



AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE ADUTORAS DE RECALQUE, UTILIZANDO MODELAGEM HIDRÁULICA E TÉCNICA DE PIG

Leonardo Costa Silva ⁽¹⁾

Engenheiro Civil. Pós-Graduado em Gestão Pública, MBA em gestão de projetos para engenheiros, Pós-Graduado Engenharia ambiental e saneamento básico, Engenharia de Sistemas, Modelagem Hidráulica e Técnico Eletrotécnica. Supervisor de Macromedidação e Pitometria região Norte da COPASA MG.

Antônio Carlos Câmara Júnior ⁽²⁾

Engenheiro Civil. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente, Hidráulica e Recursos Hídricos e Especialista em Gestão Empresarial. Gerente de Manutenção Eletromecânica Norte e Leste (GMNL) da COPASA MG.

Dyhogo Henrique Veloso Leal ⁽³⁾

Zootecnista. Mestre em Produção Animal. MBA em Gestão de Equipes e Lideranças. MBA em Gestão de Negócios com ênfase em finanças e Técnico Eletrotécnica. Técnico em Medição e Pitometria da COPASA MG

Jurandir Vieira Lima ⁽⁴⁾

Engenheiro Civil, Pós-Graduado em Saneamento e Meio Ambiente e MBA Gestão de Pessoas. Engenheiro de Projetos e Obras da COPASA MG.

Fábricio Anderson Souza Silva ⁽⁵⁾

Engenheiro Ambiental 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 avaliou e otimizou o desempenho hidráulico de adutoras de recalque de água bruta em Buritis e Brasilândia de Minas (MG), por meio de medições de campo, cálculos de rugosidade e modelagem no software WaterGEMS. As adutoras, de ferro fundido e DeFoFo, apresentavam perda de eficiência devido a incrustações internas, aumentando as perdas de carga e reduzindo a vazão.

A metodologia incluiu testes de performance dos conjuntos motobomba, medições simultâneas de vazão e pressão, além do cálculo da rugosidade pelo método de Hazen-Williams. Com os dados de campo, os modelos hidráulicos foram calibrados e simularam-se cenários ideais para avaliar os efeitos da manutenção com a passagem do PIG (Pipeline Inspection Gauge).

Os resultados demonstraram a efetividade da intervenção: a vazão aumentou 22% em Buritis e 23% em Brasilândia de Minas, com elevação significativa dos coeficientes de rugosidade após a limpeza. Esses ganhos operacionais reforçam a importância da manutenção preventiva e do uso da modelagem hidráulica como suporte à gestão eficiente dos sistemas de adução. O estudo evidencia a necessidade de monitoramento contínuo, aplicação de tecnologias e capacitação técnica para garantir a durabilidade e o bom desempenho das infraestruturas hidráulicas.

PALAVRAS-CHAVE: Adutora água bruta, modelagem hidráulica, PIG.

INTRODUÇÃO

As adutoras de água bruta desempenham um papel fundamental na captação e transporte de recursos hídricos para sistemas de abastecimento, garantindo que a água chegue em quantidade e com qualidade e eficiência às etapas subsequentes de tratamento e distribuição. No entanto, o desempenho dessas infraestruturas pode ser comprometido ao longo do tempo devido a fatores como incrustações, corrosão, aumento da rugosidade e perdas de carga, o que impacta diretamente a vazão e a eficiência operacional do sistema.

Este trabalho aborda a modelagem hidráulica, otimização e manutenção de adutoras de água bruta, com foco na análise de desempenho e na aplicação de intervenções corretivas e preventivas, como a passagem do PIG. O estudo visa melhorar a eficiência hidráulica e aumentar a vida útil das adutoras por meio de cálculos de



coeficientes de rugosidade, modelagem no software WaterGEMS e estratégias de manutenção. A pesquisa foi realizada em duas adutoras de recalque, localizadas em Buritis e Brasilândia de Minas, ambas em Minas Gerais.

As adutoras de Buritis, com diâmetro de DN250 em FoFo e comprimento de 1.412 metros, e a de Brasilândia de Minas, com diâmetro de DN200 em DeFoFo e comprimento de 1.870 metros, foram analisadas para avaliar a eficiência do sistema, otimizar o fluxo, reduzir perdas de carga e aumentar a vida útil das infraestruturas.

OBJETIVOS

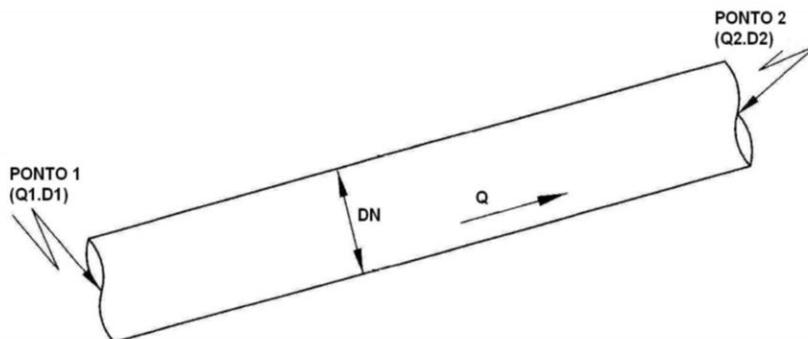
O objetivo deste trabalho foi avaliar e otimizar o desempenho hidráulico de adutoras de água bruta, focando na otimização da vazão e redução das perdas de carga, por meio da análise das condições operacionais, determinação de coeficientes de rugosidade e simulações hidráulicas computacionais, visando aumentar a eficiência e prolongar a vida útil da adutora.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada neste trabalho foi composta por várias etapas interligadas, visando a análise detalhada e otimização do desempenho da adutora de água bruta do tipo recalque. Primeiramente, foram realizados testes de performance no sistema de bombeamento, levantando grandezas como corrente, tensão, potência, rotação, pressão de recalque e succão, temperatura da água e vazões, para avaliar as condições operacionais iniciais dos conjuntos motobomba.

Para a obtenção dos dados hidráulicos das tubulações analisadas, foram instaladas estações de medição nos trechos inicial e final das adutoras em estudo. Nessas estações, foram realizadas medições simultâneas de pressão e vazão com o uso de equipamentos específicos. As cotas altimétricas dos pontos de medição foram determinadas por meio de levantamento com GPS e posteriormente validadas pela diferença de pressão com a bomba desligada, o que permitiu confirmar o desnível geométrico entre os pontos de forma independente. O comprimento das tubulações foi obtido a partir do cadastro técnico georreferenciado da rede, garantindo maior confiabilidade no mapeamento dos trechos avaliados. As medições de pressão e vazão foram realizadas de forma sincronizada nas duas estações, assegurando consistência e precisão nos dados utilizados para análise e modelagem hidráulica.

Figura 1 – Esquema de Tubulação com Indicação de Fluxo e Pontos de Medição



Fonte: elaboração própria (2025).

A partir dos dados obtidos em campo, foram calculados os coeficientes de rugosidade (C) das adutoras, utilizando a fórmula empírica de Hazen-Williams. Os valores de perda de carga, comprimento da adutora,



diâmetro da tubulação e vazão foram inseridos na equação, permitindo estimar o coeficiente de rugosidade (C) ao longo do trecho avaliado.

A fórmula utilizada foi:

$$hf = ((10,674)/C^{(1,852)} \cdot Q^{(1,852)}/D^{(4,87)} \cdot L) \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

hf é a perda de carga (m);

L é o comprimento da adutora (m);

Q é a vazão (l/s);

D é o diâmetro interno da tubulação (mm);

C é o coeficiente de rugosidade (adimensional)

A perda de carga foi determinada pela diferença entre as cotas piezométricas medidas nas estações de medição, já descontando perdas localizadas. O valor de C foi então isolado na equação para ser estimado com base nas condições reais de operação da adutora. Esse procedimento permitiu quantificar o nível de deterioração hidráulica da tubulação e comparar os resultados antes e depois da passagem do PIG, avaliando a eficácia da limpeza.

Como parte do processo de avaliação do desempenho hidráulico das adutoras, foi utilizada a modelagem computacional no software WaterGEMS, com a finalidade de validar os coeficientes de rugosidade (C) obtidos em campo e aprofundar a análise do comportamento do sistema em diferentes condições operacionais.

Os dados coletados nas medições de campo, incluindo pressão, vazão, cotas altimétricas e comprimento das adutoras foram inseridos no modelo para realizar a calibração hidráulica, garantindo a representação fiel das condições reais da rede. Em seguida, foram simulados cenários projetados de envelhecimento, adotando-se valores de rugosidade típicos de tubulações com mais de 10 anos de uso, conforme dados técnicos de referência.

Embora os coeficientes calculados em campo indicassem uma condição ainda mais crítica, compatível com níveis de rugosidade superiores a 20 anos de operação, a simulação com rugosidade de 10 anos já demonstrou ganhos significativos em termos de vazão, redução de perdas de carga e melhoria no desempenho hidráulico. Esses resultados reforçaram a necessidade de intervenção corretiva, demonstrando que a limpeza da adutora traria benefícios operacionais mensuráveis.

Com base nessa análise, foi recomendada a passagem do PIG (Pipeline Inspection Gauge) para remoção de incrustações e recuperação da rugosidade original da tubulação. Após a execução do procedimento, novas medições de campo foram realizadas, permitindo recalcular os coeficientes de rugosidade e comparar o desempenho do sistema antes e depois da intervenção. Os novos dados também foram utilizados para recalibrar o modelo hidráulico, consolidando a validação técnica da manutenção realizada.

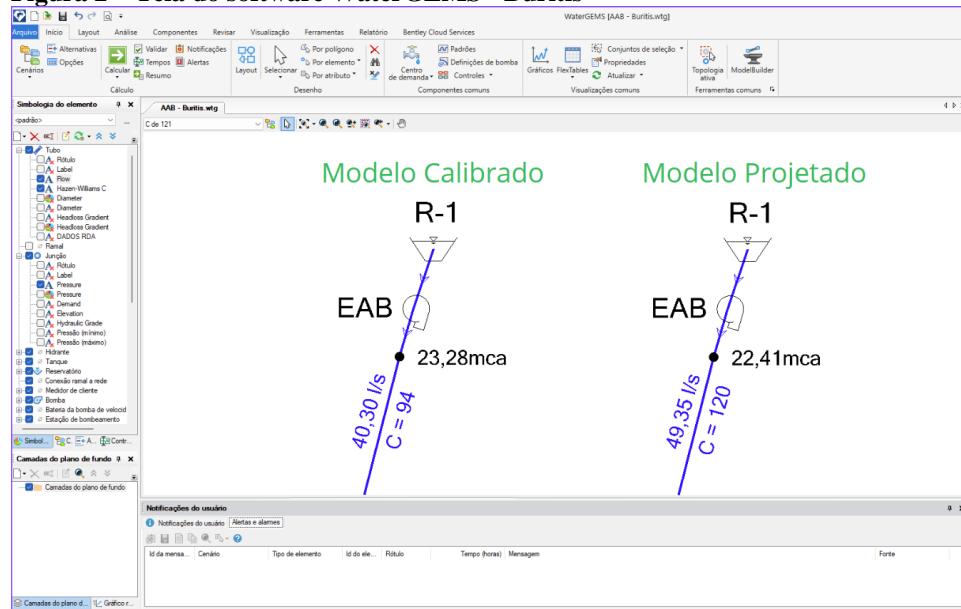
Por fim, os dados pós-limpeza foram analisados para estimar os ganhos reais em vazão e eficiência, além de avaliar o impacto da intervenção na extensão da vida útil da infraestrutura e na redução dos custos operacionais a longo prazo, reforçando a importância de ações de manutenção preventiva e corretiva embasadas em modelagem e dados de campo.

RESULTADOS OBTIDOS

Em Buritis (MG), foi analisada uma adutora de recalque em ferro fundido (FoFo), DN250, com 1.412 metros de extensão. As medições de campo indicaram uma vazão de 40,30 L/s e um coeficiente de rugosidade (C) de 91,78, compatível com tubulações com mais de 20 anos de uso. A modelagem hidráulica no software WaterGEMS foi calibrada, resultando em um coeficiente simulado de 94,20, validando a consistência dos dados.



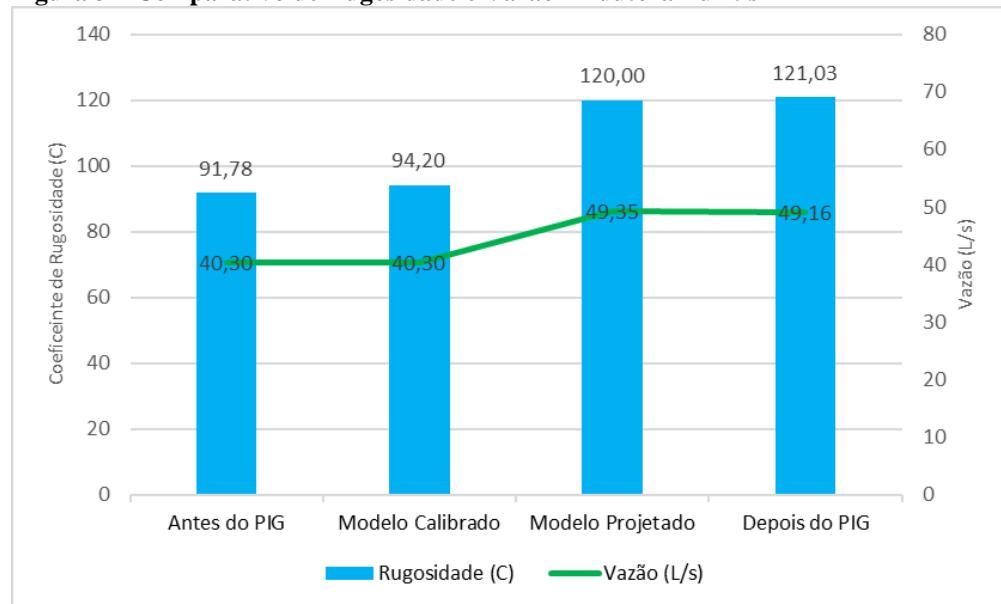
Figura 2 – Tela do software WaterGEMS - Buritis



Fonte: Software de Modelagem WaterGEMS (2025).

Simulou-se, então, um cenário com $C = 120$ (condições ideais), estimando uma vazão de 49,35 L/s, sugerindo um ganho potencial de 9,05 L/s. Após a passagem do PIG, novos testes mostraram $C = 121,04$ e vazão de 49,16 L/s, representando um ganho real de 8,86 L/s (22%).

Figura 3 – Comparativo de Rugosidade e Vazão - Adutora Buritis

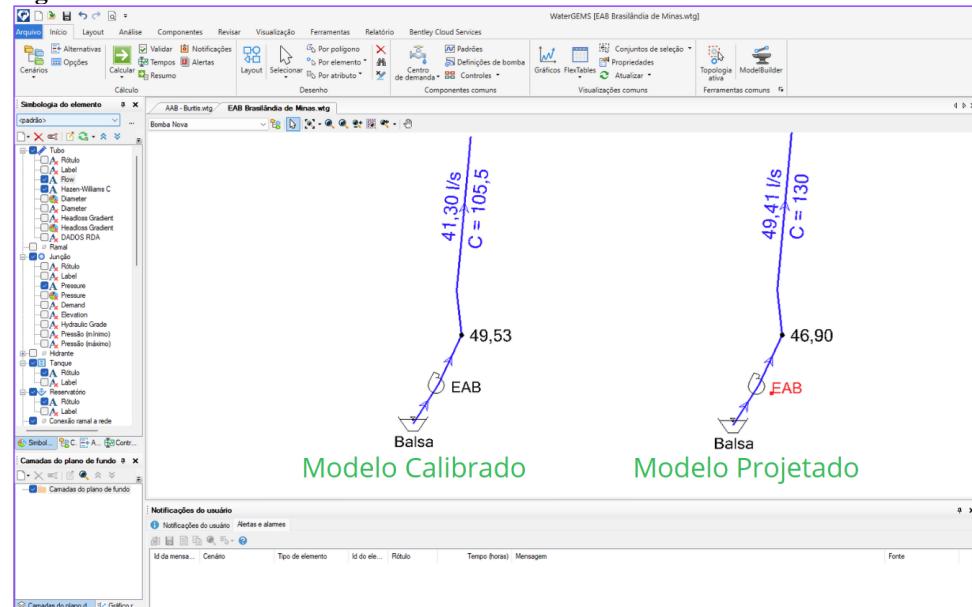


Fonte: elaboração própria (2025).

Em Brasilândia de Minas (MG), a adutora em DeFoFo DN200, com 1.870 metros, apresentou $C = 101,13$ e vazão de 41,30 L/s. A modelagem calibrada indicou $C = 105,5$.



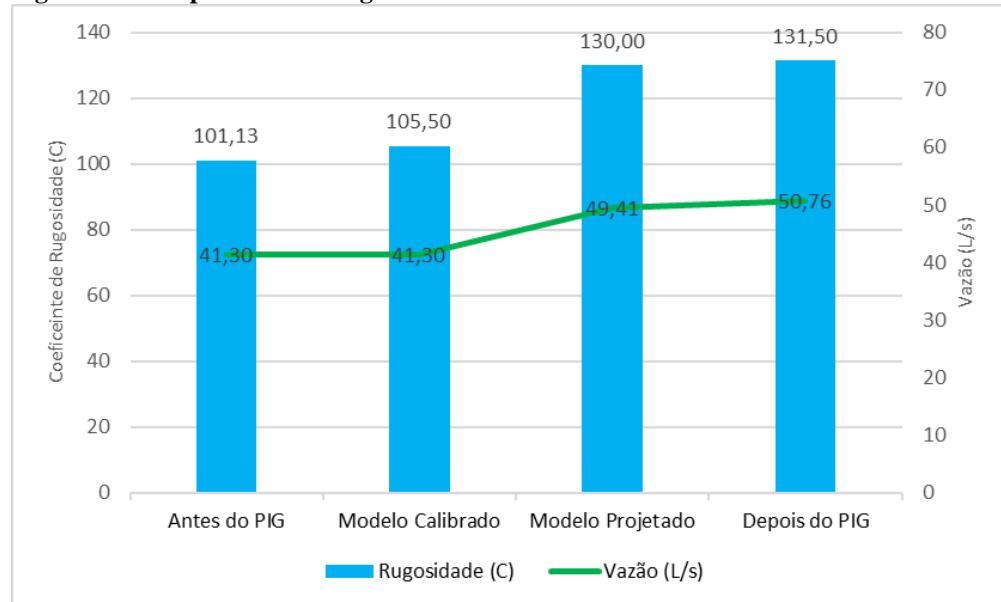
Figura 4 – Tela do software WaterGEMS - Brasilândia de Minas



Fonte: Software de Modelagem WaterGEMS (2025).

WaterGEMS foi calibrada, resultando em um coeficiente simulado de 94,20, validando a consistência dos dados. Com simulação de $C = 130$, a vazão estimada foi de 49,41 L/s. Após a limpeza com o PIG, obteve-se $C = 131,5$ e vazão real de 50,76 L/s, um ganho de 9,46 L/s (23%).

Figura 5 – Comparativo de Rugosidade e Vazão - Adutora Brasilândia de Minas



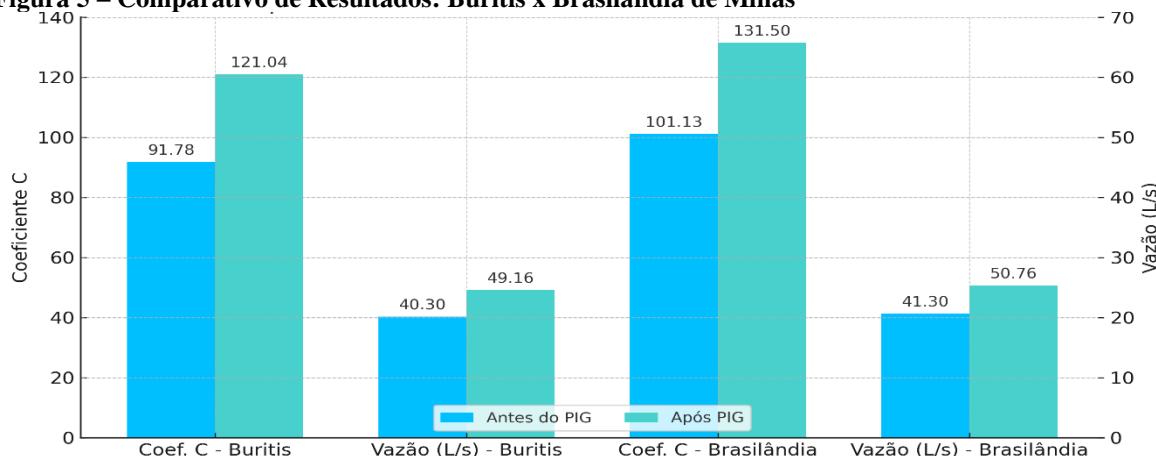
Fonte: elaboração própria (2025).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstram a eficácia da técnica de limpeza com PIG em ambas as localidades. Em Buritis, o aumento de 22% na vazão comprova o impacto direto da remoção das incrustações internas, que elevou o coeficiente de rugosidade para níveis compatíveis com tubulações em boas condições. A proximidade entre os valores medidos em campo e os simulados no WaterGEMS evidencia a confiabilidade do modelo adotado.

Em Brasilândia de Minas, observou-se comportamento semelhante. A adutora de maior extensão também apresentou ganhos relevantes após a intervenção, com incremento de 23% na vazão e significativa melhoria da rugosidade. A elevação de C para 131,5 indica restauração da capacidade hidráulica do sistema.

Figura 5 – Comparativo de Resultados: Buritis x Brasilândia de Minas



Fonte: elaboração própria (2025).

As simulações reforçam o valor do uso combinado de medições de campo e modelagem hidráulica como ferramentas de apoio à decisão na manutenção de sistemas de adução. Além disso, os ganhos obtidos apontam para benefícios operacionais relevantes, como maior eficiência energética, redução de perdas por atrito e aumento da vida útil das infraestruturas. As intervenções justificam-se não apenas tecnicamente, mas também economicamente, quando consideradas em estratégias de manutenção preventiva e corretiva.



CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Este estudo demonstrou a eficácia da passagem do PIG como uma solução eficiente para otimizar o desempenho de adutoras de recalque, com base nas análises realizadas nos sistemas de Buritis e Brasilândia de Minas. Após a intervenção, observou-se um incremento de 8,86 L/s (22%) em Buritis e 9,46 L/s (23%) em Brasilândia de Minas, acompanhado por uma melhora expressiva nos coeficientes de rugosidade, comprovando a eficácia da limpeza das incrustações acumuladas nas tubulações ao longo dos anos.

A aplicação da modelagem hidráulica com o software WaterGEMS foi essencial tanto na validação dos dados de campo quanto na projeção de cenários, permitindo estimar com precisão os ganhos potenciais e justificar tecnicamente as intervenções. A calibração dos modelos, alinhada às medições em campo, demonstrou que a integração entre dados operacionais e simulações computacionais representa uma estratégia robusta para o gerenciamento de sistemas de adução.

Diante dos resultados obtidos, é recomendada as seguintes ações:

- Manutenção Regular: Programar passagens periódicas do PIG como parte da rotina de manutenção das adutoras, garantindo a redução de perdas de carga e a preservação da capacidade hidráulica;
- Monitoramento Contínuo: Estabelecer um cronograma de testes de performance e medições de pressão e vazão, permitindo o acompanhamento do estado hidráulico das adutoras e a detecção precoce de degradações;
- Uso de Modelagem Hidráulica: Continuar utilizando o software WaterGEMS como ferramenta de suporte à tomada de decisões técnicas e operacionais;
- Capacitação Técnica: Promover treinamentos constantes das equipes de operação e manutenção, incentivando o uso eficaz de ferramentas de simulação e diagnósticos hidráulicos;
- Análise Econômica das Intervenções: Realizar estudos de custo-benefício para garantir a viabilidade financeira das ações de manutenção e sua integração ao planejamento estratégico da operação.

Essas recomendações visam assegurar a eficiência, a durabilidade e a sustentabilidade dos sistemas de adução de água bruta, contribuindo para a gestão eficiente dos recursos hídricos e a continuidade dos serviços de abastecimento com qualidade, quantidade e segurança.

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.