



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

EFICIÊNCIA E ESTABILIDADE TEMPORAL DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: UMA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) EM JANELAS TEMPORAIS

*Diogo Nobre de Melo¹ ; Emmanuel Silva Batista² ; Igor Roberto de Melo Alves¹ ;
Saulo de Tarso Marques Bezerra³*

Palavras-chave: Gestão de Recursos Hídricos; Eficiência Técnica; Saneamento.

INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos recursos hídricos é um tema de crescente relevância, especialmente diante das limitações ambientais e da necessidade de otimização dos recursos disponíveis. Nesse contexto, torna-se fundamental a avaliação da eficiência dos processos existentes, de modo a verificar se os insumos estão sendo utilizados de forma adequada, buscando maximizar os resultados com o mínimo de recursos possível.

A Análise Envoltória de Dados (DEA) em análises de eficiência tem sido amplamente documentada em estudos acadêmicos, especialmente em dissertações que investigam o desempenho de serviços públicos e de saneamento básico (Ferreira, 2024; BATISTA, 2025), por se tratar de um método não paramétrico que avalia a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão a partir de múltiplas entradas e saídas. O modelo identifica as unidades eficientes, que compõem a fronteira de eficiência e recebem escore igual a 1, enquanto as unidades ineficientes apresentam escores entre zero e um, indicando seu desempenho em relação às melhores práticas observadas.

METODOLOGIA

Este estudo utiliza a metodologia de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) para avaliar a eficiência técnica relativa dos municípios ao longo do tempo. O DEA é um método não paramétrico baseado em programação linear, amplamente empregado para mensurar eficiência quando múltiplos produtos (*Outputs*) são gerados a partir de recursos produtivos (*Inputs*) e DMU (*Decision Making Unit*) é definida como a unidade tomadora de decisão cuja eficiência será avaliada.

¹) Bolsista de Iniciação Científica. Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 - Nova, PE, 55014-900. Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste;

²) Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 - Nova, PE, 55014-900. Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste;

³) Professor adjunto. Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 - Nova, PE, 55014-900. Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste; s.bezerra@yahoo.com.br

Para este estudo comparativo de metodologias, foram coletados dados da Série Histórica do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) na seção de Água e Esgoto, em uma série histórica de 5 anos (2018 – 2022), com todos os prestadores que não apresentaram falha nos dados dessa série temporal do Estado de Pernambuco, sendo eles Água Preta, Catende, Gameleira, Palmares, Recife e Xexéu. Os dados a serem avaliados são considerando os seguintes indicadores: AG001 - População total atendida com abastecimento de água, AG002 - Quantidade de ligações ativas de água e FN015 - Despesas de Exploração (DEX), sendo $FN015 = FN010 + FN011 + FN013 + FN014 + FN020 + FN039 + FN021 + FN027$, onde são dois indicadores de água, que evidenciam a população atendida e a quantidade de ligação ativas e um indicador financeiro de despesas de exploração, onde os indicadores de água serão utilizado na DEA como os Outputs e o financeiro como Inputs, a escolha dos indicadores foi conduzida com base em metodologia análoga à apresentada por Ferreira (2024) em sua dissertação de mestrado.

Através do software PyCharm, desenvolveu-se um programa para a execução do modelo de envoltória adotado que foi o modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper), que considera retornos variáveis de escala (VRS), permitindo separar a eficiência técnica pura dos efeitos de escala. A orientação do modelo é a insumo (*input-oriented*), buscando identificar o potencial de redução proporcional do insumo, mantendo constantes os níveis de produto. A formulação matemática do modelo DEA BBC orientado a insumo segue na Equação 1:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq \theta x_{i0}, \forall i \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq \theta y_{r0}, \forall r \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \quad \lambda_j \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Onde:

θ representa o escore de eficiência técnica;

x_{ij} e y_{rj} são, respectivamente, os insumos e produtos da DMU;

λ_j são os pesos associados às DMUs de referência.

Para incorporar a dimensão temporal e avaliar a estabilidade da eficiência ao longo do tempo, foi empregada a técnica de Window Analysis, com janelas móveis de três anos. Nesse procedimento, cada município em cada ano é tratado como uma unidade distinta de decisão (DMU), permitindo comparações intertemporais e suavizando variações conjunturais. Os dados passaram por um rigoroso processo de limpeza, incluindo: padronização de textos (municípios); extração de valores numéricos e anos a partir de campos textuais; exclusão apenas de observações sem insumo positivo ou sem produção observável. Os parâmetros estatísticos considerados na análise (Desvio Padrão, Coeficiente de Variação e Índice de Instabilidade) foram calculados através do Microsoft Excel após a obtenção dos escores de eficiência da Análise Envoltória de Dados.

RESULTADOS

Os resultados indicam que o município de Recife apresentou eficiência técnica igual a 1 em todas as janelas analisadas, configurando-se como unidade de referência (*Benchmark*) ao longo de todo o período. De forma semelhante, Xexéu apresentou desempenho consistentemente elevado, com eficiência média próxima à fronteira eficiente e elevada estabilidade operacional, como observa-se na tabela 1.

Tabela 1 – Tabela Resumo da Eficiências por Município.

Município	Eficiência Média	Eficiência Mínima	Eficiência Máxima
Água Preta	0,78	0,59	0,93
Catende	0,94	0,83	1,00
Gameleira	0,74	0,50	0,86
Palmares	0,90	0,77	0,98
Recife	1,00	0,98	1,00
Xexéu	0,98	0,90	1,00

Os Autores (2025).

Além da eficiência média, avaliou-se a estabilidade temporal do desempenho por meio do coeficiente de variação das eficiências obtidas nas janelas temporais. Municípios com baixo coeficiente de variação apresentaram desempenho consistente ao longo do período analisado, enquanto valores elevados indicaram maior instabilidade operacional, como observa-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela com Análises estatísticas por Município.

Município	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	IE (Classificação)
Água Preta	0,17	0,21	Instável
Catende	0,07	0,07	Estável
Gameleira	0,14	0,19	Moderadamente Instável
Palmares	0,07	0,08	Estável
Recife	0,00	0,00	Muito Estável
Xexéu	0,05	0,05	Muito Estável

Os Autores (2025).

Os municípios de Catende e Palmares apresentaram níveis satisfatórios de eficiência média e comportamento estável ao longo do tempo, embora não tenham atingido eficiência plena de forma contínua. Em contrapartida, Água Preta e Gameleira registraram os menores níveis médios de eficiência e maior instabilidade temporal, indicando limitações na conversão de insumos em resultados. A análise da variabilidade das eficiências mostrou que municípios com maior proximidade da fronteira eficiente

tendem a apresentar desempenho mais estável, reforçando a importância não apenas de níveis elevados de eficiência técnica, mas também de sua sustentabilidade ao longo do tempo na gestão dos serviços de saneamento básico.

CONCLUSÕES

A aplicação da análise DEA em janelas temporais mostrou-se adequada para avaliar a evolução da eficiência dos serviços de abastecimento de água, permitindo identificar municípios com desempenho consistente e aqueles com maior instabilidade operacional. Os resultados indicam a existência de benchmarks regionais, bem como oportunidades de melhoria para os municípios com menores escores de eficiência, contribuindo para o aprimoramento da gestão dos serviços de saneamento. Mesmo diante das limitações relacionadas à disponibilidade de dados, os resultados obtidos mostram-se consistentes do ponto de vista analítico. Municípios com maior porte e estrutura consolidada, como Recife mantiveram-se próximos ou sobre a fronteira eficiente ao longo do período, enquanto municípios de menor porte e mais distantes apresentaram níveis persistentemente baixos de eficiência, podendo ser que as ineficiências observadas não decorrem exclusivamente de falhas amostrais, mas refletem desafios estruturais na gestão dos serviços de saneamento e dos recursos hídricos. De forma geral, os resultados reforçam a necessidade de aprimoramento dos sistemas de informação em saneamento, condição essencial para avaliações mais robustas da eficiência e para o suporte à tomada de decisão no âmbito das políticas públicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao desenvolvimento desta pesquisa, por meio da concessão de bolsas de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): série histórica. Brasília, DF, [s.d.]. Disponível em: <<https://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 29 dez. 2025.

FERREIRA, E. S. Análise da eficiência dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos municípios do Estado de Sergipe. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024.

BATISTA, Emmanuel Silva. Ecoeficiência operacional do fornecimento de água potável no Brasil: uma abordagem integrada com análise envoltória de dados e regressão Tobit. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2025.