

ENSINO DE ENGENHARIA QUÍMICA ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL EM LINGUAGEM PYTHON PARA DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

Emanuel Ryclyn Santos da Silva¹, Álvaro Daniel Teles Pinheiro², Izabelly Larissa Lucena³.

¹Discente do Curso de Ciência e Tecnologia - UFRSA

Resumo: Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para dimensionamento de bombas centrífugas. Buscou-se de início apresentar os conceitos fundamentais sobre as bombas e sua abrangência no transporte fluidodinâmico, fornecendo sua relevância no aprendizado de engenharia química. Atualmente, existe uma forte demanda na busca por profissionais capacitados em programação, evidenciando ainda mais a necessidade de seu aprendizado. Dessa forma, foi utilizado a linguagem de programação em Python, que se encontra bastante difundida no meio acadêmico atualmente. O código é construído de forma a facilitar o acesso do usuário na inserção dos parâmetros que dimensionam a bomba. Como resultado, constatou-se que a rotina computacional atende de forma coerente a resolução de problemas sobre o tema tratado. Deste modo, serve como um material didático completo. Pontua-se que esta iniciativa venha a propiciar aos estudantes de graduação de engenharia uma nova visão do emprego em linguagens de programação.

Palavras-chave: Bombas; Código; Linguagem; Programação; Python.

1. INTRODUÇÃO

Os produtos e os processos químicos têm-se modificado ao longo da existência da indústria química, fruto da inovação tecnológica e da evolução da demanda. A demanda evoluiu quantitativa e qualitativamente, influenciada por exigências mutantes da própria indústria química, dos setores industriais a jusante da indústria química e de novas necessidades dos consumidores finais ^[1].

A utilização de softwares nas cadeias produtivas para obtenção de uma maior rapidez no processo de fabricação de produtos, tem evoluído exponencialmente nos últimos anos. Um dos exemplos mais discutidos atualmente é o da indústria 4.0, onde em um futuro próximo espera-se desenvolver produtos e processos inteligentes que são monitorados e controlados apenas por algoritmos integrados com a internet ^[2]. Dessa forma, torna-se necessário o domínio e aprendizado dessas novas ferramentas computacionais.

A engenharia química é sinônimo de desenvolvimento, pois sempre está acompanhando os avanços e tendências tecnológicas atuais. Tem-se discutido bastante ultimamente sobre softwares computacionais, podendo ser citado o ChemCAD, Fness, Fluid Flow3 e Thermoflow, como ferramentas essenciais para facilitar as atividades envolvidas na execução de projetos e sua implementação em disciplinas do curso de engenharia química ^[3].

Uma ferramenta computacional que vem se tornando indispensável no contexto da globalização atual é o Python, devido a sua versatilidade de comandos, quantidade de bibliotecas disponíveis, sintaxe intuitiva, e por se tratar de um código aberto, ou seja, gratuito. Outrossim, o conhecimento dessa linguagem de programação torna-se de grande valia para a resolução de problemas de engenharia química, visto que otimiza o tempo de resolução de problemas e pode tornar-se um ponto chave no diferencial do currículo profissional daqueles que a dominam.

Com tudo, o presente trabalho tem como finalidade o desenvolvimento de um software de simulação para dimensionamento de bombas centrífugas na linguagem de programação Python, seguindo metodologias de criação de softwares, normas de planejamento e execução de testes estabelecidos dentro da Engenharia de Software. Busca-se também, abordar técnicas e procedimentos para resolução de problemas relacionados ao cálculo de bombas centrífugas, identificando a estrutura de programação da linguagem Python, desenvolvendo e estruturando o código do programa para fácil visualização e interpretação do usuário.

2. DESENVOLVIMENTO

O conceito de bombas é bem antigo, e apresentam datação de construção por volta do final do século XIX. As bombas apresentaram inúmeras aplicações para solução de problemas ao decorrer dos anos para a humanidade, como o abastecimento de água, a refrigeração, entre outras funções. Por causa dessa grande variação, vários modelos, tamanhos e formas, foram desenvolvidos para manuseio líquido, e também líquido e sólido. Uma delas é a bomba centrífuga, que foi idealizada muito antes dos motores elétricos, em que sua fonte de energia era o vento e a roda d'água ^[4].

De acordo com Azevedo (1998) “As normas e especificações do *Hydraulic Institute* estabelecem quatro classes de bombas: centrífugas, rotativas, de êmbolo (ou pistão), e de poço profundo (tipo turbina)”. Segundo Reti (1963) “a primeira máquina que poderia ser caracterizada como uma bomba centrífuga para elevação da lama foi mencionada por volta de 1457, escrito pelo engenheiro Italiano Francesco de Giorno Martins”. As bombas centrífugas passaram a ser comuns na Europa e nos Estados Unidos no final do século XIX, quando começaram a ser fabricadas.

As bombas centrífugas apresentam estrutura bastante simples, podendo apresentar materiais distintos, entretanto, seus componentes principais se mantêm, sendo eles: o rotor, vedação e carcaça. Nas bombas centrífugas é fornecida energia ao líquido mediante um impelidor (impulsor ou rotor) com intuito de aumentar sua energia cinética, que será transformada em energia de pressão ^[6]. Segundo Cremasco (2014), o acesso do líquido no interior da carcaça da bomba, dá-se de modo axial para, em seguida, dirigir-se em movimento radial em direção à saída da carcaça do equipamento, como apresentado na Figura 1.

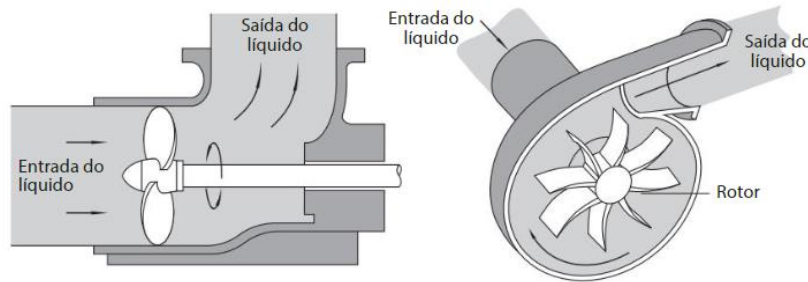


Figura 1. Funcionamento de uma bomba centrífuga (baseada em ORTEGA, 2008). (CREMASCO, 2014)

Em bombas centrífugas radiais, a energia cinética torna-se proveniente de forças de centrifugação que agem no líquido, ocorrendo a diferenciação do tipo Francis, de forma que, elas apresentam curvaturas nas palhetas do rotor. Tais bombas desenvolvem altas pressões sendo, portanto, adequadas para baixas vazões. Outra classe de bombas centrífugas são as mistas, nesse aparato, a energia cinética pode ser transferida para o fluido mediante por forças centrífugas ou através de forças de arraste ^[6].

2.1. Altura do Projeto

Cremasco (2012) explica que, para que seja especificado uma bomba para determinada função que a mesma irá exercer, torna-se necessário o conhecimento do trabalho agregado por tal dispositivo em uma certa linha de escoamento do fluido. Além disso, o trabalho mecânico gerado pelo dispositivo, acarreta mudanças nas energias de pressão, cinética e potencial do fluido, liberando assim calor proveniente do atrito com o meio, expresso no seguinte balanço de energia, como apresenta a Equação 1.

$$\left(\text{trabalho} \right)_{\text{agregado}} = \left(\text{energia final} \right)_{\text{do fluido}} - \left(\text{energia inicial} \right)_{\text{do fluido}} + (\text{energia de atrito}) \quad (1)$$

Tomando o esquema da Figura 2, ao realizar o balanço de energia entre os pontos de sucção (1) e descarga (2), por unidade de peso (ρg), e admitindo-se a perda de carga, h_L , e considerando na equação resultante o trabalho agregado, W/g , devido a presença da bomba, teremos a Equação 2.

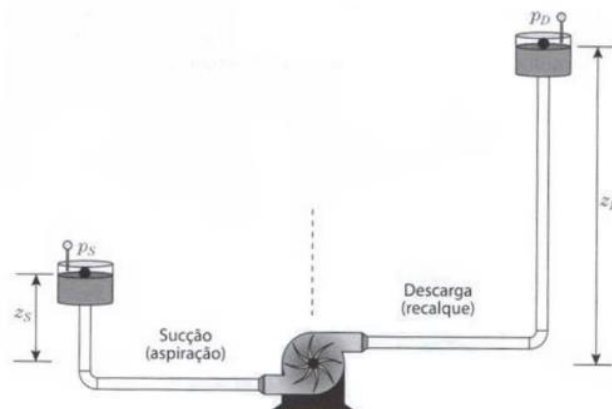


Figura 2. Diagrama de um sistema de escoamento impulsionado por uma bomba. (CREMASCO, 2012)

$$z_S + \frac{p_S}{\rho g} + \frac{u_S^2}{2g} - h_{L_S} + \frac{\dot{W}}{g} = z_D + \frac{p_D}{\rho g} + \frac{u_D^2}{2g} + h_{L_D} \quad (2)$$

Na expressão a cima, o subscrito S refere-se ao ponto (1) de sucção da bomba, e o subscrito D ao ponto (2) de descarga. Nota-se que, na Equação 2 cada um dos termos que se fazem presente nela, apresentam dimensões de altura ou comprimento. Para Cremasco (2012), convencionou-se os termos $(p/\rho g)$ como altura de pressão; $u^2/2g$ altura de velocidade; z é a altura de posição; (h_L) é altura de atrito, e $(\dot{W}/g)$ é altura total a ser fornecida pela bomba.

A Equação 2 é retomada, evidenciando o trabalho associado, ao considerar que as velocidades nos pontos 1 e 2 da Figura 2 possam ser desprezíveis, assumindo que os diâmetros das tubulações nas secções de sucção e de descarga sejam de maiores dimensões que os raios dos tanques 1 e 2, como se expressa a seguir.

$$\frac{\dot{W}}{g} = \left(\frac{p_D}{\rho g} + z_D \right) - \left(\frac{p_S}{\rho g} + z_S \right) + h_L \quad (3)$$

Onde $h_L = h_{L_D} + h_{L_S}$, definindo-se assim as seguintes expressões.

Altura na Descarga:

$$H_D = \frac{p_D}{\rho g} + z_D + h_{L_D} \quad (4)$$

Altura na Sucção:

$$H_S = \frac{p_S}{\rho g} + z_S + h_{L_S} \quad (5)$$

Altura de Projeto:

$$\frac{\dot{W}}{g} = H \quad (6)$$

Pode-se identificar na Equação 3.2 as Equações 3.3 a 3.5, sendo retomada como a altura do projeto, conforme a expressão

$$H = H_D - H_S \quad (7)$$

É importante ressaltar que a altura do projeto é o trabalho que deve ser fornecido ao fluido para a obtenção da vazão de projeto (ou capacidade), como explica Cremasco (2012).

2.2 Potência e Rendimentos de Bombas

A taxa de energia associada para transportar uma quantidade de líquido, quando nos referimos a bombas, é comumente associada a potência de uma bomba. Cremasco (2012), definiu potência útil, $\dot{W}_u$, como aquela a ser fornecida ao líquido que escoar com vazão mássica, m , (ou volumétrica, Q), por meio da Equação 8.

$$\dot{W}_u = \dot{m}gH = \rho gQH \quad (8)$$

Em virtude das perdas proporcionadas por atrito resultantes do cunho construtivo e fluidodinâmico das bombas, a assim denominada potência no eixo, $(\dot{W}_{eixo})$, sendo, a potência fornecida a um determinado eixo da bomba, deve ser maior que a potência útil provida ao líquido. Foi estabelecido então, uma relação entre a energia ou trabalho útil fornecido por um determinado sistema, e o trabalho consumido por ele, sendo esse denominado rendimento como apresentado na Equação 9.

$$\text{Rendimento} = \eta = \frac{\dot{W}_u}{\dot{W}_{consumida}} \quad (9)$$

2.3 Altura de Sucção Disponível ou Saldo Positivo de Carga de Sucção (NPSH)

A altura de sucção disponível ou saldo positivo de carga de sucção, ou ainda *Net Positive Suction Head* (NPSH) refere-se a uma condição mínima para que ocorra a sucção do líquido por uma bomba. Existe um limite de pressão de vácuo que pode se atingir na sucção de uma bomba, abaixo do qual haverá o fenômeno de cavitação, como evidencia Cremasco (2012). Utiliza-se a altura de sucção disponível para que seja feita uma avaliação da possibilidade da ocorrência de cavitação em uma bomba, como representado na Figura 3. Tem-se para os pontos

1 e 2, partindo-se da definição da altura de sucção, Equação 5, as seguintes expressões.

$$H_s = \frac{p_1}{\rho g} + z_s - h_{L_s} \quad (10)$$

$$H_s = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} \quad (11)$$

É necessário salientar que as pressões p_1 e p_2 são manométricas e considera-se a velocidade do fluido no ponto 1 como sendo desprezível.

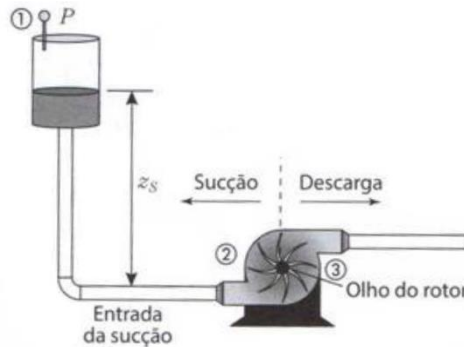


Figura 3. Diagrama representativo para o balanço energético relativo ao NPSH. (CREMASCO, 2012)

A expressão que descreve a energia em termos absolutos no flange de sucção (2).

$$H_{S_{abs}} = H_s + \frac{P_A}{\rho g} \quad (12)$$

Onde P_A é o valor da pressão atmosférica local. Subtraindo-se a parcela de energia correspondente ao valor da perda de carga, h_{LR} , entre o flange de sucção (2) e o olho do impelidor (3), da energia representada na Equação 12, em termos absolutos obtém-se:

$$H_{S_{motor}} = H_s + \frac{P_A}{\rho g} - h_{LR} \quad (13)$$

Cremasco (2012) explica que, para se conhecer o valor da pressão mínima ou altura mínima no “olho do impelidor” para evitar efeitos de cavitação, deve-se subtrair a energia associada ao impelidor, uma parcela correspondente à perda de carga entre o flange de sucção (2) e o olho do rotor (3), h_{LR} , à energia cinética absoluta no mesmo ($u_3^2/2g$), e uma parcela relativa à perda de carga local, fruto da aceleração sofrida pelo fluido ao entrar no “olho do impelidor” ($\phi u_R^2/2g$), em que ϕ refere-se a um valor empírico, que depende do projeto de sucção da bomba. Dessa forma, altura mínima é:

$$H_{S_{minima}} = H_s + \frac{P_A}{\rho g} - h_{LR} - \frac{u_3^2}{2g} - \frac{u_R^2}{2g} \quad (14)$$

Pode-se determinar o início do fenômeno de cavitação quando a altura mínima de sucção venha a ser igual à altura relativa à pressão de vapor, p^{VAP} , sendo assim:

$$H_{S_{minima}} = \frac{p^{VAP}}{\rho g} \quad (15)$$

Ao se igualar a Equação 14 e 15, obtém-se:

$$H_s + \frac{(P_A - p^{VAP})}{\rho g} = h_{LR} + \frac{u_3^2}{2g} + \frac{u_R^2}{2g} \quad (16)$$

Estabelece-se então, de acordo com a Equação 3.13 o saldo positivo de carga de sucção disponível ou NPSH disponível do sistema como sendo:

$$NPSH_D = H_s + \frac{(P_A - p^{VAP})}{\rho g} \quad (17)$$

Pode ser expressado ainda, o saldo positivo de carga de sucção requerido ou NPSH requerido do sistema como:

$$NPSH_R = h_{L_R} + \frac{u_3^2}{2g} + \frac{u_R^2}{2g} \quad (18)$$

que pode ser entendida como a quantidade de energia mínima de energia absoluta por unidade de peso acima da pressão de vapor, que deve existir no flange de sucção (2), para que não ocorra cavitação, expõe Cremasco (2012).

2.4 Linguagem de Programação Python

A linguagem de programação Python foi desenvolvida por Guido Van Rossum, no ano de 1991, buscando como finalidade uma linguagem simples e de fácil compreensão. Python é uma linguagem muito poderosa, apesar de simples, que pode ser usada para desenvolver e administrar grandes sistemas. Entre outras características existentes na linguagem Python, destaca-se a simplicidade da linguagem, que facilita o aprendizado da programação.

Python também possui uma portabilidade muito grande para diversas plataformas diferentes, além de ser possível utilizar trechos de códigos em outras linguagens. Python é um *software* livre, ou seja, permite que usuários e colaboradores possam modificar seu código fonte e compartilhar essas novas atualizações, contribuindo para o constante aperfeiçoamento da linguagem. A especificação da linguagem é mantida pela empresa *Python Software Foundation* (PSF) [8].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a linguagens de programação utilizada - Python, foi possível estruturar um programa que determinava os parâmetros necessários para o dimensionamento de bombas centrífugas. Utilizou-se de exercícios genéricos para estimar a exatidão dos cálculos desenvolvidos, onde os mesmos apresentaram-se coerentes com os resultados da literatura fornecida.

A Tabela 1 apresenta uma comparação dos resultados obtidos com a utilização do Exercício Proposto 6 [9] na rotina computacional desenvolvida, que se encontra disponibilizada no Anexo I, para validação da eficácia do mesmo. Através da Equação 19, foram calculados os erros relativos percentuais de ambos os valores obtidos pelo programa, conforme apresentados na Tabela 1. Ambos os erros podem estar associados a arredondamentos feitos durante a realização dos cálculos.

$$Erro \% = \frac{|Valor Experimental - Valor Teórico|}{|Valor Teórico|} \times 100 \quad (19)$$

Tabela 01: Comparação dos resultados referente ao Exercício Proposto 6.

Parâmetros	Valor Teórico	Valor Computacional
Altura do Projeto (H)	16,55 m	15,74 m
Potência Útil (W _u)	1,35 kW	1,28 kW
Erro relativo (%)	5,0	5,2

Fonte: Autoria própria (2022)

Ao fornecer as informações digitadas de forma correta, o programa apresenta bom funcionamento e retorna ao usuário a resposta dos parâmetros necessários. Durante a inserção de dados caso o usuário não digite um dado específico para a estimativa da propriedade desejada, ou digite de maneira incorreta, o programa acusa erro de dados. É interessante destacar que as relações existentes entre os parâmetros que se encontram inseridas no código, se baseiam na literatura brasileira mais usual pertinente ao conteúdo. Para demonstrar a utilização do programa, foram consultados exercícios sobre o conteúdo, fazendo-se posteriormente, a comparação entre a resolução manual e pelo software.

4. CONCLUSÕES

A elaboração do presente estudo pode possibilitar uma análise importante acerca do desenvolvimento de novas tecnologias computacionais propícias para o meio acadêmico. A abrangências na utilização de *softwares* como interfaces no auxílio de simulação de processos e no aprimoramento de cálculos tornou-se uma realidade dentro

da indústria, bem como na esfera acadêmica. O desenvolvimento de *softwares* acadêmicos com linguagem simples para usuários, evidência que novos recursos e métodos continuam sendo criados para abranger novas formas de aprendizado, e diminuir a complexidade na resolução de problemas cotidianos.

Referindo-se ao estudo de cálculo para o dimensionamento de bombas, a implementação de uma estrutura de linguagem computacional mais desenvolvido, pode vir a projetar um *software* que contemple uma maior determinação de propriedades, sendo capaz de oferecer uma alternativa de ferramenta com uma linguagem mais acessível para os estudantes. Contudo, vale salientar que a utilização de tecnologia livre do software possibilita que propriedades sejam adicionadas no mesmo, incluindo dados experimentais, o que garante uma maior abrangência.

Em suma, o trabalho desenvolvido conseguiu garantir bom desempenho em seus objetivos, a construção de uma rotina computacional com a linguagem de programação Python e também nos cálculos referentes ao dimensionamento de bombas centrífugas. Assim também, conseguiu-se obter uma maior compreensão acerca dos tópicos discutidos previamente, e pode-se garantir disponibilidade de um programa gratuito para outros estudantes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WONGTSCHOWSKI, P. Indústria Química: Riscos E Oportunidades. Volume 1. Editora Blucher. JAN. DE 1957.
- [2] PREUVENEERS, D.; ILIE-ZUDOR, E. The Intelligent Industry Of The Future: A Survey On Emerging Trends, Research Challenges And Opportunities In Industry 4.0. Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, V. 9, N. 3, P. 287–298, 2017.
- [3] CRQ. Biblioteca de softwares para Engenharia Química. [S.l.], 2018.
- [4] SCHWARZ, L. N. Dimensionamento De Um Rotor Para Uma Bomba Centrífuga. 2020. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2020.
- [5] FOX, G. Fortran D Language Specification. Center for Research on Parallel Computation. Houston, 1990.
- [6] CREMASCO, M. A. Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidodinâmicos. Ed. Blucher, 2012.
- [7] SEBESTA, R. W. Conceitos de Linguagem de programação. 5a edição. São Paulo, 2006.
- [8] INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO. Introdução à Programação Com Python. São Carlos. Disponível em: http://antigo.scl.ifsp.edu.br/portal/arquivos/2016.05.04_Apostila_Python_-_PET_ADS_S%C3%A3o_Carlos.pdf . Acesso em: 09 de junho de 2022.
- [9] CREMASCO, Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidodinâmicos. Ed. Blucher, 2012, p 391.
- [10] PINHEIRO, Álvaro D. T. Programação em Python Aplicada a Engenharia Química. 2020.
- [11] LEANDRO, G. C. Desenvolvimento de Software Acadêmico Para Engenharia Química, Utilizando Linguagem Fortran e Python - Cálculo de Reatores. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Francisco Beltrão, 2018.

ANEXO I – ROTINA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

```
import numpy as np

#A seguinte rotina computacional foi criada afim de reduzir os cálculos no Dimensionamento de Bombas
Centrífugas
#Desenvolvida pelo estudante Emanuel Ryclyn Santos da Silva contando com o auxílio de seu Co-Orientador
Álvaro Daniel Teles Pinheiro para aquisição do Diploma em Bacharel em Ciência e Tecnologia

print('DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS')

print('Sistema de Unidades Internacional')

g = 9.81 # (m/s²)
Q = float(input('Insira o valor da vazão volumétrica (m³/s): '))
print(f'Q = {Q} m³/s')
ρ = float(input('Insira o valor da massa específica do fluido (Kg/m³): '))
print(f'ρ = {ρ} Kg/m³')
μ = float(input('Insira o valor da viscosidade dinâmica (Kg/m·s): '))
print(f'μ = {μ} Kg/m·s')
e = float(input('Insira o valor da rugosidade dos tubos (m): '))
print(f'e = {e} m')

print('\nAltura do Projeto')

print('\nDados de Sucção')

Ds = float(input('Insira o valor do diâmetro interno de sucção (m): '))
zs = float(input('Insira a altura estática de sucção (m): '))
Ls = float(input('Insira o comprimento equivalente na sucção (considerando tubulação reta e acessórios na
sucção)(m): '))

vs = (4*Q)/(np.pi*((Ds)**2)) #m/s
print(f'\nVelocidade de sucção - vs = {vs:.2f} m/s')

Re_s = (ρ*vs*Ds)/μ

if Re_s <=2000:
    print(f'\n Reynolds = {Re_s}, logo o regime de escoamento é laminar!')
elif Re_s >2000 and Re_s < 2300:
    print(f'\n Reynolds = {Re_s}, logo o regime de escoamento é de transição!')
elif Re_s >= 2300:
    print(f'\n Reynolds = {Re_s}, logo o regime de escoamento é turbulento!')
    x=((e/Ds)/3.7)**1.11+(6.9/Re_s)
    fs = (1/(-1.8*np.log10(x)))**2
    print(f'\n fs = {fs:.4f}')

Hs = (fs*Ls*vs**2)/(Ds*2*g) #m
print(f'\nAltura de sucção - Hs = {Hs:.2f} m')

print('\nDados de Descarga')

Dd = float(input('Insira o valor do diâmetro interno de descarga (m): '))
zd = float(input('Insira a altura estática de descarga (m): '))
Ld = float(input('Insira o comprimento equivalente na descarga (considerando tubulação reta e acessórios na
descarga)(m): '))

vd = (4*Q)/(np.pi*((Dd)**2)) #m/s
```

```

print(f'\nVelocidade de descarga - vd = {vd:.2f} m/s')

Re_d = ( $\rho$ *(vd)*(Dd))/( $\mu$ )

if Re_d <= 2000:
    print(f'\n Reynolds = {Re_d}, logo o regime de escoamento é laminar!')
elif Re_d > 2000 and Re_d < 2300:
    print(f'\n Reynolds = {Re_d}, logo o regime de escoamento é de transição!')
elif Re_d >= 2300:
    print(f'\n Reynolds = {Re_d}, logo o regime de escoamento é turbulento!')

y = (((e/Dd)/3.7)**1.11) + (6.9/Re_d)
fd = (1/(-1.8*np.log10(y)))**2
print(f'\n fd = {fd:.4f}')

Hd = (fd*Ld*vd**2)/(Dd*2*g) #m
print(f'\nAltura de descarga - Hd = {Hd:.2f} m')

H = (zd - zs) + (Hd + Hs)
print(f'\nH = {H:.2f} m')

print('\nCálculo da Potência Útil')

Wu = ( $\rho$ *g*Q*H)/1000
print(f'\n Wu = {Wu:.2f} kW')

perg = int(input('Deseja calcular a potência consumida? 1 - Sim 2 - Não'))
if perg == 1:
    print('\nCálculo da Potência Consumida')
    n = float(input('Informe o rendimento do equipamento em %: '))
    Wc = Wu/(n/100)
    print(f'\n Wc = {Wc:.2f} J/s')

print('\nCálculo do NPSH Disponível')

Psuc = float(input('Informe a pressão do reservatório de sucção (Pa): '))
Pvap = float(input('Informe o valor da pressão de vapor (Pa): '))
NPSHd = zs + ((Psuc - Pvap)/( $\rho$ *g)) - Hs
print(f'\n NPSHd = {NPSHd:.2f} m')

```