APLICANDO CIÊNCIA DE DADOS EDUCACIONAIS PARA O ACOMPANHAMENTO DE DIFICULDADES EM MATEMÁTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA INVESTIGAÇÃO COM ESTUDANTES DO 5º E DO 9º ANO EM FORTALEZA

APPLYING EDUCATIONAL DATA SCIENCE TO MONITOR MATHEMATICS DIFFICULTIES IN ELEMENTARY SCHOOL: A STUDY WITH 5TH AND 9TH GRADE STUDENTS IN FORTALEZA

Emilio de Aquino Calvet
ORCID 0009-0002-8111-436X
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Russas, Brasil
emiliocalvet@gmail.com

Marcos Vinicius de Andrade Lima
ORCID 0000-0002-5797-0222
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Russas, Brasil
marcos.vinicius@ufc.br

José Gleison Carneiro Silva
ORCID 0009-0002-5400-6670
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Russas, Brasil
gleison.mat@gmail.com

Luiz Antônio Caetano Monte
ORCID 0009-0009-3030-9600
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Russas, Brasil
luiz.monte@ufc.br

Carmem Lúcia Neo Alves
ORCID 0009-0000-3047-8695
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Russas, Brasil
carmemneoalves@gmail.com

Resumo. Este artigo analisa a persistência de dificuldades em Matemática entre estudantes do Ensino Fundamental, com base nos resultados do SAEB aplicados às turmas do 5º ano (2015) e do 9º ano (2019) das escolas municipais de Fortaleza. A pesquisa adota uma abordagem quantitativa, fundamentada em técnicas de Ciência de Dados Educacionais (CDE), com a aplicação do algoritmo FP-Growth para identificar padrões de erro recorrentes. Os resultados indicam que defasagens identificadas nos anos iniciais permanecem ao longo da trajetória escolar, comprometendo a aprendizagem de conteúdos mais complexos. A análise evidencia a necessidade de utilizar os dados das avaliações em larga escala de maneira mais estratégica, contribuindo para a formulação de intervenções pedagógicas mais eficazes.

Palavras-chave: Avaliação em Larga Escala; Descritores; Ciência de Dados Educacionais.

Abstract. This article analyzes the persistence of mathematical difficulties among elementary school students, based on SAEB (National System for Basic Education Assessment) results from 5th-grade (2015) and 9th-grade (2019) students in municipal schools in Fortaleza. This study employs a quantitative approach grounded in Educational Data Science (EDS) techniques, applying the FP-Growth algorithm to identify recurring error patterns. The findings indicate that learning gaps from the early years persist throughout the students' educational trajectory, compromising their ability to learn more complex content. This analysis highlights the need for a more strategic use of large-scale assessment data to formulate effective pedagogical interventions.

Keywords: Large-Scale Assessment; Descriptors; Educational Data Science.

1. INTRODUÇÃO

As avaliações externas realizadas pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), por meio do Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB), têm sido utilizadas como ferramenta estratégica para o monitoramento da qualidade da educação no Brasil, especialmente por sua abrangência nacional e capacidade de oferecer dados comparáveis entre redes de ensino (Brasil, 2019; Gatti, 2010). No entanto, pesquisas recentes indicam que os resultados gerados por essas avaliações, embora valiosos, não têm promovido melhorias efetivas no desempenho dos estudantes ao longo do tempo (Lima, 2023).

A pesquisa de Lima (2023) identificou que os erros mais frequentes nos descritores de Matemática e Língua Portuguesa, analisados a partir dos resultados do Sistema Permanente de Avaliação da Educação Básica do Ceará (SPAECE), permanecem recorrentes em diferentes ciclos avaliativos, o que evidencia a limitação de análises baseadas apenas em *rankings* de frequência. De forma semelhante, Pontes (2023) verificou a repetição de padrões de erro ao comparar os resultados do SAEB e do SPAECE, apontando para dificuldades estruturais de aprendizagem que transcendem os instrumentos de avaliação. No mesmo sentido, Lima (2023) demonstrou que os dados produzidos por avaliações externas, como o SPAECE, têm sido utilizados de forma limitada pela rede municipal de Fortaleza, restringindo-se, em muitos casos, à elaboração de *rankings* de erros, o que compromete seu potencial para o planejamento pedagógico estratégico.

Esses estudos indicam que, embora as avaliações em larga escala possuam potencial para subsidiar práticas pedagógicas e políticas educacionais, sua efetividade depende diretamente da qualidade das análises realizadas e da forma como os dados são utilizados pelas redes de ensino. A persistência de dificuldades recorrentes entre os estudantes evidencia a limitação de abordagens tradicionais e destaca a necessidade de incorporar métodos analíticos mais robustos. Nesse sentido, a Ciência de Dados Educacionais (CDE) surge como uma alternativa promissora, ao permitir não apenas identificar a frequência dos erros, mas também compreender suas relações e causas. Ferramentas como o algoritmo FP-Growth, por exemplo, possibilitam a identificação de padrões ocultos de erro, apoiando diagnósticos mais precisos e orientando intervenções pedagógicas mais eficazes e contextualizadas.

Um dos maiores desafios enfrentados pela educação básica no Brasil é o ensino da Matemática, área em que os estudantes apresentam defasagens significativas desde os anos iniciais do Ensino Fundamental. Os dados do SAEB 2021 mostram que apenas 37% dos alunos do 5º ano atingiram níveis adequados de proficiência em Matemática, e esse percentual cai para apenas 15% no 9º ano, indicando dificuldades persistentes no desenvolvimento das competências matemáticas (IEDE, 2023). Esse cenário é agravado por fatores como desigualdades socioeconômicas e falta de recursos pedagógicos, que comprometem o processo de aprendizagem (Aguilar Júnior, 2024).

Como destaca Gatti (2010), a Matemática é uma das áreas com maior índice de reprovação e evasão, sendo percebida como uma disciplina de difícil assimilação por muitos estudantes. Os resultados do SAEB de 2021 revelam deficiências persistentes no desenvolvimento das competências matemáticas dos alunos, especialmente nas fases iniciais do Ensino Fundamental (Fundação Roberto Marinho, 2022). A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) de 1996 estabelece que a educação deve promover o desenvolvimento integral dos alunos, com ênfase em habilidades essenciais, como leitura, escrita e competência matemática (Brasil, 1996).

Nesse contexto, o SAEB e outras avaliações externas têm sido utilizadas como instrumentos de diagnóstico da aprendizagem, com o objetivo de subsidiar políticas públicas e orientar práticas pedagógicas. Sua aplicação em larga escala permite a identificação de padrões de desempenho e desigualdades regionais. No entanto, como evidenciam os estudos de Costa

e Lima (2025) e Pontes (2023), a recorrência de erros em descritores específicos ao longo de diferentes ciclos avaliativos revela que os dados gerados por essas avaliações nem sempre têm sido utilizados de forma estratégica pelas redes de ensino, o que compromete seu potencial de induzir transformações significativas no processo educativo.

A aprendizagem em Matemática continua sendo um dos principais desafios enfrentados pelos estudantes brasileiros ao longo da Educação Básica. A disciplina é frequentemente percebida como abstrata e de difícil assimilação, o que contribui para elevados índices de reprovação e evasão, especialmente entre alunos em contextos socialmente vulneráveis (Gatti, 2010). Além disso, a fragmentação do ensino e a ausência de conexão entre os conteúdos escolares e situações do cotidiano dificultam a consolidação das competências matemáticas. Nesse contexto, Silva *et al.* (2021) destacam que a falta de integração entre os conteúdos e a realidade dos alunos pode comprometer o processo de aprendizagem, tornando-o menos significativo e eficaz, o que aponta para a urgência de estratégias pedagógicas mais integradas e contextualizadas.

Com base nesse panorama, a questão central desta pesquisa é: de que maneira as lacunas de aprendizagem Matemática, identificadas no 5º ano do Ensino Fundamental, relacionam-se com os padrões de erro observados no 9º ano, considerando a estrutura de pré-requisitos da disciplina? Em outras palavras, busca-se compreender em que medida as defasagens iniciais persistem e comprometem a aquisição de competências mais complexas ao longo da formação básica. Para responder a essa questão, o artigo utiliza uma abordagem quantitativa, com o uso de técnicas de CDE, para analisar a evolução dos resultados ao longo do tempo e verificar se as deficiências detectadas no 5º ano persistem no 9º ano.

A hipótese central que orienta esta pesquisa é que o SAEB, enquanto política pública educacional, não tem contribuído de forma efetiva para a superação das dificuldades em Matemática identificadas entre o 5º e o 9º ano do Ensino Fundamental. Essa hipótese baseia-se na recorrência de padrões de erro evidenciados em ciclos avaliativos consecutivos, sugerindo que os dados gerados, embora valiosos, não têm sido plenamente utilizados para orientar intervenções pedagógicas capazes de reverter o quadro de defasagem em Matemática.

Embora o SAEB represente um importante instrumento de diagnóstico e monitoramento da aprendizagem, é possível levantar críticas quanto à sua efetividade. Os resultados reiteradamente apontam que, mesmo com ações fundamentadas em dados, as dificuldades em Matemática persistem como um desafio relevante em diferentes contextos educacionais do país (Fundação Roberto Marinho, 2022; Lima, 2023; Pontes, 2023). Tal cenário evidencia a necessidade de reestruturação nas estratégias pedagógicas e nas políticas educacionais voltadas à aprendizagem matemática. Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo analisar os dados do SAEB referentes às escolas municipais de Fortaleza, com o intuito de identificar padrões recorrentes de erro em Matemática nas turmas do Ensino Fundamental no 5º ano (de 2015) e do 9º ano (de 2019), promovendo uma análise dos resultados de forma longitudinal. Dessa forma, uma perspectiva mais ampla é utilizada para entender os resultados, permitindo avaliar se os problemas detectados no início do ensino fundamental persistem até o final desse ciclo.

O artigo está estruturado em cinco seções. A primeira seção delineou o contexto do estudo, a questão de pesquisa e os objetivos. A segunda seção apresenta os referenciais teóricos, com ênfase nas avaliações em larga escala, CDE e técnicas de análise de dados. A terceira seção detalha os procedimentos metodológicos, enquanto a quarta apresenta os resultados obtidos. Por fim, a quinta seção traz as conclusões e sugestões para futuras pesquisas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, são abordados dois aspectos fundamentais para a compreensão deste estudo. Inicialmente, apresenta-se a temática das Avaliações em Larga Escala, com destaque para seu

panorama histórico, objetivos, características e importância no contexto educacional brasileiro. Em seguida, discute-se a Ciência de Dados Educacionais (CDE), abordando sua definição, principais processos e ferramentas, bem como a relevância de técnicas específicas como o algoritmo FP-Growth para análise dos dados educacionais.

2.1. Avaliações em Larga Escala

As avaliações educacionais em larga escala desempenham um papel estratégico no monitoramento da qualidade do ensino e no planejamento de políticas públicas. No cenário internacional, destaca-se o *Programme for International Student Assessment* (PISA) - em português, Programa Internacional de Avaliação de Estudantes, coordenado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Essa avaliação global mede as competências de leitura, matemática e ciências em estudantes de 15 anos, proporcionando uma análise comparativa entre os sistemas educacionais de diferentes países. O PISA tornou-se uma referência para identificar tendências, desigualdades e desafios educacionais, além de orientar a formulação de políticas baseadas em evidências (OECD, 2021).

No Brasil, a implantação de avaliações educacionais em larga escala iniciou-se na década de 1990, marcando o início de uma abordagem sistemática para diagnosticar o desempenho do sistema educacional. O SAEB, desenvolvido pelo INEP, emergiu como a principal ferramenta nacional para monitorar a qualidade do ensino. Desde sua criação, o SAEB passou por sucessivos aprimoramentos teórico-metodológicos, destacando-se a recente adequação às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que visa alinhar os objetivos de aprendizagem nacionalmente (INEP, 2023).

O SAEB avalia as competências dos estudantes em Língua Portuguesa e Matemática, além de coletar dados contextuais sobre as condições socioeconômicas e culturais dos alunos e das escolas, permitindo uma análise ampla dos fatores que influenciam os resultados educacionais. Realizado a cada dois anos, o sistema abrange alunos dos anos iniciais e finais do ensino fundamental e do ensino médio, tanto da rede pública quanto de uma amostra da rede privada. Esse diagnóstico contribui para identificar desigualdades educacionais e subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas para a equidade e melhoria do ensino.

Entre os componentes do SAEB, destacam-se a Avaliação Nacional da Educação Básica (ANEB), aplicada a estudantes do 5º e 9º anos do ensino fundamental e do 3º ano do ensino médio, e a Avaliação Nacional do Rendimento Escolar (ANRESC), conhecida como Prova Brasil, destinada à rede pública. Ambas utilizam testes padronizados e questionários contextuais, abrangendo amostras representativas de escolas públicas e privadas (INEP, 2023).

A avaliação de Matemática para o 5º e 9º anos do ensino fundamental, foco deste estudo, é um dos pilares centrais do SAEB, mensurando competências que vão de habilidades básicas à resolução de problemas complexos. As matrizes de referência de Matemática orientam a elaboração dos testes, organizando-se em descritores que abrangem blocos temáticos como 'Espaço e Forma', 'Grandezas e Medidas', 'Números e Operações/Álgebra e Funções' e 'Tratamento da Informação'. No 9º ano, por exemplo, os descritores avaliam o domínio de conceitos geométricos, aritméticos e estatísticos, além da capacidade de aplicá-los em situações práticas.

Os resultados dessas avaliações são amplamente utilizados para analisar o desempenho dos estudantes em diferentes contextos socioeconômicos e regiões geográficas. No 5º ano, avaliam-se competências iniciais de aritmética, geometria e resolução de problemas, enquanto no 9º ano, o foco recai sobre desafios mais avançados, como álgebra, funções e tratamento de dados. Historicamente, os resultados dessas aplicações evidenciam disparidades de aprendizado entre redes pública e privada, bem como entre regiões urbanas e rurais (INEP, 2023; IEDE, 2023).

Além dos testes, questionários contextuais aplicados a alunos, professores e diretores fornecem informações sobre infraestrutura escolar, práticas pedagógicas, perfil docente e condições socioeconômicas, permitindo uma análise detalhada dos fatores que impactam a aprendizagem. Assim, o SAEB consolida-se como um instrumento essencial para avaliar a educação básica no Brasil, alinhando-se a iniciativas internacionais como o PISA, mas considerando as especificidades do contexto educacional brasileiro.

O SAEB, por sua abrangência, acaba gerando uma enorme quantidade de dados a cada aplicação. São milhões de registros vindos não só dos resultados das provas, mas também de questionários aplicados a alunos, professores e gestores, trazendo informações sobre o dia a dia das escolas, os desafios enfrentados pelos docentes e o contexto dos estudantes (INEP, 2023). Diante desse volume, fazer uma análise aprofundada sem apoio tecnológico se torna praticamente inviável. É justamente aqui que entram as técnicas da Ciência de Dados Educacionais (CDE), que permitem organizar, cruzar e interpretar essas informações de maneira mais inteligente. No próximo tópico, mostramos como a CDE foi aplicada nesta pesquisa para identificar padrões de erro em Matemática e lançar luz sobre questões que, muitas vezes, ficam escondidas nos números.

2.2. Ciência de Dados Educacionais

A Ciência de Dados (CD) é uma área interdisciplinar que combina Estatística, Computação e conhecimento específico de domínio para analisar grandes volumes de dados. Seu objetivo principal é extrair informações úteis, identificar padrões e gerar *insights* que apoiem a tomada de decisões (Cielen *et al.*, 2016; Boyd e Crawford, 2012). Essa abordagem tem se mostrado fundamental em diversos contextos, incluindo o educacional, na qual a análise de dados pode melhorar políticas públicas e práticas pedagógicas.

No contexto educacional, a CDE aplica os fundamentos da CD para explorar e interpretar dados provenientes de avaliações, desempenhos estudantis e processos de ensino-aprendizagem. Por meio de ferramentas e métodos de análise, a CDE permite identificar padrões de aprendizagem, prever desempenho estudantil e apoiar políticas educacionais. Essas práticas possibilitam a compreensão de como os estudantes adquirem conhecimento em diferentes contextos e fornecem informações que orientam estratégias de melhoria no sistema educacional (Silva *et al.*, 2021).

O processo de CDE é composto por etapas que incluem a coleta, limpeza, análise e visualização de dados. A coleta reúne informações de múltiplas fontes, como bases institucionais e resultados de avaliações. A limpeza é essencial para corrigir inconsistências e garantir a qualidade dos dados. A análise utiliza técnicas estatísticas e algoritmos avançados para explorar relações entre variáveis, enquanto a visualização apresenta os resultados de forma compreensível, facilitando a interpretação por diferentes públicos (Cielen *et al.*, 2016).

Entre os algoritmos amplamente utilizados na CDE, esta pesquisa tem especial interesse na família de descoberta de padrões frequentes. O *Frequent Pattern Growth* (FP-Growth), é um dos algoritmos dessa família que se destaca por sua eficiência em bases de dados volumosas. Ele utiliza uma estrutura compacta chamada *Frequent Pattern Tree* (FP-Tree) para armazenar os dados de forma estruturada, permitindo a identificação rápida de padrões frequentes. A FP-Tree é uma estrutura hierárquica que comprime as transações da base de dados ao agrupar itens semelhantes em um formato de árvore, reduzindo redundâncias e otimizando o processo de mineração de padrões frequentes. Essa abordagem é consistente com a descrição de Mariano (2011), que detalha a eficiência do FP-Growth na redução do espaço necessário para armazenar transações.

O FP-Growth funciona em duas etapas principais. Primeiro, constrói-se uma FP-Tree, que organiza os itens de forma hierárquica e compacta, permitindo representar eficientemente as

Br. J. Ed., Tech. Soc., v.19, n.2, Abr-Jun, p.475-487, 2026
DOI https://dx.doi.org/10.14571/brajets.v19.n2.475-487
ISSN 2316-9907

relações entre os dados. Em seguida, os padrões frequentes são extraídos a partir da FP-Tree, identificando associações que superam um suporte mínimo previamente definido. Em pesquisas educacionais que avaliaram resultados de avaliações em larga escala utilizando o FP-Growth, como as realizadas por Lima (2023), Pontes (2023) e Costa e Lima (2025), cada transação representou um conjunto de descritores nos quais os alunos cometeram erros, possibilitando a análise de grupos de descritores frequentemente errados em conjunto. Essa abordagem revela associações úteis para compreender as dificuldades dos estudantes e propor intervenções pedagógicas.

Além disso, o algoritmo gera saídas como padrões frequentes e regras de associação. Os padrões frequentes indicam grupos de itens que aparecem juntos com alta frequência, enquanto as regras de associação descrevem relações entre itens. Medidas como suporte, confiança e *lift* ajudam a avaliar essas associações: o suporte mede a frequência com que um padrão aparece na base de dados, enquanto a confiança avalia a probabilidade de um item ocorrer como consequência da presença de outro(s). O *lift*, por sua vez, indica o quanto a ocorrência conjunta de dois itens é maior do que o esperado, considerando suas ocorrências individuais (Han *et al*., 2012). Essas análises são úteis para diagnosticar lacunas no aprendizado e avaliar a efetividade de políticas educacionais ao longo do tempo (Mariano, 2011).

3. METODOLOGIA – MÉTODOS

A presente pesquisa segue o processo de análise de dados definido por Cielen *et al.* (2016), que estrutura de forma sistemática as etapas necessárias para transformar dados brutos em *insights* valiosos. Esse modelo foi escolhido por sua robustez na organização do fluxo de trabalho em Ciência de Dados, permitindo uma abordagem rigorosa e reprodutível. Cada etapa do processo (coleta, preparação, exploração, modelagem, avaliação, implementação e manutenção), contribui de maneira integrada para a compreensão aprofundada dos fenômenos investigados.

A coleta de dados foi realizada a partir dos microdados do SAEB, disponibilizados pelo INEP (2025). A estratégia de análise baseia-se em um desenho longitudinal de painel, acompanhando o desempenho das coortes escolares da rede municipal de Fortaleza. Foram utilizados os conjuntos de dados referentes aos ciclos de 2015 e 2019, ambos do período anterior à pandemia de COVID-19. Para o ano de 2015, utilizou-se exclusivamente a tabela de resultados do 5º ano do ensino fundamental (arquivo de aprox. 897 MB com 2.497.431 registros). Para 2019, foram selecionados os dados do 9º ano (arquivo de aprox. 887 MB com 2.388.931 registros). A escolha desse intervalo reflete a metodologia do SAEB, buscando captar as variações e tendências educacionais de médio prazo.

Após a coleta, os dados passaram por um processo de limpeza e preparação. Inicialmente, foram aplicados filtros para restringir a análise à disciplina de Matemática, considerando exclusivamente alunos de escolas municipais de Fortaleza, capital do Ceará. Essa seleção garantiu a relevância dos dados para o estudo, permitindo um foco direcionado ao público-alvo de interesse. Com essa filtragem inicial, a base de dados de 2015 foi reduzida para aproximadamente 930 KB, contendo 16.609 linhas, enquanto a base de 2019 apresentou um tamanho de cerca de 765 KB, com 14.897 linhas de dados.

Em seguida, foi realizada uma nova filtragem para excluir alunos que não preencheram completamente todos os itens do gabarito da prova de Matemática. Como resultado, a base de 2015 foi reduzida para 786 KB, com a remoção de 3.049 alunos, totalizando 16.560 linhas de dados. Da mesma forma, a base de 2019 foi reduzida para 673 KB, com a exclusão de 1.791 alunos, resultando em 13.106 linhas. Essa segunda filtragem assegurou a consistência e integridade dos dados, eliminando potenciais distorções causadas por respostas incompletas e garantindo maior qualidade na análise.

A análise exploratória dos dados teve início a partir da estruturação dos erros dos alunos. Cada questão da avaliação SAEB está associada a um descritor que representa a habilidade matemática avaliada. Assim, organizou-se uma lista em que cada aluno foi vinculado aos descritores das questões que respondeu incorretamente. Essa estrutura permitiu calcular a frequência de erro por descritor, separadamente para os anos de 2015 e 2019, facilitando a análise da evolução das dificuldades matemáticas ao longo do tempo. A partir dessa organização, foram aplicadas técnicas de estatística descritiva para identificar os descritores com maior frequência de erros e verificar possíveis relações entre os períodos avaliados. Foram geradas tabelas contendo a distribuição das frequências e gráficos que ilustram a incidência dos erros em cada descritor, informações que serviram de base para a modelagem posterior.

Para identificar padrões recorrentes nos erros, utilizou-se o algoritmo FP-Growth (*Frequent Pattern Growth*), uma técnica de mineração de padrões frequentes. Os dados de entrada foram organizados a partir das bases filtradas e estruturadas na análise exploratória, no qual cada aluno foi representado pelo conjunto de descritores das questões que errou. Configurado com suporte mínimo de 10% e confiança mínima de 80%, o algoritmo permitiu extrair associações entre os descritores que os estudantes mais erraram. A análise focou nas relações onde um erro em determinado conteúdo aumentava a probabilidade de erro em outro, medido pela confiança (probabilidade condicional) e pelo *lift* (grau de dependência entre os erros).

A avaliação do modelo integrou a verificação estatística com uma validação teórica. Para além da análise das métricas de suporte, confiança e *lift*, o estudo incorporou uma etapa qualitativa essencial para a interpretação pedagógica dos dados. De forma complementar, realizou-se uma validação pedagógica qualitativa conduzida pelos próprios autores da pesquisa (Silva e Monte), doutores na área de Matemática. Essa etapa consistiu no mapeamento das dependências conceituais entre os descritores, assegurando que as associações estatísticas tivessem respaldo na estrutura curricular da disciplina.

É importante destacar as limitações do estudo quanto à comparabilidade dos grupos: trata-se de uma análise longitudinal de painel (coortes escolares) e não de um acompanhamento individualizado, visto que a composição das turmas pode variar entre 2015 e 2019 devido a fatores como migração, evasão ou reprovação. Ainda assim, a comparação entre os ciclos é válida para diagnosticar a eficácia sistêmica da rede de ensino. Tal abordagem é corroborada pelos indicadores contextuais do SAEB, que demonstram a estabilidade do perfil socioeconômico da rede pública municipal de Fortaleza entre 2015 e 2019. Segundo os dados do Indicador de Nível Socioeconômico (INSE) (INEP, 2015; 2019), a maioria das escolas analisadas permaneceu classificada no Nível IV (em uma escala de I a VI), o que caracteriza um perfil de vulnerabilidade social homogêneo e persistente no período. Relatórios do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2021) também reforçam que, apesar dos avanços em infraestrutura escolar, as condições de renda e escolaridade dos responsáveis pelos alunos da rede municipal não sofreram alterações demográficas significativas que pudessem comprometer a comparabilidade das coortes. Dessa forma, a análise foca nas lacunas de aprendizagem como variáveis internas ao processo pedagógico.

Os resultados foram organizados em gráficos e tabelas para facilitar a interpretação dos padrões identificados. A comunicação dos achados seguiu um formato acadêmico, possibilitando a utilização da análise para futuras intervenções educacionais e reforçando o papel da Ciência de Dados Educacionais na compreensão do desempenho escolar, garantindo transparência e contexto como força de evidência (Baba e Hakemzadeh, 2012). Embora o modelo proposto por Cielen *et al.* (2016) preveja uma etapa de manutenção, esta não se aplica diretamente à presente pesquisa, pois o estudo foi realizado com dados históricos e não envolve um sistema de monitoramento contínuo. No entanto, futuras investigações podem explorar o monitoramento em tempo real de avaliações escolares, permitindo ajustes pedagógicos mais dinâmicos ao longo dos anos.

No que tange aos aspectos éticos, a pesquisa observou rigorosamente a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), Lei nº 13.709 de 2018. Os dados foram obtidos diretamente do repositório público do INEP em formato anonimizado, sem a presença de dados pessoais identificáveis. O tratamento das informações restringiu-se a fins estritamente acadêmicos e científicos, adotando práticas de minimização e segurança, como a desconsideração de identificadores numéricos da base original, para garantir a proteção da identidade dos sujeitos. Dessa forma, assegura-se que a investigação respeita os direitos dos indivíduos envolvidos, promovendo uma produção científica responsável, ética e alinhada às normativas legais vigentes.

4. RESULTADOS

Para facilitar a compreensão dos resultados e evitar repetições no corpo do texto, o Quadro 1 apresenta a descrição resumida dos principais descritores de Matemática do 5º e 9º ano mencionados nesta análise. A partir desses códigos, foram conduzidas as investigações estatísticas e pedagógicas que orientam a discussão a seguir.

Quadro 1. Descrição dos descritores mencionados na análise

Código	Ano	Descrição resumida
D5	5º ano	Resolver problema com operações básicas (adição e subtração)
D12	5º ano	Resolver problema envolvendo o cálculo de área de figuras planas
D13	5º ano	Compreender o sistema de numeração decimal
D14	5º ano	Identificar a localização de números naturais na reta numérica
D20	5º ano	Resolver problema envolvendo multiplicação ou divisão
D21	5º ano	Identificar diferentes representações de um mesmo número racional
D7	9º ano	Reconhecer imagens semelhantes de figuras geométricas
D10	9º ano	Resolver problema utilizando relações métricas no triângulo retângulo
D14	9º ano	Resolver problema envolvendo congruência de figuras planas
D24	9º ano	Resolver problema envolvendo razão e proporção
D28	9º ano	Resolver problema envolvendo porcentagem
D29	9º ano	Identificar regularidades em sequências numéricas
D31	9º ano	Resolver problema usando propriedades dos polígonos
D33	9º ano	Identificar a equação ou inequação de 1º grau que expressa um problema

Fonte: INEP, 2001. Adaptado pelos autores

A apresentação dos resultados da pesquisa se dá de forma progressiva, partindo de uma análise de frequência, que representa a abordagem tradicional, para então aprofundar o diagnóstico com o algoritmo FP-Growth, capaz de revelar as conexões ocultas entre os erros dos estudantes. Por fim, os achados estatísticos são validados por meio de uma análise pedagógica realizada pelos autores, o que demonstra a persistência das dificuldades fundamentais ao longo da trajetória escolar dos alunos.

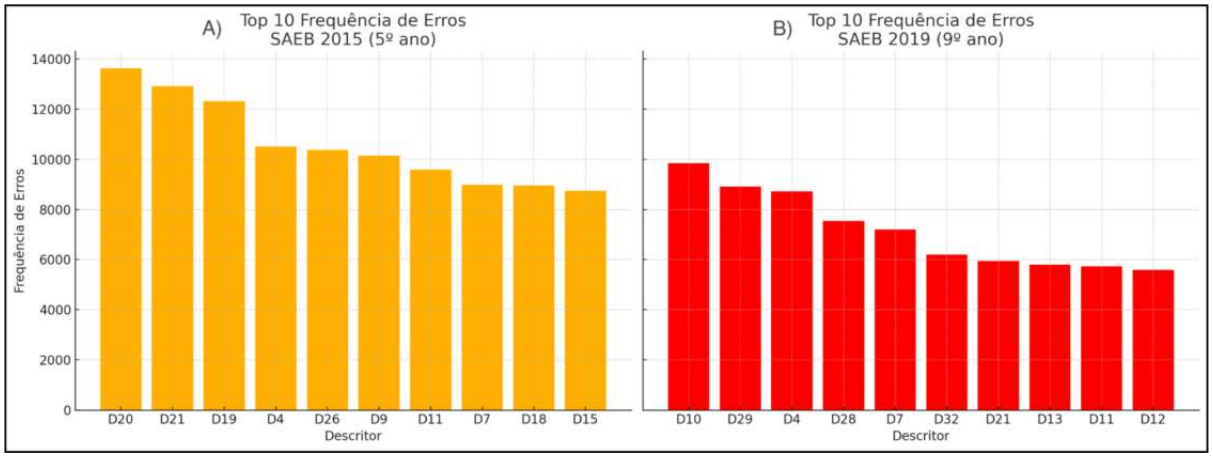

Gráfico 1. Frequência dos erros por descritor (5º ano em 2015 e 9º ano em 2019)
Fonte: Elaborado pelos autores.

A abordagem inicial, baseada no ranqueamento de erros, oferece um diagnóstico limitado, como se observa na análise do Gráfico 1, que ilustra os dez descritores com mais respostas incorretas no 5º ano (2015) e no 9º ano (2019), respectivamente. No 5º ano, destacam-se os erros nos descritores D20 e D21, ambos relacionados a operações com números racionais e resolução de problemas. No 9º ano, os maiores índices de erro concentram-se em D10, D29 e D28, que abordam conteúdos como relações métricas, sequências numéricas e porcentagem. No entanto, a análise de frequência, embora ainda amplamente utilizada por redes de ensino, limita-se a descrever os sintomas visíveis do fracasso escolar. Como ressalta Lima (2023), esse tipo de análise desconsidera a estrutura de dependências conceituais entre os descritores, o que compromete a efetividade das decisões pedagógicas que dela derivam.

Com o objetivo de superar essa limitação, esta pesquisa aplicou o algoritmo FP-Growth aos dados de todas as provas de Matemática do SAEB realizadas por estudantes do 5º e 9º ano das escolas municipais de Fortaleza, nos ciclos de 2015 e 2019. Esse algoritmo permite descobrir regras de associação entre os erros, indicando, com base na estatística, quais descritores funcionam como antecedentes significativos de outros.

Tabela 1. Regras de associação dos erros – 5º ano (2015)

Antecedente	Consequente	Confiança	*Lift*	Suporte
D12	D20	81,42414%	1,20989	33,35346%
D28	D21	83,97749%	1,27787	27,94854%
D14	D21	95,41968%	1,45198	27,80361%
D28	D20	82,10851%	1,22005	27,32652%
D13, D20	D21	85,43727%	1,30008	26,07645%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 1 apresenta as regras de associação mais relevantes para o 5º ano. Os dados revelam que erros em descritores de alta frequência, como D20 e D21, são muitas vezes consequência de falhas em habilidades estruturantes, como as avaliadas em D14, D12 e D13. Por exemplo, a regra D14 ⇒ D21 apresenta 95,4% de confiança, indicando que a grande maioria dos estudantes que erram D14 (localização na reta numérica) também comete erro em D21 (representações de um número racional). Outras regras relevantes incluem D12 ⇒ D20 (81,4% de confiança) e a associação entre {D13, D20} ⇒ D21, com 85,4% de confiança. Isso indica que a compreensão de área e do valor posicional é fundamental para o sucesso em operações e representações racionais. Vale destacar que muitos desses antecedentes

identificados pelo FP-Growth não aparecem entre os dez descritores com mais erros, o que fortalece a percepção da limitação da análise de frequência como única fonte de diagnóstico.

Tabela 2. Regras de associação dos erros – 9º ano (2019)

Antecedente	Consequente	Confiança	*Lift*	Suporte
D24	D4	92,73053%	1,59174	31,53998%
D33	D10	90,72215%	1,41864	28,28144%
D3	D28	88,70251%	1,72995	27,44200%
D14	D10	92,01902%	1,43892	26,57203%
D31	D7	97,12129%	1,92392	26,51862%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise do 9º ano revelou padrões semelhantes, com regras que conectam conteúdos geométricos e algébricos a antecedentes menos evidentes. A Tabela 2 apresenta as regras com maior confiança. Entre elas, destaca-se D31 ⇒ D7, com 97,1% de confiança, revelando uma associação forte entre falhas em propriedades dos polígonos e reconhecimento de figuras semelhantes. Outra associação conceitual importante é a regra D14 ⇒ D10 com 92% de confiança, que evidencia como a dificuldade em reconhecer a congruência de figuras planas (D14 do 9º ano) impacta a resolução de problemas com relações métricas no triângulo retângulo (D10).

A análise longitudinal se torna ainda mais clara ao rastrear a trajetória de uma habilidade fundamental. O descritor D14 do 5º ano (Identificar a localização de números naturais na reta numérica), por exemplo, funciona como um antecedente crítico, revelado pela regra de associação D14 ⇒ D21 com 95,4% de confiança naquele ano. Quatro anos depois, no 9º ano, a análise dos especialistas (detalhado no Quadro 2) aponta que a mesma habilidade (D14 do 5º ano) é um pré-requisito essencial para o domínio de D10 e D28, justamente dois dos descritores com maiores índices de erro no 9º ano e que figuram em regras de associação relevantes. Fica evidente, portanto, como uma lacuna não resolvida nos anos iniciais compromete diretamente a aprendizagem de conteúdos mais complexos, confirmando a hipótese do estudo.

Quadro 2. Mapa de dependências entre descritores do 5º e 9º ano

Descritor do 9º Ano (habilidade alvo)	**Pré-requisitos Fundamentais do 5º Ano (conforme análise especializada)**
D24	D5, D13, D14, D19, D21
D4	D5, D11, D19, D20
D3, D7, D10, D14, D29, D31, D34, D33, D35	D5, D11, D12, D13, D14, D19, D20, D21
D28	D5, D11, D12, D13, D14, D19, D20, D21, D28

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para verificar se os padrões identificados pelo algoritmo têm respaldo na estrutura conceitual da Matemática escolar, foi realizada uma validação pedagógica fundamentada na formação e experiência docente de dois dos autores, doutores em Matemática. O Quadro 2 sintetiza as relações entre os descritores do 9º ano e os pré-requisitos do 5º ano mapeados nessa análise. A matriz revela que D28, D24, D10 e D7 (todos frequentes nas regras de associação do 9º ano), exigem múltiplos pré-requisitos do 5º ano. Por exemplo, D28 (porcentagem) depende de nove habilidades do 5º ano, incluindo D13 (sistema de numeração decimal), D14 (reta numérica) e D21 (números racionais). Da mesma forma, D10 (relações métricas) exige o domínio de D12 (cálculo de área), D13 (sistema de numeração decimal), D14 (reta numérica) e D21 (números racionais). A recorrência desses mesmos descritores tanto nas regras

estatísticas quanto na matriz conceitual confirma a hipótese central deste estudo: as dificuldades enfrentadas no 9º ano têm origem em lacunas conceituais acumuladas, frequentemente ignoradas por diagnósticos baseados apenas na frequência dos erros.

Outro ponto a destacar é a convergência entre os dados extraídos pelo FP-Growth e a validação pedagógica: os mesmos descritores que aparecem como antecedentes estatísticos com alta confiança são também identificados como pré-requisitos essenciais pelos especialistas. Isso reforça a consistência e a validade do método adotado. Portanto, os resultados apontam para a necessidade de repensar os critérios utilizados na formulação de intervenções pedagógicas. A ênfase exclusiva nos descritores mais errados, embora comum, revela-se limitada diante da complexidade das dependências conceituais. O uso de técnicas como o FP-Growth, aliado à análise pedagógica, permite um diagnóstico mais profundo e estratégico, capaz de orientar formações docentes e políticas públicas com base em evidências estruturais e não apenas em sintomas pontuais.

5. CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou, por meio de uma análise longitudinal e profunda dos dados do SAEB, que as dificuldades estruturais em Matemática dos estudantes da rede municipal de Fortaleza são persistentes entre o 5º e o 9º ano do Ensino Fundamental. A hipótese central foi confirmada: as lacunas de aprendizagem do 5º ano não são superadas, mas sim se manifestam em erros em conteúdos mais complexos no 9º ano, e a utilização superficial dos dados de avaliações, restrita a análises de frequência, é insuficiente para diagnosticar as causas-raiz dessas defasagens, como já apontado por Lima (2023).

Ao situar os resultados de Fortaleza em um contexto regional, observa-se uma convergência significativa com o estudo de Costa e Lima (2025), que identificou padrões de erro altamente similares em oito das nove capitais do Nordeste no SAEB de 2019. Essa semelhança reforça a tese de que a persistência das defasagens identificada nesta pesquisa não é um fenômeno isolado de uma única rede, mas reflete uma fragilidade sistêmica na consolidação de conhecimentos básicos, como operações com números inteiros (D20), porcentagem (D28) e relações métricas (D10), que acompanham os estudantes até o final do Ensino Fundamental em quase toda a região. Por outro lado, a comparação evidencia que, enquanto a maioria das capitais compartilha essas lacunas elementares, cenários como o de Teresina demonstram a possibilidade de superação desses temas básicos para focar em conteúdos mais complexos. Tais achados validam o uso de abordagens longitudinais e de Ciência de Dados para diagnosticar e mitigar essas causas-raiz antes que se tornem obstáculos na transição para o Ensino Médio.

A força desta investigação reside na triangulação de evidências, que permitiu ir além dos sintomas para chegar a um diagnóstico preciso. A análise de frequência expôs os problemas mais visíveis; o algoritmo FP-Growth revelou as conexões estatísticas entre os erros, apontando para antecedentes não-triviais; e a matriz de dependência elaborada pelos autores forneceu a validação pedagógica, confirmando que os padrões de erro encontrados nos dados refletem as dependências conceituais que deveriam ter sido consolidadas nos anos iniciais.

Os achados indicam que as práticas de análise dos resultados educacionais ainda são predominantemente descritivas e pouco exploratórias. As redes de ensino precisam mudar o foco: de intervir nos erros mais frequentes para fortalecer as habilidades fundamentais que são suas causas ocultas. Continuar a planejar formações com base apenas nos "descritores do topo do *ranking*" é uma estratégia reativa e ineficaz. Ressalta-se, contudo, uma limitação deste estudo: por se tratar de uma análise de painel com dados agregados, não é possível garantir que os estudantes avaliados no 5º ano sejam exatamente os mesmos do 9º ano. Mesmo assim, a

pesquisa oferece uma visão sistêmica robusta sobre a realidade da educação básica, evidenciando gargalos estruturais que persistem independente da rotatividade discente.

Este trabalho reafirma a importância de integrar a Ciência de Dados Educacionais (CDE) aos processos de avaliação para planejar intervenções pedagógicas mais assertivas. Recomenda-se que futuras investigações e planejamentos educacionais utilizem análises de associação para mapear as dependências de erro e criar intervenções direcionadas às causas-raiz, garantindo que as fundações da aprendizagem matemática sejam sólidas. Investir em formações que capacitem os profissionais da educação para o uso efetivo de dados emerge, assim, como uma estratégia essencial para enfrentar os desafios persistentes no ensino de Matemática.

REFERÊNCIAS

Aguilar Júnior, C. A. (2024). *Escola pública, pandemia e aprendizagem em matemática: uma pesquisa com dados públicos do SAEB 2021* [Apresentação de artigo]. Simpósio Internacional de Pesquisa em Educação Matemática (SIPEM), Brasil. https://www.sbembrasil.org.br/eventos/index.php/sipem/article/view/494

Baba, V. V., & Hakemzadeh, F. (2012). Toward a theory of evidence based decision making. *Management Decision*, *50*(5), 832–867. https://doi.org/10.1108/00251741211227546

Boyd, D., & Crawford, K. (2012). Critical questions for big data. *Information, Communication & Society*, *15*(5), 662–679. https://doi.org/10.1080/1369118X.2012.678807

Brasil. (1996). *Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional*. Presidência da República.

Brasil. (2019). *Portaria nº 366, de 29 de abril de 2019. Estabelece as diretrizes de realização do Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb) no ano de 2019*. Ministério da Educação.

Cielen, D., Meysman, A., & Ali, M. (2016). *Introducing data science: Big data, machine learning, and more, using Python tools*. Manning Publications.

Costa, J. A. R. S., & Lima, M. V. A. (2025). Análise comparativa dos resultados da prova de Matemática do Saeb nas capitais do Nordeste do Brasil no ano de 2019. *Revista de Gestão e Avaliação Educacional*, *14*(23), e90533. https://doi.org/10.5902/2318133890533

Fundação Roberto Marinho. (2022, 21 de setembro). *Saeb 2021: Desempenho em matemática e português piora em todas as etapas*. Canal Futura. https://futura.frm.org.br/conteudo/educacao-basica/noticia/saeb-2021-desempenho-em-matematica-e-portugues-piora-em-todas

Gatti, B. A. (2010). Formação de professores no Brasil: Características e problemas. *Educação & Sociedade*, *31*(113), 1355–1379. https://doi.org/10.1590/S0101-73302010000400016

Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data mining: Concepts and techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). (2021). *Nota Técnica Nº 97: Indicador de Nível Socioeconômico (Inse) 2019 – Inep 2021*. https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2023/09/Nota-Tecnica-INSE-2019_INEP-2021.pdf

Instituto Interdisciplinaridade e Evidências no Debate Educacional (IEDE). (2023). *O cenário do ensino de Matemática no Brasil: O que dizem os indicadores nacionais e internacionais*. https://portaliede.org.br/wp-content/uploads/2023/12/Iede%20o%20cenario%20do%20ensino-matematica%20no%20Brasil.pdf

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). (2001). *Matrizes de referência do SAEB: temas e descritores*.

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). (2015). *Indicador de Nível Socioeconômico das Escolas de Educação Básica (Inse) – Saeb 2015*.

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). (2019). *Indicador de Nível Socioeconômico das Escolas de Educação Básica (Inse) – Saeb 2019*.

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). (2023). *Saeb: Sistema de Avaliação da Educação Básica*. https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/saeb

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). (2025). *Microdados do Saeb 2015 e 2019*. https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/microdados/saeb

Lima, M. V. A. (2023). *(Re)estruturação do modelo de planejamento das ações de formação continuada em serviço de professores na rede municipal de Fortaleza: Novas possibilidades por meio da ciência de dados educacionais* [Tese de doutorado, Universidade Estadual do Ceará]. Repositório Institucional.

Mariano, M. A. (2011). *Comparação de algoritmos paralelos para a extração de regras de associação no modelo de memória distribuída* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande]. Repositório Institucional.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021). *PISA 2018 Results (Volume I): What students know and can do*. OECD Publishing.

Pontes, M. M. (2023). *Um estudo comparativo da análise dos erros nos descritores do SPAECE e do SAEB com uso do algoritmo FP-Growth* [Monografia de graduação, Universidade Federal do Ceará]. Repositório Institucional. https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/75581

Silva, G. L. B., Carvalho, J. A., & Maciel, A. M. A. (2021). Desenvolvimento de um Learning Analytics Dashboard para Modelos de Mineração de Dados Educacionais. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, *6*(3), 59–69. https://doi.org/10.25286/repa.v6i3.1688