

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE ABASTECIMENTO A PARTIR DE RECLAMAÇÕES DE FALTA D'ÁGUA

Laudízio da Silva Diniz¹; Emmanuel Nazareno da Costa Lima²; Maria Helena da Silva Fortunato³

Abstract: This paper presents the design and proposed application of the Water Supply Efficiency Index (IEA), developed as a tool to evaluate the impact of operational improvements in the water supply system of the Metropolitan Region of João Pessoa (RMJP), Brazil. The index consists of three normalized variables: reduction of water shortage complaints, the balance between supplied volume and estimated demand, and the decrease in the number of critical sectors with recurrent failures. Its application is planned to occur before and after the implementation of the second Gramame Treated Water Transmission Main, a major infrastructure project originally proposed in 1986 and currently included in the Paraíba State Water Security Plan (PSH2-PB). The IEA is intended to support decision-making and ongoing management by enabling objective monitoring of system performance and prioritization of future actions.

Resumo: Este artigo apresenta a concepção e a proposta de aplicação do Índice de Eficiência de Abastecimento (IEA), desenvolvido como ferramenta de avaliação do impacto de melhorias operacionais no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de João Pessoa (RMJP), PB. O indicador é composto por três variáveis normalizadas: redução nas reclamações por falta d'água, adequação entre volume ofertado e demanda estimada, e diminuição do número de setores críticos com falhas recorrentes. Sua aplicação está prevista para ocorrer antes e após a implantação da segunda Adutora de Água Tratada do Sistema Gramame, obra estruturante prevista desde 1986 e atualmente incorporada ao Plano de Segurança Hídrica do Estado da Paraíba (PSH2-PB). O IEA foi concebido para apoiar a tomada de decisão e a gestão contínua do sistema, permitindo o acompanhamento do desempenho e a priorização de ações futuras com base em dados objetivos.

Palavras-Chave – Eficiência de abastecimento; Indicadores operacionais; Reclamações.

INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de João Pessoa (RMJP) tem enfrentado crescentes desafios no abastecimento de água, especialmente em sua porção sul, onde a urbanização acelerada e a pressão sobre os sistemas existentes resultaram em áreas com intermitência significativa no fornecimento. A segunda Adutora de Água Tratada do Sistema Gramame, prevista desde 1986 no projeto do Sistema Integrado de Abastecimento da Grande João Pessoa elaborado pelo engenheiro Antônio Figueiredo Lima, foi concebida como solução estruturante para reforçar esse abastecimento. Embora prevista para implantação até 2015, somente mais recentemente a sua execução foi incorporada ao Plano de Segurança Hídrica do Estado da Paraíba (PSH2-PB), com recursos próprios como contrapartida à

1) Engenheiro Civil e Gerente da UIP/DNA da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, Av. Feliciano Cirne, 220, Jaguaribe, João Pessoa-PB, CEP: 58.015-570, fone: (83)3218-1385, laudizio.diniz@cagepa.pb.gov.br

2) Engenheiro Civil da UIP/DNA da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, mestrandando em Saneamento Ambiental-PPGCAM/UFPB, Av. Feliciano Cirne, 220, Jaguaribe, João Pessoa-PB, CEP: 58.015-570, fone: (83)3218-1385, emmanuelncl@cagepa.pb.gov.br

3) Engenheira Civil da MHF Engenharia Ltda, [contato.mheng@gmail.com](mailto: contato.mheng@gmail.com), fone: (83)99666-9762

operações financiadas pelo Banco Mundial. A inserção da obra no PSH2-PB atende às diretrizes de segurança hídrica já discutidas em estudos setoriais anteriores (SUDENE, 1999).

Dada à ausência de detalhamento técnico e dimensionamento hidráulico na concepção original da adutora, sua execução exigiu o desenvolvimento de um novo projeto básico (Figura 1), considerando princípios consolidados de hidráulica aplicada (Porto, 1998), que contemplasse as necessidades atuais e futuras da região, considerando a evolução populacional, o aumento da demanda hídrica e as limitações operacionais já existentes. Neste contexto, buscou-se também uma metodologia de avaliação dos efeitos da nova infraestrutura sobre a qualidade do serviço percebido pela população e sobre à eficiência operacional do sistema como um todo.

Foi nesse cenário que se concebeu o Índice de Eficiência de Abastecimento (IEA), um indicador composto que considera três dimensões principais: a redução das reclamações por falta d'água, a relação entre a oferta efetiva e a demanda estimada, e a diminuição do número de setores críticos com recorrência de falhas no abastecimento. O IEA foi concebido para ser aplicado em dois momentos distintos — antes e após a implantação da adutora — com o objetivo de medir de forma sintética e comparável os ganhos trazidos pela obra. Este artigo apresenta a fundamentação conceitual, a metodologia de construção e cálculo do IEA, e os resultados esperados a partir de sua aplicação na RMJP.

PROPOSTA DE CRIAÇÃO DE UM NOVO INDICADOR

A imagem da Figura 2 a seguir mostra um mapa de calor das reclamações por falta de água na região metropolitana de João Pessoa (PB). Nota-se que a zona sul da região concentra o maior número de queixas, principalmente devido ao volume insuficiente de água entregue nos reservatórios locais para atender às demandas.

Quando a vazão ofertada diminui os níveis dos reservatórios caem e o sistema de abastecimento se ajusta automaticamente, causando falta de água especialmente nos pontos mais altos, mais afastados e com menor capacidade de distribuição.

Para resolver essa questão, a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba está projetando uma linha adutora que atenderá a zona sul, partindo diretamente do R-0 da ETA, com o objetivo de eliminar as reclamações nessa área e, ao melhorar o abastecimento na região mais crítica, promover uma melhoria em todo o sistema.

Para monitorar o impacto dessa intervenção, desenvolveu-se o indicador objeto do presente trabalho que permite acompanhar a evolução dos benefícios dessa obra.

Passos para definição de um indicador de sistema

A definição de um indicador de desempenho em qualquer sistema segue etapas fundamentais que garantem sua validade e utilidade, conforme resumido na Figura 3. Inicialmente, é preciso estabelecer com clareza o objetivo do indicador, alinhado às metas do sistema. Em seguida, define-se a métrica mais adequada, que pode ser expressa como valor absoluto, porcentagem (quando se quer indicar proporção ou variação relativa), ou ainda de forma adimensional (em comparações de grandezas similares). A fórmula do indicador deve ser formalizada em equação, explicitando variáveis, unidades e parâmetros envolvidos. Também é necessário fixar o período de apuração (diário, mensal, anual etc.), conforme a dinâmica do processo, e garantir a disponibilidade e confiabilidade das fontes de dados. Após construído, o indicador deve ser testado e validado para assegurar que reflete com precisão o desempenho pretendido, sendo periodicamente revisado para

manter sua aderência ao contexto. Essas diretrizes são discutidas por autores como Parmenter (2010), Kaplan & Norton (1996) e Neely et al. (2005).

Figura 1 – Caminhamento da 2^a linha adutora de Gramame

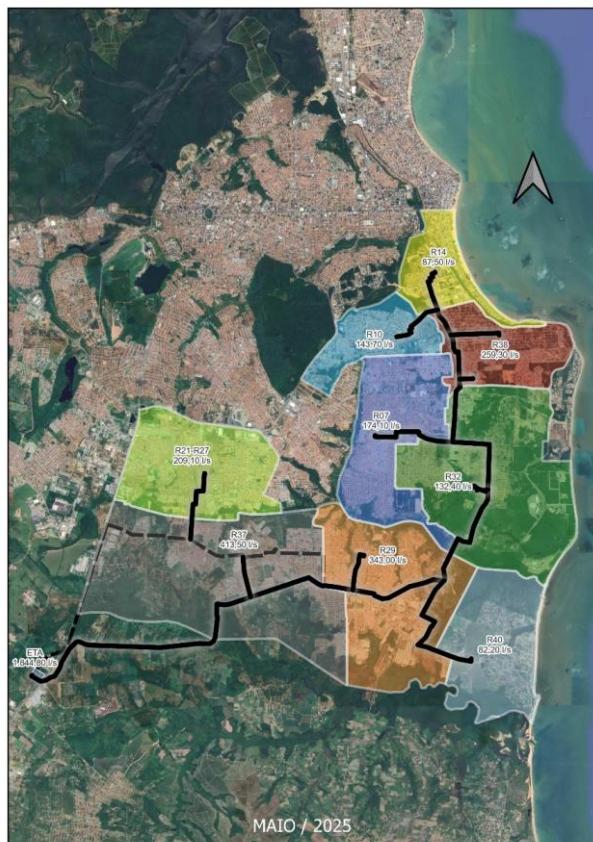


Figura 2 – Mapa de calor de registros de atendimentos de falta de água: RMJP ano 2023

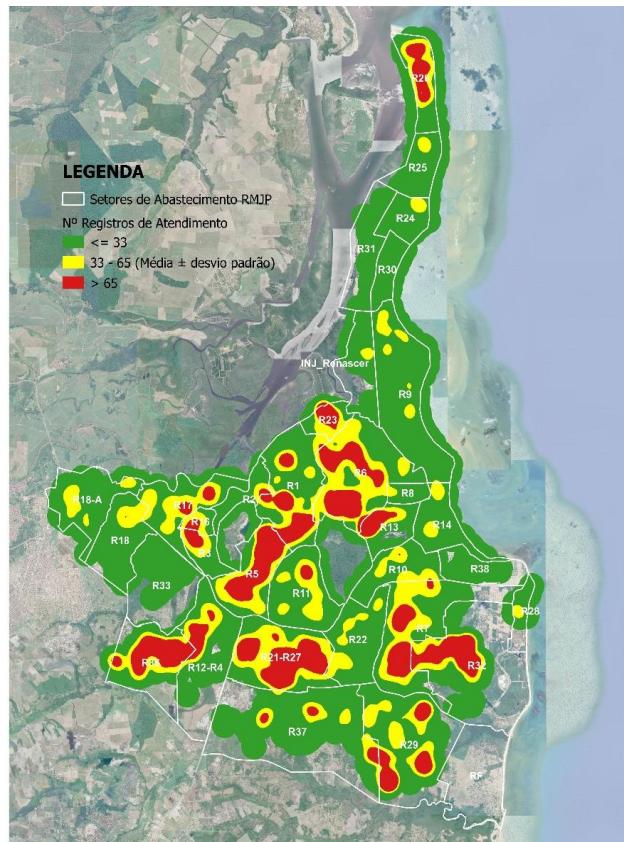
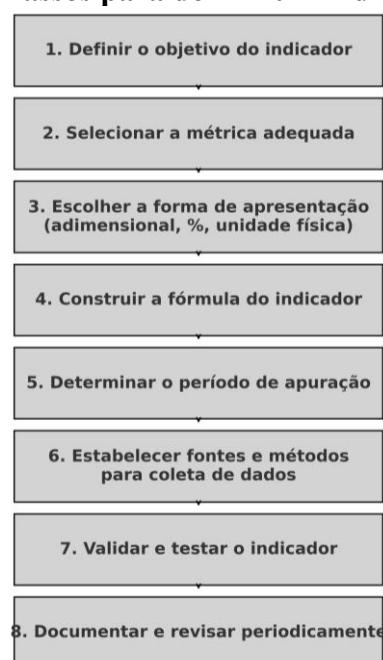


Figura 3 – Passos para definir um indicador



Índice de Eficiência de Abastecimento (IEA)

Este índice avaliará a eficiência do sistema de abastecimento na região atendida pela nova linha adutora e permitirá o acompanhamento da redução das reclamações por falta de água ao longo do tempo.

A adoção de indicadores compostos tem sido destacada na literatura como ferramenta eficaz para refletir múltiplas dimensões operacionais de forma integrada (Silva et al., 2020).

Para definir as variáveis que comporiam a fórmula do IEA procurou-se incluir aquelas que representam as informações mais importantes:

- a) Número de reclamações por falta de água
- b) Volume de água distribuído
- c) Demanda estimada
- d) Número de setores afetados
- e) Capacidade total do sistema

Após a definição das variáveis que comporiam o IEA, buscou-se integrar, em uma métrica única, os principais aspectos operacionais e de percepção do serviço de abastecimento na região impactada pela nova linha adutora. A variável $R(t)$ corresponde ao número total de reclamações por falta de água registradas no sistema de atendimento da companhia durante um determinado trimestre, enquanto R_0 representa esse mesmo número no período anterior à implementação da nova infraestrutura, servindo como referência inicial para comparação. Já $A(t)$ foi estimado a partir dos dados operacionais de macro e micromedidação, considerando o volume efetivamente distribuído nas zonas críticas (sobretudo na zona sul, conforme identificado no mapa de calor). A demanda $D(t)$ foi obtida por meio da projeção de consumo com base na população atendida e percapitas das cidades. O número de setores afetados originalmente, N , foi extraído do mapeamento das áreas mais críticas no início da análise, marcadas em vermelho nos registros georreferenciados das reclamações. Após a implantação da adutora, passa-se a monitorar $N(t)$, que representa a quantidade de setores que ainda apresentavam recorrência de falhas no abastecimento. Sendo assim, as variáveis puderam ser resumidas como se segue:

- $R(t)$: Número de reclamações por falta de água em um dado período t (medido por trimestre).
- R_0 : Número de reclamações por falta de água antes da implementação da linha adutora (período inicial de referência).
- $A(t)$: Volume de água distribuído nas zonas críticas (principalmente a zona sul, conforme o mapa) no período t .
- $D(t)$: Demanda estimada de água na zona sul no período t .
- N : Número de setores afetados antes da implantação da adutora (áreas marcadas em vermelho no mapa de calor inicial).
- $N(t)$: Número de setores que ainda apresentam registros de falta de água no período t após a implementação da adutora.

Fórmula do Indicador

Para chegar à fórmula do Índice de Eficiência de Abastecimento (IEA), foram seguidos os seguintes passos metodológicos:

- a) Definição do objetivo do indicador

O IEA foi concebido para mensurar a eficiência operacional e perceptiva do sistema de abastecimento de água, especialmente após a implementação de uma nova infraestrutura (no caso, uma adutora), tendo como foco os setores críticos.

b) Identificação dos principais fatores a serem medidos

Selecionou-se três dimensões consideradas essenciais para refletir a eficiência do sistema:

- Satisfação do usuário (via reclamações por falta de água)
- Equilíbrio operacional (relação entre oferta e demanda)
- Abrangência do impacto (número de setores críticos)

c) Escolha das variáveis representativas

Com base nas dimensões acima, foram definidas as seguintes variáveis:

- $R(t)$ e R_0 : Para representar a redução relativa nas reclamações.
- $A(t)$ e $D(t)$: Para capturar a adequação entre o volume fornecido e a demanda estimada.
- $N(t)$ e N : Para medir a redução proporcional no número de setores críticos.

d) Estruturação da fórmula

Cada termo foi normalizado para variar entre 0 e 1:

- $(1-R(t)/R_0)$: mede a melhoria percebida pelos usuários.
- $(A(t)/D(t))$: mede a capacidade do sistema em atender à demanda.
- $(1-N(t)/N)$: mede a redução da área crítica afetada.

Esses termos foram multiplicados entre si, pois a ideia é que a eficiência só seja alta quando todos os fatores estiverem em patamares satisfatórios — ou seja, o sistema tem que ser equilibrado nos três aspectos, resultando na seguinte equação:

$$IEA(t) = \left(1 - \frac{R(t)}{R_0}\right) \times \left(\frac{A(t)}{D(t)}\right) \times \left(1 - \frac{N(t)}{N}\right)$$

Onde:

- O primeiro termo, $(1-R(t)/R_0)$, representa a proporção de redução nas reclamações de falta de água em comparação com o período inicial.
- O segundo termo, $A(t)/D(t)$, mede a adequação entre o volume de água distribuído e a demanda estimada para a zona sul.
- O terceiro termo, $(1-N(t)/N)$, representa a redução no número de setores de abastecimento críticos que apresentam problemas de abastecimento.

Interpretação do IEA

O índice IEA(t) varia entre 0 e 1, onde:

- **0** indica que o sistema não melhorou após a implementação da adutora.
- **1** indica que o sistema está operando com eficiência máxima, sem reclamações e com fornecimento adequado para todos os setores.

Prazos de Medição e Avaliação

- Frequência de Medição: planeja-se calcular o IEA mensalmente nos primeiros 12 meses após a implementação da adutora, para um acompanhamento contínuo e ajustes se necessários. Após esse período, pode-se reduzir a frequência para trimestral.
- Período de Referência Inicial: Deve-se estabelecer um período de referência de 12 meses antes da implementação da adutora para obter valores iniciais das variáveis R_0 e N .

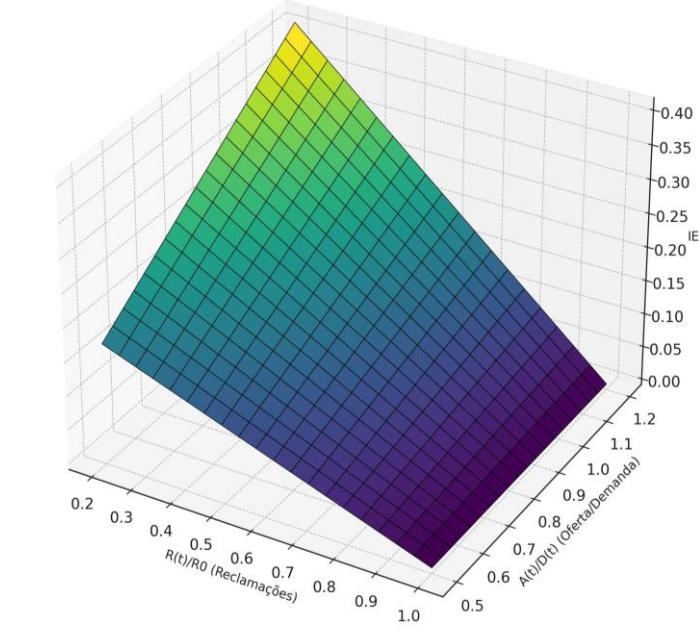
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de Sensibilidade para o IEA

Considerando que a nova adutora ainda não foi implantada, a aplicação empírica do Índice de Eficiência de Abastecimento (IEA) com dados observados pós-intervenção permanece inviável. Para avaliar a coerência e a sensibilidade do indicador mesmo antes da sua aplicação prática, adotou-se a construção de cenários simulados com base em faixas realistas para os componentes do IEA. Foram utilizadas variações nas razões $R(t)/R_0$ (proporção de reclamações no tempo “t” em relação ao período de referência), $A(t)/D(t)$ (relação entre volume ofertado e demanda estimada), e $N(t)/N$ (proporção de setores críticos após a intervenção), conforme dados históricos e projeções operacionais da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA. A montagem de uma matriz de cenários possibilitou observar o comportamento do IEA frente a diferentes combinações de desempenho do sistema, além de identificar os parâmetros com maior influência sobre o índice.

A Figura 4 apresenta um gráfico tridimensional representando a análise de sensibilidade do IEA para o cenário com $N(t)/N \approx 0,55$, evidenciando a interação entre as variáveis $R(t)/R_0$ e $A(t)/D(t)$. Nota-se que o valor do índice cresce de forma expressiva com a redução nas reclamações e o aumento da adequação entre oferta e demanda, confirmando que o IEA é particularmente sensível a melhorias simultâneas nas três dimensões. A superfície obtida revela uma estrutura multiplicativa coerente com a proposta metodológica do índice, indicando que melhorias isoladas podem não resultar em ganhos expressivos se os demais componentes permanecerem críticos. Esta abordagem permite validar o modelo proposto, antecipar comportamentos esperados após a obra e fundamentar tecnicamente sua futura aplicação como ferramenta de apoio à gestão.

Figura 4 – Análise de Sensibilidade do IEA (com $N(t)/N = 0,55$)



CONCLUSÃO

O Índice de Eficiência de Abastecimento (IEA) se apresenta como uma ferramenta inovadora e estratégica para avaliação integrada do desempenho de sistemas de abastecimento de água, especialmente em contextos urbanos marcados por intermitência e pressão sobre a infraestrutura existente. Sua concepção, ancorada em três dimensões complementares — percepção do usuário, equilíbrio operacional e abrangência territorial das falhas — permite uma análise sistêmica dos efeitos de intervenções estruturais, como a implantação da nova linha adutora do Sistema Gramame.

Mesmo antes de sua aplicação prática, a análise de sensibilidade realizada com base em cenários simulados demonstrou a robustez metodológica do indicador e sua capacidade de captar variações significativas no desempenho do sistema. Ao combinar simplicidade operacional com rigor analítico, o IEA desponta como um instrumento capaz de orientar decisões técnicas e gerenciais, apoiar o planejamento de investimentos e promover maior transparência na avaliação dos serviços prestados. Sua implementação poderá representar um avanço na cultura de monitoramento e melhoria contínua no setor de saneamento, com potencial de replicabilidade em outras regiões brasileiras com desafios semelhantes.

REFERÊNCIAS

- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Harvard Business School Press.
- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (2005). *Performance measurement system design: A literature review and research agenda*. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(12), 1228–1263.
- Parmenter, D. (2010). *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*. Wiley.
- Porto, R.M. (1998). *Hidráulica Básica*. EESC/USP São Carlos-SP, 540 p.
- Silva, A. F.; Souza, R. T.; Lima, V. P. (2020). "Avaliação de desempenho operacional com base em indicadores compostos." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, n. 3.
- SUDENE (1999). *Relatório de Segurança Hídrica do Nordeste*. Recife-PE.