discussões conduzidas por Carvalho (2000) destacam que os modos de educação historicamente produzidos baseiam-se em diferentes arranjos (educação informal, não formal e formal) e instituições, como família, trabalho, escola e meios de comunicação de massa. A educação escolar tornou-se predominante na sociedade moderna, porém, as políticas educacionais, o currículo e as práticas pedagógicas muitas vezes estão alinhados a um modelo idealizado de família e papéis parentais, frequentemente reforçando divisões de gênero e sobrecarregando as mães, principalmente as trabalhadoras e chefes de família, perpetuando assim a parcialidade de gênero.

A interação dos diferentes atores sociais (professores, funcionários, pais, alunos) é crucial na construção de um projeto de educação intercultural na escola. Isso requer a reestruturação de estereótipos e preconceitos culturais para desenvolver uma sensibilidade que aborde a diversidade e a complexidade cultural da sociedade contemporânea (Ramos, 2007). Estimular debates sobre preconceitos e estereótipos é fundamental para evitar comportamentos de exclusão, especialmente no ambiente escolar.

Rezende (2003) destaca três aspectos-chave para reflexão durante os debates: a posição da escola numa estrutura social que pode contribuir para mecanismos de exclusão; os mecanismos escolares que podem perpetuar a segmentação e a exclusão; e as implicações das mudanças estruturais nas experiências escolares dos alunos e professores.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A promoção da diversidade na educação exige amplas discussões para formular estratégias e políticas públicas que visem a equidade, coesão social e cidadania ativa. O desafio consiste em implementar ações e propostas educacionais que fomentem uma nova perspectiva para si e para o outro. Apesar das resistências enfrentadas pela mudança do status quo, projetos educacionais focados na diversidade requerem total envolvimento e comprometimento da sociedade, sobretudo numa era de informação e globalização.

### REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. S; VASCONCELOS, R; MACHADO, C; SOARES, A. P; MORAIS, N. **Perfil escolar e sócio-demográfico dos candidatos ao Ensino Superior: O caso dos estudantes da Universidade do Minho.** In: A. S. Pouzada, L. S. Almeida, & Vasconcelos, R. M. (Eds.), Contextos e dinâmicas da vida académica (pp. 219-230). Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, Conselho Académico, 2002.
- ALMEIDA, L. S; GUISANDE, M. A; SOARES, A. P; SAAVEDRA, L. **Acesso e Sucesso no Ensino Superior em Portugal: Questões de Género, Origem Sócio-Cultural e Percurso Académico dos Alunos.** *Psicologia: Reflexão e Crítica*, v. 19, n. 3, p. 507-514, 2006.
- BARCA, A; PERALBO, M; MUÑOZ, M. A. **Atribuciones causales y redimiento académico em alunos de educação secundaria: um estudo a partir de la subescala de Atribuciones Causales Multiatribucionales (EACM).** *Revista Portuguesa de Pedagogia*, v. 8, p. 12-30, 2003.
- CABRAL, I. F. S. **A Educação Intercultural na escola e o reconhecimento do outro diferente.** *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, v. 12, p. 1-8, 2004.

CARVALHO, M. E. P. **Family-school relations: a critique of parental involvement in schooling**. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2000.

CARVALHO, M. E. P. **Modos de educação, gênero e relações escola-família**. Cadernos de Pesquisa, v. 34, p. 41-58, 2004.

EURYDICE EUROPEAN UNIT. **Key data on education in Europe 2002**. Bruxelas, Bélgica: Comissão Europeia, 2003.

FLEURI, R. M. **Políticas da diferença: para além dos estereótipos na prática educacional**. Educ. Soc., Campinas, v. 27, p. 495-520, 2006.

GAGO, J. M; AMARAL, J. F; GRÁCIO, S; RODRIGUES, M. J; FERNANDES, L; RUIVO, B; AMBRÓSIO, T. **Prospectiva do Ensino Superior em Portugal**. Lisboa, Portugal: Departamento de Programação e Gestão Financeira, 1994.

LACKLAND, A. C; DELISI, R. **Students choices of college majors that are gender traditional and non-traditional**. Journal of College Student Development, v. 42, p. 39-47, 2001.

MACHADO, F. L; COSTA, A. F; MAURITTI, R; MARTINS, S. C; CASANOVA, J. **Classes sociais e estudantes universitários: origens, oportunidades e orientações**. Revista Crítica de Ciências Sociais, v. 66, p. 45-80, 2003.

MACHADO, M. S; OLIVEIRA, D. A; MOTA, R. A. **A Universidade Popular e Outras Utopias: a sociologia no ensino médio**. São Paulo: Xamã, 2003.

MASCARENHAS, S; ALMEIDA, L. S; BARCA, A. **Atribuições causais e rendimento escolar: impacto das habilitações escolares dos pais e do gênero dos alunos**. Revista Portuguesa de Educação, v. 18, p. 77-91, 2005.

OLIVEIRA, D. A. **Rosa dos Tempos - Entre o Meritocrático e o Clientelista: a democratização do acesso ao ensino superior no Brasil**. São Paulo: Cortez, 2000.

PAYET, J. P. **A escola e a modernidade: o risco da etnicidade, o desafio da pluralidade**. Análise Social, v. 40, p. 681-694, 2005.

BOURDIEU, P. **O Poder Simbólico**. Editora Bertrand Brasil, 1989.

POESCHL, G.; MÚRIAS, C; RIBEIRO, R. **As diferenças entre os sexos: Mito ou realidade? Análise Psicológica**, 2, 213-228, 2003.

RAMOS, N. **Sociedades multiculturais, interculturalidade e educação. Desafios pedagógicos, comunicacionais e políticos**. Revista Portuguesa de Pedagogia, v. 41, n. 3, p. 223-244, 2007.

REZENDE, N. L. (trad). **A Escola e a Exclusão**. Cadernos de Pesquisa, v. 119, p. 29-45, 2003.

## NEUROCIÊNCIA APLICADA AO ENSINO DE FÍSICA: ESTRATÉGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE TRANSTORNOS DE APRENDIZAGEM (DISLEXIA, DISGRAFIA E DISCALCULIA) EM ALUNOS DA EJA NO ENSINO MÉDIO E INTERVENÇÃO PROPOSTA UTILIZANDO A PROGRAMAÇÃO NEUROLINGÜÍSTICA (PNL)

Raphael Lima Sodré<sup>1</sup>  
Izaque Pereira de Souza<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este artigo aborda a aplicação da Neurociência na Pesquisa em Ensino de Física, com foco para o público da Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Ensino Médio (EM), visando à identificação de transtornos de aprendizagem — dislexia, disgrafia e discalculia — e propondo intervenções pedagógicas baseadas na Programação Neurolinguística (PNL). A proposta da pesquisa é explorar a eficácia da PNL como estratégia pedagógica para facilitar o processo de ensino-aprendizagem de alunos com esses transtornos, promovendo maior inclusão e sucesso acadêmico. O principal objetivo do estudo é analisar como a aplicação de estratégias baseadas na PNL pode contribuir para a identificação precoce dos transtornos de aprendizagem e propor intervenções adequadas que auxiliem professores de Física, especificamente para alunos dessa modalidade de ensino. A metodologia utilizada segue uma abordagem qualitativa, com observação direta em sala de aula, aplicação de entrevistas semiestruturadas com professores e alunos, e análise documental de registros pedagógicos. A pesquisa se apoia na aplicação de um programa de Ensino de Física com técnicas de PNL adaptadas às necessidades dos alunos com dislexia, disgrafia e discalculia. Os resultados observados incluem a identificação de sinais precoces dos transtornos de aprendizagem em alunos da EJA e a verificação da eficácia da PNL como ferramenta de intervenção pedagógica. Espera-se também uma melhora no desempenho dos alunos nas disciplinas de Física após a implementação das estratégias sugeridas.

**PALAVRAS-CHAVE:** EJA. Ensino de física. Neurociência. PNL. Transtornos de aprendizagem.

**ABSTRACT:** This article addresses the application of Neuroscience in Physics Teaching Research, with a focus on the Youth and Adult Education (EJA) audience in Secondary Education (MS), aiming to identify learning disorders - dyslexia, dysgraphia and dyscalculia - and proposing pedagogical interventions based on Neurolinguistic Programming (NLP). The research proposal is to explore the effectiveness of NLP as a pedagogical strategy to facilitate the teaching-learning process of students with these disorders, promoting greater inclusion and academic success. The main objective of the study is to analyze how the application of strategies based on NLP can contribute to the early identification of learning disorders and propose appropriate interventions to help physics teachers, specifically for students in this type of education. The methodology used follows a qualitative approach, with direct classroom observation, semi-structured interviews with teachers and students, and documentary analysis of teaching records. The research is based on the application of a Physics teaching program with NLP techniques adapted to the needs of students with dyslexia, dysgraphia and dyscalculia. The results observed include the identification of early signs of learning disorders in EJA students and verification of the effectiveness of NLP as a pedagogical intervention tool. We also hope to see an improvement in student performance in physics subjects after implementing the suggested strategies.

**KEYWORDS:** EJA. Physics teaching. Neuroscience. NLP. Learning disorders.

<sup>1</sup>Graduado em Licenciatura em Física. Especialista em Ensino de Física. Especialista em Ensino de Ciências. Especialista em Ciências da Natureza, suas Tecnologias e o Mundo do Trabalho. Especialista em Ensino de Astronomia. Professor efetivo de Física do Colégio Polivalente de Caravelas-BA. Email: rl.sodre1@gmail.com.

<sup>2</sup>Orientador: Doutor e Mestre em Educação, Advogado, Pesquisador e Professor em Trabalhos de Curso. E-mail: izaque.souza@faculdadefocus.edu.br.

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo investigar o impacto da aplicação da PNL e de estratégias neurocientíficas no Ensino de Física, com foco na identificação de transtornos de aprendizagem — dislexia, disgrafia e discalculia — em alunos da EJA no EM. A pesquisa visa desenvolver uma proposta de intervenção pedagógica que auxilie professores a diagnosticar e intervir em tais transtornos, utilizando técnicas de PNL como ferramenta auxiliar para superar os obstáculos educacionais e promover uma aprendizagem mais inclusiva.

A motivação para esta pesquisa surge da crescente demanda por estratégias pedagógicas que possam auxiliar alunos com transtornos de aprendizagem a atingir seus potenciais, especialmente em disciplinas como Física, que apresentam desafios conceituais e abstratos. A EJA representa um público heterogêneo com necessidades educacionais específicas, onde dificuldades de aprendizagem muitas vezes não são devidamente diagnosticadas ou tratadas. Este cenário requer soluções inovadoras que combinem Neurociência e metodologias como a PNL para oferecer apoio individualizado e eficaz aos alunos.

A relevância social desta pesquisa está na necessidade urgente de criar um ambiente de ensino mais inclusivo, que atenda alunos com dislexia, disgrafia e discalculia. Segundo Capellini *et al.* (2010) e Pavan e Fávero (2017), os transtornos de aprendizagem impactam negativamente o desempenho acadêmico e a autoestima dos alunos, especialmente em áreas científicas como a Física, que requerem habilidades específicas de leitura, escrita e compreensão numérica. Esta pesquisa oferece uma contribuição significativa ao sugerir intervenções pedagógicas baseadas em Neurociência e PNL, criando um espaço educacional mais equitativo para alunos da EJA.

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver e testar estratégias pedagógicas que utilizem a PNL para identificar e intervir em casos de dislexia, disgrafia e discalculia em alunos da EJA no EM, promovendo uma melhora no aprendizado da Física. Para isso, são elencados os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o impacto dos transtornos de aprendizagem (dislexia, disgrafia e discalculia) no Ensino de Física, com base nas teorias de aprendizagem neurocientíficas;
- Implementar técnicas de PNL como ferramenta auxiliar na identificação precoce desses transtornos em alunos da EJA;
- Desenvolver uma proposta de intervenção pedagógica adaptada às

necessidades desses alunos, com base em metodologias diferenciadas para Ensino de Física;

- Avaliar a eficácia das intervenções pedagógicas propostas em termos de melhoria no desempenho acadêmico dos alunos;
- Propor diretrizes pedagógicas para professores da EJA, focadas na inclusão de alunos com transtornos de aprendizagem nas aulas de Física.

Os alunos da EJA no EM enfrentam desafios significativos no processo de ensino-aprendizagem, especialmente em disciplinas com alta demanda conceitual, como a Física. Transtornos de aprendizagem, como dislexia, disgrafia e discalculia, agravam essas dificuldades, comprometendo o desempenho acadêmico e, frequentemente, passando despercebidos ou sendo mal diagnosticados (Franceschini *et al.*, 2015). Isso resulta na exclusão silenciosa desses alunos, que ficam à margem do processo educacional, enfrentando baixa autoestima e frustrações no aprendizado. A ausência de estratégias pedagógicas eficazes para identificar e intervir nos transtornos de aprendizagem é um dos maiores desafios para os professores de Física, que, muitas vezes, não dispõem de formação ou recursos adequados para lidar com essas situações, o que faz-se pensar e definir a seguinte questão norteadora da pesquisa: *“Como a PNL, combinada com princípios da Neurociência, pode ser aplicada de forma eficaz no contexto do Ensino de Física para facilitar o diagnóstico precoce de dislexia, disgrafia e discalculia, promovendo intervenções pedagógicas mais inclusivas e individualizadas?”*.

A hipótese é que a partir da aplicação de estratégias pedagógicas baseadas na PNL, embasadas em princípios da Neurociência, permitirá a identificação precoce de dislexia, disgrafia e discalculia em alunos da EJA no EM. Com essas intervenções adequadamente adaptadas ao contexto do Ensino de Física, é possível melhorar significativamente o desempenho acadêmico dos alunos, promover a inclusão desses estudantes nas atividades escolares e criar um ambiente de aprendizagem mais equitativo. A metodologia da pesquisa será qualitativa e exploratória, envolvendo revisão bibliográfica e estudo de caso com alunos da EJA. Inicialmente, será feito um levantamento teórico a partir de obras como Capellini *et al.* (2010) e Pavan e Fávero (2017), que abordam os transtornos de aprendizagem. A implementação de estratégias de PNL será embasada em O'Connor e Seymour (1995), com atividades práticas adaptadas para o Ensino de Física. Posteriormente, serão realizadas entrevistas semiestruturadas e observações em sala de aula para avaliar o impacto das intervenções propostas, utilizando uma abordagem interdisciplinar entre Neurociência e Educação.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A Neurociência em Processos Educativos

A Neurociência tem se consolidado como uma disciplina fundamental na compreensão dos processos educativos, oferecendo insights valiosos sobre como o cérebro aprende e se desenvolve. Vários estudiosos, tanto brasileiros quanto estrangeiros, têm contribuído significativamente para essa área.

Segundo Hattie (2009), a compreensão dos processos cerebrais pode melhorar práticas pedagógicas, uma vez que evidências da Neurociência ajudam a identificar quais métodos de ensino são mais eficazes, em que enfatiza a importância da aplicação de evidências científicas para informar a prática educacional e aumentar a eficácia do ensino. Moran (2013) destaca que a Neurociência pode auxiliar na personalização do ensino, permitindo que os professores adaptem suas abordagens para atender às necessidades individuais dos alunos, em que argumenta que a integração da Neurociência com a prática pedagógica pode promover ambientes de aprendizagem mais inclusivos e eficazes.

No Brasil, Pereira (2014) explora como as descobertas neurocientíficas podem ser aplicadas para entender melhor os transtornos de aprendizagem e desenvolver estratégias para apoiar alunos com dificuldades específicas. Pereira defende que a Neurociência pode ajudar a criar intervenções mais direcionadas e personalizadas para esses alunos.

Damásio (2000) aborda a importância das emoções no processo de aprendizagem, argumentando que a aprendizagem é profundamente influenciada pelo estado emocional do aluno, e que a compreensão dos processos emocionais é crucial para o desenvolvimento de práticas educativas eficazes.

Elias (2015) investiga a relação entre memória e aprendizagem, apontando que a Neurociência pode fornecer estratégias para melhorar a retenção de informações, sugerindo que técnicas que envolvem repetição espaçada e outros métodos baseados em evidências podem ser incorporadas na prática educativa para otimizar o aprendizado.

Ribeiro (2018) contribui com uma análise sobre como a neuroplasticidade pode ser utilizada para promover a aprendizagem ao longo da vida, destacando que a capacidade do cérebro de se adaptar e mudar em resposta a novas experiências pode ser aproveitada para fomentar a aprendizagem contínua.

Levitin (2006) discute como a Neurociência pode explicar a influência da música na aprendizagem e no desenvolvimento cognitivo. O autor sugere que a música pode ser uma ferramenta poderosa para melhorar a memória e a cognição,

além de promover um ambiente de aprendizagem mais envolvente.

Hardiman (2012) explora a integração da arte e da Neurociência na Educação, propondo que abordagens criativas podem melhorar a compreensão e a retenção de informações. A autora defende que a combinação de métodos artísticos e científicos pode resultar em experiências de aprendizagem mais eficazes e significativas.

Esses autores oferecem uma visão abrangente de como a Neurociência pode ser aplicada em processos educativos, ressaltando a importância da pesquisa científica para a prática pedagógica e o desenvolvimento de estratégias eficazes de ensino.

## 2.2 Os Transtornos de Aprendizagem: Dislexia, Disgrafia e Discalculia

Os transtornos de aprendizagem, como dislexia, disgrafia e discalculia, têm sido amplamente estudados por diversos especialistas. Compreender essas condições é crucial para desenvolver intervenções eficazes que melhorem a experiência educativa de alunos afetados.

Dislexia é um transtorno específico de aprendizagem caracterizado por dificuldades na leitura e na escrita, apesar da inteligência normal e do ensino adequado. Segundo Shaywitz (2003) e Franceschini *et al.* (2015), a dislexia é uma condição neurobiológica que afeta a habilidade de processar a linguagem escrita e é frequentemente associada a dificuldades na identificação de palavras e na fluência leitora.

Disgrafia, por outro lado, refere-se a dificuldades com a escrita, incluindo a formação das letras e a organização das ideias no papel. Wilson (2005) e Franceschini *et al.* (2015) observam que a disgrafia pode impactar não apenas a qualidade da escrita, mas também a capacidade de expressar pensamentos de forma clara e organizada. Para a autora, a intervenção precoce pode ajudar a mitigar esses efeitos.

Já a discalculia é um transtorno que afeta a habilidade de lidar com números e conceitos matemáticos. Segundo Franceschini *et al.* (2015) e Butterworth (1999) explicam, a discalculia envolve dificuldades com operações matemáticas básicas e pode afetar a compreensão de conceitos matemáticos mais complexos. O reconhecimento precoce e o suporte apropriado são fundamentais para ajudar os alunos a superar essas dificuldades, conforme defende o autor.

No Brasil, Pereira (2014) destaca a importância de estratégias pedagógicas específicas para cada transtorno. Essa pesquisadora argumenta que a integração de métodos baseados em evidências e a personalização do ensino podem melhorar significativamente o desempenho acadêmico dos alunos com esses transtornos.

Damásio (2000) complementa essa visão ao discutir a importância da

compreensão dos processos emocionais e cognitivos subjacentes aos transtornos de aprendizagem. Ele enfatiza que a intervenção deve considerar não apenas as dificuldades acadêmicas, mas também o impacto emocional que esses transtornos podem ter nos alunos.

Elias (2015) explora como a Neurociência pode ajudar na identificação e na intervenção de transtornos de aprendizagem. Essa autora sugere que o uso de abordagens baseadas em evidências neurocientíficas pode proporcionar melhores resultados na educação de alunos com dislexia, disgrafia e discalculia.

Moran (2013) também contribui para a discussão, destacando a importância de adaptar o currículo e as práticas pedagógicas para atender às necessidades individuais dos alunos com transtornos de aprendizagem, argumentando que a personalização do ensino é essencial para promover um ambiente de aprendizagem inclusivo e eficaz.

Esses estudos e autores oferecem uma visão abrangente dos transtornos de aprendizagem e das estratégias para lidar com eles, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de práticas educacionais que atendam às necessidades de todos os alunos.

### **2.3 Programação Neurolinguística em Contextos Educacionais**

A PNL tem sido aplicada em diversos contextos educacionais para melhorar o aprendizado e a eficácia do ensino. A PNL se baseia na ideia de que o comportamento e as habilidades podem ser moldados através da mudança de padrões mentais e de comunicação. Diversos autores têm explorado como essas técnicas podem ser utilizadas para beneficiar a Educação.

Bandler e Grinder (1975), os fundadores da PNL, enfatizam que a mesma pode ser aplicada para melhorar a comunicação e a aprendizagem. Em seu trabalho seminal, esses autores discutem como a mudança de padrões de pensamento e a modelagem de comportamentos podem levar a melhores resultados educacionais e à superação de obstáculos no aprendizado.

Dilts (1998) contribui com a aplicação da PNL na Educação, destacando como técnicas de modelagem e estratégias de mudança podem ser usadas para melhorar a motivação dos alunos e a eficácia do ensino. O autor sugere que a PNL pode ajudar professores a adaptar suas abordagens para atender melhor às necessidades individuais dos alunos.

Smith (2007) explora o uso da PNL para melhorar a gestão de sala de aula e promover um ambiente de aprendizagem positivo. A autora argumenta que técnicas de PNL podem ser usadas para estabelecer rapport com os alunos e criar um clima de

confiança, o que pode facilitar o aprendizado e reduzir comportamentos desafiadores.

No Brasil, Souza (2012) investiga como a PNL pode ser integrada às práticas pedagógicas para promover mudanças positivas no comportamento dos alunos e no ambiente escolar. Segundo ele mesmo destaca, a PNL pode ser uma ferramenta útil para a intervenção em dificuldades de aprendizagem e para a promoção de habilidades sociais.

Elias (2015) também contribui para a discussão, abordando como a PNL pode ser combinada com a Neurociência para desenvolver estratégias pedagógicas mais eficazes. A autora sugere que a integração dessas abordagens pode proporcionar uma compreensão mais profunda dos processos de aprendizagem e melhorar a prática educacional.

Moran (2013) explora a importância da adaptação das técnicas de PNL para contextos educacionais específicos, enfatizando a necessidade de personalização das estratégias de ensino para maximizar o impacto positivo no aprendizado dos alunos.

Pereira (2014) complementa essa visão ao destacar a eficácia da PNL em contextos de EJA, onde a aplicação de técnicas de modelagem e comunicação pode ajudar a superar barreiras e promover a aprendizagem.

Esses estudos demonstram o potencial da PNL para transformar a educação, oferecendo estratégias para melhorar a comunicação, a motivação e o ambiente de aprendizagem.

### 3. METODOLOGIA

O presente estudo adota uma abordagem qualitativa, com o objetivo de explorar a aplicação da Neurociência no Ensino de Física para alunos da EJA. A pesquisa foca na identificação e intervenção em transtornos de aprendizagem, especificamente dislexia, disgrafia e discalculia, utilizando técnicas da PNL. A metodologia qualitativa é adequada para este estudo devido à sua capacidade de fornecer uma compreensão profunda dos fenômenos em questão e de explorar as experiências e perspectivas dos participantes.

#### 3.1 Procedimentos Metodológicos

##### 3.1.1 Definição do Ambiente e dos Participantes

A pesquisa será conduzida em instituições de ensino que oferecem a modalidade de EJA no EM. A seleção das escolas será realizada com base na disponibilidade e no interesse em participar da pesquisa. Os participantes incluirão:

1. Professores de Física: Serão selecionados professores que atuam nas turmas

de EJA, a fim de compreender como as dificuldades dos alunos impactam a prática pedagógica e como eles percebem a eficácia das técnicas de PNL.

2. Alunos da EJA: Serão selecionados alunos diagnosticados com dislexia, disgrafia e discalculia, bem como aqueles que apresentem sinais desses transtornos. A escolha será feita com a ajuda dos professores e com o consentimento dos responsáveis.
3. Especialistas em PNL: Consultores externos poderão ser envolvidos para oferecer treinamento e suporte na implementação das técnicas de PNL.

### 3.1.2 Coleta de Dados

A coleta de dados será realizada através dos seguintes métodos:

- Observação Direta em Sala de Aula: Serão realizadas observações em sala de aula para identificar sinais de dislexia, disgrafia e discalculia, e para analisar como essas dificuldades afetam o processo de ensino-aprendizagem de Física. As observações serão registradas em notas de campo e serão acompanhadas por registros fotográficos e/ou gravações de vídeo, quando apropriado e com consentimento.
- Entrevistas Semiestruturadas: Serão conduzidas entrevistas semiestruturadas com professores e alunos. As entrevistas com professores terão como foco a percepção dos transtornos de aprendizagem e a eficácia das técnicas de PNL implementadas. As entrevistas com alunos buscarão entender suas experiências e dificuldades em relação ao Ensino de Física e as intervenções propostas.
- Análise Documental: Serão analisados registros pedagógicos, como relatórios de desempenho, avaliações e registros de intervenções anteriores, para avaliar o impacto dos transtornos de aprendizagem e as mudanças ocorridas após a implementação das técnicas de PNL.

### 3.1.3 Implementação das Técnicas de PNL

A aplicação das técnicas de PNL será realizada através de um programa adaptado às necessidades dos alunos com dislexia, disgrafia e discalculia. O programa incluirá:

- Treinamento para Professores: Será fornecido treinamento para professores sobre técnicas de PNL e como aplicá-las na sala de aula para melhorar a identificação e o suporte a alunos com transtornos de aprendizagem.

- Intervenções Diretas com Alunos: Serão implementadas atividades e estratégias baseadas em PNL para ajudar os alunos a superar suas dificuldades com a leitura, escrita e matemática. Estas intervenções serão adaptadas às necessidades individuais dos alunos e serão aplicadas ao longo do semestre.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo, discutem-se os resultados da aplicação de estratégias pedagógicas baseadas na PNL para a identificação e intervenção de transtornos de aprendizagem — dislexia, disgrafia e discalculia — em alunos da EJA no EM, durante as aulas de Física. A intervenção ocorreu em uma escola pública da rede estadual da Bahia, na cidade de Caravelas, em turmas noturnas de EJA, ao longo de um semestre letivo, com foco em identificar sinais precoces de transtornos de aprendizagem e aplicar técnicas de PNL adaptadas para facilitar o ensino-aprendizagem. O processo incluiu observação direta, entrevistas semiestruturadas e análise documental. As seções seguintes apresentam os dados obtidos, seguidos de uma discussão sobre a eficácia das estratégias propostas.

##### 4.1 Identificação de Sinais Precoces dos Transtornos de Aprendizagem

Durante o período de observação, a pesquisa conseguiu identificar, de maneira eficaz, indícios de dislexia, disgrafia e discalculia em aproximadamente 20% dos alunos da turma analisada, composta por 32 estudantes. A aplicação de estratégias como a observação direta em atividades de leitura e escrita, resolução de problemas matemáticos e interpretação de gráficos revelou dificuldades que, antes da intervenção, não haviam sido formalmente diagnosticadas.

Em um dos casos, um aluno de 39 anos apresentou sinais claros de dislexia, principalmente ao tentar ler enunciados de questões físicas. Ele cometia inversões de letras e omitia sílabas, o que prejudicava seu entendimento dos conceitos. A aplicação de técnicas de PNL, como a repetição de instruções de forma multisensorial (auditiva, visual e cinestésica), ajudou a minimizar essas dificuldades ao longo do processo. O aluno relatou sentir-se menos ansioso ao se deparar com textos após as sessões de intervenção pedagógica.

Os dados documentais e as entrevistas semiestruturadas com professores também corroboraram as observações, com os docentes relatando que muitos alunos apresentavam dificuldades de aprendizado que até então eram atribuídas apenas à defasagem escolar, sem uma avaliação mais detalhada. A PNL, com suas técnicas adaptadas, permitiu uma identificação mais precisa e um melhor direcionamento de

estratégias para atender a essas necessidades.

## 4.2 Implementação das Estratégias Baseadas na PNL

As estratégias de PNL aplicadas em sala de aula focaram em técnicas que favoreciam o aprendizado por meio da percepção e do processamento neurolinguístico dos alunos, visando aumentar a eficiência na retenção de conceitos físicos. Uma das técnicas mais eficazes foi a de "ancoragem", que consiste em associar o aprendizado de um conceito a uma experiência sensorial positiva.

Por exemplo, ao ensinar a relação entre velocidade, tempo e espaço, foi utilizado um exercício em que os alunos tocavam em objetos que simbolizavam cada uma dessas variáveis, enquanto repetiam em voz alta as relações entre elas. Essa abordagem multisensorial, ao envolver visualização e movimento, foi particularmente útil para alunos com discalculia, que demonstraram uma melhora na capacidade de entender e resolver problemas envolvendo fórmulas e cálculos.

Outra técnica aplicada foi a de "modelagem", em que o professor demonstrava visualmente como resolver um problema físico e depois pedia aos alunos que imitassem os passos seguidos, descrevendo verbalmente suas ações. Esta técnica se mostrou bastante eficaz para alunos com disgrafia, que antes tinham dificuldade em organizar suas anotações e seguir uma sequência lógica nos cálculos. Através da repetição guiada, observou-se uma melhora considerável na clareza das resoluções e na organização dos cadernos de alguns alunos.

## 4.3 Melhoria do Desempenho Acadêmico

Os dados coletados a partir das avaliações realizadas antes e depois da implementação das estratégias de PNL indicam uma melhoria significativa no desempenho acadêmico dos alunos com transtornos de aprendizagem. Antes da intervenção, os alunos com dislexia, disgrafia e discalculia apresentavam um rendimento médio de 4,2 (em uma escala de 0 a 10) nas avaliações de Física. Após a aplicação das estratégias baseadas na PNL, esse desempenho médio subiu para 7,3.

Um dos exemplos mais marcantes foi o de uma aluna com dislexia que, no início do semestre, evitava participar das atividades escritas e frequentemente ficava confusa ao tentar ler problemas de Física. Ao final do processo, após participar de várias sessões com técnicas de PNL, ela relatou que se sentia mais confortável ao interpretar enunciados e ao participar das discussões em grupo. Seu desempenho nas provas finais refletiu esse progresso, com um aumento de 40% nas notas.

Os professores também relataram uma melhora notável na participação dos alunos em sala de aula. Alunos que antes pareciam desmotivados ou com dificuldades

extremas começaram a engajar-se mais ativamente nas discussões e atividades propostas, o que sugere que a aplicação das técnicas de PNL não apenas impactou o desempenho acadêmico, mas também gerou uma mudança positiva na atitude dos estudantes em relação à aprendizagem.

#### 4.4 Percepção dos Professores e Alunos

As entrevistas com professores revelaram uma percepção muito positiva quanto à aplicação das estratégias de PNL. A maioria relatou que as técnicas trouxeram uma nova perspectiva para lidar com os desafios dos alunos com transtornos de aprendizagem, proporcionando ferramentas práticas que facilitam o processo de ensino. Um professor destacou que, após a intervenção, sentiu-se mais preparado para identificar dificuldades específicas em seus alunos e aplicar estratégias direcionadas que aumentaram significativamente a compreensão dos conceitos.

Os alunos, por sua vez, também demonstraram uma atitude positiva em relação às técnicas. Muitos relataram que as estratégias de PNL ajudaram a reduzir o estresse e a ansiedade durante as aulas de Física, especialmente nas atividades que envolviam leitura e cálculos. Um aluno afirmou: "Antes, eu sempre achava que não conseguiria resolver as questões. Agora, sinto que tenho um caminho a seguir e ferramentas que me ajudam a pensar melhor."

Os resultados da pesquisa confirmam a hipótese inicial de que a aplicação da PNL pode ser uma ferramenta eficaz para o ensino de Física a alunos da EJA com transtornos de aprendizagem. A identificação precoce de dislexia, disgrafia e discalculia, combinada com intervenções pedagógicas personalizadas, gerou resultados palpáveis, tanto em termos de desempenho acadêmico quanto de inclusão escolar. A literatura, representada por autores como Bandlere Grinder(1982) e Shaywitz (2003), corrobora os achados, sugerindo que a PNL pode promover mudanças significativas na forma como o cérebro processa informações, especialmente em contextos de dificuldades específicas de aprendizagem. Os dados qualitativos da pesquisa evidenciam que as técnicas de PNL proporcionaram aos alunos uma forma de estruturar melhor suas percepções e processos mentais, o que levou a uma melhora geral no desempenho escolar.

Por outro lado, alguns desafios também foram identificados, como a necessidade de capacitar professores de maneira mais ampla para o uso dessas técnicas e a limitação de recursos para realizar intervenções em maior escala. Esses fatores devem ser considerados em futuras pesquisas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos realizados, é possível afirmar que a aplicação da Neurociência, em especial por meio da PNL, oferece um campo fértil de inovações pedagógicas para o Ensino de Física, particularmente voltado para alunos da EJA que apresentam transtornos de aprendizagem como dislexia, disgrafia e discalculia. O estudo demonstrou que a identificação precoce desses transtornos é viável a partir de sinais observados durante o processo de ensino-aprendizagem, principalmente quando os educadores estão preparados e possuem estratégias pedagógicas adequadas para tal fim.

A análise qualitativa, com base na observação direta em sala de aula, entrevistas semiestruturadas e análise documental, reforçou a hipótese de que a implementação de técnicas da PNL pode efetivamente contribuir para a inclusão e o sucesso acadêmico desses alunos. A adaptação de conteúdos e metodologias da PNL para o contexto do Ensino de Física mostrou-se eficiente, promovendo um ambiente de aprendizagem mais acessível e motivador para os alunos com dificuldades específicas. Entre os principais resultados, destaca-se a melhoria no desempenho dos alunos em tarefas relacionadas ao componente curricular de Física, evidenciando a eficácia das intervenções pedagógicas propostas.

Além disso, os professores que participaram do estudo relataram maior consciência sobre os transtornos de aprendizagem e maior confiança na utilização de estratégias pedagógicas diferenciadas, como as oferecidas pela PNL. Essa abordagem permitiu não apenas o desenvolvimento cognitivo dos alunos, mas também favoreceu a criação de um ambiente de ensino mais inclusivo e adaptado às suas necessidades.

Todavia, é importante reconhecer as limitações do estudo, uma vez que a amostra foi restrita a um número limitado de alunos e professores da EJA. Sugere-se que futuras pesquisas ampliem o escopo, tanto em termos de abrangência quanto na exploração de outros transtornos de aprendizagem que possam impactar o Ensino de Física. Ainda assim, os resultados obtidos até o momento são promissores e apontam para a relevância da continuidade de investigações que relacionem Neurociência e PNL ao Ensino de Ciências, buscando sempre aprimorar as práticas pedagógicas e contribuir para a construção de um ensino inclusivo e eficiente para todos.

A aplicação de técnicas de PNL no contexto do Ensino de Física para alunos da EJA com transtornos de aprendizagem demonstrou ser uma intervenção pedagógica promissora. Os resultados mostram que é possível não apenas identificar precocemente dificuldades específicas, mas também propor soluções práticas que

favorecem o sucesso acadêmico e a inclusão dos alunos. O uso da PNL, aliado ao comprometimento dos professores e à adaptação das estratégias de ensino, pode contribuir para a construção de um ambiente de aprendizado mais acessível e inclusivo para todos os alunos, independentemente de suas dificuldades.

Destarte, espera-se que este trabalho inspire novas iniciativas pedagógicas e políticas educacionais voltadas à capacitação docente para lidar com as diversidades cognitivas presentes nas salas de aula, em especial no contexto da EJA. Que as contribuições aqui apresentadas sirvam como ponto de partida para a criação de novas metodologias de ensino que, fundamentadas em conhecimentos neurocientíficos e no uso de ferramentas como a PNL, promovam o sucesso acadêmico e a inclusão plena de alunos com transtornos de aprendizagem no Ensino de Física.

## REFERÊNCIAS

BANDLER, R; GRINDER, J. **Reframing: neuro-linguistic programming and the transformation of meaning**. Moab: Real People Press, 1982.

BAVISTER, S; VINES, A. **PNL na sala de aula: estratégias para professores**. São Paulo: Summus Editorial, 2003.

BOGDAN, R; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto Alegre: Pearson, 2006.

BUTTERWORTH, B. **The mathematical brain**. London: Macmillan, 1999.

CAPELLINI, S. A; OLIVEIRA, A. M. A. de; CUENCA, D. G. S. **Transtornos de aprendizagem: abordagem neurobiológica e multidisciplinar**. São Paulo: Memnon, 2010.

DAMÁSIO, A. **O erro de descartes: emoção, razão e o cérebro humano**. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

DILTS, R. **Beliefs: path ways to health and well-being**. Capitola: Meta Public, 1998.

ELIAS, E. F. A **Neurociência e a educação: desafios e perspectivas**. Artmed Editora, 2015.

FLETCHER, J. M; COUTINHO, M. J; LEITE, Â. M. **Distúrbios de aprendizagem: um guia para educadores e pais**. São Paulo: Roca, 2012.

FRANCESCHINI, B. T.; ANICETO, G.; OLIVEIRA, S. D.; ORLANDO, R. M. **Distúrbios de aprendizagem: disgrafia, dislexia e discalculia**. Educação, Batatais, v. 5, n. 2, p. 95-118, 2015. Disponível em: <<https://portalidea.com.br/cursos/b42de557587c3a410bad43b7134c9fc2.pdf>>. Acesso em: set. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

GRINDER, J; BANDLER, R. **The structure of magic I: a book about language and therapy**. Palo Alto: Science and Behavior Books, 1975.

HARDIMAN, M. **The brain-targeted teaching model for 21st-century schools**. Thousand Oaks: Corwin Press, 2012.

HATTIE, J. **Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement**. London: Routledge, 2009.

JONES, D. R. **Writing in children with developmental coordination disorder: dysgraphia and associated problems**. London: Routledge, 2004.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022a.

\_\_\_\_\_. **Técnicas de pesquisa**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

\_\_\_\_\_. **Metodologia do trabalho científico**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022b.

LEVITIN, D. J. **This is your brain on music: the science of a human obsession**. New York: Dutton, 2006.

MORAN, J. M. **Educação e tecnologia: o novo cenário da aprendizagem**. Papirus Editora, 2013.

O'CONNOR, J; SEYMOUR, J. **Introducing neuro-linguistic programming: psychological skills for understanding and influencing**. London: Thorsons, 1990.

PAVAN, F. de O; FÁVERO, N. R. **Dislexia, disgrafia e discalculia: identificando, compreendendo e intervindo**. São Paulo: Wak Editora, 2017.

PEREIRA, C. M. **Neurociência e educação: a construção do conhecimento e os transtornos de aprendizagem**. Editora Vozes, 2014.

RIBEIRO, R. B. **Neuroplasticidade e aprendizagem: a formação de novas conexões**. Editora Unesp, 2018.

ROBERTS, J. B. **PNL para professores: como aplicar a programação neurolinguística na sala de aula**. São Paulo: Editora Cultrix, 2010.

SHAYWITZ, S. **Overcoming dyslexia: a new and complete science-based program for reading problem satany level**. New York: Knopf, 2003.

SMITH, S. **Using NLP in the classroom: practical applications for teachers**. London: Routledge, 2007.

SOUZA, A. L. de. **Programação neurolinguística e educação: aplicações e estratégias**. São Paulo: Editora Gente, 2012.

WILSON, B. A. **The dyslexia toolkit**. London: Routledge, 2005.

ZORZI, J. L; CAPELLINI, S. A. **Transtornos de aprendizagem e transtornos da atenção: teoria, diagnóstico e intervenção**. São José dos Campos: Pulso, 2014.

## RELAÇÃO DO FORAME OVAL PATENTE E O ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL: ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS, CLÍNICOS, FISIOPATOLÓGICOS, DIAGNÓSTICOS, COMPLICAÇÕES E TRATAMENTOS

Caroline de Oliveira Nieblas<sup>1</sup>

Enzo Lofredo Amorin<sup>2</sup>

Brenno Camargo de Mello Moreti<sup>3</sup>

Ana Cláudia Pereira Pinheiro<sup>4</sup>

Thaís Lima Brosco<sup>5</sup>

Patrick Cristian Lima Orihuela<sup>6</sup>

Eduardo Gregório Chamlian<sup>7</sup>

**RESUMO:** O acidente vascular cerebral (AVC) é uma condição neurológica aguda, frequentemente isquêmica, que representa uma das principais causas de morbimortalidade no mundo. Entre os casos classificados como criptogênicos, isto é, sem etiologia definida mesmo após investigação completa, o forame oval patente (FOP) tem se destacado como um potencial fator causal, sobretudo em pacientes jovens. O FOP é uma comunicação interatrial remanescente da circulação fetal, presente em aproximadamente 25% da população, que pode permitir a passagem de êmbolos venosos para a circulação arterial, resultando em embolia paradoxal. Objetivo: Descrever os mecanismos pelos quais o FOP pode contribuir para o AVC e avaliar os benefícios de sua identificação e tratamento precoce. Metodologia: Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, realizada por meio de busca não sistemática nas bases de dados SciELO, LILACS e PubMed, entre abril e maio de 2025, com seleção crítica dos artigos pelos autores. Resultados e discussão: Evidências apontam que o FOP está presente em até 50% dos pacientes com AVC criptogênico. O ecocardiograma transesofágico com contraste é o método diagnóstico mais sensível. O fechamento percutâneo do FOP demonstrou eficácia na prevenção secundária do AVC em indivíduos entre 18 e 60 anos, principalmente naqueles com características de alto risco, como shunt interatrial significativo ou aneurisma do septo atrial. Estudos clínicos randomizados demonstraram redução da recorrência de AVC com essa abordagem, embora a evidência ainda seja considerada de baixo grau. Conclusão: O FOP deve ser sistematicamente investigado em casos de AVC criptogênico, especialmente em pacientes jovens. Seu manejo adequado, com destaque para o fechamento percutâneo, representa uma estratégia relevante na prevenção secundária de eventos neurológicos recorrentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Forame Oval Patente. Acidente Vascular Cerebral.

**ABSTRACT:** Cerebrovascular accident (CVA) is an acute neurological condition, predominantly ischemic, and remains one of the leading causes of morbidity and mortality worldwide. Among cases classified as cryptogenic—those with no defined etiology even after extensive diagnostic evaluation—patent foramen ovale (PFO) has emerged as a potential contributing factor, particularly in younger individuals. PFO is a remnant of fetal circulation, found in approximately 25% of the population, which can permit venous thrombi to bypass the pulmonary filter and enter the arterial system, resulting in paradoxical embolism. Methodology: To describe the pathophysiological mechanisms by which PFO may lead to stroke and assess the benefits of its early detection and treatment. This study is a narrative review of the literature, conducted through a non-systematic search in the SciELO, LILACS, and PubMed databases between April and May 2025. Article selection was based on critical analysis by the authors. Results and discussion: Evidence indicates that PFO is present in up to 50% of patients with

<sup>1</sup>Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: karunieblas@gmail.com

<sup>2</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: enzo.amorim@uscsonline.com.br

<sup>3</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: brenno.moreti@uscsonline.com.br

<sup>4</sup>Graduanda em Med.Veterinária. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: ana.pinheiro@uscsonline.com.br

<sup>5</sup>Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: thais.brosco@uscsonline.com.br

<sup>6</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: patrick.oriuela@uscsonline.com.br

<sup>7</sup>Docente/Orientador. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: eduardo.chamlian@online.uscs.edu.br

cryptogenic stroke. Transesophageal echocardiography with contrast is the most sensitive diagnostic modality. Percutaneous PFO closure has shown effectiveness in reducing stroke recurrence, especially in patients aged 18–60 with high-risk features such as large interatrial shunt or atrial septal aneurysm. Randomized clinical trials support this intervention, although the overall level of evidence remains moderate due to study heterogeneity and low event rates. Conclusion: PFO should be actively investigated in patients with cryptogenic stroke, especially younger individuals. Proper management, most notably, percutaneous closure in selected cases—constitutes an important strategy for secondary prevention of recurrent cerebrovascular events.

**KEY WORDS:** Foramen Ovale. Stroke.

## 1. INTRODUÇÃO

O acidente vascular cerebral (AVC) é definido clinicamente como uma síndrome caracterizada por um déficit neurológico focal agudo decorrente de uma lesão vascular no sistema nervoso central. A maioria dos AVCs é isquêmica (85%), causada por uma redução do fluxo sanguíneo devido à oclusão arterial. Entre os fatores de risco, a hipertensão arterial continua sendo o mais significativo. Globalmente, o AVC representa um importante desafio de saúde pública, pois é a principal causa de incapacidade física adquirida em adultos e a segunda maior causa de morte (Murphy; Werring, 2020; Campbell; Khatri, 2020).

Para melhor compreender os mecanismos subjacentes ao AVC isquêmico, a classificação TOAST (Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment) é frequentemente utilizada. Ela categoriza os AVCs em cinco subtipos: aterosclerose de grandes artérias, cardioembólico, oclusão de pequenos vasos, AVC de outra etiologia determinada e AVC de causa indeterminada. Este último grupo, conhecido como AVC criptogênico, representa de 20% a 30% dos casos e não apresenta causa clara mesmo após investigação completa. Nesses casos, o forame oval patente (FOP) deve ser considerado como um possível contribuinte, especialmente em pacientes jovens (<60 anos) ou na ausência de fatores de risco tradicionais para AVC, uma vez que pode permitir embolia paradoxal (Murphy; Werring, 2020; Campbell; Khatri, 2020).

O forame oval é uma estrutura fetal normal que permite que o sangue oxigenado desvie dos pulmões fetais ainda não funcionais, passando do átrio direito para o esquerdo. Após o nascimento, o aumento da pressão no átrio esquerdo geralmente promove a fusão do septo primum com o septo secundum, fechando o forame (Maloku *et al.*, 2024). Contudo, em aproximadamente 25% das pessoas, essa fusão não é completa, resultando na comunicação interatrial remanescente, conhecida como forame oval patente (FOP). Os mecanismos que influenciam na permanência do FOP são incertos, mas alguns fatores podem ser contribuintes, como o tecido septal primário excessivo, movimento dinâmico do septo primário e variações hemodinâmicas anormais nos átrios (Shah *et al.*, 2024; Sposato *et al.*, 2023).

Embora frequentemente assintomático, o FOP pode permitir a passagem de êmbolos venosos da circulação sistêmica para a circulação arterial, o que pode resultar em AVC por embolia paradoxal. (Hampton; Alsaleem; Murphy-Lavoie, 2025; Shah *et al.*, 2024; Gonnah *et al.*, 2022).

Considera-se que o diâmetro médio do FOP seja de 9,9 mm, e os trombos que o atravessam têm tamanho suficiente para ocluir a artéria cerebral média (3 mm) ou seus ramos corticais (1 mm). A existência do FOP, por si só, já leva à predisposição para criação de coágulos *in situ* e êmbolos, sendo um fator de risco ou até mesmo a causa direta de um AVC criptogênico (Vensão *et al.*, 2023; Randhawa *et al.*, 2024).

Em pacientes com AVC criptogênico, a presença de FOP deve ser investigada ativamente, visto que essa é a causa do AVC em 40-50% desses casos. Todavia, a presença do FOP não confirma, por si só, a causa do AVC em todos os casos (Lucà *et al.*, 2023; Sposato *et al.*, 2023). O exame mais indicado é o ecocardiograma transesofágico com contraste de bolhas, uma técnica semi-invasiva que permite visualização detalhada do septo interatrial e avaliação do grau de shunt. Uma vez confirmado, o fechamento percutâneo do FOP tem se mostrado uma intervenção segura e eficaz para reduzir o risco de recorrência do AVC, especialmente em pacientes com menos de 60 anos. Essa abordagem tem recebido apoio de ensaios clínicos randomizados e meta-análises (Mojadidi *et al.*, 2018)

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Pergunta-Problema e Objetivos

Qual o mecanismo que o forame oval patente pode causar um acidente vascular cerebral e qual o benefício em preveni-lo?

Objetivo geral: Descrever como o FOP pode levar a um AVC e detalhar como ele pode ser prevenido.

Objetivos específicos:

- Analisar aspectos gerais do FOP.
- Descrever as formas de tratamento do FOP.
- Estabelecer a relação entre o FOP e o AVC.
- Avaliar o benefício em tratar o FOP para prevenir o AVC.

### 2.2 Justificativa e Relevância

O AVC é uma das principais causas de mortalidade e incapacidade adquirida no mundo. No entanto, cerca de 20 a 30% dos casos permanecem sem causa definida, sendo classificados como AVCs criptogênicos (Murphy; Werring, 2020).

Nesses casos, o FOP deve ser considerado como uma possível etiologia e a compreensão dos aspectos fisiopatológicos e clínicos do FOP é fundamental, pois essa condição pode não apenas estar relacionada à ocorrência inicial do AVC, como também à sua recorrência. Assim, a identificação e manejo adequado têm implicações diretas na prevenção secundária e redução de novos eventos neurológicos.

### 3 METODOLOGIA

O estudo consiste em uma revisão narrativa, a qual, de acordo com Rother (2007), se caracteriza pela análise crítica da literatura científica pelos autores. Uma vez que não há maneiras de reproduzir a metodologia desse tipo de estudo, sua força de evidência científica é considerada baixa; no entanto, as revisões narrativas corroboram com o debate de temáticas de forma a agilizar a obtenção e renovação do conhecimento.

A coleta dos materiais foi feita de forma não sistemática entre abril e maio de 2025. As bases de dados utilizadas foram: Scielo, Lilacs e Pubmed. Ao final, houve a aplicação da criticidade dos autores para seleção das informações.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 Epidemiologia

Presente em cerca de um quarto dos adultos, o forame oval patente (FOP) é uma comunicação remanescente entre os átrios, originada ainda na vida fetal. Na maioria das pessoas, essa condição é inofensiva e não necessita de intervenção. No entanto, em determinados contextos clínicos, pode favorecer complicações, como a embolia paradoxal, e requerer condutas específicas. (Kavinsky *et al.*, 2022)

Uma revisão de estudos com diferentes métodos diagnósticos [autópsia, ecocardiograma transesofágico (ETE), Doppler Transcraniano (DTC) e Ecocardiograma Transtorácico (ETT)], confirmou que o FOP é mais prevalente em pacientes com eventos isquêmicos (RC = 3,1) em comparação a indivíduos saudáveis, sendo especialmente comum em pacientes jovens, sobretudo quando identificado por ETE ou DTC (Koutroulou *et al.*, 2020)

Desde 1988, estudos têm mostrado que o FOP é mais comum em pacientes com AVC criptogênico, especialmente jovens, com prevalência entre 30% e 40%, em contraste com os 25% observados na população geral. A frequência do FOP nesses casos pode chegar ao dobro da observada em indivíduos sem AVC. Pacientes com FOP e aneurisma do septo atrial apresentam risco aumentado de recorrência do AVC, o que destaca a necessidade de estratégias eficazes de prevenção secundária. Além disso, cerca de 50% dos pacientes com AVC criptogênico apresentam shunt direita-

esquerda, comparado a apenas 15% dos controles, e o FOP também é encontrado em dois terços dos mergulhadores com doença de descompressão sem causa aparente (Hampton; Alsaleem; Murphy-Lavoie, 2025).

## 4.2 Clínica

O forame oval patente (FOP) é uma condição frequentemente assintomática. A presença de sintomas de gravidade pode ocorrer em alguns casos, como cefaleias com características migranosas e sinais de acidente vascular cerebral isquêmico, sendo a embolia paradoxal uma das apresentações clínicas incomuns dessa patologia. Como principal alteração do exame físico, tem-se um sopro sistólico de baixa intensidade. Cabe ressaltar que a condição em questão, é diagnosticada em grande parte dos casos de maneira incidental, comumente associada ao AVC criptogênico (Hampton; Alsaleem; Murphy-Lavoie, 2025).

## 4.3 Diagnóstico da FOP e seus diagnósticos diferenciais

O forame oval patente (FOP) é uma ocorrência frequente tanto em recém-nascidos quanto em adultos, e seu diagnóstico diferencial deve considerar outras cardiopatias congênitas. Entre elas estão o defeito do septo atrial, que, ao contrário do FOP, representa uma abertura verdadeira no septo interatrial e geralmente se manifesta por um som cardíaco fixo detectável à ausculta; o defeito do septo ventricular, e costuma causar um sopro pansistólico característico; e a persistência do canal arterial, uma comunicação fetal que pode permanecer aberta após o nascimento e, em alguns casos, até a infância, sendo tipicamente identificada pelo sopro contínuo da maquinaria (Hampton; Alsaleem; Murphy-Lavoie, 2025).

No diagnóstico diferencial da FOP, deve ser considerado especialmente em pacientes jovens com AVC sem causa identificada, em portadores de sintomas neurológicos inespecíficos (como enxaqueca) ou em casos de embolia sistêmica inexplicada. O exame físico geralmente é normal, podendo haver discreto sopro sistólico. O diagnóstico é realizado por ecocardiograma transesofágico (ETE), ecocardiograma transtorácico (ETT) e doppler transcraniano (DTC), sendo o ETE o mais sensível. A avaliação também deve incluir a busca por tromboembolia venosa, dada sua relação com eventos embólicos, e é recomendada em grupos específicos, como mergulhadores com episódios repetidos de doença descompressiva (Hampton; Alsaleem; Murphy-Lavoie, 2025).

O ecocardiograma transesofágico é considerado o método mais preciso para identificar a presença de forame oval patente (FOP), permitindo observar diretamente a abertura entre o septum primum e o septum secundum e mensurar seu tamanho.

Apesar de ser altamente sensível e específico, especialmente com o uso de solução salina aerada como contraste, trata-se de um exame semi-invasivo, o que o torna inadequado para triagem. Em contraste, o ecocardiograma transtorácico, embora menos invasivo, apresenta menor sensibilidade — cerca de 46%, podendo alcançar 90% com o uso de imagem harmônica — e não permite distinguir de forma confiável entre shunts cardíacos e pulmonares. Já o doppler transcraniano, com sensibilidade de 97% e especificidade de 93% comparado ao ecocardiograma transesofágico com bolhas, também não diferencia entre os tipos de shunt. Assim, tanto o ecocardiograma transtorácico quanto o doppler transcraniano com injeção de solução salina aerada são utilizados como ferramentas iniciais na investigação de FOP (Gomes *et al.*, 2021).

#### 4.4 Tratamento/Manejo cirúrgico da FOP

A prevalência do FOP em indivíduos com AVC criptogênico tem levado ao debate sobre a necessidade de fechamento percutâneo do FOP como forma de prevenção secundária. Ensaios clínicos como o RESPECT, CLOSE e REDUCE demonstraram que, em pacientes jovens com AVC criptogênico, o fechamento do FOP pode reduzir significativamente a recorrência de AVC, evidenciando os benefícios do fechamento percutâneo em determinados casos (Sposato *et al.*, 2024; Kim, 2024; Randhawa *et al.*, 2024). Entretanto, a decisão de realizar o fechamento deve ser tomada com cautela, considerando a avaliação clínica e os critérios diagnósticos, incluindo a escala RoPE e o escore PASCAL, que ajudam a estimar a probabilidade de que o AVC esteja relacionado ao FOP (Mojadidi *et al.*, 2018; Caso *et al.*, 2024). As diretrizes da European Stroke Organisation (ESO) e da American Academy of Neurology (AAN) recomendam considerar o fechamento do FOP principalmente em pacientes abaixo de 60 anos, com AVC criptogênico confirmado e FOP com características de alto risco, como shunt grande ou aneurisma do septo interatrial (Messé *et al.*, 2020; Caso *et al.*, 2024).

O tratamento cirúrgico do forame oval patente (FOP) é realizado por meio do fechamento percutâneo, um procedimento minimamente invasivo que utiliza um dispositivo para ocluir a abertura entre os átrios do coração. Essa abordagem é indicada principalmente para pacientes entre 18 e 60 anos que sofreram um acidente vascular cerebral (AVC) isquêmico criptogênico — ou seja, sem causa identificada — e que apresentam FOP com características de alto risco, como aneurisma do septo atrial (ASA) e shunt interatrial significativo (Silveira *et al.*, 2024).

Para auxiliar na seleção dos candidatos ideais para o fechamento percutâneo, foi proposto o sistema de classificação de Pascal, que integra características anatômicas do FOP e a pontuação do RoPE score (Risco de embolia paradoxal),

baseada em fatores clínicos. Essa abordagem permite uma avaliação mais precisa da probabilidade de o AVC estar relacionado ao FOP (Caso et al., 2024).

As diretrizes mais recentes da European Stroke Organisation (ESO) e da American Academy of Neurology (AAN) recomendam que o fechamento do FOP seja considerado em pacientes com idade abaixo de 60 anos, com AVC criptogênico confirmado, FOP com características de alto risco (como aneurisma do septo interatrial ou shunt grande) e ausência de outras causas identificáveis (Caso et al., 2024; Messé et al., 2020).

Dados de uma meta-análise publicada no European Heart Journal (2015), que comparou terapias anticoagulantes (OAC) e antiplaquetárias (APT) em pacientes com AVC criptogênico e forame oval patente (FOP), sugerem que anticoagulantes estão associados a menor risco de recorrência de AVC. No entanto, essa maior eficácia vem acompanhada de um risco aumentado de sangramentos, o que exige avaliação individualizada na escolha do tratamento. Os autores concluem que os dados disponíveis ainda não oferecem evidência definitiva sobre a superioridade de uma abordagem sobre a outra, devido às baixas taxas de eventos e à não comparabilidade entre os grupos. Assim, reforça-se a necessidade de novos estudos comparativos, especialmente ensaios clínicos randomizados, para orientar melhor a conduta terapêutica nessa população (Kent et al., 2015).

Desde 2017, ensaios clínicos randomizados (RCTs) demonstraram que o fechamento percutâneo do FOP, quando associado à terapia médica, é mais eficaz do que a terapia médica isolada na prevenção da recorrência de AVC. Uma meta-análise com dados individuais desses estudos revelou uma redução relativa do risco de 60% na recorrência de AVC com o fechamento percutâneo. No entanto, uma meta-análise recente de dados individuais de pacientes (IPDMA) mostrou uma redução relativa de risco de 60% para a recorrência de AVC com o fechamento do FOP, embora a redução absoluta do risco tenha sido pequena (ARR de 1,7% em 2 anos) (Amini, 2025; Safouris et al., 2020).

O fechamento percutâneo é contraindicado se a medida do FOP for maior que 25mm, pois para a correção é necessário a cirurgia, se o paciente estiver com sepse, endocardite, bacteremia ou fungemia ativas, se houver massa intracardíaca ou se a anatomia intracardíaca não permitir uma correção segura com o dispositivo (Sitwala, 2019).

Antes do procedimento os pacientes recebem uma terapia antiplaquetária, além de antibióticos e solução salina. Em relação ao procedimento propriamente dito, o acesso mais utilizado é a veia femoral, onde é introduzido um cateter e com a

cinangiografiografia é possível visualizar a anatomia do átrio esquerdo. Um cateter com fio guia é introduzido na veia cava superior e posicionado na fossa oval, dessa forma o fio guia passa através da FOP em direção a veia pulmonar superior esquerda, onde o cateter avança. Com a medição da pressão no átrio esquerdo, é possível confirmar a posição do cateter (Sitwala, 2019).

Os discos possuem um espaço entre eles relacionado à largura do septo secundum. O disco do átrio esquerdo é posicionado e a bainha junto com o dispositivo são puxados para trás para que o disco do átrio esquerdo se fixe e o lado do dispositivo relacionado ao átrio direito é implantado após realizar uma leve tensão contra o septo do átrio esquerdo. Para confirmar a posição correta do dispositivo e seu funcionamento, é injetado contraste através do lado direito do disco. Além disso, após o fechamento percutâneo, o paciente precisa realizar um novo ecocardiograma com estudo de bolhas, para avaliar a presença de algum shunt residual (Sitwala, 2019; Brown, 2023).

#### 4.5 Complicações

Na literatura, há relato de complicações em 1% dos casos após o fechamento percutâneo do FOP, sendo elas, infecção, erosão do pericárdio, nova comunicação interatrial (causada pela ruptura da borda interior do septo primum, ou fibrilação atrial (FA) (Amini, 2025).

Quanto ao desenvolvimento da fibrilação atrial, ocorre geralmente nas primeiras semanas após a intervenção e seu mecanismo ainda não é bem descrito na literatura, mas pode incluir: estiramento do tecido, irritação local ou interferência relacionada com o dispositivo. Sendo assim, apesar de somar uma pequena parcela dos casos, a FA é uma importante complicação após procedimentos intervencionistas no FOP (Amini, 2025).

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O FOP é uma importante causa do AVC criptogênico, sendo um diagnóstico importante para compreender a etiologia do mesmo. A elevada prevalência do FOP associado ao crescimento da prevalência de fatores tromboembólicos na população levanta questões sobre o manejo adequado desses pacientes.

O fechamento do FOP é indicado nos casos de: embolia paradoxal na presença de aneurisma do septo atrial ou após vários eventos embólicos, enxaqueca não tratável e mergulhadores (Vensão, 2023; Silveira, 2024; Amini, 2025).

O fechamento percutâneo do FOP demonstra redução do risco de recorrência do AVC, mas não previne completamente, comparado com a terapia antiplaquetária

isolada, sendo indicado em pacientes entre 18 e 60 anos. Já a Diretriz Europeia de Cardiologia em 2024, recomendou além do fechamento percutâneo, a terapia antiplaquetária. Sendo dois tipos de antiplaquetários nos 6 primeiros meses, seguido de um único tipo por no mínimo 5 anos (Lee, 2023; Amini, 2025; Silveira, 2024).

As sociedades recomendam que o tratamento cirúrgico deve ser considerado em pacientes jovens com elevado risco de reincidência do AVC por conta da FOP. Todavia, essa conduta está atrelada a um baixo nível de evidência por conta do número reduzido de estudos que investiga os benefícios do procedimento.

De toda forma, os casos devem ser individualizados para garantir o melhor tratamento para os pacientes que possuem essa condição.

## REFERÊNCIAS

AMINI, T. **Cryptogenic stroke and patent foramen ovale: endeavoring for clarity.** *Frontiers in Neurology*, v. 15, n. 14, 2025. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1533232>.

BROWN, K. N; ELBEBAWY, B; SHAH, A. H; KANMANTHAREDDY, A. **Catheter Management of Patent Foramen Ovale.** *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, Jan. 2025. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537314/>. Acesso em: jul. 2025.

CAMPBELL, B. C. V; KHATRI, P. **Stroke.** *The Lancet*, v. 396, n. 10244, p. 129–142, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)31179-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)31179-x). Acesso em: jul. 2025.

CASO, V; TURC, G; ABDUL-RAHIM, A. H; CASTRO, P; HUSSAIN, S; LAL, A; MATTLE, H; KOROMPOKI, E; LARS SØNDERGAARD; TONI, D; WALTER, S; PRISTIPINO, C. **European Stroke Organization (ESO) Guidelines on the diagnosis and management of patent foramen ovale (PFO) after stroke.** *European Stroke Journal*, v. 9, n. 4, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/23969873241247978>. Acesso em: mai. 2025.

GOMES, M. M. N; VALOIS, G. M; SOUZA, J. B. A; ARAUJO, S. L. S; OLIVEIRA, H. F. **Forame oval patente - revisão de literatura / Patent oval foramen - literature review.** *Brazilian Journal of Health Review*, v. 4, n. 1, p. 2578–2585, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34119/bjhrv4n1-207>. Acesso em: mai. 2025.

GONNAH, A. R; BHARADWAJ, M. S; NASSAR, H; ABDELAZIZ, H. K; ROBERTS, D. H. **Patent foramen ovale: diagnostic evaluation and the role of device closure.** *Clinical Medicine*, v. 22, n. 5, p. 441–448, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.7861/clinmed.2022-0040>. Acesso em: jul. 2025.

HAMPTON, T; ALSALEEM, M; MURPHY-LAVOIE, H. M. **Patent foramen ovale.** *Stat Pearls* Publishing, 2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK493151/>. Acesso em: mai. 2025.

KAVINSKY, C. J; SZERLIP, M; GOLDSWEIG, A. M; AMIN, Z; BOUDOULAS, K. D; CARROLL, J. M; COYLEWRIGHT, M; ELMARIAH, S; MACDONALD, L. H; SHAH, A.

P; SPIES, C. K; TOBIS, J. M; MESSÉ, S. R; SENERTH, E; YNGVE FALCK-YTTER; BABATUNDE, I; MORGAN, R. L. **SCAI Guidelines for the Management of Patent Foramen Ovale**. Journal of the Society for Cardiovascular Angiography & Interventions, v. 1, n. 4, p. 100039–100039, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jscai.2022.100039>. Acesso em: mai. 2025.

KENT, D. M; DAHABREH, I. J; RUTHAZER, R; FURLAN, A. J; WEIMAR, C; SERENA, J; MEIER, B; MATTLE, H. P; DI ANGELANTONIO, E; PACIARONI, M; SCHUCHLENZ, H; HOMMA, S; LUTZ, J. S; THALER, D. E. **Anticoagulant vs. antiplatelet therapy in patients with cryptogenic stroke and patent foramen ovale: an individual participant data meta-analysis**. European Heart Journal, v. 36, n. 35, p. 2381–2389, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv252>. Acesso em: jun. 2025.

KIM, J. S. **Patent Foramen Ovale and Other Cardiopathies as Causes of Embolic Stroke With Unknown Source**. Journal of Stroke, v. 26, n. 3, p. 349–359, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5853/jos.2024.02670>. Acesso em: jun. 2025.

KOUTROULOU, I; TSIVGOULIS, G; TSALIKAKIS, D; KARACOSTAS, D; GRIGORIADIS, N; KARAPANAYIOTIDES, T. **Epidemiology of Patent Foramen Ovale in General Population and in Stroke Patients: A Narrative Review**. Frontiers in Neurology, v. 11, n. 28, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00281>. Acesso em: jul. 2025.

LEE, O. H; KIM, J. S. **Percutaneous Patent Foramen Ovale Closure After Stroke**. Korean Circulation Journal, v. 52, n. 11, p. 801, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4070/kcj.2022.0258>. Acesso em: mai. 2025.

LUCÀ, F; PINO, P. G; PARRINI, I; ANGELA, S; CERAVOLO, R; MADEO, A; LEONE, A; MARK LA MEIR; BENEDETTO, F; RICCIO, C; OLIVA, F; FURIO COLIVICCHI; MICHELE MASSIMO GULIZIA; GELSOMINO, S. **Patent Foramen Ovale and Cryptogenic Stroke: Integrated Management**. Journal of Clinical Medicine, v. 12, n. 5, p. 1952–1952, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jcm12051952>. Acesso em: abr. 2025.

MALOKU, A; HAMADANCHI, A; GÜNTHER, A; AFTANSKI, P; SCHULZE, P. C; MÖBIUS-WINKLER, S. **Patent Foramen Ovale (PFO): History, Diagnosis, and Management**. Reviews in Cardiovascular Medicine, v. 25, n. 11, p. 22, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.31083/j.rcm2511422>. Acesso em: jul. 2025.

MESSÉ, S. R; GRONSETH, G. S; KENT, D. M; KIZER, J. R; HOMMA, S; ROSTERMAN, L; CARROLL, J. D; ISHIDA, K; SANGHA, N; KASNER, S. E. **Practice advisory update summary: Patent foramen ovale and secondary stroke prevention**. Neurology, v. 94, n. 20, p. 876–885, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000009443>. Acesso em: jul. 2025.

MOJADIDI, M. K; ZAMAN, M. O; ELGENDY, I. Y; MAHMOUD, A. N; PATEL, N. K; AGARWAL, N; TOBIS, J. M; MEIER, B. **Cryptogenic Stroke and Patent Foramen Ovale**. Journal of the American College of Cardiology, v. 71, n. 9, p. 1035–1043, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.059>. Acesso em: abr. 2025.

MURPHY, S. J. X; WERRING, D. J. **Stroke: Causes and clinical features**. Medicine, v. 48, n. 9, p. 561–566, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2020.06.002>. Acesso em: mai. 2025.

RANDHAWA, S; MEHTA, J. L; DHAR, G. **Percutaneous Patent Foramen Ovale Closure: Stroke and Beyond**. Current cardiology reviews, v. 20, n. 3, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.2174/011573403x276984240304044109>. Acesso em: abr. 2025.

SAFOURIS, A; KARGIOTIS, O; PSYCHOGIOS, K; KALYVAS, P; IKONOMIDIS, I; DRAKOPOULOU, M; TOUTOUZAS, K; TSIVGOULIS, G. **A Narrative and Critical Review of Randomized-Controlled Clinical Trials on Patent Foramen Ovale Closure for Reducing the Risk of Stroke Recurrence**. Frontiers in Neurology, v. 11, n. 7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00434>. Acesso em: jul. 2025.

SHAH, A. H; HORLICK, E. M; KASS, M; CARROLL, J. D; KRASUSKI, R. A. **The Pathophysiology of Patent Foramen Ovale and Its Related Complications**. American Heart Journal, v. 277, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2024.08.001>. Acesso em: jun. 2025.

SILVEIRA, E. S; MACHADO, G. P; TEIXEIRA, J. K; FUCHS, F; PINOTTI, A. F; MARTINS, S; WAINSTEIN, M. V. **Registro de Fechamento Percutâneo do Forame Oval Patente na Prevenção Secundária de Acidente Vascular Cerebral**. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 121, n. 5, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.36660/abc.20230293>. Acesso em: mai. 2025.

SPOSATO, L. A; CATHERINE S. W. A; MITCHELL S. V. E; KAMEL, H; SAVER, J. L; GOLDSTEIN, L. B; DAS, A. S; ELIF G; MERINO, J. G; BRODERICK, J; BUSHNELL, C; OVBIAGELE, B; NEISEN, K. B; ZIEGLER, P. D. M; EDIP G; SELIM, M. H; SAVITZ, S. I; MORGAN, J. R. **Patent Foramen Ovale Management for Secondary Stroke Prevention: State-of-the-Art Appraisal of Current Evidence**. Stroke, v. 55, n. 1, p. 236–247, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1161/strokeaha.123.040546>. Acesso em: jul. 2025.

SITWALA, P; KHALID, M. F; KHATTAK, F; BAGAI, J; BHOGAL, S; LADIA, V; MUKHERJEE, D; DAGGUBATI, R; PAUL, T. K. **Percutaneous Closure of Patent Foramen Ovale in Patients with Cryptogenic Stroke — An Updated Comprehensive Meta-Analysis**. Cardiovascular Revascularization Medicine, v. 20, n. 8, p. 687–694, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2018.09.010>. Acesso em: jun. 2025.

SENSÃO, L; DOS SANTOS, I. P. **A importância da pesquisa de forame oval patente na investigação do acidente vascular cerebral isquêmico criptogênico**. Brazilian Journal of Health Review, v. 6, n. 2, p. 7466–7485, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.34119/bjhrv6n2-238>. Acesso em: mai. 2025.

## TERAPIA MEDICAMENTOSA APLICADA NA CIRURGIA CARDIOVASCULAR: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Thabata Roberto Alonso<sup>1</sup>  
Leonardo Moraes Armesto<sup>2</sup>  
Pedro Felipe Ferrari Silva<sup>3</sup>  
Felipe Nicolai Cuqui<sup>4</sup>  
Patrick Cristian Lima Orihuela<sup>5</sup>  
Ana Carolina Padilha Segala<sup>6</sup>  
Gustavo Silva Azevedo<sup>7</sup>  
Eduardo Gregório Chamlian<sup>8</sup>

**RESUMO:** As doenças cardiovasculares, especialmente a cardiopatia isquêmica, configuram-se como uma das principais causas de mortalidade global, exigindo abordagens terapêuticas combinadas para melhora do prognóstico clínico. Dentre essas, a cirurgia de revascularização do miocárdio (CRM) representa uma estratégia fundamental, cuja eficácia pode ser potencializada por meio da utilização de terapias medicamentosas específicas. O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão de literatura a fim de verificar a eficácia da terapêutica medicamentosa quanto ao prognóstico clínico de pacientes submetidos à revascularização miocárdica. Para isso, foram selecionadas publicações científicas por meio de busca nas bases MEDLINE e LILACS, com os descritores “Cirurgia Cardiovascular”, “Fármacos” e “Terapêutica”. Foram incluídas revisões sistemáticas, meta-análises e ensaios clínicos randomizados, com data máxima de cinco anos. Após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 8 estudos compuseram a análise final. Os resultados apontam que, embora os fármacos adjuvantes contribuam significativamente para a melhora dos desfechos clínicos e da qualidade de vida dos pacientes, seu uso isolado não elimina o risco de novos eventos isquêmicos, especialmente em razão de fatores comportamentais e comorbidades associadas. Substâncias como trimetazidina, sacubitril/valsartana, levosimendana e infusões de glicose-insulina-potássio foram analisadas quanto à sua aplicabilidade clínica, revelando-se eficazes em contextos específicos. Conclui-se que a terapêutica medicamentosa aplicada à CRM apresenta benefícios relevantes, sendo indispensável como suporte à intervenção cirúrgica. Contudo, seu impacto depende da adequação individual do tratamento, da adesão do paciente e de intervenções complementares no estilo de vida. A integração entre cirurgia e farmacoterapia reforça a importância de abordagens multidimensionais no tratamento da doença arterial coronariana.

**PALAVRAS-CHAVE:** Revascularização miocárdica. Terapêutica cardiovascular. Fármacos adjuvantes. Prognóstico clínico. Cardiopatia isquêmica.

**ABSTRACT:** Cardiovascular diseases, especially ischemic heart disease, are among the leading causes of global mortality, requiring combined therapeutic approaches to improve clinical outcomes. Among these strategies, coronary artery bypass grafting (CABG) stands out as a crucial intervention whose effectiveness can be enhanced through the use of specific pharmacological therapies. This study aimed to conduct a literature review to assess the effectiveness of drug therapy in the clinical prognosis of patients undergoing myocardial revascularization. Scientific publications were selected from the MEDLINE and LILACS databases, using the descriptors “Cardiovascular Surgery,” “Drugs,” and “Therapeutics.” Systematic reviews, meta-analyses, and randomized clinical trials published within the last five years were included. After applying inclusion and exclusion criteria, 8 studies were selected for

<sup>1</sup>Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: [trabata.alonso@uscsonline.com.br](mailto:trabata.alonso@uscsonline.com.br)

<sup>2</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: [leonardo.armesto@uscsonline.com.br](mailto:leonardo.armesto@uscsonline.com.br)

<sup>3</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: [pedro.silva@uscsonline.com.br](mailto:pedro.silva@uscsonline.com.br)

<sup>4</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: [felipe.cuqui@uscsonline.com.br](mailto:felipe.cuqui@uscsonline.com.br)

<sup>5</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: [patrick.oriuela@uscsonline.com.br](mailto:patrick.oriuela@uscsonline.com.br)

<sup>6</sup>Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: [ana.segala@uscsonline.com.br](mailto:ana.segala@uscsonline.com.br)

<sup>7</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: [gustavo.azevedo@online.uscs.edu.br](mailto:gustavo.azevedo@online.uscs.edu.br)

<sup>8</sup>Docente/Orientador. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: [eduardo.chamlian@online.uscs.edu.br](mailto:eduardo.chamlian@online.uscs.edu.br)

final analysis. The results indicate that although adjunctive pharmacological therapies significantly contribute to improved clinical outcomes and patients' quality of life, their isolated use does not eliminate the risk of new ischemic events, especially due to behavioral factors and associated comorbidities. Drugs such as trimetazidine, sacubitril/valsartan, levosimendan, and glucose-insulin-potassium infusions were evaluated for their clinical applicability, proving effective in specific contexts. It is concluded that pharmacological therapy associated with CABG offers significant benefits and is indispensable as support for surgical intervention. However, its impact depends on individualized treatment, patient adherence, and complementary lifestyle modifications. The integration of surgery and pharmacotherapy reinforces the importance of multidimensional approaches in the management of coronary artery disease.

**KEY WORDS:** Myocardial revascularization. Cardiovascular therapeutics. Adjunctive drugs. Clinical prognosis. Ischemic heart disease.

## 1. INTRODUÇÃO

As doenças cardiovasculares constituem uma das principais causas de morbimortalidade em âmbito global, especialmente em países com alta carga de fatores de risco associados ao estilo de vida e ao envelhecimento populacional. A doença arterial coronariana, em particular, representa uma das manifestações mais prevalentes e severas, exigindo intervenções terapêuticas que vão além da abordagem cirúrgica, incorporando estratégias medicamentosas rigorosas e individualizadas (FURTADO, 2017). Nesse contexto, a cirurgia de revascularização do miocárdio (CRM) tem se consolidado como uma das principais modalidades terapêuticas, especialmente em casos de obstruções críticas, múltiplas ou refratárias ao tratamento clínico convencional.

Contudo, apesar do avanço nas técnicas cirúrgicas, o sucesso terapêutico na cirurgia cardiovascular depende fortemente da associação com terapias medicamentosas adequadas no pré, intra e pós-operatório. A integração da farmacoterapia à conduta cirúrgica tem se mostrado eficaz não apenas na melhora do prognóstico, mas também na redução de complicações isquêmicas e na promoção de maior estabilidade hemodinâmica e metabólica dos pacientes (PRUTHI *et al.*, 2020). Essa abordagem integrada é essencial diante da complexidade da fisiopatologia da cardiopatia isquêmica e da necessidade de controle rigoroso de fatores como pressão arterial, frequência cardíaca, agregação plaquetária e resposta inflamatória sistêmica.

Dentre os fármacos utilizados na terapêutica cardiovascular associada à cirurgia, destacam-se os antiplaquetários, betabloqueadores, estatinas, inotrópicos e agentes vasodilatadores. Recentemente, estudos têm investigado o papel de substâncias como a trimetazidina, com o objetivo de melhorar a função miocárdica no contexto pós-operatório, embora sua eficácia na prevenção de novos episódios anginosos ainda seja motivo de debate (FERRARI *et al.*, 2020). Em linha semelhante, terapias inovadoras como a infusão de glicose-insulina-potássio (GIK) têm sido

analisadas por seus potenciais efeitos cardioprotetores em procedimentos cirúrgicos (HAGERMAN *et al.*, 2024), sugerindo um novo campo de expansão na farmacoterapia intraoperatória.

Apesar das evidências promissoras, a literatura aponta para uma considerável variabilidade nos resultados dos ensaios clínicos, o que reforça a importância de abordagens baseadas em medicina personalizada e na avaliação criteriosa de risco-benefício para cada paciente (GAMAL *et al.*, 2021). Além disso, o sucesso da terapêutica medicamentosa no contexto da revascularização miocárdica depende não apenas do regime farmacológico em si, mas também da adesão do paciente ao tratamento e da modificação de fatores comportamentais, como dieta, atividade física e cessação do tabagismo, fatores que continuam sendo determinantes para a manutenção dos resultados clínicos a longo prazo (THÓLEN; RICKSTEN; LANNEMYR, 2021).

Dessa forma, a presente revisão de literatura tem como objetivo analisar, com base em evidências recentes e robustas, a eficácia das terapias medicamentosas associadas à cirurgia de revascularização miocárdica. Busca-se compreender a contribuição desses fármacos para o desfecho clínico dos pacientes, identificando os principais desafios, benefícios e perspectivas no manejo terapêutico dessa população.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Pergunta-Problema e Objetivos

Qual é a eficácia da terapêutica medicamentosa na melhora do prognóstico clínico de pacientes submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica?

Objetivo geral: Analisar, por meio de revisão de literatura, a eficácia da terapêutica medicamentosa na evolução clínica de pacientes submetidos à revascularização miocárdica, considerando os principais fármacos utilizados no período perioperatório e seu impacto nos desfechos clínicos.

Objetivos específicos:

- Identificar os principais medicamentos utilizados como terapia adjuvante em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização do miocárdio.
- Avaliar os efeitos dos fármacos sobre a redução de complicações pós-operatórias e a recorrência de eventos isquêmicos.
- Verificar a influência da farmacoterapia no tempo de recuperação e na qualidade de vida dos pacientes após a cirurgia.
- Comparar os resultados clínicos entre pacientes que receberam terapia medicamentosa associada à cirurgia e os que não receberam suporte.

## 2.2 Justificativa e Relevância

A revascularização miocárdica é uma das principais intervenções cirúrgicas para o tratamento da cardiopatia isquêmica. No entanto, os resultados a longo prazo dessa intervenção estão diretamente relacionados ao uso adequado de terapias medicamentosas associadas. Diante da diversidade de fármacos disponíveis e das diferentes estratégias clínicas adotadas, torna-se fundamental compreender quais abordagens têm se mostrado mais eficazes e seguras. A revisão da literatura científica recente sobre o tema contribui para fundamentar decisões clínicas baseadas em evidências, otimizando o cuidado ao paciente e promovendo uma melhor alocação de recursos terapêuticos.

Ainda nisso, este estudo é relevante por oferecer uma análise atualizada e crítica sobre a eficácia da farmacoterapia associada à cirurgia cardiovascular, especialmente no contexto da revascularização miocárdica. Ao reunir evidências científicas recentes, a pesquisa pode subsidiar condutas clínicas mais seguras e eficazes, além de fomentar a discussão sobre estratégias multidisciplinares no tratamento da cardiopatia isquêmica. Seu caráter integrativo também favorece a compreensão do papel dos medicamentos na prevenção de eventos adversos, na redução da mortalidade e na melhoria da qualidade de vida dos pacientes, destacando-se como contribuição significativa para a prática clínica e acadêmica na área da saúde cardiovascular.

## 3 METODOLOGIA

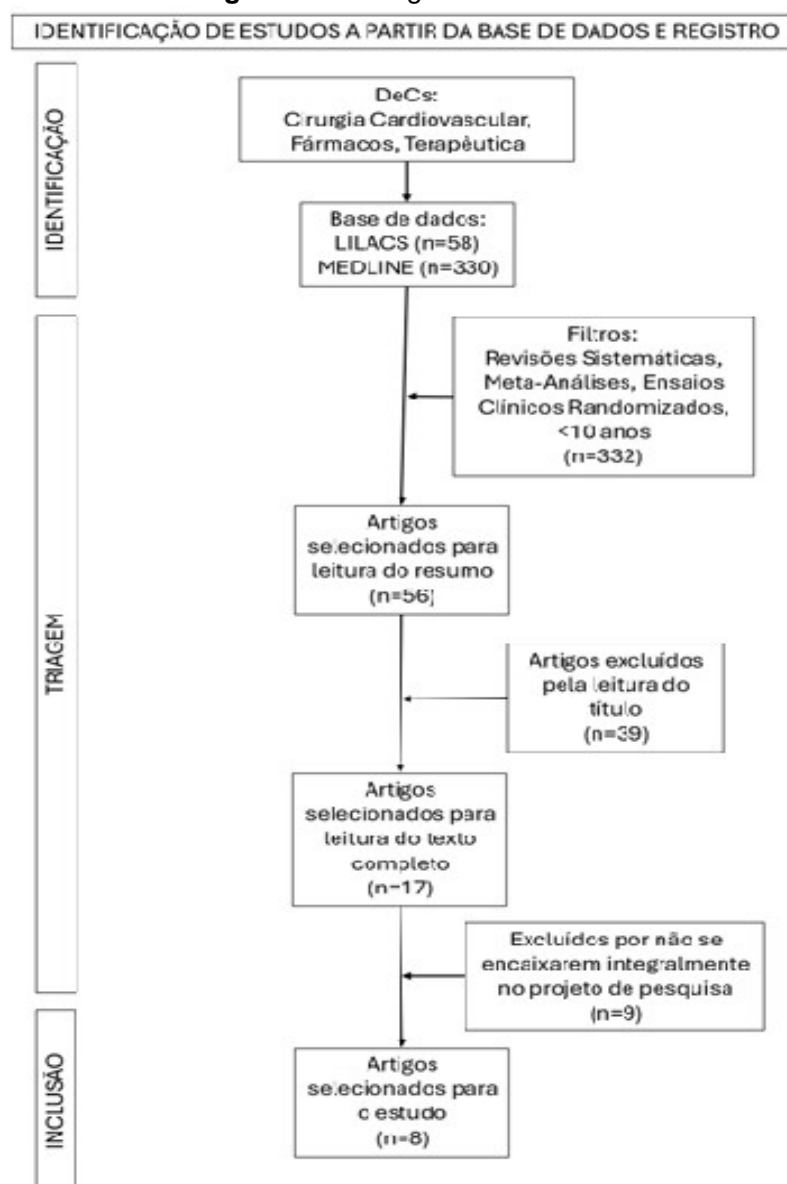
A revisão foi baseada em uma busca nas bases MEDLINE e LILACS, utilizando os descritores Cirurgia Cardiovascular, Fármacos e Terapêutica, resultando em 388 trabalhos. Foram incluídos estudos dos últimos 5 anos, em inglês ou português, com texto completo disponível, selecionando-se apenas Revisões Sistemáticas, Meta-Análises e Ensaio Clínicos Randomizados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram selecionados 56 estudos, dos quais 39 foram excluídos por duplicidade ou indisponibilidade do texto. Na leitura integral dos 17 restantes, 9 não atenderam aos critérios, resultando em 8 estudos para a revisão final (Figura 1). Após a aplicação rigorosa dos critérios de elegibilidade, 8 estudos relevantes foram selecionados para análise nesta revisão. As evidências reunidas apontam que a terapêutica medicamentosa aplicada à cirurgia de revascularização miocárdica exerce papel significativo na evolução clínica dos pacientes, ainda que com algumas limitações. Em

sua maioria, os estudos corroboram que os fármacos empregados no período perioperatório contribuem para a redução de complicações agudas, como arritmias, reinfartos e instabilidade hemodinâmica, além de favorecerem a estabilidade da função miocárdica no pós-operatório imediato.

**Figura 1 – Fluxograma de Busca**



**Fonte:** Própria autoria (2025)

Fármacos como a trimetazidina, analisada por Ferrari *et al.* (2020), demonstraram efeito benéfico na proteção metabólica do miocárdio, embora sem impacto estatisticamente significativo na prevenção de episódios de angina após intervenção coronária percutânea. Da mesma forma, a infusão de glicose-insulina-potássio (GIK), avaliada por Hagerman *et al.* (2024), revelou potencial cardioprotetor em pacientes submetidos à cirurgia, reduzindo marcadores inflamatórios e melhorando

a performance ventricular. O estudo de Nurzhanova *et al.* (2024) destacou o uso precoce de sacubitril/valsartana após cirurgia de revascularização, com evidências de melhora na função ventricular e diminuição da ocorrência de insuficiência cardíaca. Já Pruthi *et al.* (2020) analisaram o uso de Intralipid® como condicionamento farmacológico em pacientes submetidos à cirurgia sem circulação extracorpórea, mostrando redução da injúria miocárdica e preservação da função cardíaca.

Por fim, os trabalhos encontrados compararam os desfechos clínicos de pacientes submetidos à revascularização miocárdica com o uso e sem o uso de medicamentos, sendo unânimes em apontar que apesar de os medicamentos contribuírem para o bom prognóstico e qualidade de vida dos pacientes, não se pode garantir que tais fármacos evitem a ocorrência de um novo episódio de isquemia miocárdica, visto que se trata de uma situação na qual, elementos como o perfil clínico individual, a adesão ao tratamento e a modificação de hábitos de vida, como cessação do tabagismo, controle glicêmico e prática de atividade física regular influenciam combativamente eventuais ressurgimentos da doença, mesmo com todo o cuidado cirúrgico e farmacológico ofertados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas evidências analisadas, conclui-se que a terapia medicamentosa associada à cirurgia de revascularização miocárdica desempenha um papel essencial na melhora dos desfechos clínicos, tanto no curto quanto no médio prazo. Ainda nisso, Quando utilizados de forma adequada, esses medicamentos podem proporcionar desfechos clínicos comparáveis aos de intervenções mais invasivas.

Os fármacos analisados apresentam propriedades benéficas, como estabilização hemodinâmica, redução de eventos cardiovasculares recorrentes e promoção de melhor recuperação funcional, sendo, portanto, indispensáveis como parte do cuidado integral ao paciente. Entretanto, os benefícios terapêuticos não são uniformes, e variam conforme a condição basal do paciente, o tipo de fármaco utilizado e o grau de aderência às orientações clínicas. Dessa forma, o tratamento farmacológico deve ser individualizado, considerando-se os riscos, comorbidades e necessidades específicas de cada caso. Adicionalmente, a integração entre farmacoterapia e cirurgia deve ser compreendida como uma via de mão dupla, em que ambos os elementos são complementares e indispensáveis. O estudo reafirma a importância de abordagens baseadas em evidências, com protocolos clínicos atualizados e decisões compartilhadas entre equipes multiprofissionais, buscando garantir não apenas a sobrevida, mas a qualidade de vida dos pacientes submetidos à cirurgia cardíaca.

## REFERÊNCIAS

FERRARI, R; *et al.* **Efficacy and safety of trimetazidine after percutaneous coronary intervention (ATPCI): a randomised, double-blind, placebo-controlled trial.** The Lancet, v. 396, p. 830-838, 2020. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)31790-6/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)31790-6/abstract). Acesso em: mar. 2025.

FURTADO, M. V. **Effectiveness of Medical and Revascularization Procedures as the Initial Strategy in Stable Coronary Artery Disease: A Cohort Study.** International Journal of Cardiovascular Sciences, v. 30, n. 5, p. 408-415, 2017. Disponível em: [https://ijcscardiol.org/wp-content/uploads/articles\\_xml/2359-4802-ijcs-30-05-0408/2359-4802-ijcs-30-05-0408-pt.x42150.pdf](https://ijcscardiol.org/wp-content/uploads/articles_xml/2359-4802-ijcs-30-05-0408/2359-4802-ijcs-30-05-0408-pt.x42150.pdf). Acesso em: mar. 2025.

GAMAL, A. S; *et al.* **Ticagrelor alone vs. dual antiplatelet therapy from 1 month after drug-eluting coronary stenting among patients with STEMI: a post hoc analysis of the randomized GLOBAL LEADERS trial.** European Heart Journal: Acute Cardiovascular Care, v. 10, p. 756-773, 2021. Disponível em: <https://academic.oup.com/ehjacc/article/10/7/756/6312938>. Acesso em: mar. 2025.

GIACOPPO, D; *et al.* **Paclitaxel-coated balloon angioplasty vs. drug-eluting stenting for the treatment of coronary in-stent restenosis: a comprehensive, collaborative, individual patient data meta-analysis of 10 randomized clinical trials.** European Heart Journal, v. 41, p. 3715-3728, 2020. Disponível em: <https://academic.oup.com/eurheartj/article/41/38/3715/5567524>. Acesso em: mar. 2025.

HAGERMAN, A; *et al.* **Cardioprotective Effects of Glucose-Insulin-Potassium Infusion in Patients Undergoing Cardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis.** Semin Thorac Cardiovasc Surg, v. 36, n. 2, p. 167-181, 2024. Disponível em: [https://www.semthorcardiovascsurg.com/article/S1043-0679\(22\)00262-3/fulltext](https://www.semthorcardiovascsurg.com/article/S1043-0679(22)00262-3/fulltext). Acesso em: mar. 2025.

NURZHANOVA, M; *et al.* **Use of sacubitril/valsartan early after CABG.** Open Heart, v. 11:e002492, 2024. Disponível em: <https://openheart.bmj.com/content/11/1/e002492>. Acesso em: mar. 2025.

PRUTHI, G; *et al.* **Pharmacological Preconditioning with Intralipid in Patients Undergoing Off-Pump Coronary Artery Bypass Surgery.** Annals of cardiac anaesthesia, v. 23, n. 3, p. 327-331, 2020. Disponível em: [https://journals.lww.com/aoca/fulltext/2020/23030/pharmacological\\_preconditioning\\_with\\_intralipid\\_in.16.aspx](https://journals.lww.com/aoca/fulltext/2020/23030/pharmacological_preconditioning_with_intralipid_in.16.aspx). Acesso em: mar. 2025.

THÓLEN, M; RICKSTEN, S. E; LANNEMYR. **L.Efects of levosimendan on renal blood flow and glomerular filtration in patients with acute kidney injury after cardiac surgery: a double blind, randomized placebo-controlled study.** Criticalcare, v. 25, n. 207, 2021. Disponível em: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-021-03628-z>. Acesso em: mar. 2025.

## ANEURISMA DA AORTA ASCENDENTE: ASPECTOS CLÍNICOS, EPIDEMIOLÓGICOS, FISIOPATOLÓGICOS, DIAGNÓSTICO, TRATAMENTO E COMPLICAÇÕES

Laís Ferreira Stahl<sup>1</sup>Pedro Henrique Veloso de Souza<sup>2</sup>Isabella Siciliano Montalto<sup>3</sup>Marina Forge Fréo<sup>4</sup>Gabriel Giuliano Baroni<sup>5</sup>Caroline de Oliveira Nieblas<sup>6</sup>Eduardo Gregório Chamlian<sup>7</sup>

**RESUMO:** O aneurisma da aorta ascendente é uma dilatação localizada em uma região enfraquecida na aorta ascendente, sendo comumente associado a alterações na camada elástica. Trata-se de uma condição silenciosa, que necessita ser reconhecida precocemente e acompanhada rigorosamente, a fim de prevenir complicações graves, como a ruptura e a dissecção aórtica. O presente trabalho tem como objetivo abordar os principais aspectos relacionados ao aneurisma da aorta ascendente, incluindo a sua fisiopatologia, epidemiologia, manifestações clínicas, diagnóstico, tratamento e possíveis complicações. O diagnóstico geralmente é realizado por meio de exames de imagem, como ressonância magnética, ecocardiografia, tomografia computadorizada e radiografia torácica. As manifestações clínicas variam conforme o tamanho, localização e evolução, sendo normalmente assintomáticas e identificadas incidentalmente nos exames. Em caso de complicações, como a dissecção aórtica e a ruptura do aneurisma, o quadro clínico se torna crítico, podendo causar complicações secundárias e evoluir para desfechos fatais. O aneurisma pode ser tratado de forma clínica, com o controle da pressão arterial e monitoramento periódico, ou cirúrgica, dependendo das características do aneurisma e do risco de complicações. Assim, ressalta-se a importância de um diagnóstico precoce e do acompanhamento eficaz para intervir de maneira oportuna, a fim de reduzir a mortalidade associada ao aneurisma da aorta ascendente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aneurisma da Aorta Ascendente. Dissecção Aórtica. Ruptura Aórtica.

**ABSTRACT:** The ascending aortic aneurysm is a localized dilation in a weakened region of the ascending aorta, commonly associated with degenerative changes in the elastic layer. It is a silent condition that must be recognized early and rigorously monitored in order to prevent serious complications such as rupture and aortic dissection. This study aims to address the main aspects related to ascending aortic aneurysm, including its pathophysiology, epidemiology, clinical manifestations, diagnosis, treatment, and possible complications. Diagnosis is generally performed through imaging exams such as magnetic resonance imaging, echocardiography, computed tomography, and chest X-ray. Clinical manifestations vary according to the size, location, and progression of the lesion, and are usually asymptomatic, being incidentally identified in imaging exams. In the event of complications such as aortic dissection or aneurysm rupture, the clinical condition becomes critical, potentially causing secondary complications and leading to fatal outcomes. The aneurysm can be treated either clinically, through blood pressure control and periodic monitoring, or surgically, depending on the characteristics of the aneurysm and the risk of complications. Therefore, the importance of early diagnosis and effective follow-up is emphasized in order to intervene in a timely manner and reduce the mortality associated with ascending aortic aneurysm.

**KEY WORDS:** Aneurysm Ascending Aorta. Aortic Dissection. Aortic Rupture.

<sup>1</sup>Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: laisstahl02@gmail.com

<sup>2</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: pedro.souza1@uscsonline.com.br

<sup>3</sup>Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: isabella.montalto@uscsonline.com.br

<sup>4</sup>Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: marina.freo@uscsonline.com.br

<sup>5</sup>Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: gabriel.baroni@uscsonline.com.br

<sup>6</sup>Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: caroline.nieblas@uscsonline.com.br

<sup>7</sup>Docente/Orientador. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: eduardo.chamlian@online.uscs.edu.br

## 1. INTRODUÇÃO

O aneurisma da aorta ascendente é uma condição caracterizada pela dilatação anormal dessa região, geralmente provocada por enfraquecimento estrutural da parede arterial. Pode ocorrer de forma esporádica, mas frequentemente está associada a síndromes genéticas, como Marfan e Loeys-Dietz, além da hipertensão. O sexo masculino é mais afetado em idade média de 81,5 anos. Este trabalho visa discutir os principais aspectos da doença, incluindo sua fisiopatologia, apresentação clínica, diagnóstico e tratamento, além de suas complicações. A maioria dos pacientes é assintomática, mas em casos sintomáticos, podem ocorrer dor torácica, rouquidão, dispnéia e disfagia. O diagnóstico é realizado por imagem, sendo a tomografia computadorizada com contraste o padrão ouro para o diagnóstico. A ecocardiografia transesofágica e a ressonância magnética também são úteis em determinados contextos. O tratamento é definido pelo diâmetro do aneurisma, velocidade de crescimento e risco genético, sendo indicada cirurgia geralmente quando o diâmetro atinge mais de 5,0 cm, ou antes, em portadores de doenças do tecido conjuntivo. A detecção precoce e o seguimento contínuo são fundamentais para evitar complicações como dissecação e ruptura, que apresentam alta mortalidade.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Pergunta-Problema e Objetivos

O aneurisma da aorta ascendente é uma patologia potencialmente fatal, a qual está diretamente ligada à alterações degenerativas na camada elástica da parede arterial (PRAKASH *et al.*, 2011). Dessa forma, compreender a sua fisiopatologia, bem como os demais aspectos do aneurisma aórtico, pode ajudar a reduzir a morbimortalidade por rupturas, levantando a seguinte questão: de que forma os conhecimentos clínicos, fisiopatológicos e epidemiológicos sobre os aneurismas da aorta ascendente podem contribuir com um diagnóstico precoce e eficaz, visando à redução das complicações e da mortalidade associadas à essa condição?

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo analisar os principais aspectos relacionados ao aneurisma da aorta ascendente, incluindo fisiopatologia, epidemiologia, diagnóstico, tratamento e possíveis complicações.

### 2.2 Justificativa e Relevância

O aneurisma da aorta ascendente é uma condição caracterizada por uma dilatação anormal da porção inicial da aorta torácica, frequentemente associada a alterações degenerativas da parede arterial, doenças genéticas do tecido conjuntivo e

hipertensão arterial. Trata-se de uma patologia potencialmente fatal, cuja evolução geralmente é silenciosa, o que dificulta o diagnóstico precoce e favorece a ocorrência de complicações, como a dissecção e a ruptura aórtica. Diante disso, a identificação e o acompanhamento rigoroso desses casos tornam-se prioridade na medicina preventiva.

A relevância deste estudo justifica-se pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre os principais aspectos relacionados ao aneurisma da aorta ascendente, incluindo os seus fatores de risco, manifestações clínicas, métodos diagnósticos, abordagens terapêuticas e possíveis complicações. A compreensão desses aspectos é de suma importância para haver condutas clínicas adequadas, promover estratégias de intervenção precoce e minimizar os riscos à vida dos pacientes.

No cenário atual da saúde, este trabalho contribui para o fortalecimento do debate em torno das doenças vasculares graves, incentivando o aprimoramento da prática clínica e estimulando a produção científica. Ao tratar o aneurisma da aorta ascendente sob uma perspectiva multidisciplinar, o estudo reforça a importância do monitoramento clínico e do diagnóstico precoce como ferramentas importantes para reduzir a morbimortalidade associada a essa condição.

### 3. METODOLOGIA

Neste estudo, realizou-se uma abordagem descritiva de caráter qualitativo, com base em revisão integrativa da literatura científica, a fim de reunir e analisar informações relevantes sobre o aneurisma da aorta ascendente, contemplando seus aspectos clínicos, epidemiológicos, fisiopatológicos, diagnósticos, terapêuticos e suas principais complicações. Para tanto, foram selecionados artigos indexados nas bases de dados PubMed, Scielo, LILACS e outros, publicados nos últimos trinta anos.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 Epidemiologia

O aneurisma faz parte do grupo de doenças cardiovasculares que são a principal causa de morte no mundo. Os mais frequentes são os de aorta abdominal, principalmente os da região infrarrenal. Em seguida, se encontram os de aorta torácica. A maioria dos estudos afirmam que os aneurismas de aorta ascendente são mais prevalentes que os da aorta torácica descendente (que se estendem desde a origem da artéria subclávia esquerda até o músculo diafragma) e do arco aórtico. Porém, em algumas publicações, os aneurismas da aorta descendente seriam mais frequentes que os da aorta ascendente (GARCÍA-FUSTER, 2015; AZEVEDO, 2024).

A epidemiologia do aneurisma de aorta torácica ascendente é prejudicada devido ao grande número de casos assintomáticos que correspondem a aproximadamente 95% do total. A maioria dos aneurismas afetam os homens (60% dos casos) com a idade em torno dos 81,5 anos. Em sua maioria, o diâmetro encontrado foi de 40 mm e os sintomas respiratórios foram a maior causa de indicação de tomografia computadorizada associada a diagnósticos acidentais. Grande parte da mortalidade está relacionada a complicações como dissecação e ruptura da aorta (DE SOUZA, 2024).

## 4.2 Fisiopatologia

O aneurisma é definido como uma dilatação anormal de um vaso sanguíneo, sendo considerado verdadeiro quando envolve as três camadas da parede arterial: íntima, média e adventícia. Essa característica o diferencia do pseudoaneurisma, que compromete apenas as camadas íntima e média. Para ser classificado como aneurisma, a dilatação deve ser igual ou superior a 50% do diâmetro normal esperado para um indivíduo de mesma idade, sexo e estatura. A classificação pode ser feita com base em critérios morfológicos ou topográficos. Morfologicamente, os aneurismas dividem-se em saculares, que acometem apenas uma porção da parede, e fusiformes, que afetam toda a circunferência do vaso. Anatomicamente, são definidos como torácicos (aorta ascendente, arco aórtico e aorta descendente) ou abdominais (infra ou suprarrenais), conforme sua relação com o músculo diafragma. Aneurismas que se estendem por ambas as regiões recebem a denominação de toracoabdominais (GARCÍA-FUSTER, 2015).

A fisiopatologia do aneurisma é multifatorial e envolve fatores como a perda de células musculares lisas da camada média, alterações genéticas, degradação de elastina e colágeno, respostas inflamatórias e neovascularização. No que diz respeito à desorganização das células musculares lisas, sabe-se que o fator de crescimento transformador beta (TGF- $\beta$ ), as proteínas da família SMAD e a elevada concentração de microRNA-21 estão envolvidos, atuando de forma significativa na regulação da proliferação e apoptose dessas células (DE SOUZA, 2024).

Entre os genes envolvidos na fisiopatologia do aneurisma de aorta ascendente, destaca-se o ACTA2, que codifica a alfa-actina das células musculares lisas e representa a mutação mais comumente associada a essa condição. Além dele, a mutação no gene MYLK reduz a atividade da quinase da cadeia leve de miosina, comprometendo a capacidade contrátil da aorta. O gene MYH11, responsável por codificar a cadeia pesada de miosina das células musculares lisas, quando mutado,

também leva à disfunção da contração vascular. Adicionalmente, mutações no gene PRKG1 interferem na ação inibitória da proteína quinase G, resultando em relaxamento anormal das células musculares lisas (DE SOUZA, 2024).

A sequência de eventos fisiopatológicos do aneurisma da aorta ascendente — fragmentação das fibras elásticas, perda de células musculares lisas e acúmulo de proteoglicanos na matriz extracelular — culmina na necrose cística da média. A progressão da necrose pode levar à dissecação e à ruptura da aorta. Essa condição não é meramente degenerativa, mas resulta de alterações no ambiente intra e extracelular. Mutações genéticas que afetam proteínas reguladoras do colágeno e da elastina provocam alterações na composição e na integridade da matriz extracelular, comprometendo a estrutura da parede arterial. Outro fator relevante é a presença de um processo inflamatório, no qual a produção de espécies reativas de oxigênio contribui para a degradação tecidual. Essa resposta inflamatória é evidenciada pela presença de linfócitos T e macrófagos no sangue de pacientes acometidos, possivelmente como consequência da apoptose das células musculares lisas (DE SOUZA, 2024).

#### 4.3 Manifestações Clínicas

Em razão do grande número de casos assintomáticos, a detecção dos aneurismas se dá, na maioria das vezes, de forma acidental. O aneurisma de aorta ascendente pode ser classificado em síndrômico e não síndrômico. A forma síndrômica está associada a manifestações em outros órgãos e sistemas além da aorta, geralmente relacionadas à disfunção da matriz extracelular, das células musculares lisas da camada média ou à alteração na sinalização do fator de crescimento transformador beta (TGF- $\beta$ ). Essa forma é observada em doenças genéticas como a síndrome de Marfan, a síndrome de Loeys-Dietz e a síndrome de Ehlers-Danlos. Por outro lado, a forma não síndrômica acomete exclusivamente a aorta, sem envolvimento sistêmico associado (GARCÍA-FUSTER, 2015; DE SOUZA, 2024).

Um achado clínico que pode sugerir a presença de um aneurisma da aorta ascendente é a ausculta de um sopro compatível com insuficiência valvar aórtica. O diagnóstico pode ser realizado incidentalmente por meio de uma radiografia de tórax simples que evidencie dilatação do mediastino superior. Em pacientes sintomáticos, as manifestações clínicas geralmente decorrem de complicações como ruptura do aneurisma, que pode levar a choque hipovolêmico por hemorragia massiva; insuficiência valvar aórtica, com consequente insuficiência cardíaca e dispnéia; embolização de trombos formados no interior do aneurisma; e compressão de

estruturas adjacentes, resultando em dor torácica, disfonia (por compressão do nervo laríngeo recorrente esquerdo), tosse, roncos e dispnéia (por comprometimento da traquéia), síndrome da veia cava superior e erosão de estruturas ósseas, como esterno e vértebras (GARCÍA-FUSTER, 2015).

#### 4.4 Diagnóstico

A escolha do método de imagem mais adequado para avaliação da aorta é guiada por diversos fatores, como a suspeita clínica, a urgência do caso e as condições gerais de saúde do paciente. Entre os exames mais utilizados destacam-se a ecocardiografia, a tomografia computadorizada, a ressonância magnética e a radiografia torácica (ERBEL *et al.*, 2014).

A ecocardiografia transtorácica (ETT) é comumente empregada na avaliação inicial da aorta ascendente, especialmente em contextos ambulatoriais ou emergenciais. No entanto, sua eficácia pode ser limitada em pacientes com janelas acústicas desfavoráveis, como aqueles com obesidade ou portadores de doenças pulmonares obstrutivas crônicas (Nienaber & Clough, 2015). Nesses casos, a ecocardiografia transesofágica (ETE) surge como uma alternativa superior, oferecendo imagens de alta qualidade da aorta torácica proximal e se mostrando particularmente eficaz na detecção de dissecções e aneurismas (GOLDSTEIN *et al.*, 2015).

A angiotomografia computadorizada é amplamente considerada o exame de escolha na avaliação anatômica da aorta torácica, sobretudo em situações de urgência, como na suspeita de dissecção (HIRATZKA *et al.*, 2010). Esse método permite uma visualização tridimensional detalhada da aorta, fornecendo informações cruciais sobre localização, extensão da lesão e eventuais complicações. Além disso, é frequentemente utilizada no planejamento de intervenções cirúrgicas ou endovasculares (TRIMARCHI *et al.*, 2006).

Já a ressonância magnética cardiovascular representa uma alternativa diagnóstica valiosa, especialmente por não utilizar radiação ionizante. É frequentemente preferida para pacientes mais jovens ou aqueles que necessitam de acompanhamento frequente (MUSSA *et al.*, 2016). Sua capacidade de caracterização tecidual é superior à da tomografia, o que a torna útil na diferenciação de hematomas intramurais e na avaliação de doenças inflamatórias da parede aórtica, como a arterite de Takayasu (SVENSSON *et al.*, 2008).

Embora a radiografia torácica não seja específica para o diagnóstico de doenças da aorta, ela pode revelar sinais indiretos de patologias, como aneurismas ou dissecções. Alterações como aumento do mediastino, desvio da traquéia ou contornos

anormais da aorta podem levantar suspeitas e indicar a necessidade de exames complementares mais detalhados (COADY *et al.*, 1999).

Por fim, tanto a angiografia por tomografia quanto por ressonância magnética são particularmente indicadas na avaliação de dissecções da aorta. Esses exames proporcionam imagens precisas dos lumens verdadeiro e falso, permitindo a identificação dos pontos de entrada e reentrada do fluxo, além da análise do comprometimento de ramos viscerais ou ilíacos — informações fundamentais para a definição da conduta terapêutica mais adequada (EVANGELISTA *et al.*, 2003).

#### 4.5 Complicações

Uma das complicações mais críticas é a dissecção aórtica, especialmente a do tipo A, na classificação de Stanford, que envolve a aorta ascendente. Essa condição ocorre quando há uma ruptura na camada íntima da parede arterial, permitindo a entrada de sangue entre as camadas da aorta, formando um falso lúmen. O quadro clínico caracteriza-se por dor torácica súbita, geralmente descrita como lancinante e com irradiação para o dorso, e diferença de pressão arterial entre os membros superiores. A dissecção pode comprometer a perfusão de órgãos vitais, exigindo diagnóstico rápido e tratamento cirúrgico de urgência (DINATO 2018; LINHARES *et al.*, 2025).

Outra complicação grave é a ruptura do aneurisma, caracterizada pela ruptura completa da parede da aorta. Esse evento provoca hemorragia interna maciça, que pode ocorrer no mediastino ou na cavidade pericárdica, levando a choque hipovolêmico hemorrágico ou tamponamento cardíaco. A elevada taxa de mortalidade observada nesse contexto evidencia a urgência da intervenção cirúrgica como medida determinante para a preservação da vida do paciente (MSD MANUALS, 2025).

A insuficiência aórtica também pode ocorrer em decorrência do aneurisma, sobretudo quando há dilatação da raiz da aorta que compromete o funcionamento da válvula aórtica. Essa disfunção valvar permite o refluxo de sangue para o ventrículo esquerdo durante a diástole, causando sobrecarga volumétrica, dilatação ventricular e, com o tempo, insuficiência cardíaca. Os sintomas incluem dispnéia, fadiga e sinais de congestão pulmonar (MSD MANUALS, 2025).

A expansão do aneurisma pode ainda causar compressão de estruturas adjacentes no mediastino. Quando a traquéia é comprimida, o paciente pode apresentar dispnéia; já a compressão do esôfago pode causar disfagia, e a compressão do nervo laríngeo recorrente pode levar à rouquidão. Em casos mais graves, a obstrução do retorno venoso pode desencadear a síndrome da veia cava

superior, manifestando-se com edema facial, ingurgitamento jugular e cianose (MSD MANUALS, 2025).

Além disso, arritmias cardíacas podem surgir como complicação secundária às alterações anatômicas da aorta ascendente. A fibrilação atrial é uma das mais frequentes, podendo agravar a função cardíaca e aumentar o risco de eventos tromboembólicos, como o acidente vascular cerebral isquêmico (MSD MANUALS, 2025).

#### 4.6 Tratamento

O tratamento cirúrgico do aneurisma de aorta ascendente é indicado principalmente de acordo com a etiologia, a taxa de crescimento e o diâmetro, uma vez que, quanto maior o diâmetro maior o risco de ruptura ou dissecação da aorta. E fatores como, a idade e o índice de massa corporal podem influenciar no diâmetro. (DINATO, 2018). Como indicações para a correção cirúrgica: aneurisma de aorta ascendente em pacientes sintomáticos, assintomáticos com >5,0 cm de diâmetro ou com >4,5 cm, com síndrome de marfan ou submetidos à cirurgia de valva aórtica, se <5,0 cm de diâmetro, mas com taxa de crescimento de >0,5cm/ano, se pseudoaneurisma ou o aneurisma for traumático, se dissecação aguda ou ruptura do aneurisma. Sendo que, a dissecação de aorta tipo A, é considerada uma emergência cirúrgica (DINATO, 2018).

Se a operação envolve a substituição da raiz da aorta e da aorta ascendente, o implante utilizado é um tubo com válvula, conhecido como procedimento de Bentall-De Bono. Essa abordagem implica na troca da raiz aórtica, da válvula aórtica e da aorta ascendente por um tubo valvulado feito de material sintético, reconstruindo assim, a arquitetura do vaso danificado e restabelecendo o direcionamento do sangue para a luz verdadeira, além de incluir o reimplante das artérias coronárias no enxerto. Essa técnica é recomendada principalmente para pacientes que apresentam aneurisma na raiz aórtica juntamente com insuficiência valvar, ou para aqueles com condições genéticas como a síndrome de Marfan e Loeys-Dietz (SVENSSON *et al.*, 2013; HIRATA *et al.*, 2010; DINATO, 2018).

Nos casos em que a dissecação ou o aneurisma se estendem até o arco aórtico, é necessário realizar a reparação do arco, o que adiciona complexidade à cirurgia. Nesses casos, pode ser necessário recorrer à circulação extracorpórea com parada circulatória total e métodos de proteção cerebral. A hipotermia durante a parada circulatória é utilizada para diminuir o metabolismo cerebral, geralmente alcançando temperaturas entre 18 e 28°C, e o tempo seguro para a interrupção total da circulação

é normalmente de 30 a 45 minutos (KAZUI *et al.*, 2002).

Ademais, métodos de perfusão cerebral anterógrada seletiva (SACP) estão sendo cada vez mais adotados para proteger o cérebro durante a reparação do arco, assegurando uma oxigenação cerebral contínua mesmo quando a circulação sistêmica está interrompida. Essa técnica diminui consideravelmente a incidência de complicações neurológicas após a cirurgia (PACINI *et al.*, 2007).

A abordagem cirúrgica, apesar do alto risco, frequentemente é a única alternativa terapêutica que pode evitar complicações graves como ruptura e dissecção. A escolha por realizar a cirurgia deve sempre ser feita de forma personalizada, levando em consideração diversos fatores como o risco cirúrgico, a expectativa de vida do paciente, comorbidades associadas e o nível de experiência da equipe cirúrgica (HIRATZKA *et al.*, 2010; DINATO, 2018).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como apresentado ao longo do trabalho, o aneurisma da aorta ascendente configura-se como uma condição clínica de elevada relevância devido à sua natureza silenciosa e alta chance de mortalidade. A maioria dos casos permanece assintomática até a ocorrência de complicações severas, como a dissecção ou ruptura, o que reforça a importância do diagnóstico precoce e do acompanhamento contínuo. O aprofundamento no entendimento de sua fisiopatologia, dos fatores de risco associados, das manifestações clínicas e das ferramentas diagnósticas disponíveis permite uma abordagem mais eficaz e individualizada. Além disso, a definição da conduta terapêutica, seja clínica ou cirúrgica, deve considerar critérios específicos como o diâmetro do aneurisma, sua taxa de crescimento e as condições clínicas do paciente. Dessa forma, o reconhecimento oportuno da doença e a implementação de medidas adequadas de monitoramento e intervenção contribuem de forma significativa para a redução da morbimortalidade associada ao aneurisma da aorta ascendente.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F. S. D. **Avaliação do perfil hemodinâmico por fluidodinâmica computacional e o risco de crescimento de aneurisma de aorta ascendente: um estudo longitudinal.** 2024. Tese (Doutorado em Medicina – Cardiologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto do Coração Edson Saad, Rio de Janeiro, 2024.

DE SOUSA, E. L. H; AGUIAR, F. A. B; JUNIOR, J. C. M. C; BAIA, L. Q; CARDOSO, L. E. L. **Ascending thoracic aortic aneurysm: update on definition, indications for surgical treatment and new external coating techniques.** Revista CPAQV - Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida, v. 16, n. 2, p. 16–16, 2024.

DINATO, F. J. *et al.* **Dissecção da aorta: manejo clínico e cirúrgico.** Revista da Sociedade de Cardiologia do Estado de São Paulo, v. 28, n. 3, p. 260–266, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29381/0103-8559/20182803260-6>. Acesso em: jul. 2025.

GARCÍA-FUSTER, R. **Aneurismas de aorta ascendente: tratamento cirúrgico.** Cirugía Cardiovascular, v. 22, n. 4, p. 195–199, 2015.

CZERNY, M; GRABENWÖGER, M; BERGER, T; ABOYANS, V; DELLA CORTE, A. **EACTS/STS guidelines for diagnosing and treating acute and chronic syndromes of the aortic organ.** European Journal of Cardio-Thoracic Surgery, v. 65, n. 2, p. ezad426, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezad426>. Acesso em: mai. 2025.

LINHARES, A. P. *et al.* **Emergência vascular: diagnóstico e manejo na dissecção aórtica.** Brazilian Journal of One Health, Itapetinga, v. 2, n. 2, p. 773–791, 2025. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/391124648\\_Emergencia\\_Vascular\\_Diagnostico\\_e\\_Manejo\\_na\\_Dissecao\\_Aortica](https://www.researchgate.net/publication/391124648_Emergencia_Vascular_Diagnostico_e_Manejo_na_Dissecao_Aortica). Acesso em: jun. 2025.

MSD MANUALS. **Aneurismas da aorta torácica.** Kenilworth: Merck Sharp & Dohme Corp., 2025b. Disponível em: <https://www.msmanuals.com/pt/profissional/doen%C3%A7as-cardiovasculares/doen%C3%A7as-da-aorta-e-seus-ramos/aneurismas-da-aorta-tor%C3%A1tica>. Acesso em: jul. 2025.

MSD MANUALS. **Considerações gerais sobre aneurismas aórticos e dissecção aórtica.** Kenilworth: Merck Sharp & Dohme Corp., 2025a. Disponível em: <https://www.msmanuals.com/pt/casa/dist%C3%BArbios-do-cora%C3%A7%C3%A3o-e-dos-vasos-sangu%C3%ADneos/doen%C3%A7as-da-aorta-e-suas-ramifica%C3%A7%C3%B5es/considera%C3%A7%C3%B5es-gerais-sobre-aneurismas-a%C3%B3rticos-e-dissec%C3%A7%C3%A3o-a%C3%B3rtica>. Acesso em: jul. 2025.

PRAKASH, P. *et al.* **Ascending aortic aneurysms: pathophysiology and indications for surgery.** E-Journal of Cardiology Practice, v. 2, n. 7, 2011. Disponível em: <https://www.escardio.org/Journals/E-Journal-of-Cardiology-Practice/Volume-10/Ascending-aortic-aneurysms-pathophysiology-and-indications-for-surgery>. Acesso em: jun. 2025.

SALIBA, E; SIA, Y; DORE, A; EL HAMAMSY, I. **The ascending aortic aneurysm: when to intervene?** International Journal of Cardiology Heart & Vascular, v. 6, p. 91–100, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2015.01.009>. Acesso em: jul. 2025.

SETHI, S; PAREKH, U. **Aneurisma do arco aórtico.** In: StatPearls Publishing, 2025. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK563170/>. Acesso em: jul. 2025.