DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PEDAGÓGICO ATIVO PARA O ENSINO DE HIDRÁULICA EM CONDUTOS FORÇADOS

Alexandre Fernandes Ciupa (PIC/UEM), Gustavo Vieira Nogueira Alves (PIC/UEM), José Augusto Alves Pimenta (Coorientador) e Ed Pinheiro Lima (Orientador). E-mail: eplima2@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Civil / Engenharia Hidráulica.

Palavras-chave: hidráulica; software didático; aprendizagem ativa.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta didática em Python para o estudo do escoamento permanente em condutos forçados em série. O software foi estruturado com arquitetura modular, separando o núcleo de cálculo hidráulico, o modelo de dados e a interface gráfica. Foram criados quarenta e oito testes automatizados, organizados por grupos de cálculo e comparados com soluções analíticas, condições de contorno conhecidas e/ou resultados de referência. Os resultados mostram um programa capaz de calcular número de Reynolds, fator de atrito, perda de carga distribuída, linha piezométrica e linha de energia, apresentando-os em planilha, relatório textual, perfil longitudinal colorido conforme o regime de escoamento e também um piezômetro virtual. O programa realiza ainda duas análises de segurança operacional: verificação de cavitação por pressão absoluta, distinguindo-a de pressão manométrica apenas negativa; e análise de golpe de aríete pelos modelos de coluna rígida e elástico, de acordo com o tempo de manobra. O programa também resolve o dimensionamento, determinando o diâmetro a partir da carga disponível e restringindo a diâmetros comerciais, além de verificar automaticamente critérios normativos de projeto de adutoras. Recursos de aprendizagem ativa, como modo de previsão, exportação da memória de cálculo em PDF e geração de notebooks Jupyter, reforçam o caráter didático da ferramenta. No conjunto, o HidraCalc integra cálculo numérico, interpretação energética, segurança operacional e recursos pedagógicos em uma única plataforma de apoio ao ensino de hidráulica.

INTRODUÇÃO

A hidráulica de condutos forçados é conteúdo central na formação em Engenharia Civil, presente em disciplinas como sistemas prediais, adutoras e redes de distribuição. Sua aprendizagem exige compreender o significado físico de grandezas como velocidade média, número de Reynolds, fator de atrito, perda de carga, linha piezométrica (HGL) e linha de energia (EGL), além da aplicação das equações consolidadas na literatura. É preciso compreender também fenômenos de segurança

operacional, como cavitação e golpe de aríete, frequentemente tratados de forma superficial ou por meio de regras práticas nem sempre precisas. Os softwares profissionais de simulação hidráulica, nem sempre deixam explícito esse raciocínio ao estudante. Assim, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento do HidraCalc, ferramenta computacional de apoio ao estudo do escoamento permanente em condutos forçados em série, com o objetivo de integrar o cálculo numérico, a visualização gráfica e as explicações conceituais em um único ambiente didático.

MATERIAIS E MÉTODOS

O HidraCalc foi implementado em Python, com interface gráfica em PySide6, vinculação oficial do Qt. A escolha da linguagem justifica-se pela ampla adoção em ambientes acadêmicos, pela legibilidade do código-fonte e pela portabilidade entre sistemas operacionais. A arquitetura do software é organizada em camadas independentes: núcleo de cálculo hidráulico, modelo de dados, componentes gráficos e configurações globais, seguindo o princípio de separação de responsabilidades. O núcleo de cálculo reúne isoladamente as rotinas de número de Reynolds, fator de atrito pelas formulações de Colebrook-White e Swamee-Jain, perda de carga distribuída e propriedades físicas e termodinâmicas da água. Essa separação permite verificar cada rotina por testes automatizados, sem depender da interface gráfica. A verificação compreendeu a compilação de todos os módulos e a execução de quarenta e oito testes automatizados, cuja distribuição por grupo é apresentada no Quadro 1. Entre os testes automatizados do HidraCalc, o Quadro 2 mostra alguns exemplos dessas verificações executadas.

Quadro 1 – Distribuição dos testes automatizados do HidraCalc.

Grupo de teste	Quantidade	Grupo de teste	Quantidade
Núcleo hidráulico básico	6	Verificação de cavitação	4
Validade de Swamee-Jain	3	Golpe de aríete	6
Exportação EPANET	4	Diâmetros comerciais	4
Interpolação do piezômetro virtual	3	Dimensionamento hidráulico	6
Propriedades físicas da água	6	Critérios normativos	3
		Dimensionamento	3

Quadro 2 – Exemplos quantitativos de verificação dos cálculos automatizados.

Cálculo verificado	Referência adotada	Resultado da comparação
Fator de atrito laminar	Solução analítica f = 64/Re para Re = 1.000	f = 0,064; diferença nula no teste
Perda distribuída	Darcy-Weisbach para L = 100 m, D = 0,10 m e V = 0,01 m/s	hd = 0,000326 m; diferença < 10^-18 m
Swamee-Jain	Colebrook-White para Re = 5.000, 10^5 e 10^7	erros relativos de 1,39%, 0,39% e 0,16%
Golpe de aríete	Igualdade Michaud/Joukowsky em t = 2L/a	diferença numérica igual a zero no teste

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No HidraCalc, o usuário define um sistema de tubulações em série a partir de dados geométricos e hidráulicos por trecho, como comprimento, diâmetro ou dimensões equivalentes, rugosidade e cotas. Os valores são validados no momento da entrada, com continuidade automática garantida entre trechos. As condições de contorno são estabelecidas por reservatórios ou por carga de pressão inicial. A partir desses dados, o programa calcula Reynolds, fator de atrito, perda distribuída, HGL e EGL, apresentando os resultados em planilha, relatório textual e no perfil longitudinal do sistema (Figura 1).

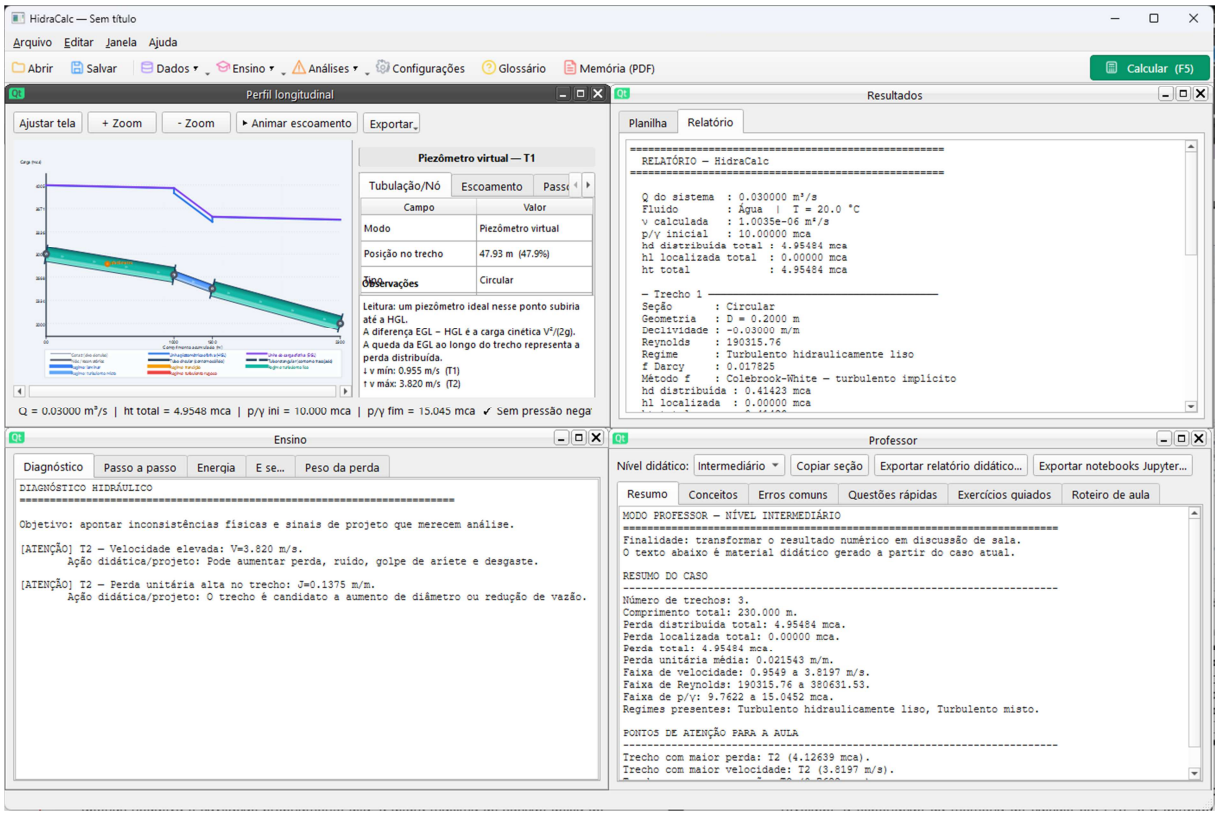


Figura 1 – Perfil longitudinal do HidraCalc, resultados e modos professor e aluno.

Nesse perfil, a cor do tubo indica o regime de escoamento, laminar, de transição, turbulento liso, misto ou rugoso, enquanto pequenas setas indicam o sentido e a intensidade da velocidade em cada trecho, evidenciando a relação entre continuidade e diâmetro. O piezômetro virtual, por sua vez, associa a HGL à altura atingida em um tubo piezométrico, distinguindo carga piezométrica e carga total.

O programa realiza duas análises de segurança operacional, considerando tubulação rígida. Na verificação de cavitação, soma-se a pressão atmosférica local, obtida pela altitude informada, à pressão manométrica calculada, obtendo a pressão absoluta, comparada à pressão de vapor da água na temperatura do sistema: assim,

a altura máxima de sucção deixa de ser um valor fixo de 10,33 m e passa a depender da altitude e da temperatura (WHITE, 2016). Na análise de golpe de aríete, o tempo de fechamento é comparado ao tempo de reflexão da onda de pressão para escolher entre os modelos de coluna rígida, para manobras lentas, e elástico, para manobras rápidas. Ambas as análises dispõem de diálogos próprios, pré-carregados com os dados do sistema, permitindo alterar o cenário sem recalcular o sistema inteiro.

O HidraCalc também resolve o problema inverso, o dimensionamento: a partir da carga disponível entre montante e jusante, o diâmetro é obtido pela formulação explícita de Swamee-Jain ou por solução iterativa, conforme o fator de atrito configurado. O valor é arredondado para a série de diâmetros comerciais escolhida (ferro fundido dúctil, PVC ou PEAD) e verificado contra os critérios normativos da ABNT NBR 12215-1 (2022) e NBR 12218 (2017), sobretudo a permanência da linha piezométrica acima da geratriz superior do conduto.

Por fim, o HidraCalc inclui recursos de aprendizagem ativa, como o modo de previsão, em que o aluno estima o trecho de maior perda antes da revelação do resultado, a exportação da memória de cálculo em PDF e notebooks Jupyter, com versões comentada (professor) e de exercício (aluno).

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do HidraCalc mostrou ser viável integrar, em uma única ferramenta, cálculo hidráulico, visualização gráfica, análises de segurança operacional e recursos de aprendizagem ativa, sem prejuízo da rastreabilidade das equações empregadas. A arquitetura modular adotada facilita a manutenção do software e reduz o risco de divergência entre o que é calculado, documentado e exibido ao usuário. A verificação por quarenta e oito testes automatizados, complementada por comparações quantitativas com soluções analíticas e referências conhecidas, indicou diferenças nulas ou inferiores aos limites declarados para os casos avaliados. Assim, o programa atende aos objetivos técnicos propostos para sistemas em série com perda distribuída, dimensionamento, cavitação, golpe de aríete em tubulação rígida e conformidade normativa. Como continuidade, recomenda-se realizar validação pedagógica com estudantes, por meio de aplicação em aula e comparação do desempenho conceitual antes e depois do uso da ferramenta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12215-1: Projeto de adutora de água – Parte 1: Conduto forçado.** Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

WHITE, F. M. **Mecânica dos fluidos.** 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.