Eficiência Energética e Controle de Perdas Reais: Os Impactos da Setorização e Desativação de Conjuntos motobomba.

Jean Carlo Carminatti Holleweger
Engenheiro Ambiental e Sanitarista graduado pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), com atuação em monitoria de Geologia, Pedologia e Hidrologia, e iniciação científica em laboratório de hidrologia. Pós-graduado em Direito Ambiental pela UNINTER. Técnico em Sistemas de Saneamento na Companhia Águas de Joinville.

Endereço: Rua Joaquim Girardi, 779, Apartamento 101 - Vila Nova – Joinville - Santa Catarina – CEP 89237-110 – Brasil - +55 (47) 984203419/+55 (47) 999841952 – jean.holleweger@aguasdejoinville.com.br

RESUMO

Este trabalho analisa a eficiência hidroenergética obtida por meio da setorização em um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e da desativação estratégica de estações elevatórias (*boosters*). Historicamente, a zona sul de Joinville, integrada ao sistema Cubatão Sul, carecia de controle de pressão adequado, resultando em elevados índices de perdas reais por vazamentos invisíveis e intermitência no abastecimento. Para mitigar esse cenário, implementou-se um plano de setorização estruturada na região. A conjugação das cotas topográficas favoráveis com as pressões de montante passou a assegurar carga piezométrica suficiente para o atendimento pleno das zonas altas. Nesse contexto, desenvolveu-se um estudo de caso focado na desativação do *booster* Nacar, vinculado ao reservatório R-04. A análise de dados demonstrou a viabilidade operacional da supressão do conjunto motobomba e um expressivo potencial de redução no consumo de energia elétrica. Os resultados evidenciam que a otimização de infraestruturas hidráulicas gera benefícios multidimensionais, promovendo a sustentabilidade operacional da companhia de saneamento local, a preservação ambiental e a melhoria direta na qualidade de vida da sociedade.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética. Setorização. Sistemas de Abastecimento de Água.

ABSTRACT

This study analyzes the hydro-energetic efficiency achieved through sectorization in a Water Supply System (WSS) and the strategic decommissioning of pumping stations (*boosters*). Historically, the southern zone of Joinville, integrated into the Cubatão Sul system, lacked adequate pressure control, resulting in high levels of real water losses from invisible leaks and intermittent supply. To mitigate this scenario, a structured sectorization plan was implemented in the region. The combination of favorable topographic elevations with upstream pressures began to ensure sufficient piezometric head for full service to the high-pressure zones. In this context, a case study was developed focusing on the decommissioning of the Nacar *booster*, linked to the R-04 reservoir. Data analysis demonstrated the operational feasibility of removing the motor-pump set and a significant potential for reduction in electricity consumption. The results show that the optimization of hydraulic infrastructures generates multidimensional benefits, promoting the operational sustainability of the local sanitation company, environmental preservation, and a direct improvement in society's quality of life.

KEYWORDS: Energy Efficiency. Sectorization. Water Supply Systems.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por serviços de saneamento básico, associada à urgência global pela utilização racional dos recursos naturais, tem impulsionado a busca por soluções operacionais disruptivas e de alta eficiência nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA).

No cenário das companhias de distribuição, a energia elétrica consumida no bombeamento e no transporte de fluidos representa um dos maiores gargalos financeiros. Esse panorama macroeconômico impacta diretamente a sustentabilidade das operadoras, visto que as despesas com eletricidade chegam a atingir a expressiva marca de 90% dos custos operacionais de produção, quando desconsiderados os gastos com pessoal (Mendes, 2017). Diante disso, a intersecção entre o combate ao desperdício de água e a eficiência energética consolida-se como um pilar estratégico indispensável para o setor.

Nesse contexto de otimização, o município de Joinville tornou-se um referencial prático ao colher resultados altamente expressivos decorrentes do Contrato nº 77/23, firmado com uma empresa especializada em engenharia de saneamento. A referida contratação teve como escopo principal a redução drástica de perdas reais — compreendidas tanto por vazamentos visíveis quanto invisíveis — no SAA local. O sucesso absoluto no cumprimento das metas contratuais estabelecidas mitigou as pressões excessivas na rede e, consequentemente, viabilizou a desativação estratégica de conjuntos motobombas no Sistema de Reservação R-04, unidade responsável pelo atendimento de parte da robusta Zona Sul do município. Dentre os ativos que se encontram desligados sem prejuízo ao abastecimento, este trabalho confere centralidade à estação elevatória de pressão denominada *booster* Nacar.

Sob esse prisma, o presente estudo elucida a trajetória de inovação no controle de perdas da Companhia Águas de Joinville, que culminou recentemente em marcos históricos de eficiência operacional. Adicionalmente, a pesquisa quantifica e demonstra o expressivo alívio financeiro e energético obtido a partir da desativação de apenas um conjunto motobomba. Desta forma, o trabalho não apenas documenta um estudo de caso bem-sucedido, mas também fornece um modelo metodológico replicável de viabilidade técnica e sustentabilidade hidroenergética para outras concessionárias de saneamento no país.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar o comportamento operacional e hidroenergético do *booster* Nacar ao longo de um horizonte temporal de aproximadamente 4 anos, correlacionando a dinâmica de seus parâmetros de pressão de montante e frequência com o avanço progressivo da setorização nas regiões do sistema de reservação R-04, em Joinville/SC. Adicionalmente, visa-se quantificar a eficiência e a economia de energia elétrica remanescentes dessas adequações operacionais, além do impacto na emissão de gás carbônico (CO2) na atmosfera.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o alcance do objetivo principal, delinearam-se as seguintes metas específicas:

- Mapear a evolução dos parâmetros de pressão e frequência do *booster* Nacar em paralelo com o incremento percentual das áreas setorizadas no município;
- Demonstrar a viabilidade técnica de supressão e desativação definitiva do conjunto motobomba a partir da estabilização e do alívio de carga na rede de distribuição;
- Mensurar o impacto financeiro e o volume de energia elétrica poupado após as intervenções, convertendo a eficiência hidráulica em indicadores econômicos tangíveis;
- Evidenciar os desdobramentos socioambientais da operação, correlacionando a redução de perdas reais com a mitigação do impacto ambiental relacionado à emissão de CO2.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso descritivo e quantitativo, com foco na avaliação da eficiência hidroenergética de um sistema de abastecimento de água. O objeto de estudo consiste no acompanhamento operacional do *booster* Nacar ao longo de um período de aproximadamente 4 anos (entre [jan./2023] e [maio/2026]).

3.1 COLETA DE DADOS, VARIÁVEIS OPERACIONAIS E FÓRMULAS UTILIZADAS

Os dados primários utilizados neste estudo de caso foram obtidos diretamente junto à base de dados técnicos e operacionais da Companhia Águas de Joinville, concessionária responsável pelo saneamento do município. O monitoramento e a extração das informações abrangeram um horizonte temporal de cerca de 4 anos, utilizando-se de duas fontes principais da companhia: os indicadores internos de desempenho e o sistema de telemetria em tempo real.

Para garantir a análise multidimensional do impacto da setorização e da desativação do *booster* Nacar, as variáveis foram classificadas e estruturadas em três eixos estratégicos:

- **Eixo Técnico e Operacional (Telemetria):** Monitoramento contínuo da **Pressão de Montante (mca)** e da **Frequência de Operação (Hz)** do *booster*. Estes dados permitiram avaliar o comportamento hidráulico do equipamento e o alívio de carga na rede à medida que os distritos de medição e controle eram consolidados.

- **Eixo Econômico e Eixo Ambiental (Indicadores de Eficiência):** Levantamento do **Consumo de Energia Elétrica (kWh)** e dos **Custos Financeiros operacionais (R$)** vinculados ao conjunto motobomba. A redução do consumo elétrico quantifica diretamente a eficiência energética (ganho econômico) e a consequente redução da pegada de carbono do sistema (ganho ambiental).

- **Equação 1. Eficiência Energética:** $EE = \left(1 - \left(\frac{Consumo\ final}{Consumo\ Inicial}\right)\right) \times 100$

- **Equação 2. Emissão de CO2:** $E_{Co2} = Consumo_{ano} \times FE_{ano}$

- **Equação 3. Redução de CO2:** $R_{co2} = \left(1 - \left(\frac{E_{Co2\ final}}{Eco2\ inicial}\right)\right) \times 100$

- **Equação 4. Economia financeira:** $Econ. = \left(1 - \left(\frac{Custo\ final}{Custo\ inicial}\right)\right) \times 100$

  FE = Fator de Emissão Médio do Sistema Interligado Nacional (kgCO2/kWh), parametrizado conforme os relatórios consolidados do Portal de Fatores de Emissão do MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação). De acordo com os dados do MCTI, o Fator de Emissão médio para 2023 encontrava-se em 0,381 enquanto em 2026 o valor atual é de 0,434.

A seleção das equações analíticas utilizadas nesta modelagem hidroenergética atende estritamente aos critérios de padronização metodológica exigidos pela literatura científica de engenharia e sustentabilidade.

A formulação de consumo acumulado e mensuração de economia energética, financeira e redução na emissão de CO2 baseiam-se no conceito estatístico clássico de Taxa de Variação Relativa, cujo modelo algébrico é padronizado pela literatura de análise de dados econômicos e experimentais (**BUSSAB; MORETTIN, 2017**). De acordo com a teoria algébrica clássica aplicada a séries temporais (**IEZZI et al., 2013**), a taxa de contração ou decréscimo percentual entre uma grandeza histórica inicial e seu valor atual pós-intervenção é deduzida formalmente a partir do fator de redução.

Multiplicando-se o fator resultante por 100 para a obtenção da grandeza em formato percentual, consolida-se a modelagem computacional padrão adotada para mensurar as respectivas reduções de consumo, custo e impacto ambiental, como é o caso das equações **Equação 1, Equação 3Equação 4**.

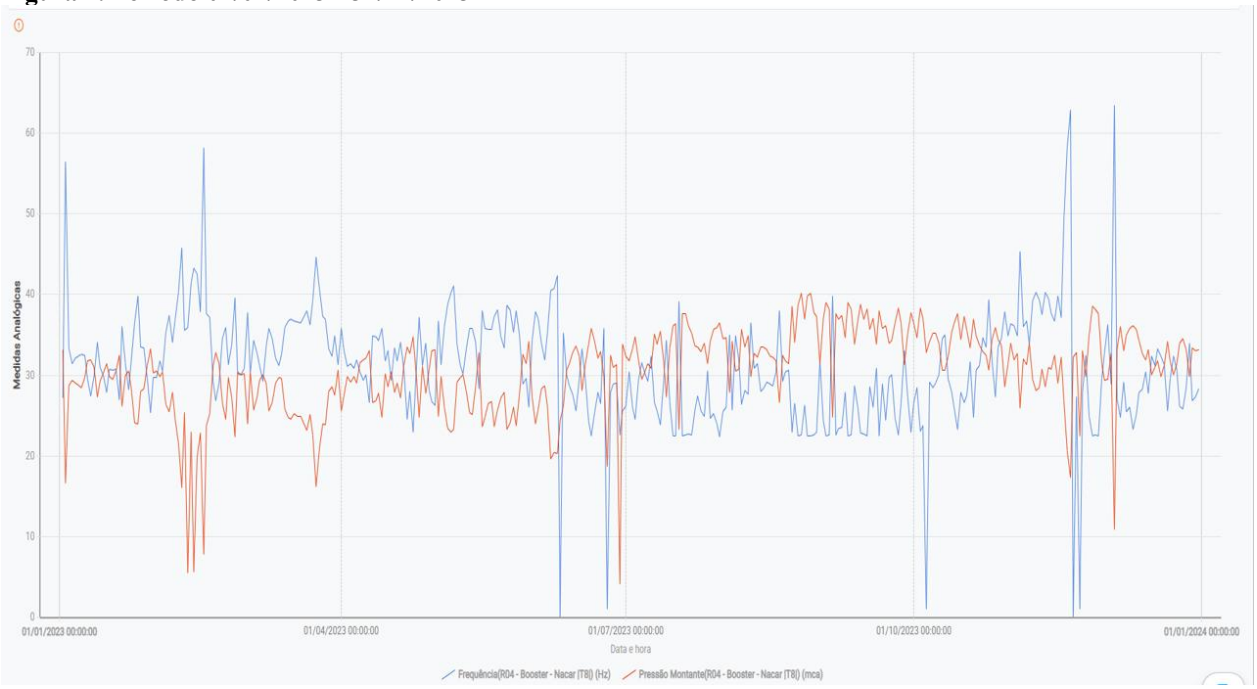
A conversão da energia poupada em passivo de carbono mitigado (**Equação 2**) atende às exigências globais de inventários corporativos de Escopo 2 do *Greenhouse Gas Protocol* (**WRI; WBCSD, 2015**), cujos fatores de emissão (FE) são calculados e homologados pela autoridade nacional do **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)**.

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1 COMPORTAMENTO HIDRÁULICO E AVANÇO DA SETORIZAÇÃO

A análise do comportamento hidráulico do *booster* Nacar ao longo do horizonte temporal de aproximadamente 48 meses evidenciou uma correlação direta entre o avanço físico das obras de setorização (Contrato nº 77/23) e o alívio de carga na estação elevatória. À medida que os Distritos de Medição e Controle (DMC) eram consolidados na Zona Sul de Joinville, o sistema de telemetria da companhia registrou uma expressiva mudança no regime de operação do equipamento. Inicialmente, no cenário pré-setorização, a instabilidade de pressões e a magnitude das perdas reais (vazamentos invisíveis) na rede de distribuição exigiam que o *booster* operasse em alguns momentos próximo de sua capacidade nominal. O inversor de frequência mantinha-se em patamares elevados para garantir a carga piezométrica mínima necessária nas cotas topográficas mais altas da malha do *booster*. A evolução desse comportamento operacional pode ser observada nas figuras abaixo pelo comportamento da pressão de montante (linha vermelha) e da frequência (linha azul).

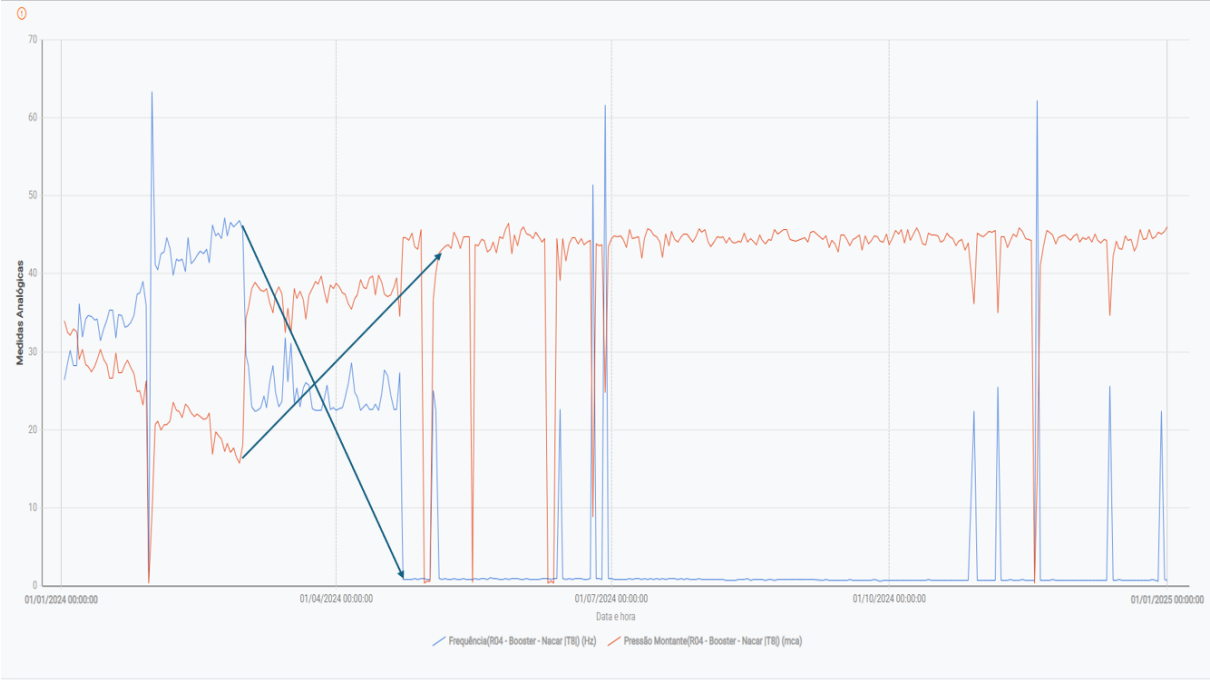
Figura 1. Período 01/01/2023 - 31/12/2023



Fonte: Adaptado de Telemetria CAJ, 2026.

Como demonstra a **Figura 1,** obtida através do sistema de telemetria da Companhia Águas de Joinville, no primeiro período de tempo observa-se uma acentuada instabilidade operacional: a frequência do equipamento (linha azul) operava em patamares elevados, com picos recorrentes de até 60 Hz, atuando como um mecanismo de compensação frente às severas quedas na pressão de montante (linha laranja). Esse cenário decorria de se um processo de setorização ainda em andamento, onde já se via o comportamento da pressão e da frequencia com uma certa estabilidade.

Figura 2. Período 01/01/2024 - 01/01/2025

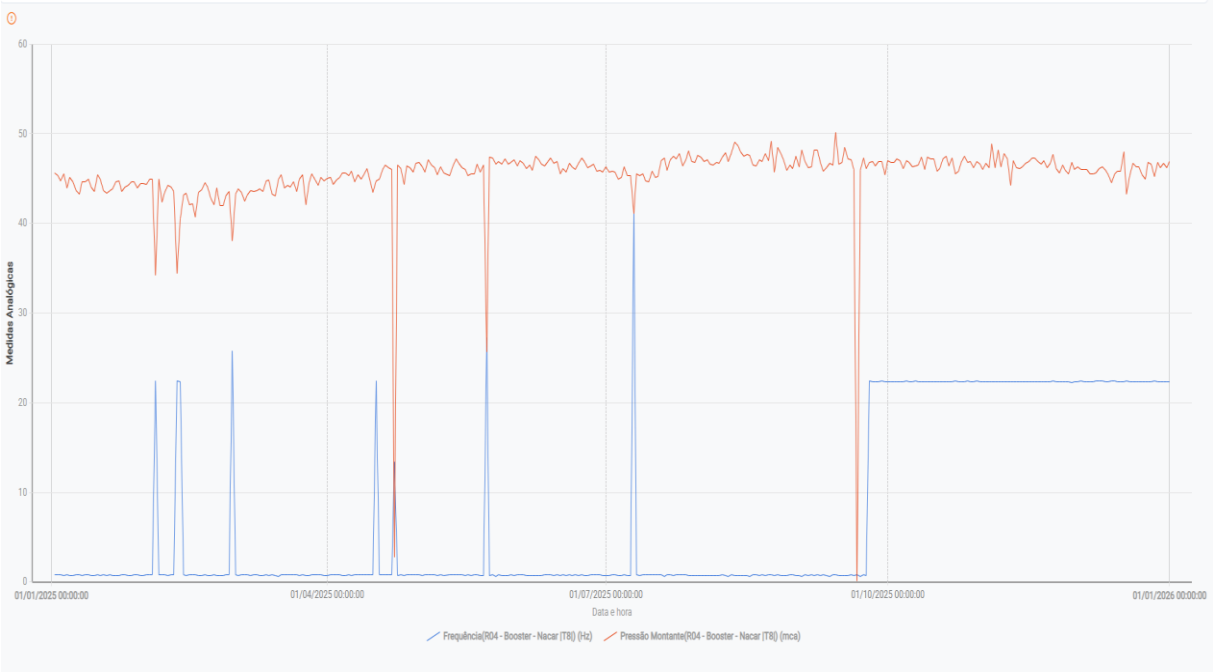


Fonte: Adaptado de Telemetria CAJ, 2026.

Conforme a **Figura 2**, no primeiro trimestre de 2024, o cenário ainda exigia elevada compensação mecânica, com a frequência do *booster* (linha azul) modulando em patamares críticos próximos a 50 Hz para mitigar a depressão na pressão de montante (linha laranja), que atingia marcas inferiores a 20 mca.

Contudo, a partir do avanço e maturação das frentes de setorização e das melhorias nas redes, identifica-se um claro fenômeno de inversão proporcional nas variáveis operacionais (comportamento em tesoura). A otimização hidráulica da rede externa provocou o incremento imediato da energia piezométrica local, elevando de forma abrupta a pressão de montante para o patamar estável de 45 mca. Esse ganho de carga natural viabilizou a supressão total do esforço do equipamento, cuja frequência recuou de forma permanente para 0 Hz a partir de meados de 2024. A manutenção da pressão linear em 45 mca ao longo de todo o segundo semestre.

Figura 3. Período 2025-2026

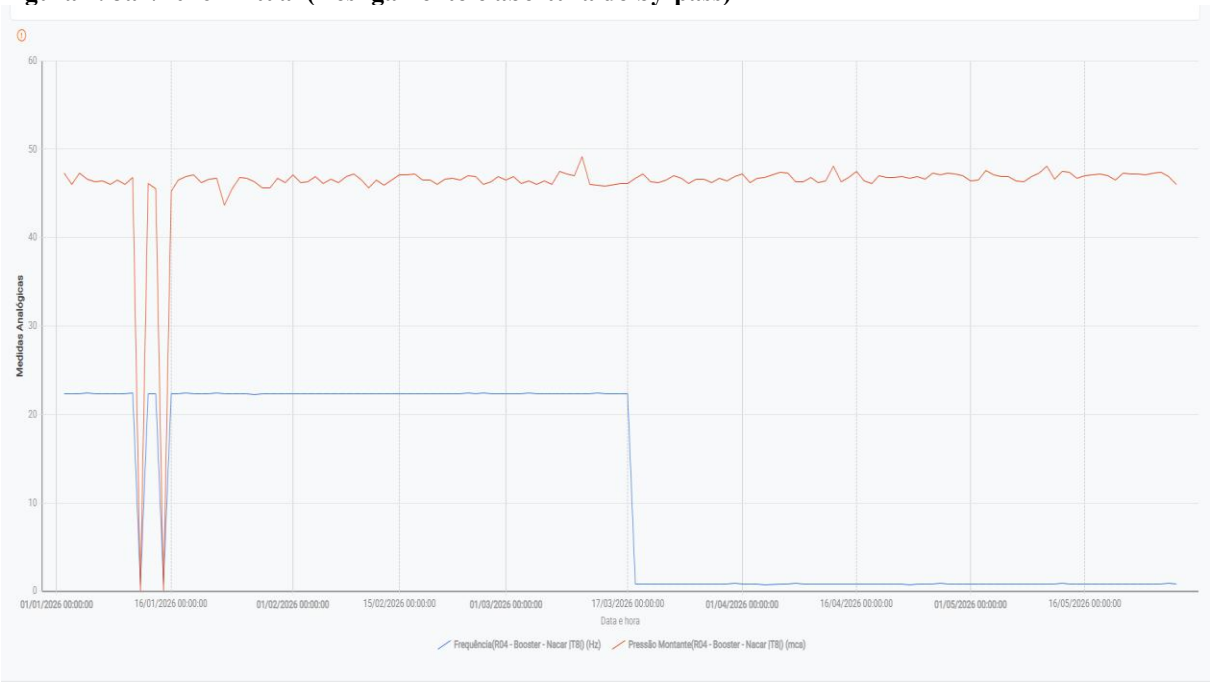


Fonte: Adaptado de Telemetria CAJ, 2026.

O acompanhamento histórico correspondente ao período de 2025 a 2026 (**Figura 3**) atesta a sustentabilidade e a resiliência a longo prazo do novo arranjo operacional. Ao longo da maior parte de 2025, o *booster* Nacar manteve seu regime de ociosidade programada (0 Hz), enquanto a pressão de montante consolidou-se em patamares ótimos, oscilando de forma controlada entre 45 mca e 48 mca.

Eventos transitórios e de curta duração foram registrados no período, caracterizados por quedas abruptas de pressão decorrentes de manobras sistêmicas isoladas ou intervenções de manutenção na rede. Relevante notar que, no último trimestre de 2025, a telemetria identificou o retorno do equipamento a um regime contínuo e estabilizado de baixa rotação, fixado em 22 Hz.

Figura 4. Jan/2026 - Atual (Desligamento e abertura do by-pass)



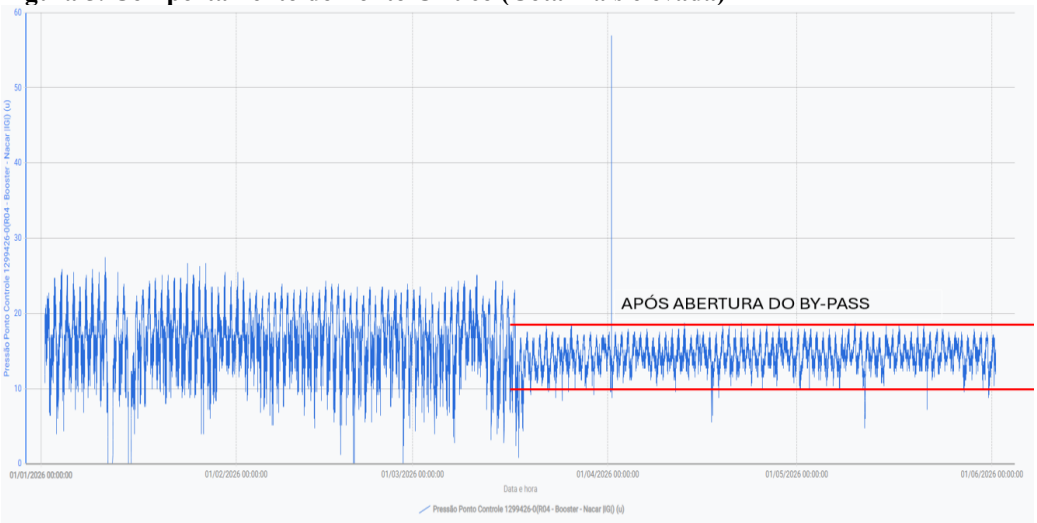
Fonte: Adaptado de Telemetria CAJ, 2026.

Conforme demonstrado no histórico de telemetria, o primeiro trimestre de 2026 iniciou-se com o *booster* Nacar operando em regime de segurança a 22 Hz, mantendo a pressão de montante linearizada em aproximadamente 46 mca.

Contudo, em meados de março de 2026, a análise continuada do comportamento do sistema permitiu constatar que a energia piezométrica disponível a montante era plenamente suficiente e autônoma para suprir as demandas hidráulicas das cotas topográficas mais elevadas da malha, tornando a complementação mecânica obsoleta. Diante dessa evidência técnica, realizou-se a desativação definitiva do equipamento associada à abertura do dispositivo de *by-pass*.

O sucesso absoluto da manobra operacional é comprovado pelo comportamento das variáveis subsequentes à intervenção: mesmo com a frequência do motor reduzida permanentemente a 0 Hz, a pressão de montante manteve sua estabilidade e integridade no patamar de 46 mca até o presente momento. Este fenômeno fático ratifica a maturidade hidráulica alcançada pela setorização e melhorias hidráulicas, chancelando a eliminação definitiva do ponto de bombeamento com o aproveitamento integral da energia potencial do sistema.

Figura 5. Comportamento do Ponto Crítico (Cota mais elevada)



Fonte: Adaptado de Telemetria CAJ, 2026.

O comportamento retilíneo e estável observado no ponto crítico (cota topográfica mais elevada) comprova, de forma empírica, que a carga piezométrica mantida pelo sistema é plenamente dimensionada para suprir as demandas hidráulicas da malha do antigo *booster* Nacar. Ademais, a estabilização das variáveis após o isolamento do equipamento demonstra que o conjunto motobomba, quando desligado, passava a atuar como uma singularidade no escoamento, gerando uma perda de carga localizada que comprometia a energia disponível no sistema. Essa restrição ao fluxo foi integralmente mitigada por meio da abertura da válvula de *by-pass*, a qual restabeleceu a seção plena de escoamento. Garante-se, por conseguinte, a continuidade e a regularidade do abastecimento da antiga malha sob condições ótimas de pressão e eficiência hidráulica.

4.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, ECONÔMICA E REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO2

Com base na tabela a seguir, o índice de eficiência hidroenergética foi obtido por meio do cálculo da redução percentual do consumo ativo de eletricidade, confrontando-se o consumo total anual do cenário base (2023), estabelecido em **8.755 kWh**, com o consumo verificado no primeiro quadrimestre de 2026, considerando que o equipamento será retirado do local, e, portanto, os custos serão nulos após o primeiro quadrimestre. Logo, em 2026, o consumo estimado para o ano é de **732 kWh**.

Tabela 1. Consumo e custos anuais

Ano	Consumo Anual (Kwh)	Custo Anual (R$)
2023	8.755	6.549,39
2024	3.841	3.063,23
2025	2.666	2.417,00
2026	732	696,92

Fonte: Adaptado de Companhia Águas de Joinville, 2026

A aplicação da taxa de variação sobre essas grandezas evidenciou um ganho de eficiência hidroenergética de **91,64%,** obtida através da (**Equação 1**). Sob a ótica operacional, esse percentual demonstra que as intervenções de setorização e os estudos de eficiência energética e desativação da bomba reduziram a demanda energética do *booster* Nacar a apenas **8,36%** de sua assinatura histórica de carga. A manutenção desse consumo mínimo residual em 2026, mesmo com o motor desativado, é tecnicamente justificada pela demanda elétrica permanente dos sistemas periféricos de automação, painéis de telemetria e iluminação patrimonial da casa de bombas. Do ponto de vista econômico, houve uma redução de **R$ 5.852,47**, o que representa uma economia de **89,36%** obtida através da (**Equação 4**).

Para além dos indicadores estritamente energéticos e financeiros, a sustentabilidade ambiental do projeto foi mensurada a partir do inventário das emissões de Dióxido de Carbono evitadas. O cálculo seguiu a metodologia de multiplicação direta descrita na (**Equação 2)**, ponderando o consumo elétrico anual faturado de cada cenário pelos respectivos Fatores de Emissão do Sistema Interligado Nacional (FE) disponibilizados para inventários corporativos.

No cenário base correspondente ao ano de 2023, o consumo anual consolidado de **8.755 kWh**, sob um fator de emissão médio de **0,3813 kgCO2/kWh**, resultou em uma pegada ecológica ativa de **3.338,28 kg de CO2** injetados na atmosfera. Em contrapartida, no cenário de encerramento de 2026, o consumo residual de **732 kWh**, indexado ao fator atual de **0,434 kgCO2/kWh**, gerou uma emissão final de apenas **317,69 kg de CO2** antes da desativação física completa do ativo.

A avaliação do ganho ecológico global foi modelada por meio da taxa de variação percentual estabelecida na (**Equação 3)**. O confronto analítico entre o passivo inicial de 2023 e o residual de 2026 evidenciou uma **redução real de 90,48%** nas emissões de Dióxido de Carbono. Em termos de impacto prático absoluto, a engenharia de controle de perdas, a otimização de pressões implementadas pela Companhia Águas de Joinville e os estudos de eficiência mitigaram e evitaram a introdução de **3.020,59 kg de CO2** na atmosfera ao longo do ciclo operacional da elevatória Nacar. Esses dados chancelam cientificamente o caráter multidimensional do projeto, comprovando que a eficiência hidráulica atua de forma direta como um mecanismo de descarbonização e transição ecológica de infraestruturas urbanas de saneamento.

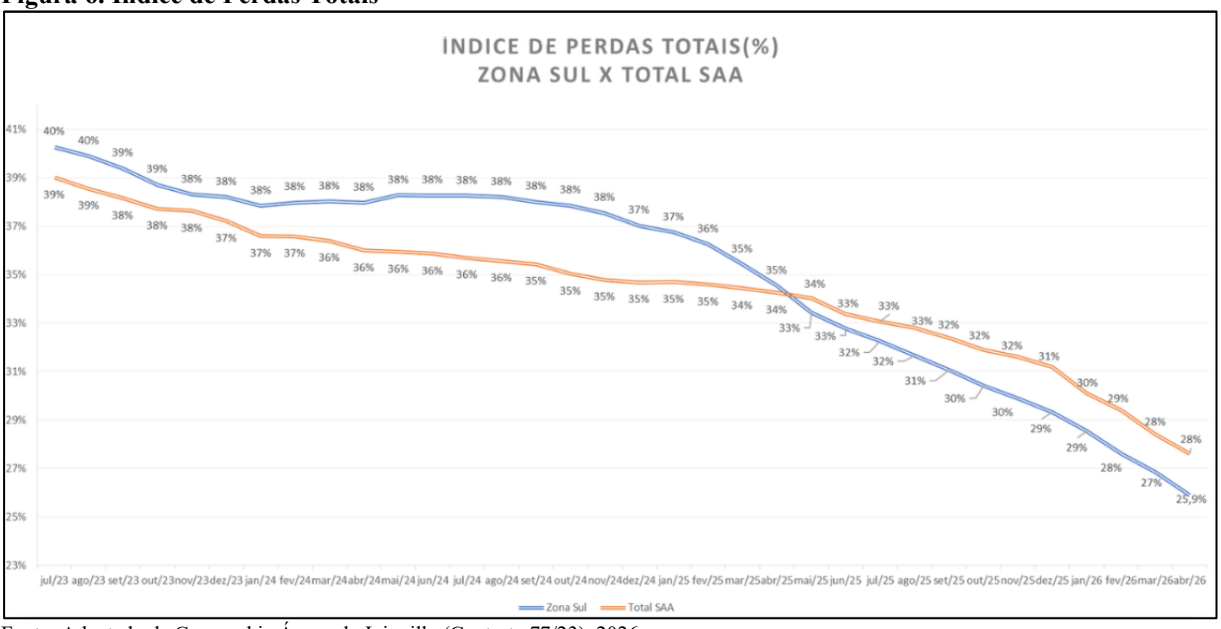
4.3 ANÁLISE GLOBAL DE RESULTADOS

A avaliação integrada dos dados obtidos ao longo do horizonte temporal do estudo comprova que as intervenções estruturais de setorização na Zona Sul de Joinville, decorrentes do Contrato nº 77/23, transcenderam a mera otimização de ativos hidráulicos. Os resultados revelam uma sinergia direta e

indissociável entre a engenharia de campo, a eficiência energética e a sustentabilidade socioambiental, consolidando os eixos propostos nos objetivos específicos deste trabalho.

O ponto de partida dessa cadeia de impactos positivos deu-se no **eixo técnico**. Como evidenciado pelo histórico de telemetria, o isolamento dos distritos de medição e controle (DMC) estancou o volume expressivo de perdas reais (vazamentos invisíveis) e as melhorias no sistema elevaram e estabilizaram a pressão de montante na cota mais elevada da malha em 46 mca. Essa maturidade hidráulica eliminou a necessidade do esforço mecânico do *booster* Nacar, resultando no desligamento do equipamento e na abertura de sua **válvula de *by-pass*.** A figura a seguir ilustra a redução de perdas reais no sistema Cubatão Sul.

Figura 6. Índice de Perdas Totais

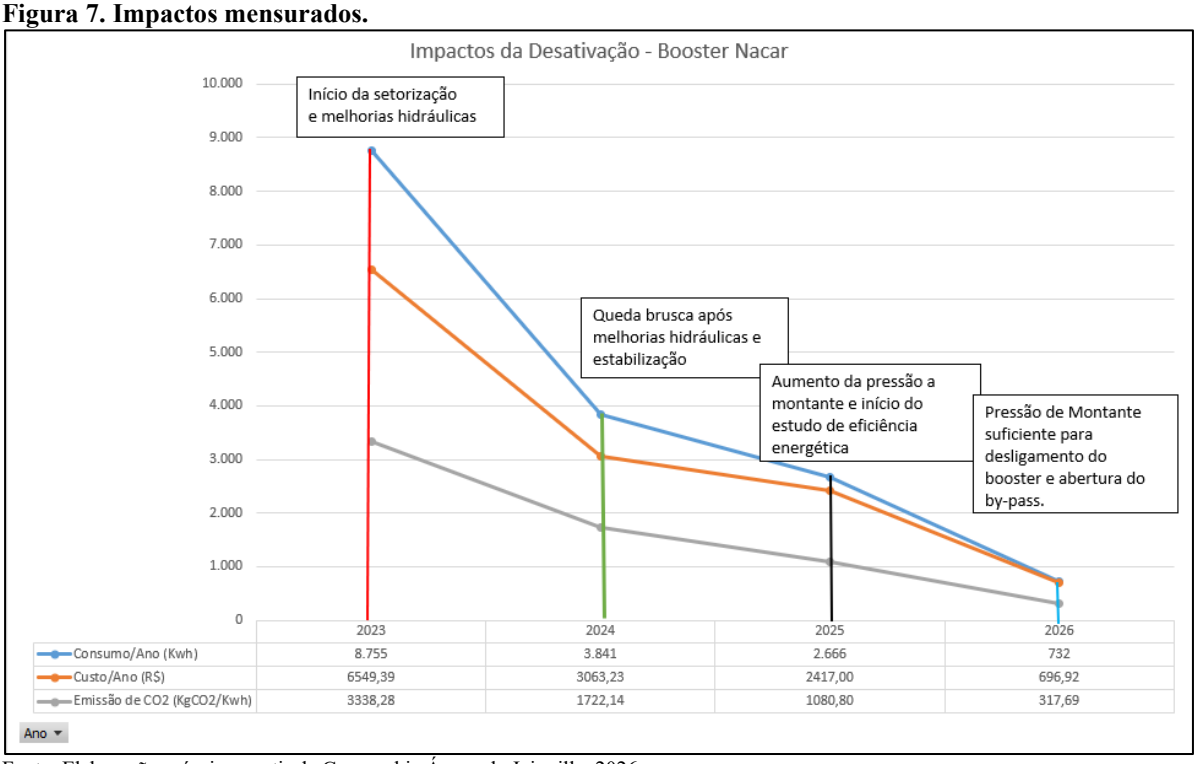


Fonte: Adaptado de Companhia Águas de Joinville (Contrato 77/23), 2026.

Esse sucesso de engenharia desencadeou o ganho do **eixo econômico e ambiental**. Ao desativar fisicamente o conjunto motobomba e programar a retirada de seus cabos elétricos de alimentação, o consumo energético anual despencou de 8.755 kWh (2023) para um fechamento residual de 732 kWh (2026), gerando uma economia hidroenergética de 91,05% e um alívio financeiro contínuo para a Companhia Águas de Joinville. Paralelamente, a redução na demanda elétrica evitou de forma direta a emissão de 3.020,59 kg de Dióxido de Carbono equivalente (COeq.) na atmosfera, convertendo eficiência de processos em mitigação de pegada ecológica.

Por fim, a consolidação desse ciclo manifestou-se no **eixo social**. Historicamente, o descontrole de pressões provocava rompimentos frequentes de rede e severas intermitências no abastecimento, elevando as estatísticas de reclamações da população. A estabilização retilínea observada no ponto crítico a jusante comprovou que a rede alcançou um equilíbrio dinâmico contínuo e seguro por gravidade. O gráfico com o resultado global gerado pelas melhorias hidráulicas, setorização e estudo de eficiência energética encontra-se na figura a seguir.

Figura 7. Impactos mensurados.



Fonte: Elaboração própria a partir de Companhia Águas de Joinville, 2026.

5. CONCLUSÃO

A realização deste estudo de caso permitiu avaliar, de forma analítica e empírica, os impactos multidimensionais decorrentes da desativação do *booster* Nacar. Os dados compilados ao longo do horizonte temporal da pesquisa comprovam que a modernização da gestão de pressões transcende o ganho puramente hidráulico, convertendo-se em benefícios econômicos, ambientais e sociais.

A análise continuada das curvas de telemetria revelou que a maturação do plano de setorização (Contrato nº 77/23) e as melhorias hidráulicas promoveram uma reconfiguração na dinâmica do Sistema Cubatão Sul e, por consequência, a montante da malha do *booster*, obtendo uma expressiva recuperação de energia potencial. A percepção de que a carga piezométrica de montante havia se estabilizado de forma autônoma em patamares superiores a 45 mca — marca plenamente suficiente para suprir por gravidade as cotas topográficas mais elevadas da malha do *booster* Nacar — fundamentou a tomada de decisão para a desativação permanente do conjunto motobomba e a abertura do dispositivo de *by-pass*.

A confirmação prática do sucesso dessa manobra operacional manifestou-se no comportamento estável da pressão no ponto crítico da malha. O próprio equipamento, ocioso, atuava como uma singularidade na rede, gerando perda de carga localizada que restringia o fluxo. A abertura da válvula restabeleceu a seção plena de escoamento, assegurando a regularidade e a continuidade do abastecimento público sob condições ótimas de pressão.

Em termos de balanço final anualizado, a supressão do esforço nominal do ativo resultou em um ganho extraordinário de 91,05% em eficiência hidroenergética, reduzindo o consumo faturado de 8.755 kWh para um resíduo de apenas 732 kWh em 2026. O plano de desativação integral, que prevê a retirada física dos cabos de alimentação elétrica do motor, sela a obsolescência técnica do dispositivo e gera um alívio financeiro contínuo nas despesas de produção da Companhia Águas de Joinville. No viés ambiental, a modelagem baseada nas diretrizes do MCTI confirmou a mitigação de 3.020,59 kg de Dióxido de Carbono equivalente (CO2eq.) evitados na atmosfera.

Por fim, conclui-se que o presente estudo cumpre com rigor os objetivos propostos ao demonstrar que a engenharia de infraestrutura de saneamento, quando pautada na eficiência hidroenergética e no monitoramento de dados em tempo real, atua de forma direta em mais de uma esfera, como por exemplo, as abordadas neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). **Fatores de Emissão de CO2 por Consumo de Energia Elétrica no Sistema Interligado Nacional para Inventários Corporativos**. Brasília: MCTI, 2026. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao. Acesso em: 29 mai. 2026 [MCTI].

2. JOINVILLE (Município). Companhia Águas de Joinville. Contrato nº 77/2023. Contrato de prestação de serviços com foco em performance para redução de perdas de água na Zona Sul do Município de Joinville. Joinville: Companhia Águas de Joinville, 2023. Disponível em: https://aguasdejoinville.com.br. Acesso em: 02 jun. 2026.

3. BUSSAB, Wilton de Oliveira; MORETTIN, Pedro Alberto. **Estatística Básica**. 9. ed. São Paulo: Saraiva, 2017

4. COMPANHIA ÁGUAS DE JOINVILLE. **Relatórios operacionais internos e histórico de telemetria da unidade de reservação R-04 (*Booster* Nacar: período 2023-2026)**. Joinville: CAJ, 2026.

5. IEZZI, Gelson; HAZAN, Samuel; DEGENSZAJN, David. **Fundamentos de Matemática Elementar**, Volume 11: Matemática Financeira e Desenvolvimento. 2. ed. São Paulo: Atual, 2013.

6. MENDES, A. B. **Eficiência Energética e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. São Paulo: Editora Blucher, 2017.