OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL COM MODELAGEM HIDRÁULICA: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E REDUÇÃO DE CUSTOS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Antônio Carlos Câmara Júnior [(1)]
Engenheiro Civil. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente, Hidráulica e Recursos Hídricos. Especialista em Gestão Empresarial. Gerente de Manutenção Eletromecânica Norte e Leste (GMNL) da COPASA MG.
Leonardo Costa Silva [(2)]
Engenheiro Civil. Pós-Graduado em Gestão Pública, Engenharia de Sistemas, Modelagem Hidráulica. Técnico Eletrotécnica. Supervisor de Macromedição e Pitometria região Norte da COPASA MG.
Flávio de Paula [(3)]
Engenheiro Civil, Pós-Graduado em Saneamento e Meio Ambiente e Pericia e Avaliações. Engenheiro de Projetos e Obras da COPASA MG.
Eduardo Luiz Rigotto [(4)]
Engenheiro Civil, Pós-Graduado em Saneamento e Meio Ambiente. Superintendente de Excelência em Manutenção (SPMN) da COPASA MG. Consultor da ONU para Saneamento em regiões Metropolitanas.
Fred Henrique Souza Silva [(5)]
Engenheiro Sanitário e Ambiental. Engenheiro Segurança do Trabalho. MBA em Gestão de Pessoas. Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico e Técnico Eletrotécnica. Técnico em Medição e Pitometria da COPASA MG

Endereço [(1)]**:** Av. Doutor Mário Tourinho, km 3,5 - Bairro Mangués - Montes Claros - MG - CEP: 39403-476 - Brasil - Tel: +55 (38) 3229-5763 - Cel: +55 (31) 97131-5750 - e-mail: **antonio.camara@copasa.com.br.**

RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação da modelagem hidráulica para otimização do sistema de abastecimento de água em Brasilândia de Minas, norte de Minas Gerais. Utilizando o software WaterGEMS, foi possível realizar análises detalhadas do sistema e propor intervenções estratégicas que resultaram em ganhos significativos de eficiência energética e operacional. As melhorias implementadas incluíram a redefinição da setorização, redimensionamento de estações elevatórias e otimização das adutoras, resultando em uma redução do consumo energético de 0,3748 kWh/m³ para 0,2290 kWh/m³ e diminuição do custo por metro cúbico de água tratada de R$ 0,3561/m³ para R$ 0,2176/m³. O estudo demonstra como a modelagem hidráulica pode ser uma ferramenta eficaz para melhorar a eficiência e a sustentabilidade de sistemas de abastecimento de água

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem Hidráulica, Eficiência Energética, Otimização Operacional

INTRODUÇÃO

A região norte de Minas Gerais apresenta características climáticas desafiadoras para os sistemas de abastecimento de água, com clima semiárido e irregularidade de chuvas. Esta situação é agravada pelos efeitos das mudanças climáticas, que têm intensificado e ampliado os períodos de seca e a frequência de eventos extremos, impactando diretamente a infraestrutura de saneamento básico e exigindo soluções de engenharia mais complexas e assertivas.

Neste contexto, a modelagem hidráulica emerge como uma ferramenta essencial para o planejamento, análise e otimização de sistemas de abastecimento de água, permitindo simular diferentes cenários operacionais, avaliar o comportamento do sistema frente às variações topográficas e de consumo, e propor intervenções eficientes e sustentáveis.

O presente trabalho apresenta um estudo de caso realizado no município de Brasilândia de Minas, onde a aplicação da modelagem hidráulica através do software WaterGEMS resultou em melhorias significativas no sistema de abastecimento, com ganhos expressivos em eficiência energética, redução de custos operacionais e eliminação de déficits hídricos em áreas críticas.

OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal otimizar a eficiência energética e operacional do sistema de abastecimento de água de Brasilândia de Minas através da aplicação da modelagem hidráulica no software WaterGEMS.

- Para alcançar este objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:
- Construir e calibrar um modelo hidráulico representativo do sistema de Brasilândia de Minas utilizando o software WaterGEMS, validando-o com dados de campo.
- Diagnosticar os problemas existentes no sistema através da modelagem, como sobreposições de setores e insuficiência hídrica em certas áreas.
- Propor e simular intervenções estratégicas para otimizar o funcionamento do sistema, incluindo a redefinição da setorização.
- Redimensionar e otimizar estações elevatórias, como aumentar a vazão da EAT1 para desativar a EAT2, e projetar uma nova elevatória (EAT5) para a zona alta, permitindo que a EAT4 opere com menos bombas.
- Alcançar ganhos significativos em eficiência energética e redução de custos operacionais através das intervenções.
- Eliminar os déficits hídricos identificados, especialmente nas zonas altas da cidade.
- Avaliar a viabilidade econômica das intervenções, calculando o tempo de playback.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia aplicada neste trabalho centrou-se na utilização da modelagem hidráulica para diagnosticar problemas e propor soluções de otimização no sistema de abastecimento de água de Brasilândia de Minas. O processo envolveu as seguintes etapas principais:

Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água

Inicialmente, foi realizada uma caracterização detalhada do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) de Brasilândia de Minas, que atende aproximadamente 16.435 habitantes por meio de 6.110 ligações domiciliares. Descreveu-se a configuração original do sistema, que incluía captação superficial no Rio Paracatu com Estação Elevatória de Água Bruta (EAB), Estação de Tratamento de Água (ETA) e um complexo sistema de recalques e reservatórios composto pelas Estações Elevatórias de Água Tratada (EAT) 1, 2, 3 e 4, e os Reservatórios Apoiados (RAP) 1, 2 e 3, além do Reservatório Elevado (REL) 1.

Levantamento de Dados e Diagnóstico Inicial

O processo de modelagem hidráulica teve início com o levantamento detalhado de dados físicos e operacionais do sistema existente. Foram coletadas informações sobre a topologia da rede (diâmetros, extensões, materiais, cotas), características das unidades operacionais (bombas, reservatórios, válvulas), dados de consumo e demanda, e dados operacionais (vazões, pressões, níveis de reservatórios). Estes dados foram fundamentais para a construção do modelo hidráulico no software WaterGEMS e permitiram a simulação do comportamento do sistema nas condições originais, possibilitando a identificação dos principais pontos críticos e problemas operacionais, como a sobreposição de setores.

Modelagem Hidráulica e Calibração

Com base nos dados levantados, o modelo hidráulico do sistema foi construído no software WaterGEMS, representando todas as unidades operacionais e componentes da rede. A etapa de calibração do modelo foi crucial para garantir sua acurácia e representatividade em relação ao sistema real. Para isso, utilizou-se a ferramenta Darwin Calibrator, integrada ao WaterGEMS, que emprega algoritmos para ajustar automaticamente parâmetros do modelo, como coeficientes de rugosidade e demandas, tomando como referência dados coletados

em campo. Foram realizadas medições de vazão e pressão em pontos estratégicos da rede para validar o modelo calibrado.

Análise de Cenários e Proposição de Melhorias

Uma vez calibrado, o modelo hidráulico foi utilizado para simular diferentes cenários operacionais e avaliar o impacto de diversas intervenções propostas para otimizar o funcionamento do sistema. As principais melhorias propostas incluíram a redefinição da setorização do sistema, o redimensionamento das estações elevatórias, a implantação de novas adutoras e a otimização das interligações entre reservatórios. Para cada cenário simulado, foram avaliados indicadores de desempenho hidráulico (como pressões e vazões) e energético (consumo específico e custo operacional), permitindo a seleção das alternativas que resultariam nos maiores ganhos de eficiência e na solução dos problemas identificados. As simulações validaram, por exemplo, a desativação da EAT2 ao aumentar a vazão da EAT1 e a criação de uma nova EAT5 para a zona alta.

RESULTADOS OBTIDOS

A aplicação da modelagem hidráulica utilizando o software WaterGEMS permitiu diagnosticar o sistema de abastecimento de água de Brasilândia de Minas e propor intervenções estratégicas que resultaram em melhorias significativas em sua operação e eficiência.

Diagnóstico do Sistema Existente
A análise inicial do modelo hidráulico revelou uma sobreposição entre os setores abastecidos pela Estação Elevatória de Água Tratada 2 (EAT2) e pelo Reservatório Apoiado 1 (RAP1, 150 m³). Após a separação desses setores por meio da modelagem, identificou-se insuficiência hídrica na área historicamente atendida pelo RAP1, indicando a necessidade de ajustes na rede de distribuição. Na região suprida pela Estação Elevatória de Água Tratada 4 (EAT4), que operava com dois conjuntos motobomba em paralelo para atender a demanda, a modelagem apontou a necessidade de setorizar o abastecimento.

Setorização e Otimização operacional
Com base nos resultados da modelagem, o sistema foi reestruturado em zonas de abastecimento bem definidas, eliminando as sobreposições e permitindo dimensionar as unidades de bombeamento de forma mais precisa.

Otimização e Redimensionamento das Estações Elevatórias
As simulações no WaterGEMS validaram intervenções estratégicas nas estações elevatórias:
• O redimensionamento da EAT1, com aumento de sua vazão de 42 L/s para 54 L/s, tornou possível a desativação da EAT2. Para suportar essa alteração, foi necessária a implantação de uma nova adutora DN200 conectando a EAT1 ao RAP2, interligada à adutora existente.
• Para a área alta da cidade, onde a modelagem confirmou a falta d'água, foi projetada e validada no modelo uma nova Estação Elevatória de Água Tratada (EAT5). Esta nova EAT5 eliminou o déficit hídrico na zona alta e permitiu que a EAT4 operasse com apenas um conjunto motobomba, reduzindo seu consumo energético.
• As conexões de entrada e saída entre o RAP2 (500 m³) e o REL1 (250 m³) foram otimizadas no modelo, acelerando o abastecimento e facilitando o enchimento dos reservatórios.

Ganhos em Eficiência Energética e Redução de Custos
As intervenções propostas e validadas pela modelagem hidráulica resultaram em ganhos significativos de eficiência energética e redução de custos operacionais. Conforme demonstrado na Tabela 1, houve uma redução expressiva no consumo energético e no custo operacional por metro cúbico de água tratada:

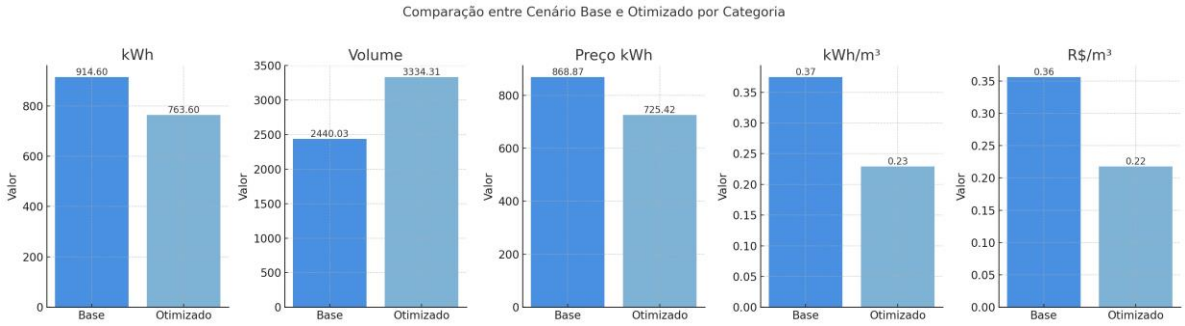
Tabela 1 - Brasilândia de Minas - Eficiência Energética - EAT1 e EAT2

Unidade	kWh Base	kWh Otimizado	Volume Base	Volume Otimizado	Preço KWh Base	Preço KWh Otimizado	kWh/m3 Base	kWh/m3 Otimizado	R$/m3 Base	R$/m3 otimizado
EAT1	468,00	763,60	2.440,03	3.334,31	$444,60	$725,42	0,1918	0,2290	R$ 0,1822	R$ 0,2176

EAT2	446,60	0,00	2.304,00	0,00	$424,27	$-	0,1938	-	R$ 0,1841	-
Resultado	914,60	763,60	2.440,03	3.334,31	$868,87	$725,42	0,3748	0,2290	R$ 0,3561	R$ 0,2176

Fonte: resultado da modelagem hidráulica - elaboração própria (2025).

Figura 1 – Comparação entre Cenário Base e Otimizado por categoria



Fonte: resultado da modelagem hidráulica - elaboração própria (2025).

• O consumo energético específico do sistema total (considerando EAT1 e a desativação da EAT2) foi reduzido de 0,3748 kWh/m³ para 0,2290 kWh/m³. Esta redução representa uma diminuição de 38,9% no consumo energético total.
• Consequentemente, o custo operacional por metro cúbico de água tratada diminuiu de R$ 0,3561/m³ para R$ 0,2176/m³, representando uma economia de 38,9%.

A análise econômica preliminar apontou um retorno do investimento (payback) em aproximadamente 3 anos e 7 meses, resultado da economia anual gerada pelas otimizações implementadas.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

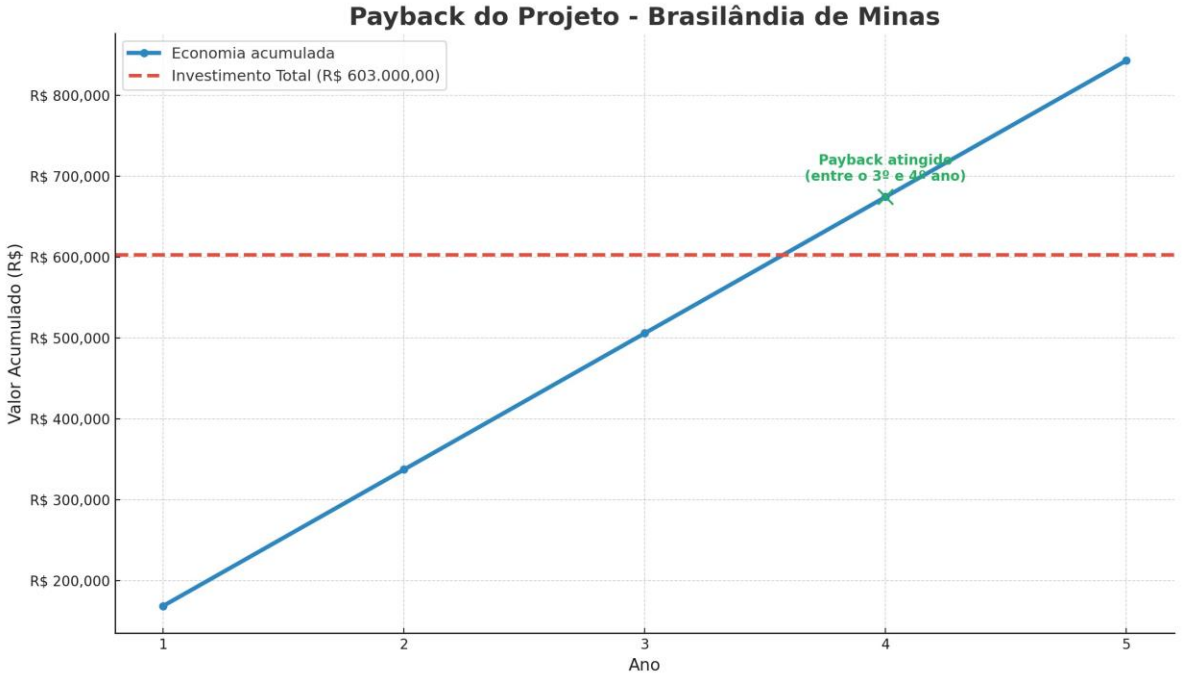
A reconfiguração do sistema permitiu uma melhoria expressiva na eficiência operacional. A redução de 38,9% no consumo específico de energia (de 0,3748 para 0,2290 kWh/m³) foi alcançada com medidas de engenharia que também reduziram o custo por metro cúbico de água tratada em aproximadamente 39%. A desativação de estações redundantes e a implantação de adutoras mais eficientes, aliadas à melhoria da setorização, resultaram em uma distribuição mais equilibrada e com menor desperdício de energia.
A viabilidade econômica das intervenções foi avaliada, considerando o investimento total de R$ 603.000,00. Este investimento incluiu R$ 243.000,00 para a adutora DeFoFo DN200, R$ 320.000,00 para o novo conjunto motobomba da EAT1 e R$ 40.000,00 para o Quadro de Comando e Manobra (QCM). A economia operacional anual gerada pela redução de custos totalizou R$ 168.557,71.
A análise de payback demonstrou um retorno do investimento em aproximadamente 3 anos e 7 meses, evidenciando a viabilidade econômica das melhorias implementadas. A Tabela 1 resume os dados econômicos e a Figura 1 apresenta a evolução da economia acumulada em relação ao investimento inicial:

Tabela 2 - Análise de Payback das Intervenções

Ano	Economia Anual (R$)	Economia Acumulada (R$)	Investimento Total (R$)	Diferença (Econ. Acum. - Invest.)
1	R$ 168.557,71	R$ 168.557,71	R$ 603.000,00	**-R$ 434.442,29**
2	R$ 168.557,71	R$ 337.115,42	R$ 603.000,00	**-R$ 265.884,58**
3	R$ 168.557,71	R$ 505.673,13	R$ 603.000,00	**-R$ 97.326,87**
4	R$ 168.557,71	R$ 674.230,84	R$ 603.000,00	**R$ 71.230,84**
5	R$ 168.557,71	R$ 842.788,55	R$ 603.000,00	**R$ 239.788,55**

Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 2 – Projeção da Economia Acumulada e Retorno do Investimento



Fonte: Elaboração própria (2025).

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Conclusões

A aplicação da modelagem hidráulica no software WaterGEMS demonstrou ser uma ferramenta fundamental e eficaz para o diagnóstico, análise e otimização do sistema de abastecimento de água de Brasilândia de Minas. A metodologia permitiu simular o comportamento da rede, identificar pontos críticos e propor intervenções estratégicas.

Os resultados obtidos através da modelagem e das intervenções dela decorrentes foram significativos:

• Foi possível redefinir a setorização do sistema, eliminando sobreposições e dimensionando unidades de bombeamento de forma mais precisa.

• O redimensionamento da EAT1 e a implantação de uma nova adutora permitiram a desativação da EAT2, simplificando a operação.

• A projeção de uma nova EAT5 para a área alta da cidade, validada pelo modelo, eliminou o déficit hídrico nessa região.

• A otimização da operação das estações elevatórias, especialmente com a desativação da EAT2 e a operação da EAT4 com apenas um conjunto motobomba, resultou em ganhos expressivos de eficiência energética e redução de custos operacionais.

• O consumo energético total (EAT1 + EAT2 base vs. EAT1 otimizado) foi reduzido de 0,3748 kWh/m³ para 0,2290 kWh/m³, representando uma diminuição de 38,9%.

• O custo operacional por metro cúbico de água tratada diminuiu de R$ 0,3561/m³ para R$ 0,2176/m³, gerando uma economia de 38,9%.

• A análise econômica das intervenções, que totalizaram um investimento de R$ 603.000,00, indicou um payback (retorno do investimento) em aproximadamente 3 anos e 7 meses, demonstrando a viabilidade econômica das melhorias propostas.

Estes resultados demonstram claramente como a modelagem hidráulica, ao subsidiar decisões de engenharia e operação, pode contribuir significativamente para a melhoria da eficiência, da sustentabilidade e da gestão dos recursos hídricos em sistemas de abastecimento de água. A intervenção em Brasilândia de Minas ilustra como é possível alcançar otimização operacional e financeira em regiões que enfrentam desafios no abastecimento.

Recomendações

Com base nos resultados positivos alcançados neste estudo de caso, recomenda-se:

• A continuidade do uso da modelagem hidráulica como ferramenta de suporte à decisão na operação e no planejamento de sistemas de abastecimento de água. O modelo calibrado e atualizado pode ser utilizado para avaliar futuras expansões, mudanças na demanda e simular cenários de contingência.
• A extensão desta abordagem de diagnóstico e otimização por meio de modelagem hidráulica para outros municípios ou sistemas de abastecimento que enfrentem desafios semelhantes de ineficiência energética, custos operacionais elevados ou déficits hídricos.
A replicação desta metodologia tem o potencial de gerar benefícios operacionais e financeiros significativos, contribuindo para a gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos no contexto desafiador do norte de Minas Gerais e em outras regiões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, M. Manual de Hidráulica. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

2. GIROL, G. (2020). Aplicação da modelagem hidráulica na otimização de sistemas de abastecimento de água. Disponível em: https://pt.linkedin.com/pulse/case-02-aplica%C3%A7%C3%A3o-da-modelagem-hidr%C3%A1ulica-na-otimiza%C3%A7%C3%A3o-girol. Acesso em: de Novembro, 2024.

3. BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED. (2021). WaterGEMS. Disponível em: https://www.bentley.com/software/openflows-watergems. Acessado em: Outubro de 2024.