



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

JOÃO PEDRO VITAL PEREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO ATRAVÉS DO USO DA LINGUAGEM
PYTHON PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE
ÁGUA**

CAMPINA GRANDE, PB

2023

JOÃO PEDRO VITAL PEREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO ATRAVÉS DO USO DA LINGUAGEM
PYTHON PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE
ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira

CAMPINA GRANDE, PB

2023

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

P436d Pereira, Joao Pedro Vital.
Desenvolvimento de um aplicativo através do uso da linguagem python para dimensionamento de uma estação elevatória de água [manuscrito] / Joao Pedro Vital Pereira. - 2023.
53 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.
"Orientação : Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."
1. Python. 2. KivyMD. 3. Estação elevatória. I. Título
21. ed. CDD 628

JOÃO PEDRO VITAL PEREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO ATRAVÉS DO USO DA
LINGUAGEM PYTHON PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO
ELEVATÓRIA DE ÁGUA**

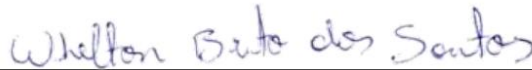
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovada em: 01/12/2023.

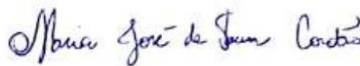
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Maria José de Sousa Cordão
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, pelo apoio incondicional ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

A todos os professores do DESA ao qual tive a satisfação em ter aula.

Ao meu professor orientador, Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira, expresso minha gratidão pela paciência, pelos valiosos ensinamentos, pelo suporte constante e pela confiança depositada na realização deste trabalho e ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.

Ao professor Dr. Whelton Brito dos Santos, meu sincero agradecimento por sempre ter acreditado no meu potencial, por seu constante incentivo e apoio em todas as decisões que precisei tomar.

À professora Dr. Maria José de Sousa Cordão, agradeço pelo carinho, pelos conselhos, pela preocupação e pelo cuidado que teve para comigo ao longo dessa jornada acadêmica.

Aos amigos que fiz durante essa caminhada, em especial Roni e Heitor, agradeço pelos ótimos momentos compartilhados e pela amizade verdadeira.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software para o dimensionamento de uma Estação Elevatória de Água (EEA) de pequeno porte, destinada a empreendimentos residenciais. A ferramenta foi construída utilizando a linguagem de programação Python em razão da sua popularidade, sintaxe legível e ampla variedade de bibliotecas padrão. A interface gráfica foi desenvolvida com o KivyMD, proporcionando uma experiência intuitiva e de fácil manipulação. Com este software, espera-se que estudantes, pesquisadores e profissionais encontrem uma ferramenta valiosa que contribua para a eficiência e precisão no dimensionamento de estações elevatórias de água, sendo uma ferramenta de rápida resolução e geradora de relatório. Este trabalho contribui não apenas para o campo específico do dimensionamento de estações elevatórias, mas também destaca o potencial da linguagem Python e do framework KivyMD na criação de ferramentas computacionais robustas e acessíveis. A abordagem inovadora adotada neste projeto visa não apenas fornecer uma solução técnica, mas também promover a disseminação do conhecimento e facilitar o acesso a ferramentas especializadas na área de engenharia e projetos. O principal resultado obtido é um software de fácil aplicação e eficaz para dimensionamento de EEA que oferece uma contribuição útil para dimensionamento e geração de relatório.

Palavras-Chave: Estação Elevatória; Python; KivyMD.

ABSTRACT

This work presents the development of software for the sizing of a small-scale water pumping station designed for residential projects. The tool was built using the Python programming language, leveraging its popularity, readable syntax, and a wide range of standard libraries. The graphical interface was developed with KivyMD, providing an intuitive and easy-to-use experience. With this software, it is expected that students, researchers, and professionals will find a valuable tool that contributes to efficiency and precision in the sizing of water pumping stations, offering quick resolution and report generation capabilities. This work contributes not only to the specific field of water pumping station sizing but also highlights the potential of the Python language and the KivyMD framework in creating robust and accessible computational tools. The innovative approach adopted in this project aims not only to provide a technical solution but also to promote the dissemination of knowledge and facilitate access to specialized tools in the field of engineering and design. It is emphasized that in the results and discussion section, a practical example of the software application is presented, showcasing the tool's effectiveness in station sizing. The obtained results are discussed in detail, providing a clear insight into the software's contributions to various aspects of the project, concluding with the generation of a project report.

Keywords: Pumping Station; Python; KivyMD.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama de Moody	19
Figura 2 – Fluxograma da Lógica Adotada.....	33
Figura 3 – Interface inicial	34
Figura 4 – Interface cálculo do diâmetro econômico com valores aleatórios	45
Figura 5 – Interface cálculo de perda de carga com valores aleatórios	36
Figura 6 – Interface Seleção da bomba com valores aleatórios.....	37
Figura 7 – interface dos desenvolvedores.....	38
Figura 8 – Interface sobre o <i>software</i>	39
Figura 9 – Configuração da estação elevatória	40
Figura 10 – Resultado do cálculo do diâmetro econômico	41
Figura 11 – Resultado do cálculo da perda de carga	42
Figura 12 – Resultado da seleção do modelo de bomba escolhido	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Rugosidade do tubo de acordo com o material	20
Tabela 2 – Recomendação de acréscimo aos motores elétricos	27
Tabela 3 – Dados de entrada	40
Tabela 4 – Perdas Localizadas Expressas em Diâmetros de canalização Retilínea (Comprimento Equivalente).....	48
Tabela 5 – Modelos de Bombas Inseridos no Software	49

LISTA DE ABREVIATURAS

Dr.	Doutor
m	metro
m/s	Metros por segundo
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
NBR	Norma Brasileira
NPSHd	Net Positive Suction Head Disponible
NPSHr	Net Positive Suction Head Required
Rey	Reynolds
Zmáx	Altura máxima de sucção

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Python como linguagem de programação	11
2.2 Principais equações hidráulicas em projetos de engenharia	11
a. Escoamento interno	12
<i>i. Número de Reynolds</i>	13
1. Equações fundamentais do escoamento	14
2. Equação da continuidade	15
3. Equação da quantidade de movimento	15
4. Equação da energia	16
<i>ii. Perda de carga distribuída</i>	17
1. Fórmula racional ou universal	17
2. Fórmulas empíricas.....	21
<i>iii. Perda de carga localizada</i>	22
b. A Hidráulica de Estações Elevatória de Água	23
<i>i. Diâmetro econômico.....</i>	23
1. Fórmula de Bresse	24
2. Fórmula de Forchheimer	25
<i>ii. Altura manométrica</i>	25
<i>iii. Curva característica da bomba e gráficos de seleção.....</i>	26
<i>iv. Curva característica da bomba e gráficos de seleção.....</i>	26
<i>v. Aspectos operacionais e fenômenos em estações elevatórias.....</i>	28
3 METODOLOGIA	30
a. Programação do software	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
a. Organização das interface do software	34
i. Tela Inicial.....	34
ii. Interface cálculo do diâmetro econômico	35
iii. Interface cálculo da perda de carga	36
iv. Interface seleção da bomba	36
v. Interface desenvolvedores.....	38
vi. Interface sobre o Software	38
b. Exemplo de aplicação	39
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	48
APÊNDICES	50

1 INTRODUÇÃO

A linguagem de programação Python, desde sua concepção na década de 1990 por Guido van Rossum, tem se destacado como uma ferramenta versátil e poderosa em diversos campos da computação. Sua sintaxe simples e legível, aliada à vasta quantidade de bibliotecas, tornou-a uma escolha preferida tanto para iniciantes quanto para programadores experientes (Sousa, 2023).

No panorama da programação, Python se destaca como uma linguagem de propósito geral, o que significa que ela é aplicável em uma ampla gama de domínios, desde o desenvolvimento web até análises de dados complexas. Sua flexibilidade e comunidade ativa contribuíram para seu crescimento exponencial, consolidando-a como uma das linguagens mais populares no cenário tecnológico global.

No entanto, embora Python seja amplamente utilizado em muitas disciplinas, sua aplicação direta no âmbito específico do dimensionamento de estações elevatórias de água ainda carece de exploração mais aprofundada. Trabalhos na literatura com desenvolvimento de software para dimensionamento de elevatória ou ligado a hidráulica usa-se comumente a linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*), da *Microsoft®*, como em Sales (2015), Silva (2019) e Braga (2017).

O desenvolvimento de soluções computacionais para resolução de problemas de engenharia tem se tornado cada vez mais relevante, acompanhando a evolução tecnológica. Neste contexto, o presente trabalho visa desenvolver um software que utiliza Python como base de linguagem de programação, empregando a biblioteca KivyMD para a construção de uma interface gráfica intuitiva, bem como, propõe a explorar e ampliar as capacidades dessa linguagem por meio do desenvolvimento de um software dedicado ao dimensionamento de estações elevatórias de água aplicados a empreendimentos residenciais.

Essa abordagem facilitará o acesso e a utilização do software, permitindo que estudantes e profissionais da área de projetos possam dimensionar estações elevatórias de maneira mais eficiente, rápida e prática. A proposta visa suprir lacunas existentes em ferramentas disponíveis, por meio de uma solução acessível, didática e intuitiva que atenda tanto a demanda acadêmica quanto às necessidades práticas enfrentadas pelos profissionais da área. Assim, contribuindo significativamente para o avanço da aplicação da linguagem Python no contexto do dimensionamento de estações elevatórias de água, promovendo eficiência e inovação nesse campo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Python como linguagem de programação

Integrando simplicidade e legibilidade, a linguagem de programação Python emergiu como uma força significativa no cenário da programação. Sua sintaxe clara e acessível não apenas facilita a aprendizagem, mas também contribui para a manutenção eficiente do código. Essa abordagem amigável tornou o Python uma escolha ideal para programadores, independentemente de sua experiência, impulsionando seu rápido crescimento em popularidade (Menezes, 2019).

A versatilidade é uma das características distintivas de Python, permitindo seu uso em diversos contextos. Desde o desenvolvimento web até a análise de dados, aprendizado de máquina e automação, Python estende sua influência de maneira universal. Sua capacidade multiplataforma garante que os aplicativos desenvolvidos em Python possam ser executados em diferentes sistemas operacionais sem grandes modificações, aumentando ainda mais sua utilidade.

O ecossistema de bibliotecas robusto é outro fator crucial que impulsiona o sucesso de Python. Módulos especializados, como NumPy para computação científica, Django para desenvolvimento web e TensorFlow para aprendizado de máquina, ampliam a utilidade da linguagem em diversas disciplinas. Essas bibliotecas não apenas simplificam o desenvolvimento, mas também enriquecem as capacidades funcionais dos aplicativos criados em Python.

Python destaca-se, igualmente, no desenvolvimento ágil de aplicações. Com um ciclo de desenvolvimento rápido e uma ampla gama de ferramentas de suporte, os programadores podem transformar ideias em produtos funcionalmente robustos de maneira eficiente. Isso não apenas acelera o processo de desenvolvimento, mas também favorece a inovação ao permitir a rápida implementação de conceitos em soluções prontas para o mercado (Menezes, 2019).

No campo do desenvolvimento de aplicativos, Python assume um papel fundamental. Frameworks como Flask, Django e Kivy simplificam a criação de aplicativos web robustos e escaláveis, enquanto bibliotecas como Pandas e Matplotlib

Além disso, o ecossistema de Python é enriquecido por uma variedade de Ambientes de Desenvolvimento Integrado (IDEs), como o PyCharm, VSCode e Jupyter Notebook. Essas IDEs oferecem ferramentas avançadas de edição,

depuração e gerenciamento de projetos, tornando o desenvolvimento em Python ainda mais eficiente e agradável para os programadores, destacam-se em aplicações científicas e análise de dados.

Um ponto de destaque é a comunidade Python, que desempenha um papel crucial no apoio e na evolução contínua da linguagem. Com uma comunidade ativa e engajada, os desenvolvedores têm acesso a vastos recursos, fóruns de discussão e colaborações, criando um ambiente propício para o aprendizado e crescimento profissional.

Quanto à documentação, Python é reconhecido pela clareza e abrangência de sua documentação oficial. No site oficial da Python, os desenvolvedores encontram manuais detalhados, tutoriais e referências que abrangem desde conceitos básicos até tópicos avançados. Além disso, a documentação específica de bibliotecas e frameworks, disponível nos respectivos sites, oferece informações detalhadas sobre o uso dessas ferramentas, proporcionando um recurso valioso para a solução de problemas e o desenvolvimento eficiente.

2.2 Principais equações hidráulicas em projetos de engenharia

a. Escoamento interno

Netto (2015) enfatiza de forma assertiva que a maioria dos projetos hidráulicos está centrada na utilização de tubos como meio de transporte de fluidos. Esses condutos, geralmente de seção transversal circular, possuem a capacidade de suportar maiores discrepâncias de pressão entre o interior e o exterior, em comparação com tubulações de geometrias distintas.

A discrepância de pressão se manifesta quando o tubo opera como seção plena, isto é, quando o fluido preenche completamente sua área transversal, permitindo que o fluxo ocorra por meio da influência gravitacional ou através da introdução de energia interna por meio de um conjunto motor-bomba. No cenário em que a diferença de pressão é pouco significativa, considera-se o escoamento como livre, como apontado por Çengel e Cimbala (2015).

Çengel e Cimbala (2015) também explicam que, durante o transporte de fluidos através de tubos, ocorre uma diminuição na pressão devido ao atrito entre as moléculas do fluido e as paredes internas da tubulação, bem como entre as moléculas

do próprio fluido. Esse último aspecto está intrinsecamente ligado à viscosidade, uma propriedade inerente a cada fluido que se traduz em sua resistência ao escoamento.

A fricção entre as moléculas provoca um discreto aumento na temperatura do fluido, resultante da conversão de energia mecânica em calor. Contudo, esse incremento térmico pode ser considerado insignificante. Vale ressaltar que a intensidade da fricção se amplifica com o aumento da rugosidade da superfície interna do tubo, a viscosidade do fluido, a velocidade de transporte e a presença de obstáculos na tubulação, como conexões, acessórios e válvulas.

i. Número de Reynolds

Osborne Reynolds, em 1883, iniciou uma investigação profunda sobre o comportamento de líquidos em movimento dentro de tubulações. Suas explorações teóricas e experimentais levaram à conclusão de que a melhor abordagem para categorizar o tipo de fluxo era através de uma expressão adimensional que equilibrasse as forças viscosas e inerciais atuantes no fluido (Netto, 2015).

Esse conceito adimensional, conhecido como número de Reynolds (Equação 1), desempenha um papel crucial na classificação dos regimes de fluxo de fluidos em laminar, turbulento ou de transição.

$$Rey = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (1)$$

Em que:

ρ - Densidade do fluido (kg/m³);

v - velocidade do fluido (m/s);

D - Diâmetro da tubulação;

μ - Viscosidade dinâmica do fluido (kg/m.s);

ν - Viscosidade cinemática do fluido (m²/s).

Para regimes de escoamento laminar, as forças viscosas predominam sobre as forças inerciais, e as partículas de fluido seguem trajetórias bem definidas e ordenadas. Nesse regime, a transferência de momento e energia ocorre principalmente por difusão molecular ao longo das linhas de corrente. Esse tipo de escoamento prevalece para valores de Reynolds menores que 2.300 (Porto, 2006).

Em contraste, o escoamento turbulento é caracterizado pela predominância das forças inerciais sobre as forças viscosas. As partículas de fluido seguem

trajetórias indefinidas, com movimentos aleatórios e flutuações entre as camadas de fluido.

Essas flutuações transportam massa, momento e energia de forma muito mais rápida do que a difusão molecular, resultando em altos coeficientes de atrito. O escoamento turbulento prevalece para valores de Reynolds maiores que 4.000 (Porto, 1998).

Há também o fluxo de transição, que apresenta características intermediárias entre os regimes laminar e turbulento. Isso ocorre quando $2.300 < Re < 4.000$. Muitos problemas práticos de engenharia associados ao transporte de água se enquadram no perfil de fluxo turbulento.

Assim, o número de Reynolds emerge como uma ferramenta valiosa para a compreensão dos projetos de sistemas de transporte de fluidos em tubulações, nos quais diferentes regimes de fluxo estão presentes.

1. Equações fundamentais do escoamento

De acordo com Baptista (2002), a grande maioria dos escoamentos pode ser tratada como unidimensional e permanente, o que implica que as grandezas do fluido, como velocidade, pressão e massa específica, variam apenas em uma dimensão e não mudam com o tempo em cada ponto do espaço.

Nesse contexto, existem três equações fundamentais amplamente utilizadas para descrever o fluxo de fluidos: a Equação de Continuidade, a Equação da Quantidade de Movimento e a Equação da Energia. Essas equações são essenciais para analisar e compreender o comportamento dos escoamentos.

É importante mencionar que, em algumas situações específicas, essas equações podem requerer ajustes ou correções através de coeficientes, especialmente quando o escoamento é bidimensional. Essas adaptações são necessárias para atender às particularidades do fluxo em questão.

Além disso, ao realizar cálculos, muitas vezes é conveniente adotar características médias do fluido, como velocidade média e densidade média. Essas médias são úteis para simplificar as análises e resolver problemas práticos em engenharia e ciências aplicadas.

Portanto, o entendimento das equações fundamentais do escoamento é essencial para modelar e resolver problemas relacionados ao transporte de fluidos em diversas situações e sistemas, permitindo uma abordagem precisa e adequada às características específicas de cada cenário.

2. Equação da continuidade

A equação da continuidade deriva da lei da conservação da massa o qual estabelece que a massa não pode ser criada ou destruída, o que implica dizer que a massa que entra no tubo é a mesma que sai deste (Baptista,2002). Aplicando este conceito entre duas seções de uma tubulação tem-se a Equação 2.

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (2)$$

Em que:

ρ_1, ρ_2 - massa específica nas seções 1 e 2 (kg/m³);

A_1, A_2 - área das seções 1 e 2 (m²);

v_1, v_2 - velocidade de escoamento nas seções 1 e 2 (m/s).

Considerando que na hidráulica trata basicamente da condução de água e que esse é considerado incompressível, ou seja, sua massa específica é considerada constante. A equação da continuidade descrita anteriormente (Equação 2) torna-se a Equação 3.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \text{ ou } Q_1 = Q_2 \quad (3)$$

Em que:

Q_1, Q_2 - Vazão nas seções 1 e 2 (m³/s).

3. Equação da quantidade de movimento

Esta equação é obtida a partir da segunda lei de Newton, a qual demonstra que a variação da quantidade de movimento entre dois pontos quaisquer do escoamento permanente é igual à resultante das forças externas. Estas forças externas são a força de pressão e a força peso atuando sobre a superfície fechada (Baptista, 2002). Assim, tem-se a Equação 4.

$$R = \rho Q(\beta_1 v_1 - \beta_2 v_2) \quad (4)$$

Em que:

R - Vetor resultante das forças atuando no sistema (N);

ρ - Massa específica do fluido (kg/m^3);

Q - Vazão escoada (m^3/s);

β - Coeficiente de Boussinesq;

v - Vetor velocidade média do escoamento na seção considerada.

O coeficiente de Boussinesq é utilizado para corrigir o valor da velocidade de escoamento e a velocidade média considerada em uma seção transversal do escoamento. Ele ajusta o emprego de um valor médio que representa o perfil de velocidade em um escoamento. Em condutos forçados, esse coeficiente é geralmente superior a 1,1 para escoamentos turbulentos e aproximadamente igual a 1,3 para regime laminar.

4. Equação da energia

A equação da energia da primeira lei da termodinâmica, o qual estabelece que a mudança de energia interna de um sistema é igual a soma da energia adicionada com o trabalho realizado pelo fluido. Uma forma de expressar esta lei para sistemas de escoamento real entre duas seções de um fluido incompressível, em regime permanente e em que há um fator que representa a perda de energia devido ao atrito entre essas seções é dado pela Equação 5.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_1 - 2 \quad (5)$$

Em que:

Z_1, Z_2 - Carga potencial nas seções 1 e 2 (m);

$\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$ - Carga de pressão nas seções 1 e 2 (m);

$\alpha \frac{v_1^2}{2g}, \alpha \frac{v_2^2}{2g}$ - Carga cinética nas seções 1 e 2 (m);

$\Delta h_1 - 2$ - Perda de carga entre as seções 1 e 2 (m).

O coeficiente de Coriolis é utilizado para corrigir o valor da parcela referente à energia cinética, considerando-se o valor médio da velocidade do escoamento na seção, em vez da média das energias cinéticas das partículas. Seu valor compreende a 2,0 em escoamentos de regime laminar e varia de 1 a 1,10 em escoamentos turbulentos. Geralmente, em cálculos, seu valor é considerado como sendo 1.

Além disso, a equação 5 pode ser reformulada quando o sistema apresenta uma máquina hidráulica para inserir energia no fluido (bomba) ou retirar energia do fluido para aproveitamento ou geração de energia (turbina), que resulta na Equação 6.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} + H_b = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_{1-2} + H_t \quad (6)$$

Em que:

H_b - energia inserida do fluido (m);

H_t - energia retirada do fluido (m).

ii. Perda de carga distribuída

A perda de carga distribuída ou contínua está intrinsecamente ligado ao atrito interno entre as partículas de fluido com a parede da tubulação, e o valor deste varia de acordo com a viscosidade do fluido e com a rugosidade da tubulação.

O cálculo da perda de carga contínua pode ser feito por uma infinidade de fórmulas presente na literatura, contudo a escolha e o bom uso de uma fórmula devem partir do conhecimento de sua origem para uma aplicação segura (Jorge Akutsu, 2012).

Nesse contexto, o presente trabalho abordará as fórmulas de perda de carga distribuída, que inclui a equação universal, juntamente com algumas das principais equações empíricas associadas.

1. Fórmula racional ou universal

A fórmula universal foi derivada da teoria da análise dimensional, utilizando o teorema de Buckingham, na análise do escoamento de fluidos em condutos forçados. Ela é considerada semi-empírica, pois sua formulação é fundamentada em bases teóricas e complementada por avaliações intensas e análises experimentais, como suporte para a determinação do fator de atrito (Jorge Akutsu, 2012).

A fórmula racional pode ser aplicada a qualquer tipo de fluido e regime de escoamento (laminar, transitório ou turbulento). Neste caso, a perda de carga pode ser obtida pela Equação 7.

$$\Delta H = \frac{f \times L \times v^2}{D \times 2g} \quad (7)$$

em que:

ΔH - Perda de carga distribuída (m);

f- fator de atrito (adimensional);

L-Comprimento do tubo (m);

v- velocidade de escoamento (m/s);

D- Diâmetro da tubulação (m);

g- Aceleração da gravidade (m/s²).

Entretanto, a maior complexidade no uso da fórmula universal reside na determinação do fator de atrito. Este fator não é constante, mas sim uma função que depende do número de Reynolds e/ou da rugosidade relativa do tubo (ε/D).

Nikuradse foi um dos pioneiros na busca por valores da função f a partir de análises experimentais. Com base nos resultados obtidos, ele desenvolveu um gráfico conhecido como "harpas de Nikuradse" para visualizar melhor as curvas de f em relação ao número de Reynolds e à rugosidade relativa da tubulação.

Desde os estudos de Nikuradse, vários outros pesquisadores aprimoraram os valores de f(Rey, ε/D) através de gráficos como o diagrama de Moody (Figura 1) ou por meio de equações matemáticas, como a equação de Colebrook-White (Equação 8). Esta última desenvolveu uma fórmula para o fator de atrito em regimes de transição.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{2,51}{Rey \sqrt{f}} \right) \quad (8)$$

A equação de Colebrook-White, por ser implícita, requer abordagens iterativas em sua resolução, o que pode gerar dificuldades computacionais. Em alguns casos, equações explícitas podem ser mais vantajosas, como a equação de Swamee-Jain (Equação 9).

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{Rey^{0,9}} \right]^2} \quad (9)$$

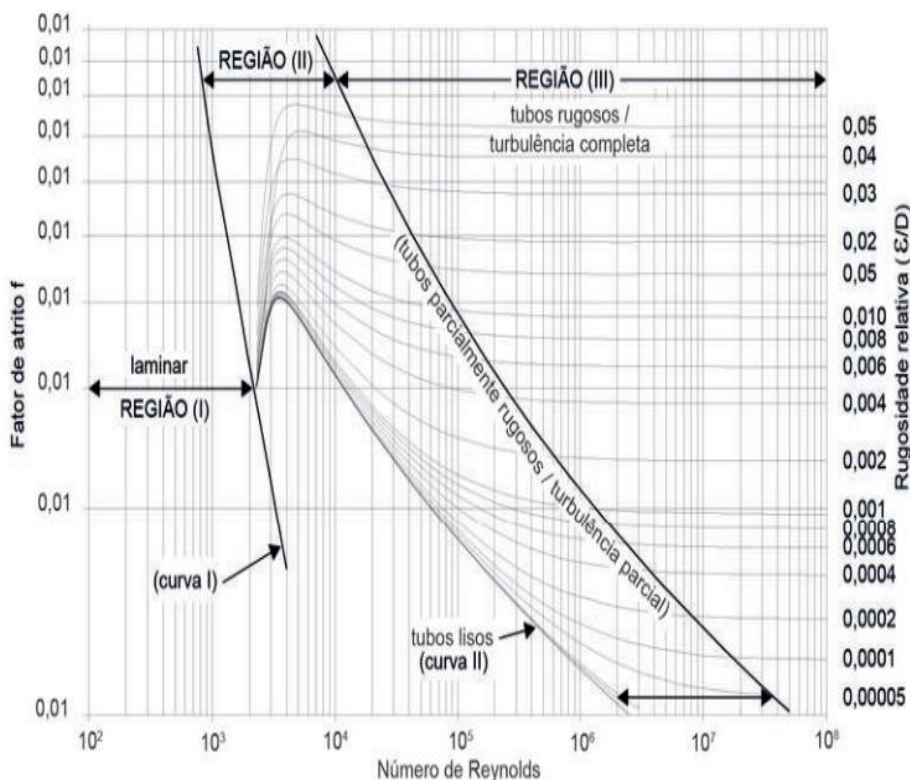
Em que:

ε - Rugosidade absoluta do tubo (m);

D- Diâmetro do tubo (m);

Rey- Número de Reynolds (adimensional).

Figura 1 – Diagrama de Moody



Fonte: Aktusu (2012).

Como mencionado, existem três regimes de escoamento, e para cada um deles, o cálculo de f é feito utilizando equações específicas para o regime em questão. O Quadro 1 resume as principais equações usadas para calcular f , suas faixas de aplicação e descrições.

Quadro 1 – Fórmulas para cálculo do fator de atrito

Fórmula do Fator de Atrito	Faixa de Aplicação	Descrição
$f = \frac{64}{Rey}$	$0 < Rey \leq 2000$	Em escoamento laminar o fator de atrito depende apenas do número de reynolds.
$f = \frac{0,316}{Rey^{0,25}}$	$3000 < Rey \leq 10^5$	Essa equação proposta por Blasius é aplicada apenas para tubos hidraulicamente liso.

$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right)$	$14,14 < \frac{Re\sqrt{f}}{D/\varepsilon} < 198$	Equação proposta por Colebrook-White é aplicada para regime de escoamento de transição.
$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]^2}$	$5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^8 \text{ e}$ $10^{-6} \leq \varepsilon/D \leq 10^{-6}$	Equação explícita para cálculo do fator de atrito proposta por Swamee-Jain.

Fonte: Autoria Própria (2023).

No contexto de projetos de condução de água, como redes de distribuição, instalações hidrossanitárias e sistemas de bombeamento, as velocidades geralmente variam de 0,5 a 3 m/s, enquanto os diâmetros das tubulações variam de 50 mm a 800 mm. Nessas situações práticas, o número de Reynolds tipicamente se encontra dentro da faixa de transição, permitindo a aplicação tanto da equação 8 quanto da equação 9 para calcular o fator de atrito.

Contudo, como salientado por Porto (2006), um dos maiores desafios no uso da fórmula de perda de carga universal é a especificação da rugosidade da tubulação e a previsão de sua modificação ao longo do tempo, devido à erosão das paredes internas causada pela água, o que dificulta a determinação precisa do fator de atrito.

Netto (2015) também compartilha essa preocupação e crítica a obrigatoriedade do uso da equação universal em várias normas brasileiras, excluindo a possibilidade de aplicar fórmulas empíricas desenvolvidas para usos específicos, ensaiadas a temperaturas determinadas, e que são aplicáveis apenas a escoamentos turbulentos, que são os regimes mais comuns na prática.

A tabela 1 detalha a rugosidade para diferentes tipos de tubos, os quais serão utilizados neste trabalho.

Tabela 1 – Rugosidade do tubo de acordo com o material

Material do Tubo	Rugosidade (mm)
Tubo PVC	0.005
Tubo PPR	0.007
Aço Carbono	0.06
Cobre	0.0015
Ferro Fundido	0.05

Fonte: Autoria Própria.

2. Fórmulas empíricas

A fórmula universal, devido à complexidade de seu fator de atrito, era desafiadora de ser usada na época em que foi formulada, uma vez que calculadoras e planilhas eletrônicas não estavam disponíveis para auxiliar na resolução (Jorge Akutsu, 2012). Para superar essa dificuldade, pesquisadores embarcaram em uma busca por equações alternativas e mais simplificadas que facilitassem o cálculo da perda de carga contínua.

A motivação para encontrar uma alternativa à fórmula universal fundamentou-se na premissa de que a maioria dos projetos hidráulicos estava associada a regimes de escoamento turbulentos. Nesse regime, como ilustrado na Figura 1, o fator de atrito depende exclusivamente da rugosidade relativa do tubo.

Portanto, pesquisadores desenvolveram equações com coeficientes de atrito constantes, nos quais a dependência se restringe ao material do tubo ou ao seu revestimento interno.

Essas equações, conhecidas como empíricas, receberam tal nome devido ao fato de terem sido construídas por meio de um estudo estatístico minucioso. Esse estudo levou em conta dados experimentais previamente disponíveis por diversos autores, bem como observações feitas pelos próprios pesquisadores para os tipos de tubos em análise.

As equações empíricas são mais simples de aplicar, mas sua utilização é limitada à faixa de aplicabilidade para a qual foram formuladas em ambiente laboratorial. A mais conhecida fórmula empírica é a de Hazen-Williams. Ao qual seu uso fica limitado às condições de ser usadas apenas para transporte de água fria a 20°C, em regime de escoamento turbulento de transição e para diâmetro de tubo igual ou acima a 4”(100mm). C coeficiente de perdas carga que varia conforme o material do tubo.

$$\Delta H = \frac{10,65 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \quad (10)$$

Em que:

Q- Vazão (m³/s);

L- Comprimento total (m);

C- Coeficiente de perda de carga;

D- Diâmetro do tubo (m).

O uso da equação de Hazen-Williams é muito comum nos Estados Unidos para dimensionamento de condutos forçados, no Brasil ela entrou em desuso a partir de 1977 quando as normas brasileiras deixaram de utilizá-la para dimensionamento de condutos forçado (Sergio Rolim, 2016). Com a atualização da NBR 5626:2020 que trata de sistemas prediais de água fria e água quente - Projeto, execução, operação e manutenção, a fórmula universal passou a ser a mais indicada.

iii. Perda de carga localizada

Além da perda de carga distribuída, ocorrem perdas localizadas em pontos ou trechos específicos de tubulações, resultando em alterações no módulo e/ou direção da velocidade. Essas perdas surgem sempre que peças e acessórios especiais, como curvas, válvulas, registros, alargamentos e reduções, estão presentes. Para o calcular a perda de carga localizada utiliza-se a Equação 11.

$$\Delta H = k \frac{v^2}{2g} \quad (11)$$

Em que:

k- Coeficiente adimensional;

v- Velocidade do escoamento (m);

g- Aceleração da gravidade (m/s²).

O coeficiente k é característico de cada tipo de peça ou acessório utilizado e pode ser consultado em catálogos de fabricantes ou em literatura especializada, e é recomendado seu uso para cálculo de perdas singulares pela NBR 12214:1992.

Além da expressão geral para o cálculo da perda de carga localizada, existe o método dos comprimentos equivalentes, desenvolvido pelo professor Azevedo Neto. Nesse método, calcula-se um comprimento fictício de tubo com o mesmo diâmetro e rugosidade que causaria a mesma perda de carga que a peça especial. Esse comprimento equivalente é somado ao comprimento real da tubulação para o posterior cálculo da perda de carga.

A Tabela elaborada por Azevedo Neto, que apresenta os comprimentos equivalentes para as perdas localizadas, pode ser encontrada em Anexo (Tabela 4).

Embora tenha sido desenvolvida para tubos de ferro e aço, essa tabela pode ser utilizada como uma aproximação para tubos feitos de outros materiais.

b. A Hidráulica de Estações Elevatória de Água

Tsutiya (2006) conceitua estações elevatórias de água como um conjunto de componentes eletro-mecânicos (bombas e motores), tubulações (sucção e recalque) e estruturas civis (poço de sucção e casa de bombas), projetadas para elevar água de um nível inferior a um nível superior, a quais unidades cruciais nos sistemas de abastecimento de água.

A dimensão e a complexidade das estações elevatórias variam conforme a quantidade de água a ser bombeada e a altura a ser alcançada. Uma estação de pequeno porte pode ser encontrada em residências, as quais as vazões e alturas são modestas em relação às estações mais complexas, como as utilizadas na captação, adução e distribuição de água para o abastecimento público. Estas últimas demandam elevadas vazões e alturas de elevação.

O dimensionamento dessas estruturas se concentra principalmente na especificação de bombas a serem empregadas para um transporte eficiente e confiável da água. Entre a variedade de bombas disponíveis, as centrífugas são predominantes em sistemas de transporte hídrico devido ao seu alto rendimento, instalação de menor custo e manutenção mais econômica em relação a outros tipos de bombas (Pimentel, 2005).

Para uma seleção apropriada da bomba em um contexto específico, é crucial compreender duas grandezas básicas: a vazão de recalque (Q) e a altura manométrica (H). Além disso, outros fatores desempenham papéis fundamentais, como a escolha do material das tubulações, considerando economia, qualidade da água e as pressões geradas pela bomba (Carvalho, 1977).

Aspectos como o diâmetro econômico da tubulação e as velocidades de escoamento em conformidade com as NBR 5626:2020 e NBR 12214:1992 também devem ser ponderados. Por fim, é imprescindível ter cautela ao selecionar bombas, utilizando gráficos de seleção disponibilizados pelos fabricantes.

i. Diâmetro econômico

A aplicação da equação da continuidade revela que, para uma vazão constante, é possível transportar fluidos por meio de tubulações de diferentes diâmetros, variando a velocidade. No entanto, a alteração no diâmetro do tubo repercute nos custos de operação e instalação.

Tubos de grande diâmetro resultam em perdas de carga menores, exigindo uma potência instalada mais baixa no conjunto motor-bomba, o que conseqüentemente reduz o consumo de energia. Porém, os custos associados à aquisição e instalação desses tubos tendem a ser mais elevados.

Em contraste, tubos de diâmetros menores resultam em perdas de carga maiores e uma potência instalada mais alta no conjunto motor-bomba, levando a um aumento no consumo de energia. Entretanto, os custos de aquisição e instalação dos tubos são reduzidos.

Essas considerações destacam a necessidade de selecionar um diâmetro da adutora de recalque e sucção que minimize tanto o investimento em tubos quanto os custos com energia. Para isso, existem algumas fórmulas para o cálculo do diâmetro econômico, incluindo a fórmula de Bresse e a fórmula de Forchheimer.

1. Fórmula de Bresse

A equação de Bresse (Equação 12) proporciona o diâmetro da linha de recalque e é frequentemente empregada em instalações com operação contínua e constante. Para a escolha do diâmetro da linha de sucção, opta-se por um diâmetro superior ao do recalque.

Quando o diâmetro calculado não coincide com diâmetros comerciais disponíveis, adota-se o diâmetro comercial imediatamente superior para a linha de sucção e o inferior para a linha de recalque.

$$Dr = k\sqrt{Q} \quad (12)$$

Em que:

Dr - Diâmetro de Recalque (m);

k - Constante de Bresse (adimensional);

Q - Vazão (m³/s).

O valor adimensional k é derivado de diversos fatores, como custo da eletricidade, material da tubulação e custo de instalação. No contexto brasileiro, o valor de k costuma variar entre 0,7 e 1,5.

Netto (1998), no entanto, salienta que a fórmula de Bresse deve ser usada como uma estimativa inicial do diâmetro econômico, sendo aconselhável conduzir uma análise econômica para investigar os diâmetros mais próximos do calculado, tanto superiores quanto inferiores.

2. Fórmula de Forchheimer

Quando se trata de instalações em que o funcionamento da bomba não é contínuo, mas ocorre apenas durante algumas horas por dia, é comum recorrer à fórmula de Forchheimer para calcular o diâmetro da linha de recalque (Equação 13).

$$D_r = 1,3 \sqrt[4]{x} \sqrt{Q} \quad (13)$$

Em que:

D - Diâmetro Nominal (m);

x - Número de funcionamento da bomba em um período de 24 horas. $X = n/24$;

Q - Vazão da bomba (m^3/s).

A NBR 12214:1992 não especifica um método preferencial, mas estabelece limites para a velocidade nas linhas de recalque: uma velocidade mínima de 0,6 m/s e uma velocidade máxima que deve ser consultada junto ao fabricante do tubo.

Isso se aplica a todos os tipos de tubos, com exceção dos tubos de aço e ferro fundido, que requerem uma velocidade mínima de 3,0 m/s. Para as linhas de sucção, a velocidade máxima é de 1,5 m/s, e a velocidade mínima depende da qualidade da água transportada.

ii. *Altura manométrica*

A altura manométrica (Equação 14) é definida como a energia necessária para o fluido superar o desnível geométrico, compensar a diferença de pressão entre reservatórios (se houver) e vencer as perdas de carga na tubulação. Seu cálculo é realizado quando se determina o material de transporte, o diâmetro correspondente e a vazão a ser transportada.

$$H_{man} = H_0 + p_r - p_s + H \quad (14)$$

Em que:

H_{man} - Altura Manométrica (m);

H_0 - Desnível geométrico (m);

p_r - Pressão no reservatório de recalque (m);

p_s - Pressão no reservatório de sucção (m);

H - Perda de carga total (m).

O cálculo da altura manométrica para uma determinada vazão resulta em um par de valores (H_{man} , Q), denominado ponto de operação do sistema. Esse ponto de operação é variável conforme o nível da água nos reservatórios inferior e superior se altera. Consequentemente, surgem os valores de $H_{máx}$ e $H_{mín}$. Em tais casos, a bomba deve ser selecionada para atender a $H_{máx}$.

iii. Curva característica da bomba e gráficos de seleção

Ao se conhecer a vazão de transporte e calcular o valor da altura manométrica (H_{man}), o processo de seleção da bomba é conduzido através da consulta a gráficos de seleção fornecidos pelos fabricantes de bombas. Estes gráficos reúnem diversos modelos de bombas e auxiliam na identificação do modelo mais adequado para atender às exigências do sistema (Carvalho, 1977).

Uma vez selecionado o modelo que atenda às condições técnicas requeridas, a busca no catálogo do fabricante permitirá acessar as curvas características desse modelo. Estas curvas representam o desempenho previsto para a bomba em questão (Pimentel, 2006). Tais curvas são retratadas em gráficos cartesianos, como (H_{man} , Q), (P , Q), ($NPSH$, Q) e (n , Q), delineando, assim, o domínio específico de aplicabilidade daquela bomba em particular.

A seleção da bomba no contexto dessas curvas se fundamenta na premissa de escolher aquela que demanda a menor potência para satisfazer os valores de vazão (Q) e altura manométrica (H_{man}), ou seja, a bomba de maior eficiência.

iv. Curva característica da bomba e gráficos de seleção

Na maioria das estações elevatórias, as bombas são acionadas por motores elétricos, cuja potência necessária para operar a bomba pode ser calculada através da Equação 15.

$$POT_{mot} = \frac{\gamma \times Q \times H_{man}}{75 \times n} \quad (15)$$

Em que:

POT_{mot} - Potência do motor elétrico (CV);

H_{man} - Altura Manométrica (m);

Q - Vazão Recalcada (m³/s);

n - Eficiência do motor (%).

Geralmente, é aconselhável incluir uma margem de segurança na potência do motor elétrico para evitar sobrecargas. De acordo com Netto (1998), recomenda-se o uso da Tabela 2 para determinação dessa margem.

Tabela 2 – Recomendação de acréscimo aos motores elétricos

Para bombas que demandam (em cv)	Folga recomendada no motor (em %)
até 2	50
2 a 5	30
5 a 10	20
10 a 20	15
mais de 20	10

Fonte: Netto (2015).

O Quadro 2 apresenta uma síntese para determinar a potência instalada, listando as potências nominais mais comuns de motores elétricos fabricados nacionalmente.

Quadro 2 – Potência nominal (Cv) de motores elétricos fabricados nacionalmente

1/4	1/3	1/2	3/4	1	1 1/2	2
3	5	6	7 1/2	10	12 1/2	15
20	25	30	40	50	60	75
100	125	150	175	200	250	300

Fonte: Netto (2015) adaptado.

Isso permitirá uma escolha adequada da potência do motor elétrico, considerando tanto as exigências técnicas quanto uma margem de segurança apropriada.

v. Aspectos operacionais e fenômenos em estações elevatórias

Segundo Di Bernardo (1993), na ampla gama de projetos de transporte de água, há uma grande diversidade de vazões e alturas manométricas que tornaram o dimensionamento econômico de uma única bomba inviável. Portanto, é comum, em tais casos, a associação de bombas em série ou em paralelo.

Quando a necessidade é elevar a água a grandes alturas manométricas, a associação em série de bombas é empregada, com o recalque da primeira coincidindo com a sucção da segunda, o que é frequentemente usado em poços profundos.

Já para situações com demandas de maiores vazões, a associação em paralelo é a preferida. Esse tipo de arranjo é o mais comum e resulta no recalque das várias bombas em uma única tubulação.

É importante ressaltar que a associação de bombas altera a curva de desempenho do sistema. Ao serem associadas em paralelo, a curva do sistema é obtida para cada altura manométrica e as vazões indicadas nas curvas individuais de cada bomba. No caso da associação em série, para cada vazão, às alturas manométricas são a soma das alturas individuais de cada bomba.

Assim, é dever do profissional de engenharia selecionar o arranjo que melhor otimize o rendimento energético e os custos de aquisição, manutenção e operação. Independentemente do arranjo, é crucial estar atento ao fenômeno da cavitação, que ocorre quando o fluido succionado atinge sua pressão de vapor, formando bolhas de vapor. Essas bolhas implodem durante o fluxo na bomba, causando impacto nas áreas de alta pressão e gerando pequenas cavidades na superfície (Porto, 1998).

A cavitação deve ser evitada devido às diversas consequências que acarreta, como redução de eficiência, ruído causado pelas explosões internas na bomba, corrosão, desgaste e até mesmo danos ao rotor e à entrada da bomba.

A determinação da possibilidade de cavitação em uma bomba em uma determinada instalação depende da comparação entre o NPSH requerido pela bomba e o NPSH disponível no sistema. O NPSH (*Net Positive Suction Head*) se refere à disponibilidade de energia do fluido ao entrar na bomba, a depender da configuração da instalação (bomba afogada ou não afogada).

A Equação 16 calcula o NPSH disponível para uma bomba não afogada, enquanto a Equação 17 calcula o NPSH disponível para uma bomba afogada.

$$NPSHd = \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} - Z - \Delta H_s \quad (16)$$

$$NPSHd = \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} + Z - \Delta H_s \quad (17)$$

Em que:

P_{atm}/γ - Pressão atmosférica (m);

P_v/γ - Pressão de vapor (m);

Z - Distância vertical entre a superfície do líquido com o centro da bomba (m)

ΔH_s - Perda de carga na sucção (m)

O NPSHr é fornecido pelo fabricante da bomba através de sua curva característica em função da vazão, enquanto o NPSHd é calculado. É crucial que o NPSHd seja maior que o NPSHr para evitar a cavitação. A NBR 12214:1992 recomenda uma diferença de pelo menos 20% entre o NPSHd e o NPSHr, ou um valor mínimo de 0,5 m, para garantir uma faixa de segurança adequada ao funcionamento da bomba.

Além disso, é possível determinar a altura máxima de sucção por meio da Equação 18, utilizando a curva NPSHr fornecida pelo fabricante da bomba para uma determinada vazão, de modo que essa altura limite represente a condição crítica para a ocorrência da cavitação.

$$Z_{m\acute{a}x} = NPSHr - \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} + \Delta H_s \quad (18)$$

3 METODOLOGIA

O presente estudo buscou desenvolver um software gratuito capaz de realizar o dimensionamento de uma estação elevatória de água, com aplicação voltada para empreendimentos residenciais. O objetivo foi criar uma ferramenta que oferecesse uma interface didática e de fácil manipulação.

Para isso, inicialmente, realizou-se uma pesquisa exploratória para coletar informações sobre a linguagem de programação Python em sua documentação, fóruns de discussões e comunidades ativas, a qual essa linguagem seria utilizada na implementação da lógica do BackEnd. Também foram investigados o uso do framework Kivy e sua biblioteca KivyMD, empregados para simplificar e construir a interface gráfica que interage com o usuário.

Adicionalmente, foram reunidas informações sobre métodos de dimensionamento de uma estação elevatória de água, incluindo referências normativas. O propósito dessa abordagem foi estabelecer uma base sólida para o desenvolvimento do software, garantindo que as escolhas das ferramentas para construção e os métodos de dimensionamento estivessem alinhados com as melhores práticas e normas de projeto.

a. Programação do software

A primeira etapa envolveu uma análise aprofundada do problema em questão para compreender os processos que o programa deve executar e qual resultado é esperado. Em seguida, procedeu-se ao planejamento da solução, que consistiu no desenvolvimento do algoritmo abrangendo todas as etapas necessárias para alcançar os resultados desejados. Isso incluiu a definição da entrada de dados, o processamento das informações e a determinação da saída esperada.

Este planejamento foi fundamental para estabelecer uma estrutura lógica sólida para o código, assegurando que todas as etapas do processo fossem devidamente consideradas e implementadas.

Assim foi considerado que o software iria lidar com o dimensionamento de uma estação elevatória de água para empreendimento residencial, a qual teria a configuração de trabalho ligado a um conjunto motor-bomba não afogada. As conexões e acessórios usados na sucção estaria limitado ao uso de 1 crivo, 1 válvula

de retenção, 1 curva de 90°, 1 união e no recalque estariam limitados ao uso de 3 curvas 90°, 1 Válvula de retenção, 1 união, e 1 Tê de Saída Bilateral e 1 registro de Gaveta.

Definido a configuração da estação elevatória, próximo passo consistiu em definir os dados de entrada que seria fornecido pelo usuário ao qual esses dados foram o material dos tubos a ser utilizado, a vazão a ser recalçada, o tempo de funcionamento do conjunto motor-bomba, temperatura da água, comprimento das tubulações de sucção e recalque, a altura geométrica de sucção, a altura geométrica de recalque, a altitude e o modelo de bomba (Ver tabela 5 em anexos) a ser utilizado.

Os valores fixados para a saída de dados são parâmetros relevantes para análise da viabilidade do modelo do conjunto motor-bomba a ser utilizado para determinada situação aos quais esses parâmetros são: diâmetro interno, diâmetro externo de sucção e recalque, perda de carga na sucção, recalque e total, situação, vazão de projeto, altura Manométrica, NPSHd, NPSHr, altura máxima de sucção, eficiência do conjunto motor-bomba e relatório de projeto.

Seguindo o fluxo lógico, foi necessário definir a ferramenta que iria utilizar para desenvolver a interface gráfica destinada à interação com o usuário e à apresentação dos resultados. Para tanto, foi definido o uso do KivyMD para elaboração da interface por oferecer uma abordagem eficaz e flexível para o design de interfaces de usuário, integrando os princípios estéticos e funcionais do Material Design.

A decisão de utilizar o KivyMD baseou-se na busca por uma solução que proporcionasse uma interface moderna, intuitiva e visualmente agradável para os usuários, aspectos essenciais para a usabilidade do software.

A escolha do KivyMD também foi respaldada pela abundante documentação e pela ativa comunidade de desenvolvedores associada a essa ferramenta. A extensa documentação fornece recursos detalhados, tutoriais e exemplos práticos, facilitando a implementação. A comunidade engajada oferece suporte valioso, através de fóruns e grupos de discussão.

Esses recursos adicionais fortaleceram a decisão, proporcionando uma base sólida e eficiente para o desenvolvimento da interface gráfica. Além disso, a facilidade de manipulação de elementos gráficos oferecida pelo KivyMD, como a capacidade de personalização e a diversidade de *widgets* prontos para uso, contribuiu significativamente para a eficiência no desenvolvimento da interface do programa,

otimizando o tempo de implementação e garantindo uma experiência do usuário mais fluida e amigável.

Essa escolha visou, portanto, assegurar uma interação aprimorada entre o usuário e o software, alinhando-se com os objetivos de proporcionar uma experiência de usuário positiva e facilitar a compreensão e utilização das funcionalidades oferecidas pelo sistema.

A estrutura da interface gráfica do software foi desenvolvida com 6 páginas sendo a primeira página a de inicialização ao qual a partir dela leva ao usuário a outras 5 páginas nomeadas de “Cálculo do Diâmetro Econômico”, “Cálculo da Perda de Carga”, “Seleção da Bomba”, “Desenvolvedores”, “Sobre o Software”.

No desenvolvimento das páginas utilizando o KivyMD, foram incorporados diversos elementos de interface entre estes destacam-se caixas de texto, rótulos (labels), menus suspensos (spinners), botões e imagens, juntamente com uma variedade de outros widgets.

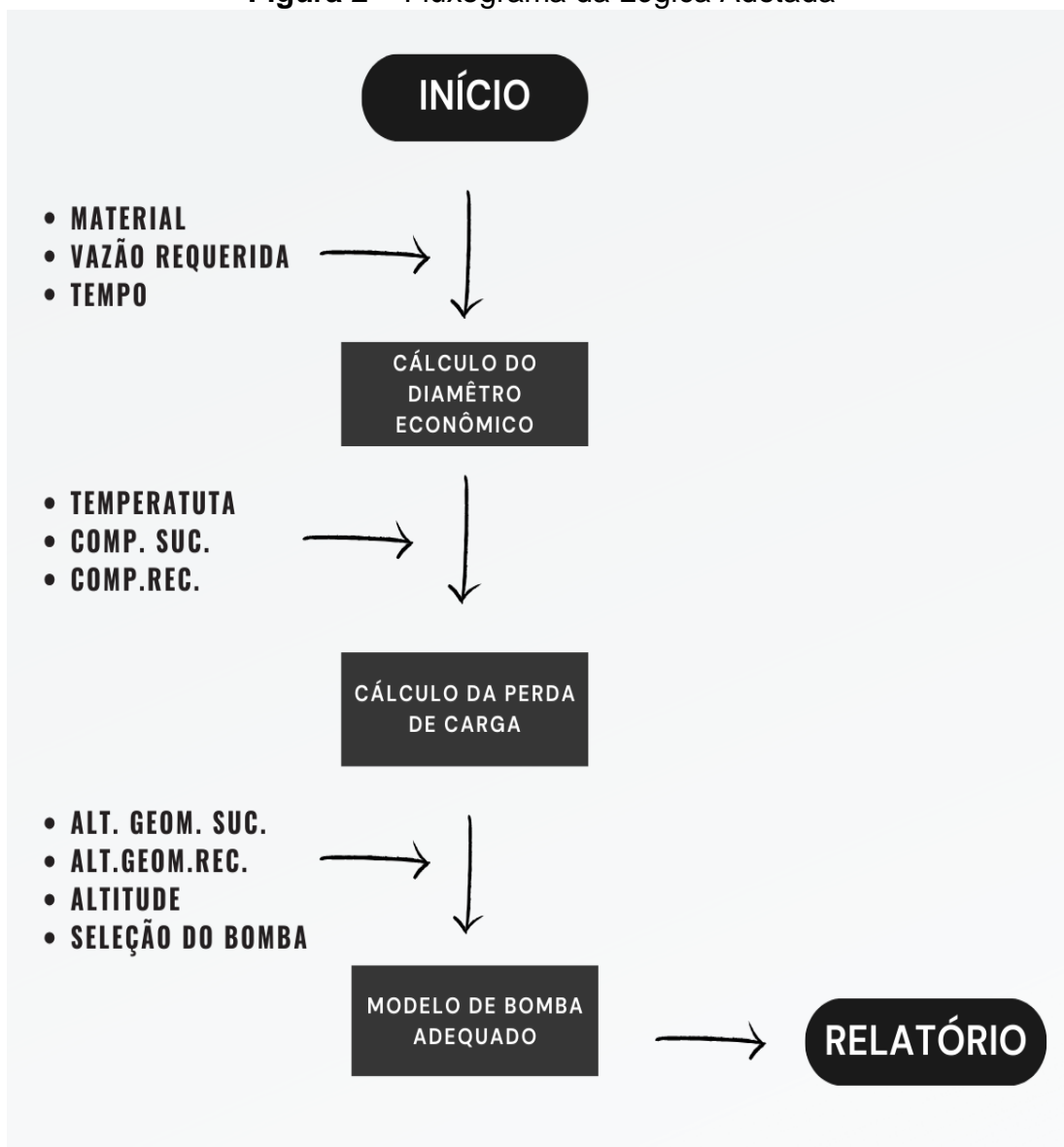
Essa abordagem permitiu a criação de interfaces dinâmicas e intuitivas, capacitando tanto a entrada de dados por parte do usuário quanto a apresentação visual dos resultados gerados pelo software.

As caixas de texto foram utilizadas para coletar informações específicas do usuário, enquanto os rótulos foram empregados para identificar e descrever os campos de entrada. Os menus suspensos (spinners) oferecem opções selecionáveis, proporcionando uma forma eficaz de escolha para o usuário.

Botões foram devidamente posicionados para acionar ações específicas, simplificando a interação do usuário com o sistema. Além disso, a inclusão de imagens e outros widgets enriqueceu a apresentação visual das informações, contribuindo para uma compreensão mais intuitiva dos resultados apresentados.

A etapa final consistiu em codificar, ou seja, traduzir o algoritmo para a linguagem de programação Python, atribuindo funcionalidades ao software. Por fim, foram realizados testes e correções dos erros encontrados.

Figura 2 – Fluxograma da Lógica Adotada



Fonte: Autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

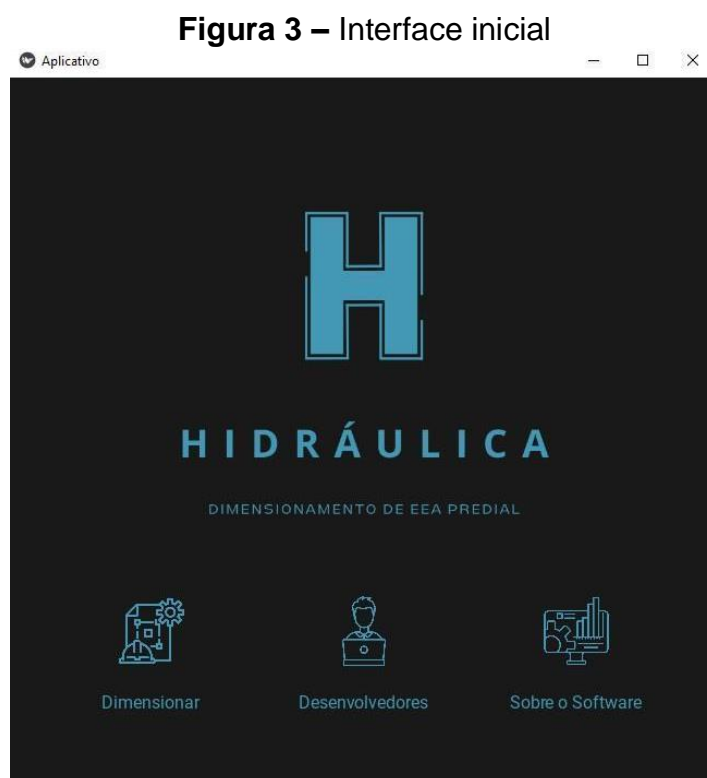
a. Organização das interfaces do software

i. Tela Inicial

A página inicial do software é configurada como o layout de inicialização, composta pelo logotipo do software e três botões que fornece ao usuário acesso rápido às principais funcionalidades. O botão "Dimensionar" direciona o usuário para as páginas específicas de dimensionamento da estação elevatória.

Ao selecionar o botão "Desenvolvedores", o usuário é redirecionado para uma página dedicada que descreve e especifica os responsáveis pela elaboração do software, enquanto o botão "Sobre o Software" conduz o usuário a uma interface informativa contendo instruções detalhadas sobre o uso do software.

A Figura 2, ilustra de maneira visual a disposição dos elementos na interface inicial.



Fonte: Autor (2023).

ii. Interface cálculo do diâmetro econômico

Na interface “Cálculo do Diâmetro Econômico” (Figura 3) é acessada por meio do botão “Dimensionar” na interface inicial. Seu propósito central é calcular o diâmetro econômico da tubulação, utilizando a equação 12. Neste espaço, o usuário fornece informações, como o material da tubulação, a vazão desejada e o tempo de funcionamento desejado para a bomba.

Após a inserção desses dados, ao pressionar o botão “Calcular”, o software fornecerá o diâmetro econômico, referindo-se ao diâmetro interno. Este valor é então utilizado para verificar a existência de um diâmetro comercial correspondente ao material da tubulação, apresentando ao usuário os diâmetros externos tanto da sucção quanto do recalque.

Os botões “Voltar” redirecionam o usuário à interface inicial, enquanto o botão “Próximo” conduz o usuário à próxima página de dimensionamento.

Figura 4 – Interface cálculo do diâmetro econômico com valores aleatórios

The screenshot shows a software application window titled "Cálculo Do Diâmetro Econômico". The interface is organized into a grid. At the top, there are three input cards: "Material do Tubo" (set to "TUBO PVC"), "Q" (Vazão in m³/s, set to 0.01), and "Hrs" (Horas, set to 2). Below these are three output cards: "D" (69.85mm), "DS" (85.0mm), and "DR" (75.0mm). At the bottom, there are three buttons: "Voltar", "Calcular Diâmetro", and "Próximo".

Fonte: Autor (2023).

iii. Interface cálculo da perda de carga

A interface “Cálculo de Perda de Carga” (Figura 4) é composta por elementos de caixa de texto, nos quais o usuário fornece informações da temperatura da água, do comprimento de sucção e do recalque. Nessa sequência, as equações 1, 9 e 7 são aplicadas para calcular as perdas de carga na sucção, recalque e o total. Acionando o botão “Calcular Perda de Carga”, esses cálculos são realizados.

Nota-se ainda que nesta interface é composta de uma imagem ilustrativa da configuração da estação elevatória usada no dimensionamento. Além disso, oferece os botões “Voltar” para retornar à interface anterior, “Cálculo do Diâmetro Econômico”, e “Próximo” para direcionar o usuário à última interface de dimensionamento.

Figura 5 – Interface cálculo de perda de carga

Fonte: Autor (2023).

iv. Interface seleção da bomba

A Interface "Seleção da Bomba" (Figura 5) é composta por três elementos de caixa de texto, nos quais o usuário insere a altura geométrica de sucção, a altura geométrica de recalque e a altitude do local onde a estação elevatória está situada.

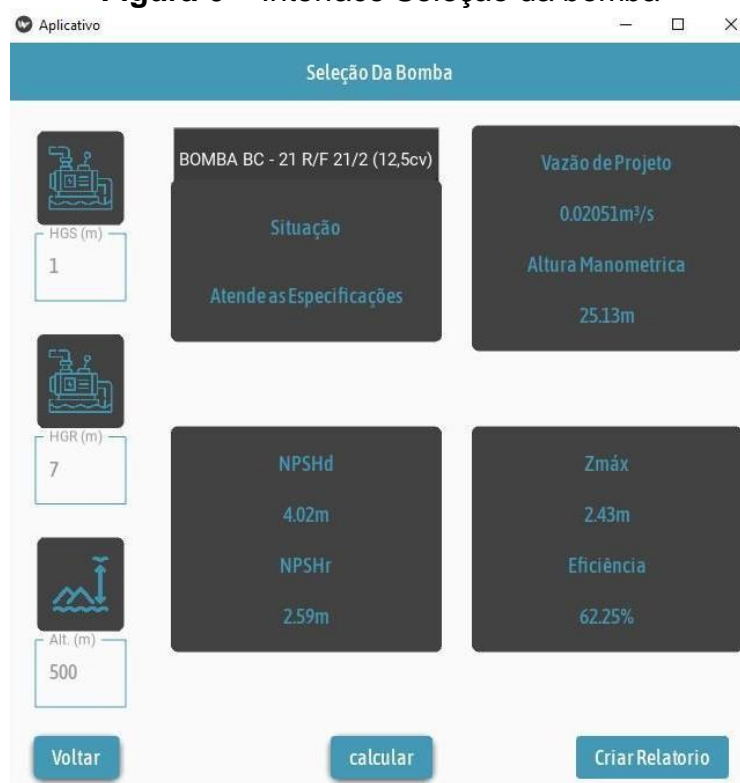
Além disso, o usuário seleciona um modelo específico de bomba a partir de uma caixa de seleção que exibe uma lista de vários modelos previamente inseridos.

A partir dessas informações, o software fornece uma mensagem indicando se o modelo de bomba escolhido atende às especificações do projeto. Isso é verificado comparando a vazão calculada no ponto de funcionamento do sistema, obtida pela interseção da altura manométrica da bomba com a do sistema, com a vazão informada pelo usuário na interface "Diâmetro Econômico".

Além dessa verificação, o software apresenta diversas informações adicionais, incluindo a altura manométrica fornecida pela bomba (calculada pela Equação 14), o NPSHd (calculado pela Equação 16), NPSHr (calculado através da curva característica específica do modelo da bomba), a altura máxima de sucção (calculada pela Equação 18) e a eficiência da bomba (calculada através da curva característica específica do modelo da bomba).

A interface também inclui os botões "Voltar", que direciona o usuário à interface anterior ("Cálculo de Perda de Carga"), "Calcular", que realiza os cálculos e fornece as informações, e "Criar Relatório", que gera um relatório abrangente com todas as informações relevantes ao projeto da estação elevatória dimensionada.

Figura 6 – Interface Seleção da bomba



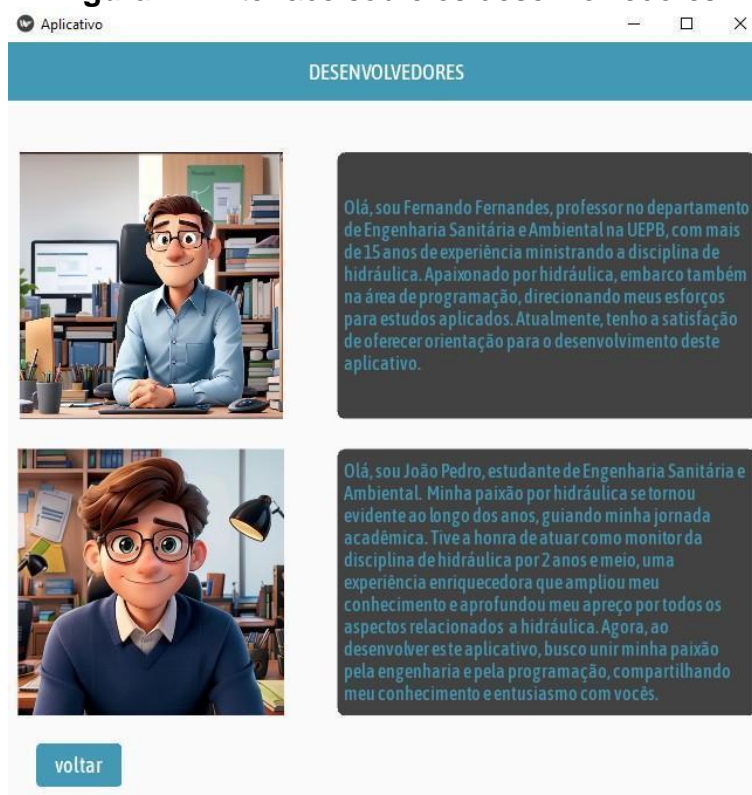
Fonte: Autor (2023).

v. Interface desenvolvedores

A interface “Desenvolvedores” (Figura 6) fornece informações sobre os desenvolvedores do aplicativo e foi projetada para proporcionar aos usuários uma compreensão mais aprofundada das pessoas por trás do desenvolvimento do software. Esta interface teve como objetivo promover a transparência e a conexão com os usuários.

Nela cada desenvolvedor é apresentado com uso de uma foto personalizada, com informações relevantes, como nome, formação acadêmica, áreas de especialização. Há ainda um botão que direciona o usuário para a página inicial do software.

Figura 7 – interface sobre os desenvolvedores

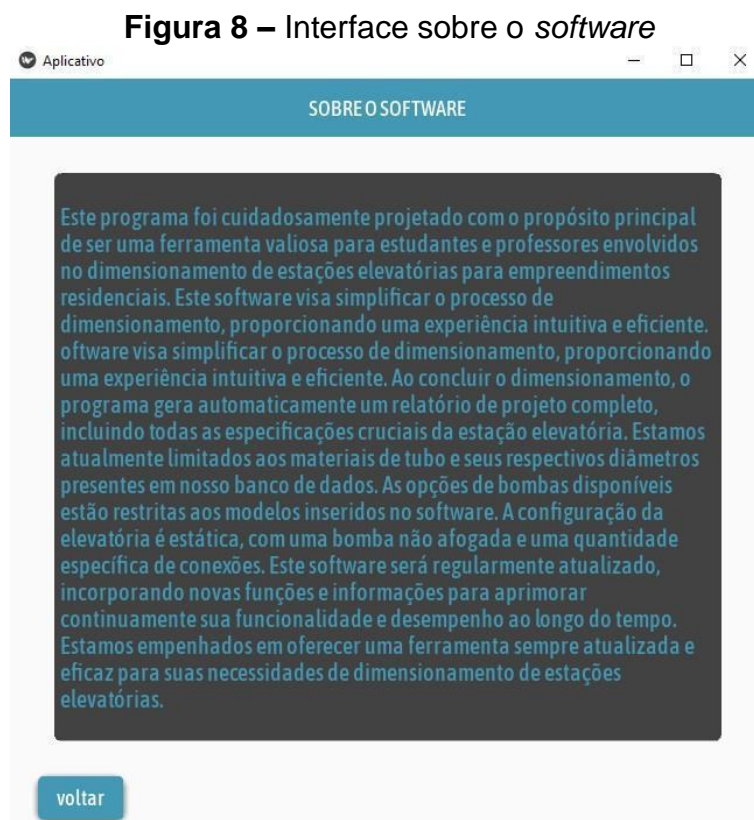


Fonte: Autor (2023).

vi. Interface sobre o Software

A interface “Sobre o Software” (Figura 7) foi dedicada às informações sobre o software, oferecendo aos usuários uma compreensão abrangente de sua finalidade, aplicações, limitações e a perspectiva de atualizações futuras promovendo uma

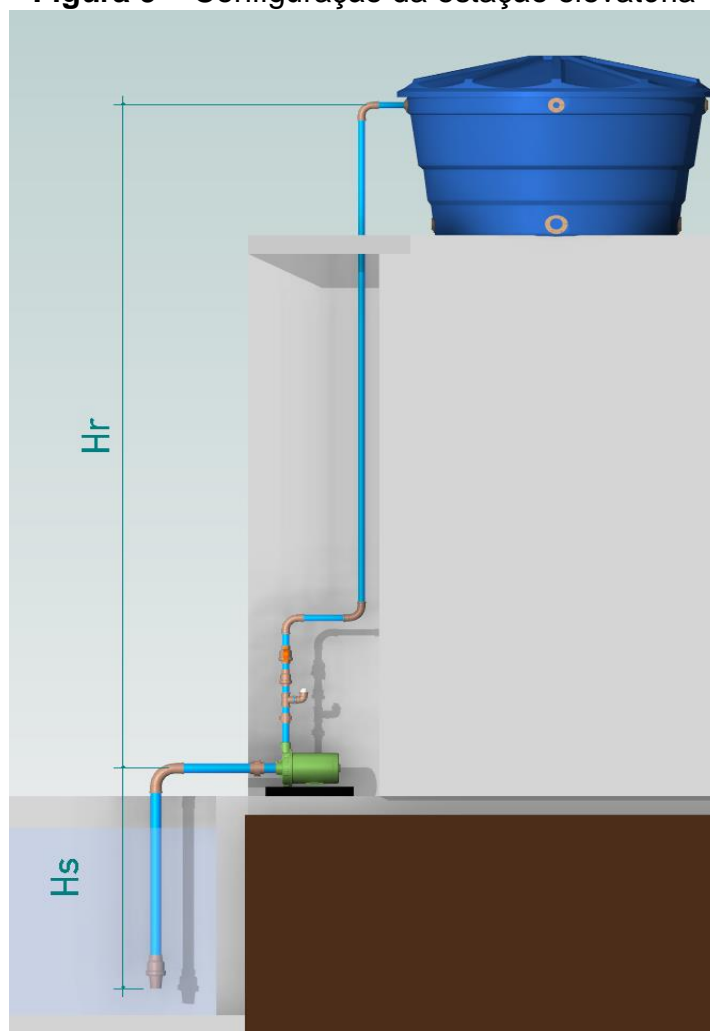
utilização mais consciente e eficaz do software. Nela ainda conta com o botão “Voltar” que leva o usuário à interface inicial.



Fonte: Autor (2023).

b. Exemplo de aplicação

Para ilustrar a eficácia do software, foi feito um exemplo de dimensionamento para uma situação hipotética, simulando as condições comumente encontradas em empreendimentos residenciais. Assim, tomando como base a configuração padrão de um modelo de estação elevatória proposta por Carvalho (2021), realizando adaptações para melhor entendimento foi feito um esquema da elevatória (Figura 8).

Figura 9 – Configuração da estação elevatória

Fonte: Autor (2023).

Os dados de entrada para a realização do dimensionamento incluíram os parâmetros de projeto relevantes e estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de entrada

Parâmetros	Valores
Tubo	PVC
Vazão Desejada (m ³ /h)	2,88
Tempo de funcionamento da Bomba (hrs)	2
Temperatura da Água (°C)	25
Comprimento do Tubo na Sucção (m)	4
Comprimento do Tubo no Recalque (m)	15
Altura Geométrica de Sucção (m)	2
Altura Geométrica de Recalque (m)	12
Altitude do Local (m)	500

Fonte: Autor (2023).

A Figura 9 apresenta a resolução do cálculo do diâmetro econômico realizado pelo software, indicando que os tubos de sucção e recalque adotam valores de diâmetro externo de 32mm e 25mm, respectivamente.

Esses resultados confirmam que o diâmetro econômico calculado atende às especificações dentro da faixa de valores de diâmetro de tubos de PVC disponíveis no banco de dados do software.

Em situações em que o diâmetro calculado excede a faixa existente na base de dados, o software alerta o usuário, indicando a necessidade de escolher um material de tubo com uma faixa de diâmetro mais abrangente ou ajustar as condições de tempo de funcionamento da bomba e vazão desejada.

Figura 10 – Resultado do cálculo do diâmetro econômico

Material do Tubo	Vazão (m³/s)	Horas
TUBO PVC	0,0008	2
D	DS	DR
19,76mm	32,0mm	25,0mm

Fonte: Autor (2023).

A Figura 10 ilustra o cálculo da perda de carga na sucção e no recalque da estação elevatória, revelando valores obtidos de 0,9m e 6,03m, respectivamente. Já a perda de carga total resultante foi de 6,93m. Os valores obtidos fornecem uma visão clara das contribuições das perdas de carga em cada trecho do sistema.

Figura 11 – Resultado do cálculo da perda de carga

Aplicativo

Cálculo Da Perda de Carga

Temperatura (°C) 25

Comprimento Sucção (m) 4

Comprimento Recalque (m) 15

Perda de Carga Sucção (m) 0.90m

Perda de Carga Recalque (m) 6.03m

Perda de Carga Total (m) 6.93m

Voltar Calcular Perda de Carga Próximo

Fonte: Autor (2023).

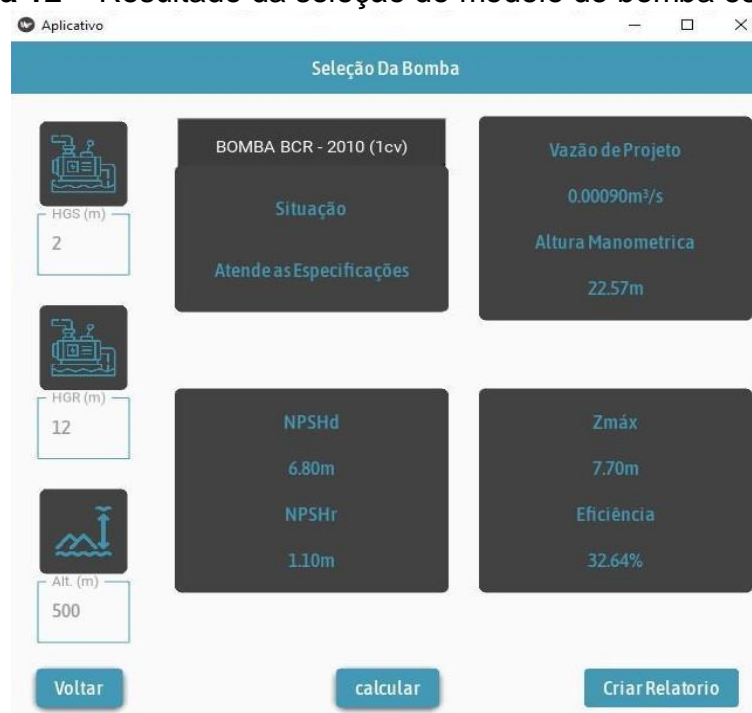
Na Figura 11, observa-se que a escolha pelo modelo de bomba BCR - 2010 satisfaz plenamente as exigências do projeto. Este modelo supera a vazão desejada, recalcando $0,0009\text{m}^3/\text{s}$. Além disso, a bomba atinge uma altura manométrica de 22,57m, operando com uma potência de 1cv.

A energia disponível no líquido antes da entrada do flange de sucção é superior à requerida pelo modelo da bomba, eliminando qualquer risco de cavitação. Autores como Porto (2009) recomendam uma folga mínima de 0,5m entre esses valores.

O software também fornece informações sobre a máxima altura de sucção alcançada por este modelo, que, para esta situação específica, foi de 7,7m. É relevante ressaltar que este modelo de bomba opera com uma eficiência de 32,64%.

No caso em que o modelo selecionado não atendesse às especificações do projeto, uma mensagem de alerta será exibida indicando que aquele modelo (Ver modelos na tabela 5 em Anexos) não é adequado. Por fim, o software é capaz de gerar um relatório detalhado em PDF, armazenado na pasta de downloads do desktop do usuário. Este relatório abrange todas as informações essenciais, detalhes do projeto e gráficos de desempenho do modelo da bomba. O relatório completo pode ser visualizado nos apêndices.

Figura 12 – Resultado da seleção do modelo de bomba escolhido



Fonte: Autor (2023).

O exemplo de dimensionamento realizado neste exemplo hipotético ilustra de maneira concreta a eficácia do software desenvolvido para o dimensionamento de estações elevatórias de água aplicado a empreendimentos residenciais. A análise minuciosa dos resultados obtidos revela a capacidade do programa em lidar com diferentes parâmetros de projeto e fornecer soluções aplicáveis.

Diferentemente da abordagem utilizando a linguagem Python para o dimensionamento de estações elevatórias, outros estudos, como por exemplo, Sales (2015) optou por empregar a linguagem VBA, desenvolvida pela Microsoft, em seu trabalho. O escopo de sua pesquisa abrangeu o dimensionamento de estações de maior porte, destinadas a aplicações além de residências e edifícios.

No trabalho de Sales (2015), destaca-se a limitação à utilização de um único material de tubo, o Aço galvanizado. O cálculo de perda de carga distribuída assemelha-se ao método adotado neste projeto, embora haja uma variação no cálculo de perda de carga localizada, que foi realizado pelo método de Borda-Belanger.

Vale ressaltar que, ao final do programa desenvolvido por ele, uma análise econômica foi conduzida para determinar a melhor configuração do projeto. O programa apresentava três configurações possíveis, e a análise comparativa indicava qual delas seria mais vantajosa em termos de custo total anual, considerando uma

vida útil de 15 anos, porém sem fornecimento de um relatório com as especificações relevantes de projeto.

Na literatura, outras iniciativas também exploram o uso da programação para cálculos hidráulicos. Silva (2019), por exemplo, desenvolveu um software em linguagem VBA para o dimensionamento de instalações de água fria. Por outro lado, Braga (2017) contribuiu para o campo com o desenvolvimento de um aplicativo Android dedicado ao dimensionamento de hidráulica de canais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho propôs o desenvolvimento de uma ferramenta computacional inovadora que utilizando a linguagem Python e que fosse acessível à comunidade acadêmica e profissional. Esse software apresentou uma interface gráfica intuitiva e didática, construída com o KivyMD, proporcionando facilidade de manipulação.

A escolha pela linguagem Python foi embasada em sua popularidade, sintaxe simples e legível, além da vasta disponibilidade de bibliotecas padrão para enfrentar os desafios mais complexos. O software desenvolvido alcançou êxito ao fornecer resultados satisfatórios e elaboração de relatório de projeto.

No entanto, reconhece suas limitações, especialmente na configuração estática da elevatória, que se restringe a uma abordagem não afogada, com conexões e acessórios limitados tanto na sucção quanto no recalque e com limitação de modelos inseridos no seu banco de dados não sendo possível o uso de algum outro modelo além deste.

É importante ressaltar que o software atualmente não consegue realizar o dimensionamento para materiais de tubos distintos dos previamente alimentados, incluindo PVC, aço carbono, PPR, cobre e ferro fundido.

Assim, os próximos passos na evolução dessa ferramenta é a realização de testes mais abrangentes, que visam atestar sua confiabilidade em diversos contextos. Além disso, é imperativo realizar atualizações que contemplem a adição de novas funções e melhorias, tornando-o mais versátil e capaz de contribuir de maneira mais eficaz para a comunidade acadêmica e profissional envolvida em projetos de dimensionamento de estações elevatórias.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12214- Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626- instalações prediais de água fria. Rio de Janeiro, 2020.

Azevedo Neto, M. F. Fernandez, R. Araujo, A. E. Ito. Manual de Hidráulica. São Paulo, Edigar Blucher, 2015, 8ª ed. 669 p.

Baptista, M.; Lara, M. Fundamentos da Engenharia Hidráulica. Belo Horizonte: UFMG, 2002. 440 p.

BRAGA, P. H. A.; MENEZES FILHO, F. C. M. de; FREIRE, G. M. DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO ANDROID PARA A HIDRÁULICA DE CANAIS. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 13, n. 1, 2017. DOI: 10.5216/reec.v13i1.43710. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/43710>. Acesso em: 28 nov. 2023.

Çengel, Y.A. e Cimbala, J.M. 2015. Mecânica dos Fluidos - Fundamentos e Aplicações, McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda, 819 p.

Carvalho, D.F. Instalações Elevatórias: Bombas. Fundação Mariana Rezende Costa, 1979.

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. Como Se Faz: 99 Soluções De Instalações Hidráulicas E Sanitárias. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2021. 296 p.

EXCRIPT. Kivy Documentação, 2020. Página de documentação. Disponível em: http://excript.com/downloads/kivy-pt_br-excript.pdf.

MENEZES, Nilo N.C. Introdução à Programação com Python: Algoritmos e Lógica de Programação Para Iniciantes. 3ª ed. São Paulo:Novatec, 2019. 328p.

Porto, R. de M. Hidráulica Básica. São Carlos, EESC/USP, 2006. 516 p.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Python Language Site: Documentation, 2020. Página de documentação. Disponível em: <https://www.python.org/doc/>. Acesso em: 28 de nov. de 2023.

SALES, A. R. Desenvolvimento de uma Planilha Eletrônica em VBA para o Dimensionamento Didático de Instalações de Recalque de Água. 2015. 62 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

SILVA, I.B. Desenvolvimento de um Software em Linguagem VBA para Dimensionamento de instalações de Água Fria. 2019. 72f. Trabalho de Graduação

(Graduação em Engenharia Civil) - Universidade federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019.

SOUSA, Hytalo. A Fascinante História do Python: Do Conceito à Liderança na Programação. **Diome**, 2023. Disponível em: <<https://www.dio.me/articles/a-historia-do-python-JCO7UB>>. Acesso em: 28 de nov. de 2023.

ANEXOS

Tabela 4 – Perdas Localizadas Expressas em Diâmetros de canalização Retilínea (Comprimento Equivalente)

Peça	Comprimento em número de diâmetros
Ampliação gradual: $A2/A1 < 1,6$ e $2D1 < L < 2D2$	12
Ampliação Brusca (90°)	20
Redução Gradual: $A2/A1 < 1,6$ e $2D1 < L < 2D2$	6
Redução Brusca (90°) $0,01 < (D2/D1)^2 > 0,8$	10
Bocais $0,5 < D2/D1 < 0,8$	6
Curva 90° Longa	30
Curva 90° Raio Curto (cotovelo)	45
Curva 45° Longa	15
Curva 45° Curta	20
Curva 22,5	15
Tê Passagem Direta DN1 (Saída Lateral Fechada)	20
Tê Passagem + Saída Lateral $< 20\% Q1$, $D2 < D1$	50
Tê Bifurcação Simétrica	65
Pequenas Derivações (Tipo Ferrule) $0,05 < D2/D1 < 0,25$	40
Junção a 45°, tipo barrilete	30
Curva 30° Aço, Segmentada 2 gomos	7
Curva 45° Aço, Segmentada 3 gomos	10
Curva 60° Aço, Segmentada 3 gomos	15
Curva 90° Aço, Segmentada 3 gomos	25
Válvula de Gaveta Aberta 100%	8
Válvula Borboleta Aberta 100%	40
Válvula de Ângulo Aberta 100%	170
Válvula de Disco (Globo) Aberta 100%	350
Válvula Controladora de Vazão Aberta 100%	350
Válvula de Pé 100% Aberta	100
Válvula Retenção Portinhola ou disco, sem mola	100

Crivo	150
Saída (Chegada) Aérea (Pressão Atmosférica)	35
Saída (Chegada) Afogada em Reservatório	5
Tomada (Entrada Normal)	17
Tomada (Entrada Reentrante)	35
Tomada (Entrada de Sino)	10
Tomada (Entrada Redução Cônica)	12
Medidor Venturi	18
Curva 45° Aço, Segmentada 2 gomos	15
Curva 60° Aço, Segmentada 2 gomos	25
Curva 90° Aço, Segmentada 2 gomos	65
Curva 30° Aço, Segmentada 4 gomos	15

Fonte: Netto, Azevedo (2015).

Tabela 5 – Modelos de Bombas Inseridos no Software

Modelo de Bomba
BOMBA BC - 98 (cv 1/3)
BOMBA BC - 98 (cv 1/2)
BOMBA BCR - 2000 (cv 1/4)
BOMBA BCR - 2010 (cv 3/4)
BOMBA BCR - 2010 (cv 1)
BOMBA BC - 21 R 1 1/4 (2cv)
BOMBA BC - 21 R/F 2 (4cv)
BOMBA BC - 21 R/F 21/2 (7,5cv)
BOMBA BC - 21 R/F 21/2 (12,5cv)

Fonte: Schneider (2023).

APÊNDICES

Relatório de projeto do exemplo proposto

RELATÓRIO DO PROJETO

1. Especificações Do Tubo



Tipo	Rugosidade (mm)	Diâmetro De Sucção (mm)	Diâmetro De Recalque (mm)
TUBO PVC	0.005	32.0	25.0

2. Especificações Das Conexões

Conexão	Qnt.	Diâmetro(mm)
Crivo	1	32.0
Válvula De Retenção	1	32.0
Válvula De Retenção	1	25.0
Curva 90°	1	32.0
Curva 90°	3	25.0
União	1	32.0
União	1	25.0
Tê De Saída Bilateral	1	25.0
Joelho 90°	1	25.0
Registro De Esfera	1	25.0

3. Especificações Gerais

Parâmetro	Valor
Altitude (m)	500.0
Pressão Atmosférica (m)	9.7852
Pressão De Vapor (m)	0.3671
Temperatura (°C)	25.0
Viscosidade (N.s/m ²)	1.05430419921875e-06

RELATÓRIO DO PROJETO

4. Especificações De Sucção e Recalque

Parâmetros De Sucção	Valores
Reynolds	34753
Fator De Atrito	0.0232
Velocidade (m/s)	1.49
Comprimento Real (m)	3.0
Comprimento Equivalente (m)	8.2
Comprimento Total (m)	11.2
Perda De Carga (m)	0.8
Altura Geométrica (m)	2.0
Altura Manométrica (m)	2.8

Parâmetros De Recalque	Valores
Reynolds	44728
Fator De Atrito	0.0222
Velocidade (m/s)	2.46
Comprimento Real (m)	15.0
Comprimento Equivalente (m)	9.2
Comprimento Total (m)	24.2
Perda De Carga (m)	6.0
Altura Geométrica (m)	12.0
Altura Manométrica (m)	18.0

5. Especificações Técnicas Da Fabricante Da Bomba



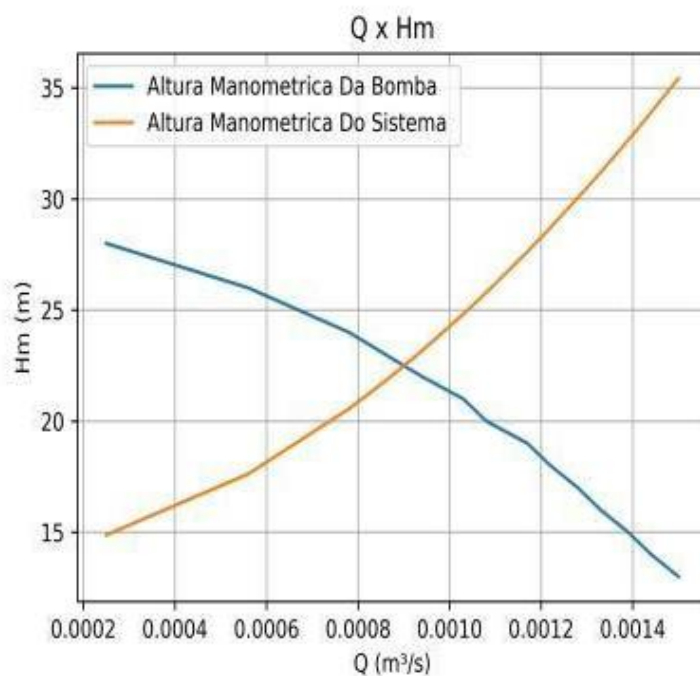
Parâmetro	Valor
Modelo Da Bomba	BOMBA BCR - 2010 (1cv)
Potencia (cv)	1
Monofásico	X
Trifásico	-
Diamêtro De Sucção (pol.)	1
Diamêtro De Recalque (pol.)	1
Pressão Máxima Sem Vazão (m.c.a)	29
Altura Máxima De Sucção (m.c.a)	8
Diâmetro Do Rotor (mm)	128

RELATÓRIO DO PROJETO

6. Especificações Da Estação Elevatória

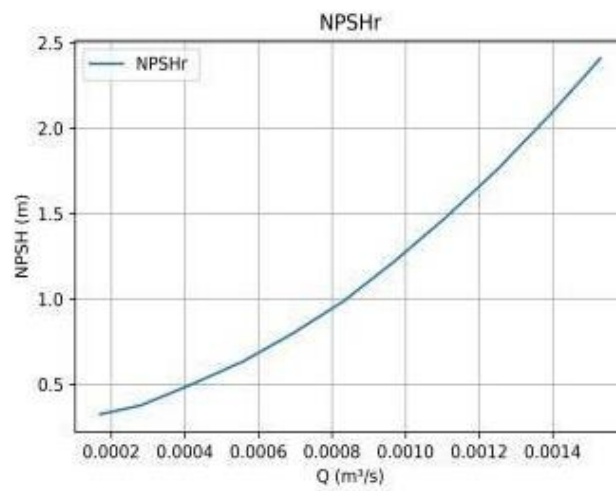
Parâmetro	Valor
Vazão de Projeto (m ³ /h)	3.25
Altura Manométrica (m)	22.53
NPSHd (m)	6.88
NPSHr (m)	1.11
Altura Máxima de Sucção (m)	7.78
Eficiência (%)	32.67

7. Curva Característica



RELATÓRIO DO PROJETO

8. Gráfico NPSHr



9. Gráfico Eficiência

