57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

Análise Envoltória de Dados em dois Estágios: Avaliando a Eficiência Técnica nas Escolas Estaduais de Ensino Médio do Espírito Santo

Guilherme Armando de Almeida Pereira
Universidade Federal do Espírito Santo
Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, ES
guilherme.aa.pereira@ufes.br

Kiara de Deus Demura
Instituto Jones dos Santos Neves
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes, 2524, Jesus de Nazareth, Vitória, ES
kiara.demura@ijsn.es.gov.br

Antonio Ricardo Freislebem da Rocha
Instituto Jones dos Santos Neves
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes, 2524, Jesus de Nazareth,Vitória, ES
antonio.rocha@ijsn.es.gov.br

Darlan Báfica Gois
Secretaria de Estado da Educação do Espírito Santo
Avenida Cezar Hilal, 1111, Santa Lúcia, Vitória, ES
dbgois@sedu.es.gov.br

RESUMO

Este estudo estima a eficiência de escolas estaduais públicas de Ensino Médio no Espírito Santo em 2023, identificando fatores que afetam o desempenho acadêmico dos estudantes. Tradicionalmente, a avaliação escolar foca em indicadores de eficácia, ignorando a alocação de recursos. Este trabalho adota uma abordagem em dois estágios. Inicialmente, utiliza a Análise Envoltória de Dados para estimar a eficiência relativa das escolas, considerando múltiplos insumos e produtos. Adicionalmente, investiga como fatores ambientais – sensação de segurança, apoio familiar, expectativas, etc. – influenciam a eficiência. A pesquisa utilizou dados do Censo Escolar 2023, Paebes 2023 e questionários. A eficiência média observada foi de 0,85, sendo a eficiência máxima igual a 0,95 e a mínima de 0,68. Adicionalmente, os resultados também apontam para correlação entre a eficiência e fatores como o acesso a livros, o clima escolar e as expectativas dos alunos.

PALAVRAS CHAVE. Análise Envoltória de Dados. DEA em dois estágios. Eficiência técnica na educação.

Paper topics: SE-DEA, DEA

ABSTRACT

This study estimates the efficiency of public state high schools in Espírito Santo in 2023, identifying factors that affect students' academic performance. Traditionally, school evaluation focuses on indicators of effectiveness, ignoring resource allocation. This work adopts a

two-stage approach. Initially, it uses Data Envelopment Analysis to estimate the relative efficiency of schools, considering multiple inputs and outputs. Additionally, it investigates how environmental factors—such as a sense of security, family support, expectations, etc.—influence efficiency. The research used data from the 2023 School Census, Paebes 2023, and questionnaires.The average efficiency observed was 0.85, with maximum efficiency equal to 0.95 and minimum at 0.68. Additionally, the results also indicate a correlation between efficiency and factors such as access to books, the school climate, and students' expectations.

KEYWORDS. Data Envelopment Analysis. Two-stage DEA models. Technical efficiency in education.

Paper topics: SE-DEA, DEA

1. Introdução

A avaliação do desempenho escolar configura-se como um pilar crucial na gestão educacional, permitindo o monitoramento da qualidade e a identificação de áreas para aprimoramento. Tradicionalmente, essa avaliação tem se concentrado em indicadores de eficácia, como o desempenho acadêmico dos estudantes. Contudo, a análise do desempenho escolar em sua plenitude demanda uma abordagem mais abrangente, capaz de considerar os diferentes recursos que as escolas dispõem.

Diante desse cenário, este trabalho adota a perspectiva da eficiência, incorporando a análise dos produtos e insumos das unidades de ensino. Desse modo, o objetivo é avaliar a eficiência das escolas da rede estadual do Espírito Santo relativas ao Ensino Médio para o ano de 2023, buscando identificar aquelas que, mesmo diante de diferentes contextos e disponibilidades de recursos, conseguem obter os melhores resultados de aprendizado em termos relativos. Adicionalmente, este trabalho dá um passo além da estimação das eficiências ao buscar identificar quais fatores ambientais, tais como segurança no contexto escolar, apoio dos pais ou responsáveis e expectativa sobre a aprendizagem, podem afetar as eficiências.

Para isto, empregamos uma abordagem em 2 estágios proposta por Simar e Wilson [2007]. A DEA é uma técnica não paramétrica que permite estimar a eficiência relativa de unidades produtivas, nesse caso, as escolas, considerando múltiplos insumos e produtos. Essa abordagem permite identificar as escolas que se encontram na fronteira de eficiência, ou seja, aquelas que conseguem obter os melhores resultados ponderando os recursos disponíveis. Posteriormente, com base em questionários preenchidos pelos estudantes, buscamos identificar quais variáveis estão correlacionadas com as eficiências estimadas. Metodologias similares já foram testadas em escolas de diferentes estados [Delgado e Machado, 2007; Oliveira et al., 2017; Eskereski et al., 2023]. Contudo, tais trabalhos normalmente utilizaram informações públicas. Este trabalho avança ao utilizar informações fornecidas pelos alunos por meio do preenchimento de questionários. Dessa forma, pode-se captar percepções individuais no que tange a expectativas, segurança escolar, etc.

2. Materiais e Métodos

As informações utilizadas foram extraídas do Censo Escolar 2023[1], do Programa de Avaliação da Educação Básica do Espírito Santo em 2023 (Paebes 2023)[2] e da Secretaria de Estado da Educação do Espírito Santo (SEDU-ES).

Para a estimação das eficiências, utilizamos o modelo proposto por Simar e Wilson [2007] orientado ao produto e com retornos variáveis de escala. Os cálculos foram realizados em termos da função de distância, isto é, do recíproco do escore de eficiência. Utilizamos o pacote rDEA desenvolvido em R por Simm e Besstremyannaya [2023].

Os insumos considerados no primeiro estágio são o custo médio por aluno (por modalidade e escola) fornecido pela SEDU-ES. Também utilizamos o número de professores, obtido junto ao Censo Escolar. Além disso, utilizamos um índice de infraestrutura proposto por [Delgado e Machado, 2007] e um índice de multimídia a partir das informações disponíveis no Censo Escolar. O índice de infraestrutura verifica se a escola possui banheiro, energia da rede pública, água da rede pública, esgoto da rede pública e serviço de coleta de lixo. Este índice pode ser entendido como a soma de variáveis dummy. Se a escola possui todas as características, o índice assume valor máximo e igual a 5; se possui apenas quatro desses itens, o valor do índice é igual a 4 e, assim, sucessivamente. De forma similar, construímos o índice multimídia. Este mensura se a escola possui

[1] https://www.gov.br/inep/pt-br/assuntos/noticias/censo-escolar/mec-e-inep-divulgam-resultados-do-censo-escolar-2023

[2] https://sedu.es.gov.br/paebes

biblioteca, sala de leitura, laboratório de informática e equipamento multimídia. O valor máximo para esse índice é igual a 4.

Os produtos analisados consistiram nas proficiências médias de português, matemática, biologia, química e física, extraídas do Paebes 2023, e no número de matrículas, proveniente do Censo Escolar.

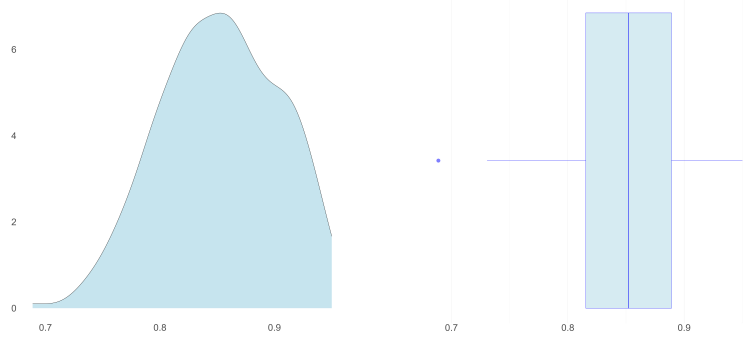
No segundo estágio o objetivo foi encontrar os fatores correlacionados com as ineficiências estimadas. Dessa forma, regredimos as ineficiências contra diversas variáveis extraídas do questionário Paebes 2023. As perguntas desses questionários foram respondidas pelos estudantes que realizam as provas de proficiência. Dessa forma, selecionamos perguntas relativas à trajetória escolar do aluno, realização de atividades escolares, busca de material por conta própria, segurança no contexto escolar, apoio dos pais ou responsáveis, gestão pedagógica e expectativa sobre a aprendizagem. Todas as respostas individuais foram agregadas a nível da escola, unidade de análise dessa pesquisa.

3. Resultados

Os resultados a seguir dizem respeito à análise de 267 escolas estaduais do Espírito Santo para o ano de 2023 na modalidade Ensino Médio. Escolas que possuem as modalidades educação no campo, educação indígena, educação quilombola e subsequente foram excluídas da análise para garantir comparabilidade pedagógica entre as escolas.

3.1. Resultados do Primeiro Estágio

A Figura 1 apresenta o histograma da distribuição da eficiência escolar assim como o *boxplot*. Como pode ser observado, a média é aproximadamente 0,85 e 50% das escolas possuem eficiências entre 0,81 e 0,89. A eficiência máxima encontrada foi de 0,95, enquanto a eficiência mínima foi de 0,68. Isso representa uma amplitude de 0,27 pontos. Além disso, é possível observar que existem algumas unidades que podem ser classificadas como *outliers* com baixas eficiências.



(a) Densidade (b) Boxplot

Figura 1: Gráficos de densidade e boxplot das eficiências estimadas

3.2. Resultados do Segundo Estágio

Para a análise do segundo estágio, a variável dependente é a ineficiência estimada para cada escola. Como pode ser observado na Tabela 1, diversos fatores relacionados à segurança escolar, valorização da educação e expectativas dos estudantes possuem relação com os resultados das escolas. Nesta tabela, é possível observar dois sinais. O sinal positivo indica que a variável está relacionada positivamente com a ineficiência. Os espaços em branco indicam que não há significância estatística para a correspondente variável. O nível de significância considerado foi de 5%. É importante destacar que as variáveis utilizadas em uma análise nem sempre representam uma relação causal direta. Muitas vezes, elas podem refletir outros fatores ou efeitos não medidos

diretamente. Por exemplo, a proporção de pessoas pretas pode, frequentemente, refletir condições socioeconômicas e estruturais, em vez de ser uma causa direta de um determinado resultado.

Tabela 1: Variáveis construídas a partir do questionário Paebes 2023

Perguntas adaptadas – Ensino Médio	
• Prop. de preto(as)	+
• Prop. de responsáveis que completaram o Ens. Médio ou a Facul.	
• Prop. de alunos que moram com alguém que recebe o Bol. Família?	
• Prop. de alunos que possuem muitos livros em casa? ($>$ 11 livros)	-
• Prop. de alunos que nunca foram reprovado(a)s/retido(a)s?	
• Prop. de alunos que nunca abandonaram/deixaram de frequentar a escola durante o período de aulas e ficou fora da escola o resto do ano?	
Prop. de alunos que NUNCA, QUASE NUNCA ou DE VEZ EM QUANDO...	
• realizaram os exercícios propostos em sala de aula.	+
• presenciaram brigas na escola.	-
• são incentivados pelos pais você a estudar.	
• os pais ou responsáveis vão as reuniões na escola.	
Prop. de alunos que NÃO CONCORDAM ou CONCORDAM POUCO com as afirmações abaixo:	
• Na minha escola, os estudantes e professores têm uma boa relação.	
• A minha escola oferece aulas de reforço/recuperação, além das oferecidas durante o horário escolar regular.	
• Eu acredito que aprendi o necessário para ingressar em uma faculdade.	
• Eu vou conseguir um bom emprego ou um melhor do que o atual, a partir da conclusão dos estudos.	
• Eu tenho interesse em realizar as provas do ENEM.	+

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Conclusões

Este trabalho estimou as eficiências para um conjunto de escolas estaduais de nível médio do Espírito Santo para o ano de 2023. Os insumos e produtos utilizados foram capazes de diferenciar as escolas, com as eficiências variando entre 0,68 e 0,95. Além disso, os resultados também indicam que há espaço para melhoria para um conjunto de escolas. Adicionalmente à estimação, buscamos entender como fatores tais como *background familiar*, segurança escolar e expectativas sobre o futuro estão relacionados com o desempenho das escolas. Os resultados indicam que o fato de o aluno ter uma boa quantidade de livros não didáticos em casa tem relação positiva com as eficiências. Por outro lado, escolas cujos alunos presenciam brigas frequentemente estão associadas a piores eficiências. Por fim, também destacam-se as associações negativas entre questões relacionadas às expectativas dos alunos e as eficiências escolares.

Agradecimentos Os autores agradecem à SEDU-ES e à FAPES-ES pelo suporte financeiro.

Referências

Delgado, V. M. e Machado, A. F. (2007). Eficiência das escolas públicas estaduais de Minas Gerais. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, 37.

Eskereski, S., Malbouisson, C., Costa, L. C., e Tiryaki, G. F. (2023). Eficiência e qualidade da educação no ensino fundamental municipal público de Salvador-BA. *Revista Econômica do Nordeste*, 54.

Oliveira, G. R., Lima, A. F., Júnior, S. B., e Rosa, T. M. (2017). Avaliação de eficiência das escolas públicas de ensino médio de Goiás: Uma análise de dois estágios. *Economia Aplicada*, 21.

Simar, L. e Wilson, P. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of productive efficiency. *Journal of Econometrics*, 136.

Simm, J. e Besstremyannaya, G. *rDEA: Robust Data Envelopment Analysis (DEA) for R*, 2023. URL `https://CRAN.R-project.org/package=rDEA`. R package version 1.2-8.