

**ANDERSON RODRIGO SALES**

**Desenvolvimento de uma Planilha Eletrônica em VBA para o Dimensionamento  
Didático de Instalações de Recalque de Água**

**Anderson Rodrigo Sales**

**Desenvolvimento de uma Planilha Eletrônica em VBA para o Dimensionamento Didático de Instalações de Recalque de Água**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eliana Vieira Canettieri

Guaratinguetá - SP  
2015

S163d

Sales, Anderson Rodrigo

Desenvolvimento de uma planilha eletrônica em VBA para o dimensionamento didático de instalações de recalque de água / Anderson Rodrigo Sales – Guaratinguetá, 2015.

62 f. : il.

Bibliografia : f. 46-48

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eliana Vieira Canettieri

1. Linguagem de programação (Computadores) 2. Bombeamento de água 3. Tubulações I. Título

CDU 519.682

**unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**


**Anderson Rodrigo Sales**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"**


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS  
  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. ELIANA VIEIRA CANETTIERI  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. JOSÉ NÉDIO CARRINHO DE CASTRO  
UNESP-FEG

**Dezembro de 2015**

## **DADOS CURRICULARES**

**Anderson Rodrigo Sales**

<b>NASCIMENTO</b>	05.02.1988 – MOCOCA / SP
<b>FILIAÇÃO</b>	Sergio Roberto de Sales Regina Aparecida Sipolini Sales
<b>2010/2015</b>	Curso de Graduação Engenharia Mecânica - UNESP

Aos meus pais que se dedicaram a mim de forma incondicional e foram os meus pilares de sustentação.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço de modo especial à minha família, que sempre me apoiou nesta difícil, longa e rica jornada.

À minha orientadora, Prof. Dr. Eliana Vieira Canettieri, pela dedicação, paciência e carinho depositados em mim para a realização deste trabalho.

À todos os professores da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá com que tive o prazer de ter aulas. Estes, foram verdadeiros mestres.

Aos meus amigos pelos grandes momentos que passamos juntos, dentro e fora da universidade.

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.

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um programa de computador baseado na linguagem de programação VBA, utilizando o software Microsoft Excel, para o dimensionamento de instalações de recalque de água.

O programa permite ao usuário determinar o diâmetro mais econômico, utilizando a equação de Bresse, para uma determinada configuração de instalação, desde que sejam conhecidos os desníveis geométricos, tipo de material da tubulação, acessórios a serem instalados ao longo da linha e a vazão. Além disso, o programa estima o custo total anual da instalação para três diâmetros diferentes a fim de comparar qual diâmetro é mais vantajoso do ponto de vista econômico.

A interface do programa foi desenvolvida para ser simples e intuitiva com a intenção de ser didático e oferecer aos estudantes de engenharia uma ferramenta vantajosa para a análise desse tipo de projeto.

O Microsoft Excel foi escolhido para este projeto por estar presente em praticamente todos os computadores pessoais, sendo uma ferramenta indispensável para uso educacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Programação VBA. Instalações de recalque de água. Diâmetro econômico de tubulação.



SALES, A. R. **Development of a spreadsheet in VBA programming language for didactic designing of pumping systems of water.** 2015. 62 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

### **ABSTRACT**

This study aims to develop a computer program based on VBA programming language, using Microsoft Excel, for designing pumping systems of water.

The program allows the user to determine the economical diameter, using the equation of Bresse, for a given installation, since the geometric elevation, the material of the tube, the accessories along the line and the volumetric flow are known. In addition, the program estimates the total annual cost of the installation for three different diameters, in order to compare which diameter is more advantageous from an economical perspective.

The program interface is designed to be simple and intuitive with the intention of being didactic and offering to engineering students an advantageous tool to analyze this type of project.

Microsoft Excel was chosen for this work because is present in virtually all personal computer, and is an indispensable tool for educational purposes.

**KEYWORDS:** VBA programming language. Pumping systems of water. Economical diameter.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – escoamento forçado em tubulações .....	14
Figura 2 – Estimativa de fluxo de caixa .....	15
Figura 3 – Programa GCD Plot .....	16
Figura 4 – Movimento vertical: simulação .....	16
Figura 5 – Diagrama de Moody.....	21
Figura 6 – Típica instalação de recalque .....	23
Figura 7 – Tela inicial do programa .....	30
Figura 8 – Modelo de instalação com bomba elevada.....	31
Figura 9 – Modelo de instalação com bomba afogada .....	32
Figura 10 – Tela para seleção de curvas e tês.....	33
Figura 11 – Tela para seleção de válvulas .....	33
Figura 12 – Tela para escolha dos diâmetros comerciais .....	34
Figura 13 – Tela de resultados.....	35
Figura 14 – Tela de informações adicionais.....	35
Figura 15 – Instalação de recalque de água contaminada .....	36
Figura 16 – Tela inicial preenchida .....	39
Figura 17 – Tela de modelo com bomba afogada preenchida .....	39
Figura 18 – Tela de curvas e tês na sucção preenchida .....	40
Figura 19 – Tela de válvulas na sucção preenchida .....	40
Figura 20 – Tela de curvas e tês no recalque preenchida .....	41
Figura 21 – Tela de válvulas no recalque preenchida.....	41
Figura 22 – Tela para escolha dos diâmetros comerciais preenchida.....	42
Figura 23 – Resultados: Instalação de recalque de água contaminada .....	42
Figura 24 – Resultados: Informações adicionais .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Rendimento médio de bombas centrífugas.....	26
Tabela 2 – Rendimento médio de motores elétricos.....	26
Tabela 3 – Margem de segurança para motores elétricos.....	27
Tabela 4 – Dados para configuração do trecho de recalque .....	37
Tabela 5 – Dados para configuração do trecho de sucção.....	37
Tabela 6 – Dados de entrada: Modelo com bomba afogada.....	38
Tabela 7 – Dados para análise econômica.....	38
Tabela 8 – Resultados obtidos .....	43
Tabela A.1 – Lista de materiais e rugosidade interna de tubos .....	49
Tabela A.2 – Diâmetros comerciais para aço Std/Sch 40.....	50
Tabela A.3 – Coeficiente de resistência de acessórios e válvulas .....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1	PLANILHAS ELETRÔNICAS (EXCEL).....	13
2.1.1	<b>A linguagem de programação VBA</b> .....	<b>13</b>
2.2	ESCOAMENTO VISCOSO EM CONDUTOS CIRCULARES .....	17
2.2.1	<b>Escoamento laminar e turbulento</b> .....	<b>17</b>
2.2.2	<b>Considerações sobre energia</b> .....	<b>18</b>
2.2.3	<b>Cálculo da perda de carga distribuída</b> .....	<b>20</b>
2.2.4	<b>Cálculo da perda de carga localizada</b> .....	<b>22</b>
2.3	INSTALAÇÕES DE RECALQUE .....	23
2.3.1	<b>Dimensionamento de instalações de recalque de água</b> .....	<b>24</b>
2.4	ANÁLISE ECONÔMICA .....	28
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA</b> .....	<b>30</b>
3.1	APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA .....	30
3.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO PROGRAMA.....	36
3.2.1	<b>Discussão dos resultados</b> .....	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>
	<b>APÊNDICE A – Tabelas de materiais, diâmetros comerciais e acessórios</b> ...	<b>49</b>
	<b>APÊNDICE B – Equações auxiliares</b> .....	<b>52</b>
	<b>APÊNDICE C– Principais códigos do programa</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Podemos definir um sistema hidráulico como a combinação de uma máquina de fluxo (bomba centrífuga, bomba de engrenagens, entre outras) e uma rede de tubulações ou canais que conduzem o líquido. Para aplicar essas máquinas de fluxo em um sistema real, uma concordância entre as características da máquina e aquelas do sistema deve ser respeitada, bem como o atendimento simultâneo de condições de eficiência energética, economia de capital e durabilidade (FOX, PRITCHARD e McDONALD, 2010).

O transporte de líquidos de um ponto para o outro é um dos problemas mais frequentes da hidráulica. Se a condução for feita em sentido descendente, aproveita-se a energia potencial contida no líquido (transporte por gravidade). Se o sentido do transporte for ascendente, há necessidade de fornecimento de energia ao líquido, e isso é feito pela bomba através de instalações de recalque.

Uma instalação de recalque é dividida em tubulação de sucção, tubulação antes da bomba e tubulação de recalque, tubulação após a bomba.

Segundo Robaina, Calgaro e Peiter (2004), o diâmetro das tubulações em instalações de recalque representa um problema hidráulicamente indeterminado. Segundo os autores, recalque a baixas velocidades, resulta em diâmetros grandes, custo elevado para as tubulações e menores gastos com o conjunto motor-bomba. Porém, velocidades altas implicam no uso de diâmetros menores, portanto com custos menores, mas resultam em perdas de carga maiores e, conseqüentemente, exige um gasto maior com o conjunto motor-bomba e o consumo de energia. Por se tratar de um problema hidráulicamente indeterminado o cálculo para a determinação do diâmetro mais econômico, para determinada configuração de instalação a uma dada vazão volumétrica, é iterativo.

Para Perroni (2008), o diâmetro é dito econômico quando este reduz ao mínimo os custos com a tubulação e com a energia consumida. Portanto, o sistema de recalque é considerado bem dimensionado quando leva em consideração não apenas os aspectos hidráulicos, mas também os aspectos econômicos.

Considerando o grande avanço da computação, os cálculos iterativos para o dimensionamento destes sistemas podem ser automatizados.

Muitos destes problemas podem ser resolvidos com planilhas eletrônicas, como as do Microsoft Excel, que permite a utilização da linguagem de programação de alto nível denominada VBA (Visual Basic for Application).

A opção pela linguagem VBA é justificada por ser uma linguagem em que os interpretadores de código-fonte se encontram incorporados as versões padrão do Microsoft Excel, e que pertencem ao sistema operacional mais conhecido no mundo, o Microsoft Windows. Assim, assume-se que qualquer computador em qualquer lugar terá acesso a essa ferramenta (NEVES, 2007).

O dimensionamento do diâmetro de tubulações de sucção e recalque exige um esforço repetitivo de cálculo por parte do projetista. Foi pensando em minimizar este esforço que foi desenvolvido um programa em ambiente Excel para possibilitar ao estudante de engenharia, calcular de maneira automática o menor diâmetro interno de tubulações de recalque e sucção, desde que sejam conhecidos os desníveis geométricos, tipo de material da tubulação e acessórios a serem instalados ao longo da linha, tais como válvulas e curvas.

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um programa com intenção de permitir ao usuário comparar os dados obtidos do ponto de vista hidráulico e econômico. O aplicativo desenvolvido é uma alternativa gratuita e confiável para estimar o diâmetro de uma instalação de recalque de água e proporciona ao usuário-estudante uma visão mais ampla acerca de projetos e engenharia econômica, uma vez que os custos com uma instalação de recalque variam sensivelmente com o diâmetro.

## **2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 PLANILHAS ELETRÔNICAS (EXCEL)**

Cinto e Góes (2008) ressaltam que a tecnologia da informação se tornou indispensável para o bom funcionamento de qualquer empresa. Mencionam também, a ferramenta Microsoft Excel® como sendo o melhor e o mais popular software de planilha eletrônica do mercado.

Leon, Przasnyski e Seal (1996) sustentam que planilhas eletrônicas são amplamente utilizadas para modelar problemas gerenciais e realizar pesquisas operacionais. Segundo os autores, o Excel se tornou uma ferramenta poderosa devido ao seu baixo custo, e facilidade de uso. Nesse sentido, Cezarino, Filho e Ratto (2009), comentam os elevados custos de softwares de gerenciamento e que as planilhas eletrônicas representam uma decisão de baixo e uma excelente alternativa para solução de problemas, principalmente pelo fato de que, para se trabalhar com planilhas eletrônicas o usuário não necessita de conhecimentos aprofundados em informática.

#### **2.1.1 A linguagem de programação VBA**

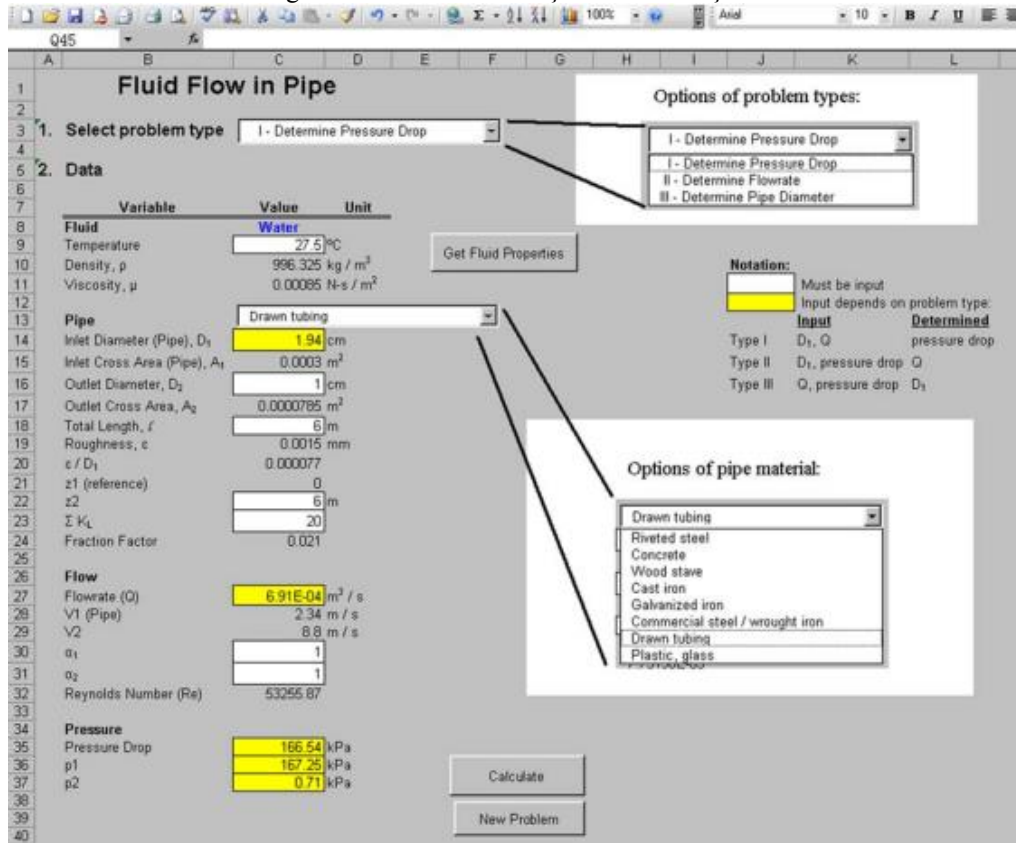
De acordo com Dreux e Azevedo (2009), Visual Basic ou VB é uma linguagem de programação que tem por base a linguagem BASIC tratando-se de uma linguagem de alto nível, que utiliza como modelo de programação a orientação a objetos. O VBA (Visual Basic for Applications) é uma ramificação do VB, desenvolvido para atuar em harmonia com as aplicações do Microsoft Office, tais como: Excel, Word, PowerPoint, Access e outras. Segundo o autor, o VBA é estreitamente ligado ao desenvolvimento de macros, sendo macro um conjunto de instruções fornecidas ao computador para eliminar trabalhos repetitivos.

O domínio das práticas de programação em linguagem VBA possibilita ao usuário, seja este, profissional, estudante ou professor, o desenvolvimento de diferentes aplicações para fins empresariais ou acadêmicos tais como exemplificados a seguir:

Wong e Barford (2010), afirmam que a prática da engenharia química tem sofrido grande influência dos avanços tecnológicos em hardware e software e que os alunos de graduação deveriam dominar as técnicas mais avançadas de programação VBA. Nesse sentido, os autores, junto a Universidade de Hong Kong, publicaram um artigo mostrando a

importância do domínio da ferramenta Excel para resolver problemas do mundo real. Os autores, demonstraram com é possível criar um aplicativo para resolver problemas como: escoamento forçado em tubulações, Figura 1, e estimar o fluxo de caixa, Figura 2.

Figura 1 – Escoamento forçado em tubulações.



Fonte: (WONG e BALFORD, 2010).



Figura 2 – Estimativa de fluxo de caixa.

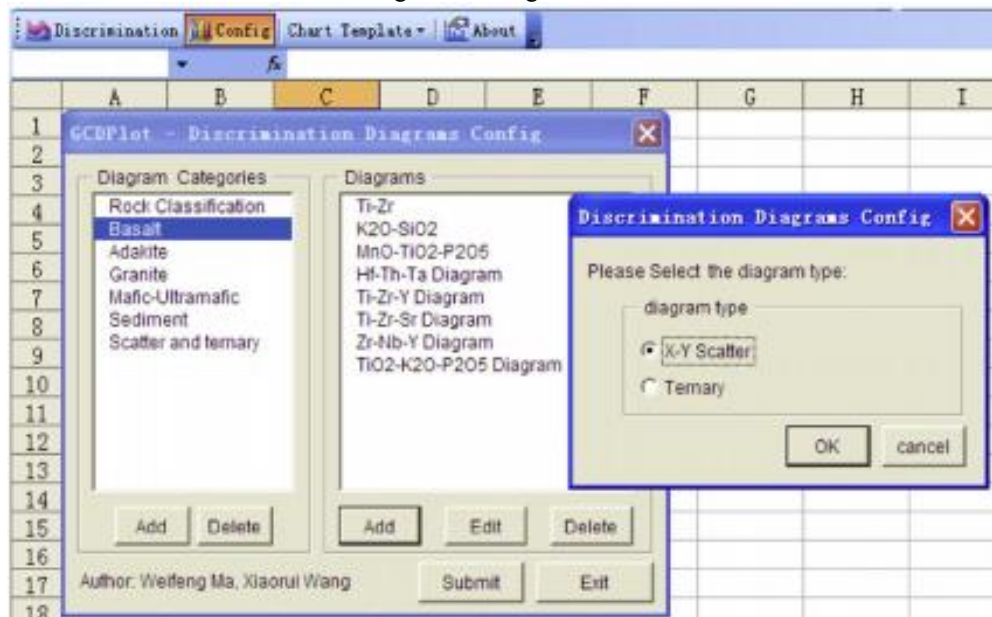
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								

Fonte: (WONG e BALFORD, 2010).

Yan e Hongliang (2012), disseram usar as capacidades avançadas de processamento de dados do Excel, usando a programação VBA, para modelar as condições de operação de hidroelétricas.

Wang, Ma, Gao e Ke (2008), desenvolveram um programa em VBA para classificação e determinação geoquímica de rochas. Tal programa, segundo os autores, é inovador não apenas por plotar diagramas (X-Y) mas por permitir aos usuários editar diagramas já existentes e criar novos diagramas de maneira fácil. A Figura 3 ilustra a interface do programa.

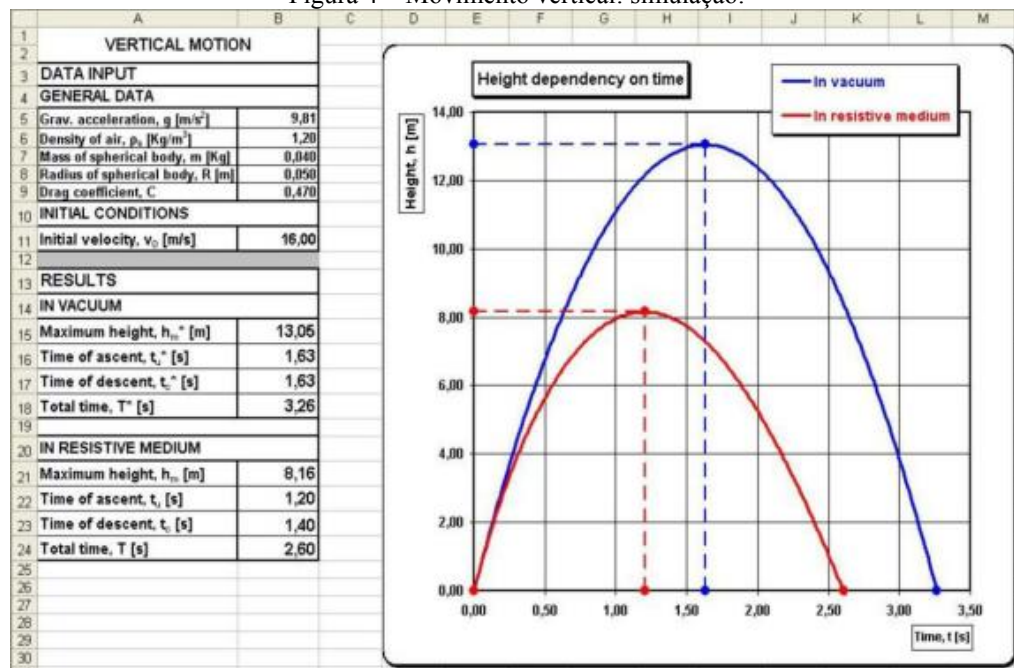
Figura 3 – Programa GCD Plot.



Fonte: (WANG, MA, GAO e KE, 2008).

Grigore e Barna (2015) desenvolveram uma planilha interativa em Excel para estudar o movimento vertical de um corpo esférico no campo gravitacional terrestre. Foi considerado e também desconsiderado no movimento do corpo, o atrito com ar. Os autores afirmam que a planilha é fácil utilização e pode ser usada tanto para ensinar como para aprender. A Figura 4 ilustra a interface do programa.

Figura 4 – Movimento vertical: simulação.



Fonte: (GRIGORE e BARNA, 2014).

## 2.2 ESCOAMENTO VISCOSO EM CONDUTOS CIRCULARES

Munson, Young e Okiishi (2004), afirma que a maioria dos condutos utilizados para transportar fluidos apresentam seção transversal circular e são projetados para suportar uma significativa diferença de pressão. Tal diferença de pressão só pode ser mantida se o conduto estiver completamente preenchido com fluido, caso essa condição não seja satisfeita, o escoamento será considerado em canal aberto, e o escoamento acontece exclusivamente pela ação da força gravitacional.

Telles (1994) é categórico ao dizer que o escoamento de um fluido em uma tubulação sempre tem como consequência uma certa perda de energia do fluido, que é gasta para vencer as resistências que se opõem ao escoamento, e que é dissipada na forma de calor. Segundo o autor, essas resistências podem ser externas, resultantes do atrito do fluido contra as paredes do tubo, das acelerações e mudanças de direção do escoamento ou podem ser internas, resultantes do atrito das moléculas do fluido umas com as outras, a esse fenômeno denominamos viscosidade.

Telles (1994) afirma ainda, que as resistências externas serão maiores quanto maiores forem a velocidade do fluido e a rugosidade das paredes do tubo, e quanto menor for o diâmetro da tubulação. Essas resistências ainda dependerão da quantidade e da natureza dos acidentes na tubulação (curvas, válvulas, etc.), também chamadas de perdas secundárias ou perdas menores. No caso das resistências internas, essas serão tanto maiores quanto maiores forem a velocidade e a viscosidade do fluido.

### 2.2.1 Escoamento laminar e turbulento

De acordo com Çengel e Cimbala (2007) o escoamento do fluido é aerodinâmico a baixas velocidades e é caótico a medida que a velocidade aumenta para um valor acima de um valor crítico. O regime de escoamento é considerado laminar quando as linhas de corrente são suaves e com movimento ordenado. No segundo caso, o regime de escoamento é dito turbulento quando há oscilações de velocidade e movimento excessivamente desordenado. O escoamento de transição ocorre em alguma região na qual o escoamento alterna entre o escoamento laminar e o turbulento.

Foi descoberto, na década de 1880 por Osborne Reynolds, que o regime de escoamento depende especialmente da relação entre as forças inerciais e as forças viscosas do fluido. Essa

relação é chamada de número de Reynolds ( $Re$ ) e é expressa para o escoamento interno em um tubo circular pela equação (1):

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \dots\dots\dots(1)$$

Onde:

V: velocidade média do fluido no interior do tubo [m/s]

D: diâmetro interno do tubo [m]

$\mu$ : viscosidade dinâmica ou absoluta [Pa.s]

$\nu$ : viscosidade cinemática do fluido [m<sup>2</sup>/s]

White (2009) define que o regime de escoamento é laminar para números de Reynolds menores do que 2000 ( $Re < 2000$ ) e turbulento para número de Reynolds maiores do que 4000 ( $Re > 4000$ ). Para números de Reynolds entre 2000 e 4000 ( $2000 \leq Re \leq 4000$ ) o regime de escoamento pode ser considerado transitório.

Na maioria das aplicações práticas envolvendo escoamento forçado de água em tubulações, o regime de escoamento será turbulento.

### 2.2.2 Considerações sobre energia

Fox, Pritchard e McDonald (2010), discutem o significado da equação da energia (primeira lei da termodinâmica), considerando os efeitos de atrito, ou seja, as perdas de energia já citadas anteriormente por Telles (1994). A equação (2), pode ser usada para expressar a energia mecânica por unidade de peso do líquido escoando:

$$\left( \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right) = h \dots\dots\dots(2)$$

Onde:

$P_1$ : pressão no ponto de entrada do escoamento [Pa]

$P_2$ : pressão no ponto de saída do escoamento [Pa]

$V_1$ : velocidade média de escoamento no ponto de entrada [m/s]

$V_2$ : velocidade média de escoamento no ponto de saída [m/s]

$\alpha_1$ : fator de correção de correção de energia cinética na entrada do escoamento [adimensional]

$\alpha_2$ : fator de correção de correção de energia cinética na saída do escoamento [adimensional]

$z_1$ : elevação do ponto de entrada do escoamento em relação a um referencial [m]

$z_2$ : elevação do ponto de saída do escoamento em relação a um referencial [m]

$\rho$ : massa específica do líquido [kg/m<sup>3</sup>]

$g$ : aceleração local da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

$h$ : perda de energia mecânica pelo atrito entre as seções de 1 e 2 do tubo [m]

A equação de Bernoulli é muito similar a equação (2), exceto pelo termo  $h$  ser igual a zero. Isso significa que em um escoamento não viscoso, a queda de pressão só poderá existir, caso ocorra mudança de velocidade de escoamento devido a uma mudança de diâmetro ou caso ocorra uma mudança de elevação entre os pontos 1 e 2.

Na prática diária, a equação de Bernoulli não pode ser usada com precisão, pois negligencia aspectos importantes da dinâmica dos fluidos, especialmente quando se discute estações de bombeamento de fluido. A equação (2), por outro lado, indica que a energia mecânica será continuamente transformada em energia térmica, isto é, a pressão entre os pontos 1 e 2 variará mesmo para um tubo horizontal de área de seção constante.

O fator de correção de energia cinética  $\alpha$  pode assumir os valores 1 ou 2, caso o escoamento seja completamente turbulento ou completamente laminar, respectivamente.

Considerando que variação na energia cinética é, em geral, pequena comparada aos demais termos na equação da energia, podemos quase sempre desprezá-la sem que haja mudanças substanciais no resultado final, como sustentam (MUNSON, YOUNG e OKIISHI, 2004).

É conveniente ressaltar que a equação (2) pode somente ser utilizada quando algumas hipóteses, impostas ao escoamento, sejam respeitadas. Para realizar qualquer tipo de cálculo utilizando a equação (2) é necessário atender aos seguintes requisitos:

- a) O escoamento deve ser em regime permanente, ou seja, os valores das propriedades não variam com o tempo.
- b) O escoamento deve ser considerado isotérmico.
- c) O fluido deve ser newtoniano (homogêneo), sendo assim, não poderá existir variações no estado físico, ou nos valores da massa específica e viscosidade.

- d) Os fluidos devem ser incompressíveis.
- e) A seção transversal do trecho de tubulação analisado deve ser constante e perfeitamente circular.

### 2.2.3 Cálculo da perda de carga distribuída

Silowash (2010) descreve que para tubulações industriais a equação mais empregada é a equação (3), conhecida como equação de Darcy-Weisbach ou “fórmula universal” como citado por (AZEVEDO NETTO, 1998). Essa equação deve ser utilizada para regimes de escoamento completamente turbulentos.

$$h_{distribuída} = \frac{fLV^2}{2gD} \dots\dots\dots(3)$$

Onde:

$h_{distribuída}$ : perda de carga distribuída no trecho considerado [m]

L: comprimento da tubulação no trecho considerado [m]

V: velocidade média de escoamento no trecho considerado [m/s]

D: diâmetro interno da tubulação no trecho considerado [m]

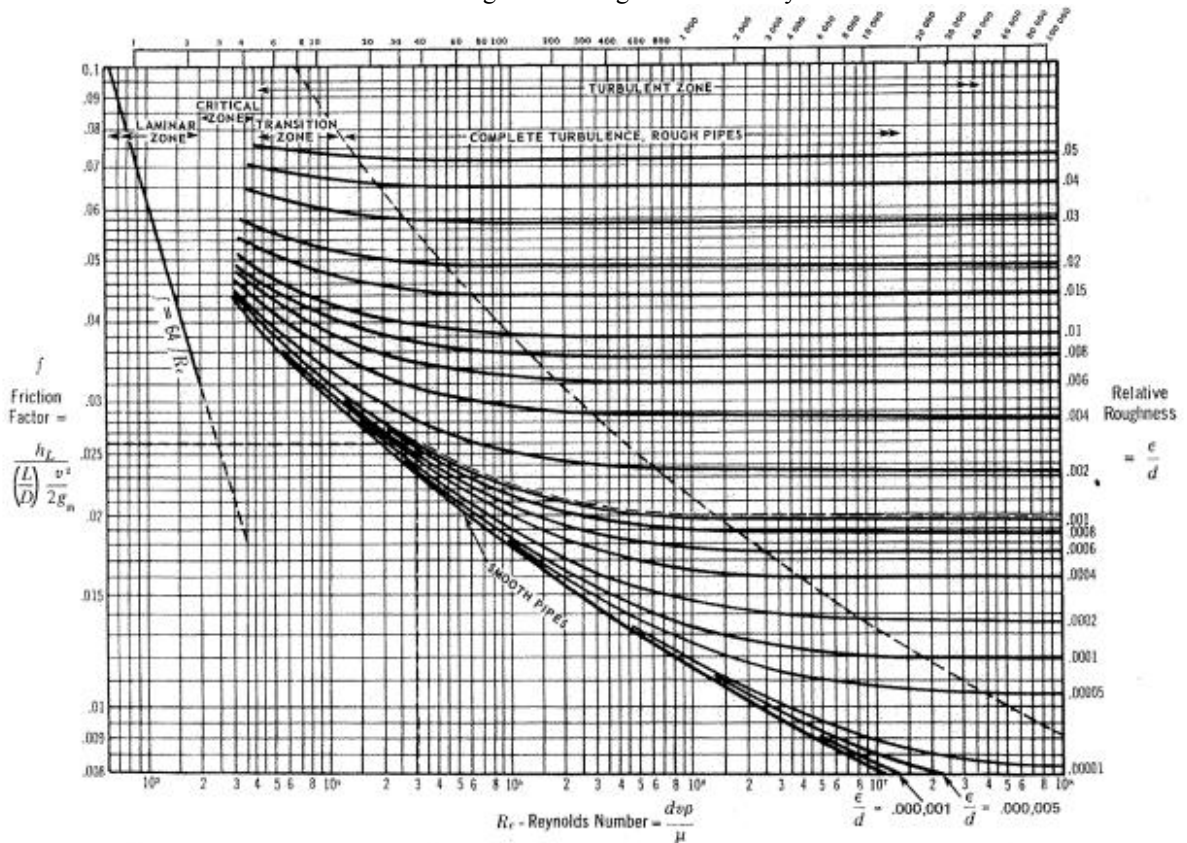
g: aceleração local da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

f: fator de atrito de Darcy ou fator de atrito de Moody [adimensional]

A variável  $f$ , fator de atrito de Moody ou de Darcy, pode ser determinar por vários métodos diferentes. Dois métodos, em particular, são comumente empregados na determinação desse fator: o diagrama de Moody (Figura 5) e a equação de Colebrook-White.

Ainda segundo Silowash (2010), o diagrama de Moody é uma ferramenta extremamente útil para se determinar o fator de atrito  $f$ , baseado na rugosidade das paredes internas do tubo, no diâmetro interno e no regime de escoamento, que pode ser calculado pela equação (1), vista anteriormente.

Figura 5 – Diagrama de Moody



Fonte: (CRANE, 1982)

O segundo método não utiliza o diagrama de Moody diretamente, mas sim uma equação que o descreve. Essa equação é a equação de Colebrook-White, equação (4). Essa equação, pode ser usado com grande precisão na faixa de escoamento turbulento, porém ela precisa ser resolvida de forma iterativa, sendo considera uma equação implícita.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon / D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots(4)$$

Onde:

f: fator de atrito de Moody [adimensional]

Re: número de Reynolds [adimensional]

ε: rugosidade interna das paredes do tubo [m]

ε/D: rugosidade relativa do material do tubo [adimensional]

D: diâmetro interno do tubo [m]

Diversas correlações explícitas foram desenvolvidas afim de eliminar o cálculo iterativo. Muitas dessas correlações são apresentadas no artigo de (ASKER, TURGUT e COBAN, 2014). A mais interessante delas, segundo os autores do artigo, é a equação de Serghides válida para todos os números de Reynolds e qualquer valor de rugosidade relativa, apresentando uma variação de apenas 0.003% em relação a equação de Coolebrook-White, sendo considera uma excelente aproximação para o cálculo do fator de atrito. Porém, neste trabalho, foi utilizada a equação de Colebrook-White - equação (4) - por ser uma equação considerada clássica na literatura, portanto não há contestações quanto a sua validade.

#### 2.2.4 Cálculo da perda de carga localizada

Para Recktenwald (2007) perdas de carga localizadas, perdas singulares ou perdas menores são perdas causadas por exemplo: por cotovelos ou curvas, válvulas, entradas e saídas de tubos e tanques. Esses componentes ou acessórios instalados ao longo de um trecho de tubulação interrompem o completo desenvolvimento do fluxo de fluido na tubulação.

A perda de carga devido a essas interrupções no escoamento pode ser estimada pela equação (5), equação de Borda-Belanger. Em instalações com trechos de tubulação muito longos, a perda de carga singular pode ser desprezada sem que haja prejuízos maiores nos cálculos, mas em trechos curtos ou longos, com muitos acessórios, essa perda de carga não pode ser desprezada.

$$h_{local} = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(5)$$

Onde:

$h_{local}$ : perda de carga localizada ou singular [m]

V: velocidade média de escoamento no trecho considerado [m/s]

g: aceleração local da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

K: coeficiente de resistência do acessório [adimensional]

O termo  $h_{local}$  deve ser acrescentado ao lado direito na equação (2), afim de se obter a perda de energia total no trecho de tubulação considerado.



Se for considerado todos os acessórios ao longo do trecho de tubulação, a equação (6) deve ser utilizada.

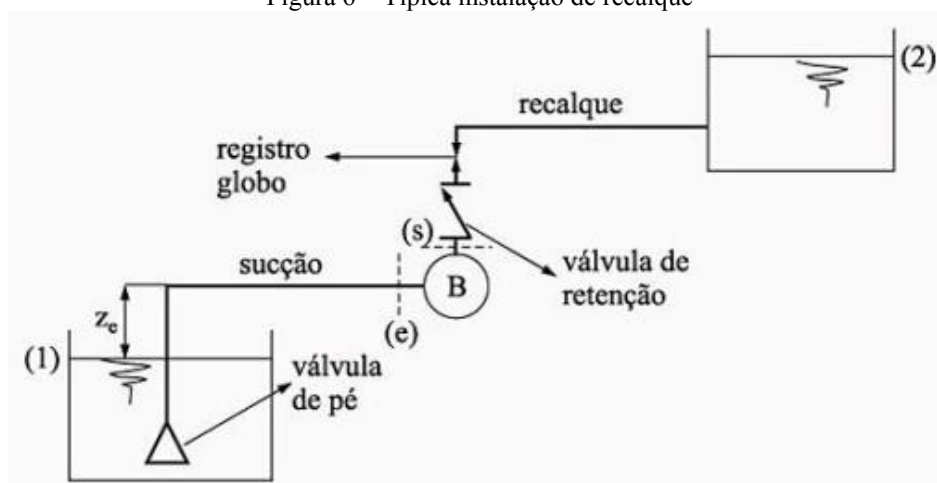
$$\left( \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right) = h_{distribuida} + h_{local} \dots\dots\dots(6)$$

### 2.3 INSTALAÇÕES DE RECALQUE

De acordo com Brunetti (2008) as tubulações de recalque são definidas como sendo o conjunto de equipamentos que permite transportar e controlar a vazão de um líquido. Os equipamentos que compõem esse conjunto, em geral são: reservatórios (de sucção e descarga), tubos, acessórios (singularidades), máquinas de fluxo (bomba centrífuga e/ou turbina hidráulica).

A tubulação, que parte do reservatório de tomada do líquido até a máquina, chama-se tubulação de sucção. A tubulação que liga a máquina com o reservatório de descarga é chamada de tubulação de recalque. Geralmente, o objetivo nas instalações de recalque é o seu dimensionamento (determinação do diâmetro de sucção e recalque), a determinação e a seleção da potência da máquina hidráulica instalada. A Figura 6 ilustra uma típica instalação de recalque, com alguns acessórios típicos desse tipo de instalação.

Figura 6 – Típica instalação de recalque



Fonte: (BRUNETTI, 2008)

Em instalações como a mostrada acima, o fenômeno chamado de cavitação pode ocorrer. Segundo Brunetti (2008), haverá formação de bolhas de vapor na tubulação ou na máquina hidráulica sempre que a pressão absoluta de entrada da máquina (pressão absoluta de sucção) for menor ou igual a pressão de vapor do líquido à temperatura de escoamento.

Temperaturas de escoamento elevadas ou altitudes elevadas aumentam a probabilidade de ocorrência do fenômeno da cavitação, por isso, é importância manter a velocidade de sucção baixa para assim, reduzir as perdas por atrito e manter a pressão de sucção acima da pressão de vaporização.

A cavitação é prejudicial a instalação, pois as bolhas de vapor, quando alcançam regiões de maior pressão, condensam subitamente e implodem liberando grande quantidade de energia, podendo causar vibrações e erosão nas paredes da tubulação e da máquina hidráulica, além de diminuir o rendimento da máquina (BRUNETTI, 2008).

Quando o nível do líquido a ser bombeado está acima da linha de centro da bomba, é dito que a bomba opera em sucção negativa (bomba “afogada”). Quando o nível do líquido a ser bombeada está abaixo da linha de centro da bomba, é dito que a bomba opera em sucção positiva.

Com a configuração da bomba em sucção positiva, a atenção aos cálculos deve ser aumentada, pois é nessa configuração que o fenômeno da cavitação tem maior probabilidade de ocorrer.

### **2.3.1 Dimensionamento de instalações de recalque de água**

Segundo Zocoler et al. (1999), foram desenvolvidas, por muitos pesquisadores, diferentes equações para a determinação ótima do diâmetro de um sistema elevatório. Segundo os autores, a equação mais utilizada é a equação de Bresse.

Para Perroni (2008) a equação de Bresse é uma equação muito simples que deve ser utilizada apenas como uma primeira aproximação do diâmetro ótimo, sendo necessário um estudo econômico para avaliação dos valores de diâmetros comerciais mais próximos ao diâmetro calculado pela equação.

A equação de Bresse utilizada neste trabalho é aquela apresentada por Tuna (1995), expressa pela equação (7).

$$D = \frac{K_b h^{0,25} Q^{0,5}}{24^{0,25}} \dots\dots\dots(7)$$

Onde:

$K_b$ : constante da equação de Bresse [ $0,7 \leq K_b \leq 1,5$ ]

$h$ : horas de funcionamento por dia [h/dia]

$Q$ : vazão volumétrica de água [ $m^3/s$ ]

A equação (7) deve ser utilizada para o cálculo do diâmetro de recalque. O diâmetro comercial da linha de sucção deve ser aquele imediatamente superior ao diâmetro comercial adotado para a linha de recalque.

Os diâmetros comerciais para tubos de aço, adotados neste trabalho, são os seguintes: 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 90, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900 e 1100 [mm].

**- Altura manométrica total do sistema:**

Segundo Silowash (2010), a altura manométrica total que a bomba deve ser capaz de suprir, considerando abertos à atmosfera os reservatórios de sucção e recalque, é calculada pela equação (8).

$$H_{total} = (z_2 - z_1) + (h_{recalque} + h_{sucção}) \dots\dots\dots(8)$$

Onde:

$Z_1$ : distância entre o nível do líquido e a linha de centro da bomba na linha de sucção [m]

$Z_2$ : distância entre o nível do líquido e a linha de centro da bomba na linha de recalque [m]

$h_{recalque}$ : perda de carga total no recalque [m]

$h_{sucção}$ : perda de carga total na sucção [m]

Em problemas práticos, Silowash (2010) recomenda acrescentar 15% à carga manométrica total do sistema. Esse fator de segurança leva em conta o envelhecimento da tubulação e possíveis flutuações no valor da vazão volumétrica.

Conhecendo-se a altura manométrica total do sistema, a potência demandada pelo sistema é calculada pela equação (9).

$$Pot_{consumida} = \frac{(Q\rho gH_{total})}{\eta_{motor-bomba}} \dots\dots\dots(9)$$

Onde:

Q: vazão volumétrica de líquido no sistema [m<sup>3</sup>/s]

H<sub>total</sub>: altura manométrica total do sistema [m]

ρ: massa específica do líquido [kg/m<sup>3</sup>]

g: aceleração local da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

η<sub>motor-bomba</sub>: rendimento médio do conjunto motor-bomba

Segundo Azevedo Netto (1998), o rendimento médio de uma bomba varia de acordo com a vazão, como mostra a Tabela 1<sup>1</sup>.

Tabela 1 – Rendimento médio de bombas centrífugas

Rendimento de bombas centrífugas											
Q (L/s)	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	100	200
η	52%	61%	66%	68%	71%	75%	80%	84%	85%	87%	88%

Fonte: (AZEVEDO NETTO, 1998)

De acordo com Azevedo Netto (1998), os motores elétricos fabricados no Brasil possuem as seguintes potências nominais, em HP: 1/4; 1/2; 3/4; 1; 1 1/2; 2; 3; 5; 6; 7 1/2; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60; 80; 100; 125; 150; 200 e 250.

A Tabela 2<sup>2</sup>, apresentado por Azevedo Netto (1998), mostra o rendimento médio dos motores elétricos em função da potência.

Tabela 2 – Rendimento médio de motores elétricos

Rendimento de motores elétricos												
HP	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	5	10	20	30	50	100
η	64%	67%	72%	73%	75%	77%	81%	84%	86%	87%	88%	90%

Fonte: (AZEVEDO NETTO, 1998)

<sup>1</sup> Os valores apresentados na Tabela 2 devem ser tomados apenas como referência. Para obter o valor real do rendimento da bomba, a uma dada vazão, o catálogo do fabricante deve ser consultado.

<sup>2</sup> Os valores apresentados na Tabela 3 devem ser tomados apenas como referência. Para obter o valor real do rendimento do motor elétrico, o catálogo do fabricante deve ser consultado.

Justino e Nogueira (2012) estabelecem que o motor elétrico deve ser dimensionado para trabalhar com uma determinada margem de segurança, afim de se evitar a sobrecarga na operação. Essa margem de segurança é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Margem de segurança para motores elétricos

<b>Margem de segurança do motor elétrico</b>	
<b>Potência elétrica calculada</b>	<b>Acrescentar</b>
até 2 cv	50%
de 2 a 5 cv	30%
de 5 a 10 cv	20%
de 10 a 20 cv	15%
acima de 20 cv	10%

Fonte: (JUSTINO e NOGUEIRA, 2012)

Para o dimensionamento adequadamente dos diâmetros das tubulações de sucção e recalque, deve-se verificar se haverá cavitação.

O método para verificar se haverá ou não cavitação consiste em comparar a NPSH requerida pela bomba com a NPSH disponível no sistema. NPSH é o acrônimo para *Net Positive Suction Head* (carga manométrica líquida na sucção). Se a NPSH disponível exceder a NPSH requerida, não haverá cavitação. A NPSH requerida é característica da bomba e é encontrada em catálogos de fabricantes. A NPSH disponível é característica do sistema de bombeamento e das condições de escoamento do fluido.

A equação (10) calcula a NPSH disponível para um sistema em sucção positiva. A equação (11) calcula a NPSH disponível para um sistema com bomba afogada.

$$NPSH_d = \frac{(P_{atm} - P_{vapor})}{\rho g} - z - h_{sucção} \dots\dots\dots(10)$$

$$NPSH_d = \frac{(P_{atm} - P_{vapor})}{\rho g} + z - h_{sucção} \dots\dots\dots(11)$$

Onde:

$P_{atm}$ : pressão atuando na superfície do líquido [Pa]. Em um reservatório aberto, a pressão será a pressão atmosférica local.

$P_{vapor}$ : pressão absoluta de vapor do líquido à temperatura de bombeamento [Pa]

z: distância vertical entre a superfície do líquido e a linha de centro da bomba [m]

$h_{\text{sucção}}$ : perda de carga total na tubulação de sucção [m]

$\rho$ : massa específica do líquido [ $\text{kg/m}^3$ ]

g: aceleração local da gravidade [ $\text{m/s}^2$ ]

## 2.4 ANÁLISE ECONÔMICA

Foi utilizada neste trabalho a mesma metodologia usada por Robaina, Calgaro e Peiter (2004), para a estimativa do custo total anual do sistema de recalque. Esse custo total anual pode ser expresso pela equação (12).

$$C_{\text{total}} = C_{\text{tubulação}} + C_{\text{motor-bomba}} + C_{\text{operação}} \dots\dots\dots(12)$$

Onde:

$C_{\text{total}}$ : custo total anual do sistema [R\$]

$C_{\text{tubulação}}$ : custo anual da tubulação [R\$]

$C_{\text{motor-bomba}}$ : custo anual do conjunto motor-bomba [R\$]

$C_{\text{operação}}$ : custo anual de operação do sistema (consumo de energia) [R\$]

As equações (13), (15) e (16) determinam o custo anual da tubulação, o custo anual do conjunto motor-bomba e o custo anual de operação do sistema, respectivamente.

$$C_{\text{tubulação}} = K_1 \cdot \gamma \cdot \pi \cdot D \cdot e \cdot L \cdot (FRC) \dots\dots\dots(13)$$

Onde:

$K_1$ : preço da tubulação por unidade de peso e por metro de tubulação [R\$/ $\text{kgf.m}$ ]

$\gamma$ : peso específico do material da tubulação [ $\text{kgf/m}^3$ ]

D: diâmetro da tubulação [m]

e: espessura da tubulação [m]

L: comprimento da tubulação [m]

FRC: fator de recuperação de capital empregado na compra da tubulação, expresso pela equação (14).

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots(14)$$

Onde:

i: taxa de juros [% a.a]

n: vida útil prevista para o sistema de recalque [anos]

$$C_{motor-bomba} = K_2.Pot.(FRC) \dots\dots\dots(15)$$

Onde:

K<sub>2</sub>: preço do conjunto motor-bomba [R\$/CV]

Pot: potência do conjunto motor-bomba [CV]

$$C_{operação} = K_3.Nh.Pot.0,736 \dots\dots\dots(16)$$

Onde:

K<sub>3</sub>: preço por unidade de energia consumida [R\$/kWh]

Nh: número de horas de operação do sistema de recalque [anos]

0,736: fator de conversão de [CV] para [kW]

### 3 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

#### 3.1 APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA

A Figura 7 ilustra a tela inicial do programa. Todos os campos em branco devem ser preenchidos.

Figura 7 – Tela inicial do programa

Fonte: Produção do próprio autor

No campo, *Propriedades da água*, a temperatura de escoamento da água deve ser digitada e o botão *Obter propriedades* ser pressionado para que haja o preenchimento automático dos campos *Massa específica*, *Viscosidade cinemática* e *Pressão de vapor (abs)*.

O material do qual é feita as tubulações de recalque e sucção deve ser selecionado na caixa de seleção *Material do tubo*. Após a seleção, a rugosidade do tubo será mostrada automaticamente. A Tabela A.1 (APÊNDICE A), mostra diferentes materiais que podem ser selecionados, embora na prática, os materiais comumente utilizados em instalações de recalque são o aço, o ferro fundido e o PVC.

As horas anuais de operação do sistema, no campo *Dados para análise econômica*,



será preenchido automaticamente após o usuário informar em *Escolha um modelo de instalação* quantas horas diárias o sistema irá funcionar.

A *Vazão volumétrica* deve ser informada pelo usuário.

O botão *Escolha um modelo de instalação*, ao ser pressionado, abre a tela ilustrada pelas Figuras 8 e 9, respectivamente. O programa permite simular uma instalação de recalque com bomba afogada ou com bomba elevada.

Figura 8 – Modelo de instalação com bomba elevada

Modelos da instalação de recalque

Modelo com bomba elevada  Modelo com bomba afogada

Reservatório de sucção

Reservatório de recalque

Altura de sucção, Z1  m

Comprimento da sucção  m

Altura de recalque, Z2  m

Comprimento do recalque  m

Horas de funcionamento  h/dia

Valor de K da equação de Bresse ( $0,7 \leq K \leq 1,5$ )

Altitude local  m

Limpar dados OK! Fechar

Fonte: Produção do próprio autor

Figura 9 – Modelo de instalação com bomba afogada

Modelos da instalação de recalque

Modelo com bomba elevada
  **Modelo com bomba afogada**

Reservatório de sucção

Reservatório de recalque

Altura de sucção, Z1  m

Comprimento da sucção  m

Altura de recalque, Z2  m

Comprimento do recalque  m

Horas de funcionamento  h/dia

Valor de K da equação de Bresse ( $0,7 < K <= 1,5$ )

Altitude local  m

Fonte: Produção do próprio autor

Os botões *Acessórios na sucção* e *Acessórios no recalque*, ao serem pressionados, permitem ao usuário selecionar quais acessórios farão parte dos trechos de sucção e recalque, respectivamente. As Figuras 10 e 11 ilustram as telas para a seleção de curvas, tês e válvulas.

Figura 10 – Tela para seleção de curvas e tê

Acessórios - Curvas e Válvulas

**Curvas e Tês**
                         
  **Válvulas**

**Curvas e Tês**

Tê - escoamento de desvio, flangeado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 90° raio longo, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Tê - escoamento de desvio, rosqueado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 90° raio longo, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Tê - escoamento de linha, flangeado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 45° suave, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Tê - escoamento de desvio, rosqueado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 45° raio longo, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Curva 90° suave, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 180°, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Curva 90° suave, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 180°, rosqueada..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
União, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>		

Fonte: Produção do próprio autor

Figura 11 – Tela para seleção de válvulas

Acessórios - Curvas e Válvulas

**Curvas e Tês**
                         
  **Válvulas**

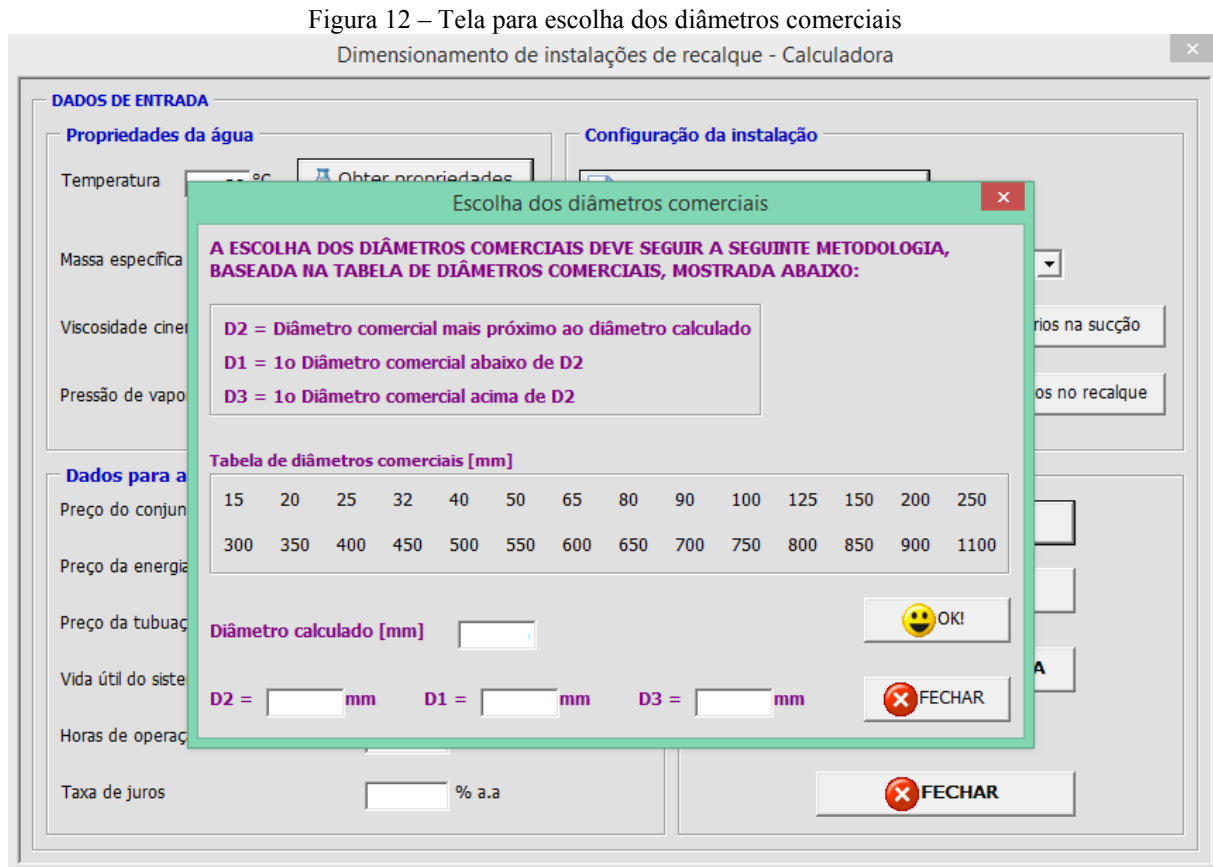
**Válvulas**

Válvula de globo, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de esfera, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de ângulo, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de esfera, 1/3 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de esfera, 2/3 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, 1/4 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de diafragma, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, 1/2 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de diafragma, 1/2 aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, 3/4 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de diafragma, 1/4 aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de retenção de batente ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de pé ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>

Fonte: Produção do próprio autor

Após a inserção de todos os dados na tela inicial (Figura 7), o botão *Calcular* deve ser pressionado. A Figura 12 ilustra a tela que permite ao usuário escolher o diâmetro mais adequado para a instalação, baseado no *Diâmetro calculado [mm]*, obtido pela equação de Bresse (equação 7). Todos os três campos devem ser preenchidos para que a análise econômica seja feita, comparando os três diâmetros.



Fonte: Produção do próprio autor

O botão *OK!* ao ser pressionado, conduz o usuário a tela de *Resultados*, como ilustrado na Figura 13.

Os custos totais são calculados para os três diâmetros escolhidos permitindo ao usuário comparar qual diâmetro é mais vantajoso, do ponto de vista econômico, visto que o custo com a tubulação aumenta com o aumento do diâmetro, porém o custo do conjunto motor-bomba e da energia elétrica consumida diminuem com o aumento do diâmetro.


Ao pressionar o botão + *Informações*, a tela mostrada na Figura 14 se abre, permitindo ao usuário obter informações adicionais acerca do modelo de instalação escolhido.


Figura 13 – Tela de resultados


Dimensionamento de instalações de recalque - Calculadora

**RESULTADOS**

	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3
Diâmetro do recalque [mm]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Diâmetro da sucção [mm]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Perda de carga distribuída no recalque [m]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Perda de carga distribuída na sucção [m]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Perdas localizadas no recalque [m]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Perdas localizadas na sucção [m]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Perda de carga total [m]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Altura manométrica total [m]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Potência demandada motor-bomba [CV]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Custo total anual das tubulações [R\$]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Custo anual do conjunto motor-bomba [R\$]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Custo anual com energia [R\$]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
CUSTO TOTAL ANUAL DO SISTEMA [R\$]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

 **DADOS DE ENTRADA**

 **+ INFORMAÇÕES**

 **FECHAR**



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 14 – Tela de informações adicionais

Dimensionamento de instalações de recalque - Calculadora

**INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3
Fator de atrito de Moody, $f$ , recalque	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fator de atrito de Moody, $f$ , sucção	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Velocidade média no recalque [m/s]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Velocidade média na sucção [m/s]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
NPSH disponível [m]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

 **DADOS DE ENTRADA**       **RESULTADOS**

Fonte: Produção do próprio autor

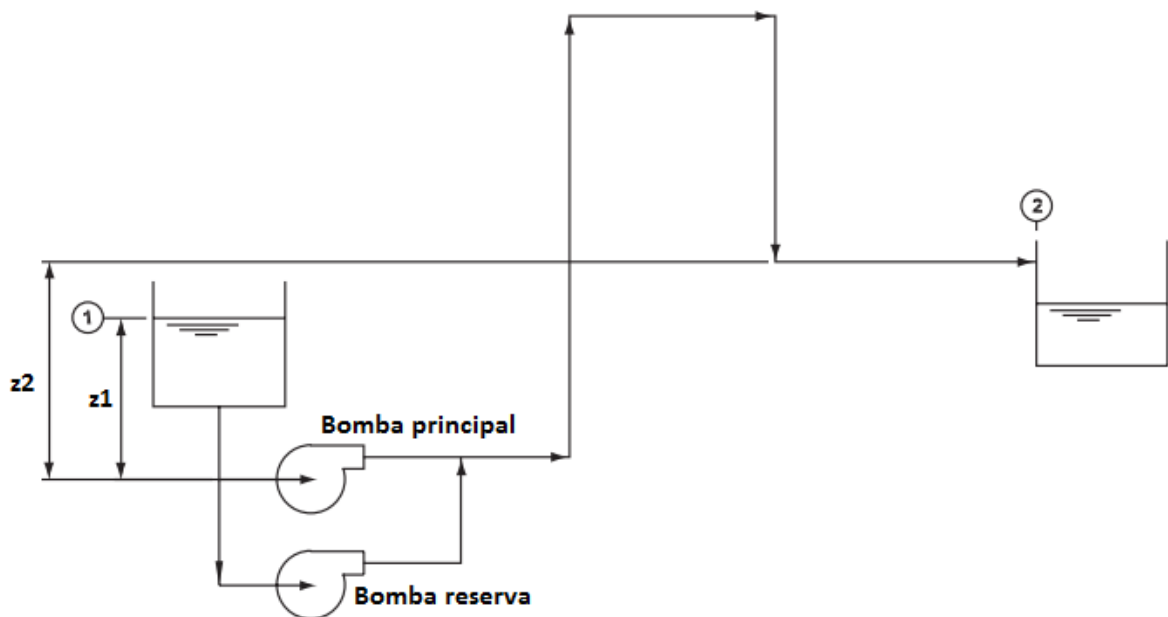
### 3.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO PROGRAMA

A configuração do sistema, mostrada na Figura 15, teve como base a configuração proposta por Silowash (2010). Pequenas modificações no desenho foram feitas afim de, neste trabalho, facilitar o entendimento do sistema.

Através da configuração abaixo deseja-se transportar água contaminada de um tanque, cuja superfície é livre e está 3 m ( $z1$ ) acima do eixo da bomba principal e da bomba reserva. Essa água deve ser entregue em um tanque para tratamento, situado 12,2 m ( $z2$ ) acima do eixo da bomba e com superfície livre. A vazão requerida é de  $0,0473 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $47,3 \text{ L/s}$ ).

A bomba reserva está na mesma altura que a bomba principal e é assumida como possuindo a mesma potência de acionamento da bomba principal.

Figura 15 – Instalação de recalque de água contaminada



Fonte: (SILOWASH, 2010)

As Tabelas 4 e 5 mostram os itens necessários à configuração completa do sistema. A temperatura da água foi assumida 38 °C e constante. Foi adotado aço galvanizado para a tubulação de sucção e recalque.

A Tabela 6 contém os dados que foram usados para preencher os campos da Figura 9, mostrada anteriormente.

As Figuras 16 a 24, mostradas nas próximas páginas, ilustram o estado final do programa após todos os campos serem preenchidos.

A Tabela 7 mostra os dados de entrada para a análise econômica assumindo os valores médios propostos por Robaina, Calgaro e Peiter (2004), exceto o preço da energia elétrica que foi adotado um valor médio de acordo a AES Eletropaulo<sup>3</sup>.

Tabela 4 – Dados para configuração do trecho de recalque

Item	Quantidade
Comp. da tubulação	335,3 (m)
Curva, 90° raio longo	37
Válvula de gaveta	1
Válvula de retenção	1
Tê de desvio	1

Fonte: (SILOWASH, 2010)

Tabela 5 – Dados para configuração do trecho de sucção

Item	Quantidade
Comp. da tubulação	6,1 (m)
Curva, 90° raio longo	2
Válvula de gaveta	1
Tê de desvio	1

Fonte: (SILOWASH, 2010)

<sup>3</sup> A tarifa média de energia elétrica foi obtida da web site: <https://www.aeseletropaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/tarifa-de-energia-eletrica>, acessada em novembro de 2015.

Tabela 6 – Dados de entrada: Modelo com bomba afogada

<b>Modelo com bomba afogada</b>	
<b>Altura de sucção, Z1</b>	3 (m)
<b>Comprimento de sucção</b>	6,1 (m)
<b>Altura de recalque, Z2</b>	12,2 (m)
<b>Comprimento de recalque</b>	335,3 (m)
<b>Horas de funcionamento/dia</b>	8 (h/dia)
<b>Valor de K da equação de Bresse</b>	0,9
<b>Altitude local</b>	0 (m)

Fonte: Produção do próprio autor

Tabela 7 – Dados para análise econômica

<b>Dados para análise econômica</b>	
<b>Preço do conjunto motor-bomba</b>	136 (R\$/CV)
<b>Preço da energia elétrica</b>	0,23 (R\$/kWh)
<b>Preço da tubulação</b>	2,73 (R\$/kgf.m)
<b>Vida útil do sistema</b>	15 (anos)
<b>Horas de operação</b>	2920 (h/ano)
<b>Taxa de juros</b>	12 (% a.a)

Fonte: Produção do próprio autor



Figura 16 - Tela inicial preenchida

Dimensionamento de instalações de recalque - Calculadora

**DADOS DE ENTRADA**

**Propriedades da água**

Temperatura  °C

Massa específica  kg/m<sup>3</sup>

Viscosidade cinemática  m<sup>2</sup>/s

Pressão de vapor (abs)  kPa

**Dados para análise econômica**

Preço do conjunto motor-bomba  R\$/CV

Preço da energia elétrica  R\$/kWh

Preço da tubuação  R\$/kgf.m

Vida útil do sistema  Anos

Horas de operação  h/ano

Taxa de juros  % a.a

**Configuração da instalação**

Escolha um modelo de instalação

Material do tubo

Rugosidade do tubo  mm

Vazão volumétrica  m<sup>3</sup>/s

Fonte: Produção do próprio autor

Figura 17 - Tela de modelo com bomba afogada preenchida

Modelos da instalação de recalque

Modelo com bomba elevada     
  Modelo com bomba afogada

Reservatório de sucção

Reservatório de recalque

Altura de sucção, Z1  m

Comprimento da sucção  m

Altura de recalque, Z2  m

Comprimento do recalque  m

Horas de funcionamento  h/dia

Valor de K da equação de Bresse (0,7 <= K <= 1,5)

Altitude local  m

Fonte: Produção do próprio autor

Figura 18 - Tela de curvas e têes na sucção preenchida

Acessórios - Curvas e Válvulas

**Curvas e Tês**
                         
  **Válvulas**

**Curvas e Tês**

Tê - escoamento de desvio, flangeado ..... Qtd	<input type="text" value="1"/>	Curva 90° raio longo, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="2"/>
Tê - escoamento de desvio, rosqueado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 90° raio longo, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Tê - escoamento de linha, flangeado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 45° suave, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Tê - escoamento de desvio, rosqueado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 45° raio longo, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Curva 90° suave, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 180°, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Curva 90° suave, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 180°, rosqueada..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
União, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>		

Fonte: Produção do próprio autor

Figura 19 - Tela de válvulas na sucção preenchida

Acessórios - Curvas e Válvulas

**Curvas e Tês**
                         
  **Válvulas**

**Válvulas**

Válvula de globo, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de esfera, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de ângulo, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de esfera, 1/3 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="1"/>	Válvula de esfera, 2/3 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, 1/4 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de diafragma, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, 1/2 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de diafragma, 1/2 aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, 3/4 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de diafragma, 1/4 aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de retenção de batente ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de pé ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>

Fonte: Produção do próprio autor

Figura 20 - Tela de curvas e tês no recalque preenchida

Acessórios - Curvas e Válvulas

**Curvas e Tês**
                         
  **Válvulas**

**Curvas e Tês**

Tê - escoamento de desvio, flangeado ..... Qtd	<input type="text" value="1"/>	Curva 90° raio longo, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="37"/>
Tê - escoamento de desvio, rosqueado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 90° raio longo, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Tê - escoamento de linha, flangeado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 45° suave, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Tê - escoamento de desvio, rosqueado ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 45° raio longo, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Curva 90° suave, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 180°, flangeada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Curva 90° suave, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Curva 180°, rosqueada..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
União, rosqueada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>		

Fonte: Produção do próprio autor

Figura 21 - Tela de válvulas no recalque preenchida

Acessórios - Curvas e Válvulas

**Curvas e Tês**
                         
  **Válvulas**

**Válvulas**

Válvula de globo, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de esfera, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de ângulo, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de esfera, 1/3 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="1"/>	Válvula de esfera, 2/3 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, 1/4 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de diafragma, aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, 1/2 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de diafragma, 1/2 aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de gaveta, 3/4 fechada ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>	Válvula de diafragma, 1/4 aberta ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>
Válvula de retenção de batente ..... Qtd	<input type="text" value="1"/>	Válvula de pé ..... Qtd	<input type="text" value="0"/>

Fonte: Produção do próprio autor

Figura 22 – Tela para a escolha dos diâmetros comerciais preenchida

Dimensionamento de instalações de recalque - Calculadora

**DADOS DE ENTRADA**

**Propriedades da água**

Temperatura

Massa específica

Viscosidade cinemática

Pressão de vapor

**Dados para anulação**

Preço do conjunto motor-bomba

Preço da energia elétrica

Preço da tubulação

Vida útil do sistema

Horas de operação

Taxa de juros  % a.a.

**Configuração da instalação**

Diâmetro na sucção

Diâmetro no recalque

**Escolha dos diâmetros comerciais**

A ESCOLHA DOS DIÂMETROS COMERCIAIS DEVE SEGUIR A SEGUINTE METODOLOGIA, BASEADA NA TABELA DE DIÂMETROS COMERCIAIS, MOSTRADA ABAIXO:

D2 = Diâmetro comercial mais próximo ao diâmetro calculado  
D1 = 1o Diâmetro comercial abaixo de D2  
D3 = 1o Diâmetro comercial acima de D2

**Tabela de diâmetros comerciais [mm]**

15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200	250
300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	1100

Diâmetro calculado [mm]

D2 =  mm    D1 =  mm    D3 =  mm

Fonte: Produção do próprio autor

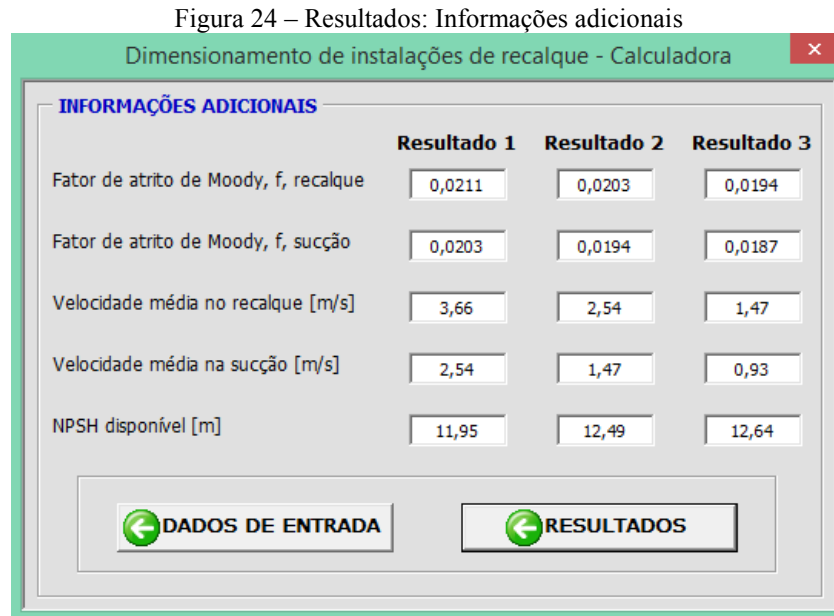
Figura 23 – Resultados: Instalação de recalque de água contaminada

Dimensionamento de instalações de recalque - Calculadora

**RESULTADOS**

	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3
Diâmetro do recalque [mm]	<input type="text" value="125"/>	<input type="text" value="150"/>	<input type="text" value="200"/>
Diâmetro da sucção [mm]	<input type="text" value="150"/>	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="250"/>
Perda de carga distribuída no recalque [m]	<input type="text" value="37,80"/>	<input type="text" value="14,50"/>	<input type="text" value="3,51"/>
Perda de carga distribuída na sucção [m]	<input type="text" value="0,26"/>	<input type="text" value="0,06"/>	<input type="text" value="0,02"/>
Perdas localizadas no recalque [m]	<input type="text" value="7,22"/>	<input type="text" value="3,46"/>	<input type="text" value="1,16"/>
Perdas localizadas na sucção [m]	<input type="text" value="0,51"/>	<input type="text" value="0,17"/>	<input type="text" value="0,07"/>
Perda de carga total [m]	<input type="text" value="45,79"/>	<input type="text" value="18,19"/>	<input type="text" value="4,75"/>
Altura manométrica total [m]	<input type="text" value="63,24"/>	<input type="text" value="31,50"/>	<input type="text" value="16,04"/>
Potência demandada motor-bomba [CV]	<input type="text" value="47,39"/>	<input type="text" value="28,24"/>	<input type="text" value="12,02"/>
Custo total das tubulações [R\$]	<input type="text" value="19.282,34"/>	<input type="text" value="25.252,77"/>	<input type="text" value="38.154,66"/>
Custo do conjunto motor-bomba [R\$]	<input type="text" value="16.320,00"/>	<input type="text" value="09.520,00"/>	<input type="text" value="05.440,00"/>
Custo anual com energia elétrica [R\$]	<input type="text" value="23.423,84"/>	<input type="text" value="13.957,39"/>	<input type="text" value="05.942,07"/>
CUSTO TOTAL ANUAL DO SISTEMA [R\$]	<input type="text" value="28.651,12"/>	<input type="text" value="19.062,87"/>	<input type="text" value="12.342,82"/>

Fonte: Produção do próprio autor



Fonte: Produção do próprio autor

A Tabela 8, abaixo, compara os principais resultados obtidos por Silowash (2010) com os principais resultados obtidos pelo programa desenvolvido neste trabalho.

Tabela 8 – Resultados obtidos

	Resultados de Silowash (2010)	Resultados do software
<b>Perda de carga no recalque</b>	16,06 (m)	17,96 (m)
<b>Perda de carga na sucção</b>	0,24 (m)	0,23 (m)
<b>Altura manométrica</b>	30,48 (m)	31,50 (m)
<b>NPSH disponível</b>	12,47 (m)	12,49 (m)
<b>Pot. do conjunto motor-bomba</b>	30 (cv)	30 (cv)

Fonte: Produção do próprio autor

### 3.2.1 Discussão dos resultados

A Tabela 8, na seção anterior, mostrou os principais resultados obtidos por Silowash (2010) e pelo programa desenvolvido neste trabalho, considerando apenas o diâmetro comercial de 150 mm. Os valores obtidos foram similares.

Diferentemente de Silowash (2010), que adotou o método dos comprimentos equivalentes para o cálculo da perda de carga localizada, neste trabalho foi adotado o método de Borda-Belanger, equação (5).

Para o cálculo da perda de carga distribuída, Silowash (2010) utilizou gráficos que usam como dados entrada para sua leitura, o tipo de material da tubulação, a vazão volumétrica e o diâmetro comercial do tubo. A leitura do gráfico indica a perda de carga distribuída a cada 100 ft de tubulação. Para se obter a perda de carga distribuída total, basta multiplicar tal valor pelo comprimento total da tubulação. Neste trabalho, foi utilizado a equação de Colebrook-White, equação (4), em conjunto com a fórmula universal, equação (3), para se determinar a perda de carga distribuída.

Quanto a potência do conjunto motor-bomba, o programa proposto neste trabalho calculou a potência demandada como sendo de  $23,61 CV$ , e de acordo a Tabela 3, a potência comercial deve ser de  $30 CV$ , estando de acordo com o projeto de (SILOWASH, 2010).

Silowash (2010), no seu exemplo de projeto, não realizou análise econômica para determinar se o diâmetro comercial de  $150 mm$  seria o mais adequado para o projeto. O programa, aqui proposto, realizou não somente a análise do escoamento para três diâmetros distintos, mas também realizou a análise econômica permitindo ao usuário obter uma ideia da melhor configuração possível para o projeto. Nesse sentido, o *Resultado 3* (Figura 23) foi o que a apresentou a configuração de projeto mais vantajosa, uma vez que possui o menor custo total anual. Porém, deve ser considerado que esse custo total anual está diluído em 15 anos de vida útil do projeto.

Na Figura 24, considerando as informações contidas em *Resultado 1*, podemos perceber que a velocidade média de escoamento da água no recalque ultrapassa o valor de velocidade econômica recomendada, podemos assim, desconsiderar o diâmetro comercial de  $125 mm$ .

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho de conclusão de curso, procurou-se divulgar de maneira simples e direta os conceitos básicos de mecânica dos fluidos aplicados a condutos forçados em regime permanente, tendo como principal foco, sistemas elevatórios de água.

As teorias, aqui apresentadas, foram traduzidas em uma linguagem de programação bastante simples e de fácil acesso, uma vez que o Microsoft Excel® é o software de planilha eletrônica mais utilizados no mundo. Este trabalho cumpriu o seu propósito no sentido de demonstrar que o software Excel é uma ferramenta poderosa para o ensino e aprendizado de engenharia.

Deve-se deixar claro que o programa aqui desenvolvido, foi apenas para fins educacionais com o intuito de auxiliar o estudante a configurar e entender a complexidade de um sistema elevatório de água de maneira rápida, seguindo uma metodologia consagrada em manuais de hidráulica.

Futuramente, é esperado que outros programas ou aplicativos, dos diversos ramos da ciência, sejam desenvolvidos por estudantes e para estudantes. Espera-se também, que o programa aqui proposto seja aprimorado para que se tornar um software comercial servindo de auxílio aos profissionais de projetos hidráulicos.

## REFERÊNCIAS

ASKER, M.; TURGUT, O. E.; COBAN, M. T. **A Review of non-iterative friction factor correlations for the calculation of pressure drop in pipes.** Disponível em: [http://www.turhancoban.com/makaleler/science\\_481\\_2014\\_7\\_18\\_1c62c0e2-8a9d-4afb-9dba-b13d738b4b0d.pdf](http://www.turhancoban.com/makaleler/science_481_2014_7_18_1c62c0e2-8a9d-4afb-9dba-b13d738b4b0d.pdf). Acesso em: 21/09/2015

AZEVEDO NETTO, J. M., et al. **Manual de hidráulica.** Editora Blucher, 8ª Edição, 1998.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos.** Editora Pearson Prentice Hall, 2ª Edição, p. 187, 2008.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos - Fundamentos e aplicações.** Editora Macgraw Hill, 1ª Edição, p. 279, 2007.

CEZARINO, W.; FILHO, O. S. S.; RATTO, J. R. **Planejamento agregado da produção: Modelagem e solução via planilha Excel & Solver.** Revista Produção. ABEPRO, v. IX, n. Nº III, p. 28, 2009.

CINTO, A. F.; GÓES, W. M. **Excel Avançado.** Novatec Editora, 1ª Edição, p. 11, 2008.

CRANE. **Flow of fluids - through valves, fittings and pipe.** Technical paper No. 410M.

DREUX, M. A.; AZEVEDO, F. U. B. **Macros para Excel na prática.** Elsevier Editora. 1ª Edição, 2009.

FOX, R. W.; PRITCHARD, P. J.; McDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos.** Editora LTC, 7ª Edição, p. 310, 2010.

GRIGORE, I; BARNA, E. S. **Using Excel Spreadsheets to Study the Vertical Motion in A Gravitational Field.** Procedia, 2769-2775, 2015.

LEON, L; PRZASNYSKI, Z.; SEAL, K. C. **Spreadsheets and OR/MS models: an enduser perspective.** Interfaces. P. 92-104, 1996.

MADEIRA, J. F. L. **Simulador computacional para fluidos incompressíveis.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia da Computação, UniCEUB, 2006.



JUSTINO, D.; NOGUEIRA, E. **Dimensionamento do sistema de recalque para abastecimento de água da comunidade de Macundú, distrito de São João Marcos, município de Rio Claro, Rio de Janeiro.** Cadernos UniFOA, edição n° 18, 2012.

MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos da mecânica dos fluidos.** Editora Blucher, tradução da 4ª edição americana, p. 399, 2004.

NEVES, R. **Introdução à programação em VBA.** Disponível em: [http://webserver.mohid.com/MTDP/downloads/Introdu%C3%A7%C3%A3o\\_%C3%A0\\_programa%C3%A7%C3%A3o\\_em\\_VBA.pdf](http://webserver.mohid.com/MTDP/downloads/Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_programa%C3%A7%C3%A3o_em_VBA.pdf). Acesso em: 19/09/2015.

PERRONI, B. L. T. **Velocidade econômica de escoamento e composição de custos de sistemas de irrigação por aspersão.** Dissertação de Mestrado, UFLA, 2008.

RECKTENWALD, G. **Pipe flow analysis with MATLAB.** Disponível em: <http://web.cecs.pdx.edu/~gerry/class/ME322/notes/pdf/pipeFlowMATLABa1.pdf>. Acesso em: 21/09/2015.

ROBAINA, A. D.; CALGARO, M.; PEITER, M. X. **Tubulações em sistemas de recalque.** Ciência Rural, v.34, n.4, p. 1065-1068, 2004.

SILOWASH, B. **Piping systems manual.** Editora McGraw Hill, p. 271, 2010.

SILVA, W. P. et al. **LAB Fit Ajuste de Curvas: Um software em português para tratamento de dados experimentais.** Revista brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 4, p. 419-427, 2004.

TELLES, P. C. S. **Tubulações industriais - Cálculo.** Editora LTC, 8ª edição, p. 2, 1994.

TUNA, C. E. **Um método para análise e projeto de adutoras de recalque e distribuição de água.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Unesp, 1995.

WANG, X.; MA, W.; GAO, S.; KE, L. **GCDPlot: An extensible microsoft excel VBA program for geochemical discrimination diagrams.** Computer & Geosciences 34, 1964-1969, 2008.

WHITE, F. M., **Mecânica dos fluidos.** Editora Macgraw Hill, 7ª Edição, p. 347, 2009.

WONG, K. W. W.; BARFORD, J. P. **Teaching Excel VBA as a problem-solving tool for chemical engineering core courses.** Education for Chemical Engineers, e72-e77, 2010.

YAN, W.; HONGLIANG, H. **Hydropower Computation Using Visual Basic for Application Programming.** Physics Procedia 24, 37-43, 2012.

ZOCOLER, J. L.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRIZZONE, J. A.; COELHO, R. D. **Análise dos custos de um sistema elevatório de água em função do diâmetro da tubulação de recalque e modalidades de aplicação das tarifas de energia elétrica.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.4, n.3, p. 53-67, 1999.

## APÊNDICE A – Tabelas de materiais, diâmetros comerciais e acessórios

Abaixo estão representadas as tabelas de matérias, diâmetros comerciais e acessórios que foram utilizados para a construção do software.

Tabela A.1 – Lista de materiais e rugosidade interna de tubos

<b>Material do tubo</b>	<b>Rugosidade interna (mm)</b>
Aço asfaltado	0,6
Aço com leve ferrugem	0,25
Aço Comercial	0,06
Aço galvanizado	0,16
Alumínio	0,004
Cobre	0,007
Concreto liso	0,1
Concreto rugoso	0,5
Ferro fundido asfaltado	0,12
Ferro fundido com leve ferrugem	1,5
Ferro fundido novo	0,5
Latão	0,007
PVC	0,005

Fonte: (MADEIRA, 2006)

Tabela A.2 – Diâmetros comerciais para aço Std/Sch40

<b>Diâmetro comercial</b>	<b>Diâmetro comercial (mm)</b>	<b>Diâmetro interno (mm)</b>	<b>Espessura de parede (m)</b>
1/2"	15	15,8	0,00277
3/4"	20	20,93	0,00287
1"	25	26,64	0,00338
1 1/4"	32	35,05	0,00356
1 1/2"	40	40,89	0,00368
2"	50	52,5	0,00391
2 1/2"	65	62,71	0,00516
3"	80	77,93	0,00549
3 1/2"	90	90,12	0,00574
4"	100	102,3	0,00602
6"	150	154,1	0,00711
8"	200	202,7	0,00818
10"	250	254,5	0,00927
12"	300	303,2	0,01031
14"	350	333,3	0,01113
16"	400	381	0,0127
18"	450	428,7	0,01427
20"	500	477,8	0,01509
24"	600	574,7	0,01748
26"	650	641,35	0,00953
28"	700	692,15	0,00953
30"	750	742,95	0,00953
32"	800	777,85	0,01748
34"	850	828,65	0,01748
36"	900	876,3	0,01905
42"	1100	1041,4	0,0127

Fonte: (SILOWASH, 2010)

Tabela A.3 – Coeficiente de resistência de acessórios e válvulas

<b>Componente ou acessório</b>	<b>Coeficiente de resistência, K</b>
Tê, flangeado , escoamento de desvio	1
Tê, rosqueado , escoamento de desvio	2
Tê, flangeado , escoamento de linha	0,2
Tê, rosqueado , escoamento de linha	0,9
União, rosqueada	0,08
Curva, suave flangeada 90°	0,3
Curva, suave rosqueada 90°	1,5
Curva, raio longo flangeada 90°	0,2
Curva, raio longo rosqueada 90°	0,7
Curva, suave rosqueada 45°	0,4
Curva, raio longo flangeada 45°	0,2
Curva de retorno, flangeado 180°	0,2
Curva de retorno, rosqueado 180°	1,5
Válvula de globo, completamente aberta	10
Válvula de ângulo, completamente aberta	2
Válvula de gaveta, completamente aberta	0,15
Válvula de gaveta, 1/4 fechada	0,26
Válvula de gaveta, 1/2 fechada	2,1
Válvula de gaveta, 3/4 fechada	17
Válvula de retenção de batente	2
Válvula de esfera, completamente aberta	0,05
Válvula de esfera, 1/3 fechada	5,5
Válvula de esfera, 2/3 fechada	200
Válvula de diafragma, aberta	2,3
Válvula de diafragma, 1/2 aberta	4,3
Válvula de diafragma, 1/4 aberta	21
Válvula de pé	15

Fonte: (THE ENGINEERING TOOLBOX)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Tabela obtida via internet da web site: [http://www.engineeringtoolbox.com/minor-loss-coefficients-pipes-d\\_626.html](http://www.engineeringtoolbox.com/minor-loss-coefficients-pipes-d_626.html)

## APÊNDICE B – Equações auxiliares

As equações abaixo foram utilizadas para automatizar os cálculos no programa desenvolvido neste trabalho.

### - Massa específica da água

A equação (B.1) calcula a massa específica da água para um valor de temperatura entre 0 e 100 °C. Os dados de massa específica foram encontrados em (WHITE, 2009).

$$\rho = 1000 - 0,0178|T - 4^\circ C|^{1,7} \dots\dots\dots(B.1)$$

Onde:

$\rho$ : massa específica da água [kg/m<sup>3</sup>]

T: temperatura [°C]

### - Viscosidade cinemática da água

A equação (B.2) calcula a viscosidade cinemática da água. Os dados de viscosidade dinâmica foram encontrados em (WHITE, 2009).

$$\ln \frac{\mu}{\mu_0} = -1,704 - 5,306z + 7,003z^2$$

$$z = \frac{273}{T}$$

$$\mu_0 = 1,788 \cdot 10^{-3} \text{ [kg/(m.s)]}$$

$$v = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(B.2)$$

Onde:

$\nu$ : viscosidade cinemática da água [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

$\mu$ : viscosidade dinâmica da água [ $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ ]

$\rho$ : massa específica da água [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$T$ : temperatura da água [K]

#### - Pressão de vapor da água

A equação (B.3) calcula a pressão de vapor da água em função da temperatura, válida em um intervalo de 0 até 100 °C.

A equação foi obtida pelo ajuste de curva utilizando o software LAB Fit, desenvolvido por (SILVA et al, 2004).

$$P_{\text{vapor}} = 0,1333 \cdot 10^{\left(8,07131 - \left(\frac{1760,63}{233,426 + T}\right)\right)} \dots\dots\dots (B.3)$$

Onde:

$P_{\text{vapor}}$ : pressão de vapor da água [kPa]

$T$ : temperatura [°C]

#### - Pressão atmosférica em função da altitude

A equação (B.4) calcula a pressão atmosférica em função da altitude, válida em um intervalo de -500 m até 10000 m.

A equação foi obtida pelo ajuste de curva utilizando o software LAB Fit, desenvolvido por (SILVA et al, 2004).

Os dados de altitude e pressão atmosférica foram encontrados em (WHITE, 2009).

$$P = (2,4059 - 0,54263 \cdot 10^{-4} \cdot h)^{5,2609} \dots\dots\dots (B.4)$$

Onde:

$P$ : pressão atmosférica local [kPa]

$h$ : altitude local [m]

## APÊNDICE C– Principais códigos do programa

### Código para obtenção das propriedades da água:

```
Private Sub cmdPropriedades_Click()
    If txtTemperatura = "" Or txtTemperatura < 0 Or txtTemperatura > 100 Then
        MsgBox "Digite um valor de temperatura entre 0 e 100 °C", vbInformation, "Alerta de Temperatura"
        txtTemperatura.SetFocus
        txtTemperatura.BackColor = rgbPaleGoldenrod
    Exit Sub
    End If

    tempK = txtTemperatura.Text + 273

    z = 273 / tempK

    dens = 1000 - 0.0178 * (Abs(txtTemperatura.Text - 4)) ^ 1.7

    viscDinamica = 0.001788 * Exp(-1.704 - 5.306 * z + 7.003 * z ^ 2)

    viscCinem = viscDinamica / dens

    pressaoVapor = 0.1333 * 10 ^ (8.07131 - (1730.63 / (233.426 + txtTemperatura.Text)))

    txtTemperatura.BackColor = rgbWhite
    txtDensidade = Format(dens, "0")
    txtViscosidade = Format(viscCinem, "scientific")
    txtPressaoVapor = Format(pressaoVapor, "0.00")

End Sub
```

### Código para obtenção do coeficiente de resistência K, na sucção:

```
Private Sub cmdSelecionar_Click()
'Calculo do coeficiente de resistência K de tes e curvas

    K1 = (TextBox1.Text * 1) + (TextBox2.Text * 2) + (TextBox3.Text * 0.2) + (TextBox4.Text * 0.9) +
(TextBox5.Text * 0.3) _
        + (TextBox6.Text * 1.5) + (TextBox7.Text * 0.08) + (TextBox8.Text * 0.2) + (TextBox9.Text * 0.7) _
        + (TextBox10.Text * 0.4) + (TextBox11.Text * 0.2) + (TextBox12.Text * 0.2) + (TextBox13.Text * 1.5)

'Calculo do coeficiente de resistência K das valvulas

    K2 = (TextBox14.Text * 10) + (TextBox15.Text * 2) + (TextBox16.Text * 0.15) + (TextBox17.Text * 0.26) +
(TextBox18.Text * 2.1) _
        + (TextBox19.Text * 17) + (TextBox20.Text * 2) + (TextBox21.Text * 0.05) + (TextBox22.Text * 5.5) +
(TextBox23.Text * 200) _
        + (TextBox24.Text * 2.3) + (TextBox25.Text * 4.3) + (TextBox26.Text * 21) + (TextBox27.Text * 15)

'Calculo da soma de todos os coeficientes de resistência K
    soma1 = K1 + K2
```



```
AccessoriosSuccao.Hide
```

```
End Sub
```

### **Código para obtenção do coeficiente de resistência K, no recalque:**

```
Private Sub cmdSelecionar_Click()
```

```
'Calculo do coeficiente de resistência K de tes e curvas
```

```

K1 = (TextBox1.Text * 1) + (TextBox2.Text * 2) + (TextBox3.Text * 0.2) + (TextBox4.Text * 0.9) +
(TextBox5.Text * 0.3) _
+ (TextBox6.Text * 1.5) + (TextBox7.Text * 0.08) + (TextBox8.Text * 0.2) + (TextBox9.Text * 0.7) _
+ (TextBox10.Text * 0.4) + (TextBox11.Text * 0.2) + (TextBox12.Text * 0.2) + (TextBox13.Text * 1.5)

```

```
'Calculo do coeficiente de resistência K das valvulas
```

```

K2 = (TextBox14.Text * 10) + (TextBox15.Text * 2) + (TextBox16.Text * 0.15) + (TextBox17.Text * 0.26) +
(TextBox18.Text * 2.1) _
+ (TextBox19.Text * 17) + (TextBox20.Text * 2) + (TextBox21.Text * 0.05) + (TextBox22.Text * 5.5) +
(TextBox23.Text * 200) _
+ (TextBox24.Text * 2.3) + (TextBox25.Text * 4.3) + (TextBox26.Text * 21) + (TextBox27.Text * 15)

```

```
'Calculo da soma de todos os coeficientes de resistência K
```

```
soma2 = K1 + K2
```

### **Código principal do programa:**

```
Private Sub cmdCalcular_Click()
```

```
g = 9.81 'm/s2
```

```
Pi = 3.1416
```

```
'OBTENCAO DAS PROPRIEDADES DA AGUA E DO SISTEMA DE RECALQUE
```

```
massa_espec = txtDensidade.Text
```

```
visc = txtViscosidade.Text
```

```
pressaoVapor = txtPressaoVapor.Text
```

```
rugos = txtRugosidade.Text
```

```
vazao = txtVazao.Text
```

```
pressao_local = (2.4059 - (0.000054263 * altitude)) ^ 5.2609
```

```
preco_motobomba = txtPrecoBomba.Text
```

```
preco_energia = txtPrecoEnergia.Text
```

```
preco_tubo = txtPrecoTubo.Text
```

```
vida_util = txtVidaUtil.Text
```

```
horas_oper = txtHorasOper.Text
```

```
juros = (txtJuros.Text / 100)
```

```
'CALCULO DO DIAMETRO ECONOMICA APROXIMADO PELA EQUACAO DE BRESSE
```

```
diam_calculado_m = (num_bresse * (horas_func ^ 0.25) * (vazao ^ 0.5)) / (24 ^ 0.25) '[m]
```

```
diam_calculado = diam_calculado_m * 1000 '[mm]
```

```
DiametroComercial.txtDiamCalculado = Format(diam_calculado, "0.00")
```

```
DiametroComercial.Show
```

'ATRIBUICAO DOS VALORES DO DIAMETRO INTERNO DA TUBULACAO DE RECALQUE E SUCCAO

```
Sheets("Diametros").Activate
Range("b2:d29").Select
```

```
For i = 0 To 27
```

```
  If ActiveCell.Offset(i, 0).Value = DiametroComercial.txtDiam2.Text Then
```

```
    diam_comercial = diam_2
```

```
    diam_comercial_suc = ActiveCell.Offset(i + 1, 0).Value
```

```
    diam_rec = ActiveCell.Offset(i, 1).Value
```

```
    diam_suc = ActiveCell.Offset(i + 1, 1).Value
```

```
    espessura_rec = ActiveCell.Offset(i, 2).Value
```

```
    espessura_suc = ActiveCell.Offset(i + 1, 2).Value
```

```
  Exit For
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
For j = 0 To 27
```

```
  If ActiveCell.Offset(j, 0).Value = DiametroComercial.txtDiam1.Text Then
```

```
    diam_comercial_abaixo = diam_1
```

```
    diam_comercial_abaixo_suc = ActiveCell.Offset(j + 1, 0).Value
```

```
    diam_abaixo_rec = ActiveCell.Offset(j, 1).Value
```

```
    diam_abaixo_suc = ActiveCell.Offset(j + 1, 1).Value
```

```
    espessura_abaixo_rec = ActiveCell.Offset(j, 2).Value
```

```
    espessura_abaixo_suc = ActiveCell.Offset(j + 1, 2).Value
```

```
  Exit For
```

```
End If
```

```
Next j
```

```
For k = 0 To 27
```

```
  If ActiveCell.Offset(k, 0).Value = DiametroComercial.txtDiam3.Text Then
```

```
    diam_comercial_acima = diam_3
```

```
    diam_comercial_acima_suc = ActiveCell.Offset(k + 1, 0).Value
```

```
    diam_acima_rec = ActiveCell.Offset(k, 1).Value
```

```
    diam_acima_suc = ActiveCell.Offset(k + 1, 1).Value
```

```
    espessura_acima_rec = ActiveCell.Offset(k, 2).Value
```

```
    espessura_acima_suc = ActiveCell.Offset(k + 1, 2).Value
```

```
  Exit For
```

```
End If
```

```
Next k
```

'CALCULO DA VELOCIDADE E PERDAS DE CARGA NA TUBULACAO DE RECALQUE

'Calculo para o diametro comercial calculado

```
veloc_rec = (4 * vazao) / (Pi * (diam_rec / 1000) ^ 2)
```

```
rey_rec = (4 * vazao) / (Pi * visc * (diam_rec / 1000))
```

```
rugEquiv_rec = rugos / diam_rec
```

```
Er = 0.0001
```

```
oldf_rec = 1
```

```
deltaf_rec = oldf_rec
```

```
Do While Abs(deltaf_rec / oldf_rec) >= Er
```

```
  newf_rec = 1 / (-2 * Log(rugEquiv_rec / 3.7 + 2.51 / (rey_rec * Sqr(oldf_rec)))) * 0.434294482 ^ 2
```

```
  deltaf_rec = newf_rec - oldf_rec
```

```
  oldf_rec = newf_rec
```

```

Loop
  fator_rec = oldf_rec
  perdaDistribuida_rec = (fator_rec * comp_recalque * (veloc_rec ^ 2)) / (2 * (diam_rec / 1000) * g)

perdaLocal_rec = soma2 * (veloc_rec ^ 2) / (2 * g)
perdas_rec = perdaDistribuida_rec + perdaLocal_rec

'Calculo para o primeiro diametro abaixo do diametro calculado
veloc_abaixo_rec = (4 * vazao) / (Pi * (diam_abaixo_rec / 1000) ^ 2)
rey_abaixo_rec = (4 * vazao) / (Pi * visc * (diam_abaixo_rec / 1000))
rugEquiv_rec = rugos / diam_abaixo_rec

Er = 0.0001
oldf_rec = 1
deltaf_rec = oldf_rec
Do While Abs(deltaf_rec / oldf_rec) >= Er
  newf_rec = 1 / (-2 * Log(rugEquiv_rec / 3.7 + 2.51 / (rey_abaixo_rec * Sqr(oldf_rec)))) * 0.434294482) ^
2
  deltax_rec = newf_rec - oldf_rec
  oldf_rec = newf_rec
Loop
  fator_abaixo_rec = oldf_rec
  perdaDistribuida_abaixo_rec = (fator_abaixo_rec * comp_recalque * (veloc_abaixo_rec ^ 2)) / (2 *
(diam_abaixo_rec / 1000) * g)

perdaLocal_abaixo_rec = soma2 * (veloc_abaixo_rec ^ 2) / (2 * g)
perdas_abaixo_rec = perdaDistribuida_abaixo_rec + perdaLocal_abaixo_rec

'Calculo para o primeiro diametro acima do diametro calculado
veloc_acima_rec = (4 * vazao) / (Pi * (diam_acima_rec / 1000) ^ 2)
rey_acima_rec = (4 * vazao) / (Pi * visc * (diam_acima_rec / 1000))
rugEquiv_rec = rugos / diam_acima_rec

Er = 0.0001
oldf_rec = 1
deltaf_rec = oldf_rec
Do While Abs(deltaf_rec / oldf_rec) >= Er
  newf_rec = 1 / (-2 * Log(rugEquiv_rec / 3.7 + 2.51 / (rey_acima_rec * Sqr(oldf_rec)))) * 0.434294482) ^
2
  deltax_rec = newf_rec - oldf_rec
  oldf_rec = newf_rec
Loop
  fator_acima_rec = oldf_rec
  perdaDistribuida_acima_rec = (fator_acima_rec * comp_recalque * (veloc_acima_rec ^ 2)) / (2 *
(diam_acima_rec / 1000) * g)

perdaLocal_acima_rec = soma2 * (veloc_acima_rec ^ 2) / (2 * g)
perdas_acima_rec = perdaDistribuida_acima_rec + perdaLocal_acima_rec

'CALCULO DA VELOCIDADE E PERDAS DE CARGA NA TUBULACAO DE SUCCAO
'Calculo para o diametro comercial calculado
veloc_suc = (4 * vazao) / (Pi * (diam_suc / 1000) ^ 2)
rey_suc = (4 * vazao) / (Pi * visc * (diam_suc / 1000))
rugEquiv_suc = rugos / diam_suc

Er = 0.0001
oldf_suc = 1
deltaf_suc = oldf_suc
Do While Abs(deltaf_suc / oldf_suc) >= Er
  newf_suc = 1 / (-2 * Log(rugEquiv_suc / 3.7 + 2.51 / (rey_suc * Sqr(oldf_suc)))) * 0.434294482) ^ 2

```

```

    deltaf_suc = newf_suc - oldf_suc
    oldf_suc = newf_suc
Loop
    fator_suc = oldf_suc
    perdaDistribuida_suc = (fator_suc * comp_succao * (veloc_suc ^ 2)) / (2 * (diam_suc / 1000) * g)

perdaLocal_suc = soma1 * (veloc_suc ^ 2) / (2 * g)
perdas_suc = perdaDistribuida_suc + perdaLocal_suc

'Calculo para o primeiro diametro abaixo do diametro calculado
veloc_abaixo_suc = (4 * vazao) / (Pi * (diam_abaixo_suc / 1000) ^ 2)
rey_abaixo_suc = (4 * vazao) / (Pi * visc * (diam_abaixo_suc / 1000))
rugEquiv_suc = rugos / diam_abaixo_suc

Er = 0.0001
oldf_suc = 1
deltaf_suc = oldf_suc
Do While Abs(deltaf_suc / oldf_suc) >= Er
    newf_suc = 1 / (-2 * Log(rugEquiv_suc / 3.7 + 2.51 / (rey_abaixo_suc * Sqr(oldf_suc)))) * 0.434294482)
^ 2
    deltaf_suc = newf_suc - oldf_suc
    oldf_suc = newf_suc
Loop
    fator_abaixo_suc = oldf_suc
    perdaDistribuida_abaixo_suc = (fator_abaixo_suc * comp_succao * (veloc_abaixo_suc ^ 2)) / (2 *
(diam_abaixo_suc / 1000) * g)

perdaLocal_abaixo_suc = soma1 * (veloc_abaixo_suc ^ 2) / (2 * g)
perdas_abaixo_suc = perdaDistribuida_abaixo_suc + perdaLocal_abaixo_suc

'Calculo para o primeiro diametro acima do diametro calculado
veloc_acima_suc = (4 * vazao) / (Pi * (diam_acima_suc / 1000) ^ 2)
rey_acima_suc = (4 * vazao) / (Pi * visc * (diam_acima_suc / 1000))
rugEquiv_suc = rugos / diam_acima_suc

Er = 0.0001
oldf_suc = 1
deltaf_suc = oldf_suc
Do While Abs(deltaf_suc / oldf_suc) >= Er
    newf_suc = 1 / (-2 * Log(rugEquiv_suc / 3.7 + 2.51 / (rey_acima_suc * Sqr(oldf_suc)))) * 0.434294482) ^
2
    deltaf_suc = newf_suc - oldf_suc
    oldf_suc = newf_suc
Loop
    fator_acima_suc = oldf_suc
    perdaDistribuida_acima_suc = (fator_acima_suc * comp_succao * (veloc_acima_suc ^ 2)) / (2 *
(diam_acima_suc / 1000) * g)

perdaLocal_acima_suc = soma1 * (veloc_acima_suc ^ 2) / (2 * g)
perdas_acima_suc = perdaDistribuida_acima_suc + perdaLocal_acima_suc

'CALCULO DA ALTURA MANOMETRICA TOTAL
If InstalacaoRecalque.optBombaElevada.Value = True Then
    carga_manometrica = (perdas_rec + perdas_suc + z2_recalque + z1_succao) * 1.15
    carga_abaixo_manometrica = (perdas_abaixo_rec + perdas_abaixo_suc + z2_recalque + z1_succao) *
1.15
    carga_acima_manometrica = (perdas_acima_rec + perdas_acima_suc + z2_recalque + z1_succao) * 1.15

    npsh_disp = (pressao_local * 1000 / (massa_espec * g)) - ((pressaoVapor * 1000) / (massa_espec * g)) -
(z1_succao) - (perdas_suc)

```

```

    npsH_abaxo_disp = (pressao_local * 1000 / (massa_espec * g)) - ((pressaoVapor * 1000) / (massa_espec
* g)) - (z1_succao) - (perdas_abaxo_suc)
    npsH_acima_disp = (pressao_local * 1000 / (massa_espec * g)) - ((pressaoVapor * 1000) / (massa_espec
* g)) - (z1_succao) - (perdas_acima_suc)

    ElseIf InstalacaoRecalque.optBombaAfogada.Value = True Then
        carga_manometrica = (perdas_rec + perdas_suc + z2_recalque - z1_succao) * 1.15
        carga_abaxo_manometrica = (perdas_abaxo_rec + perdas_abaxo_suc + z2_recalque - z1_succao) *
1.15
        carga_acima_manometrica = (perdas_acima_rec + perdas_acima_suc + z2_recalque - z1_succao) * 1.15

        npsH_disp = (pressao_local * 1000 / (massa_espec * g)) - ((pressaoVapor * 1000) / (massa_espec * g)) +
(z1_succao) - (perdas_suc)
        npsH_abaxo_disp = (pressao_local * 1000 / (massa_espec * g)) - ((pressaoVapor * 1000) / (massa_espec
* g)) + (z1_succao) - (perdas_abaxo_suc)
        npsH_acima_disp = (pressao_local * 1000 / (massa_espec * g)) - ((pressaoVapor * 1000) / (massa_espec
* g)) + (z1_succao) - (perdas_acima_suc)
    End If

'CALCULO DA POTENCIA DEMANDADA
rend_bomba = 3.1211 * (vazao ^ (0.32239 + vazao * 2.3114))
rend_motor = rend_bomba

pot_bomba_kw = (massa_espec * g * vazao * carga_manometrica) / (rend_bomba * rend_motor * 1000)
pot_bomba_cv = pot_bomba_kw * 1.3596

pot_bomba_abaxo_kw = (massa_espec * g * vazao * carga_abaxo_manometrica) / (rend_bomba * 1000)
pot_bomba_abaxo_cv = pot_bomba_abaxo_kw * 1.3596

pot_bomba_acima_kw = (massa_espec * g * vazao * carga_acima_manometrica) / (rend_bomba * 1000)
pot_bomba_acima_cv = pot_bomba_acima_kw * 1.3596

'CALCULO DA POTENCIA DO CONJUNTO MOTOR-BOMBA
'Calculo da potencia para o diametro comercial calculado
Sheets("Motores Elétricos").Activate
Range("a2:a29").Select
w = -1

Do
    w = w + 1
    pot_sistema = ActiveCell.Offset(w, 0).Value
Loop Until pot_sistema >= pot_bomba_cv

If pot_sistema <= 2 Then
    pot_sistema = pot_sistema * 1.5

ElseIf pot_sistema > 2 And pot_sistema <= 5 Then
    pot_sistema = pot_sistema * 1.3

ElseIf pot_sistema > 5 And pot_sistema <= 10 Then
    pot_sistema = pot_sistema * 1.2

ElseIf pot_sistema > 10 And pot_sistema <= 20 Then
    pot_sistema = pot_sistema * 1.15

ElseIf pot_sistema > 20 Then
    pot_sistema = pot_sistema * 1.1

End If

```

```

If pot_sistema < ActiveCell.Offset(w + 1, 0).Value Then
    pot_sistema = ActiveCell.Offset(w + 1, 0).Value
End If

```

'Calculo da potencia para o primeiro diametro abaixo do diametro calculado  
w = -1

```

Do
    w = w + 1
    pot_abaixo_sistema = ActiveCell.Offset(w, 0).Value
Loop Until pot_abaixo_sistema >= pot_bomba_abaixo_cv

If pot_abaixo_sistema <= 2 Then
    pot_abaixo_sistema = pot_abaixo_sistema * 1.5

ElseIf pot_abaixo_sistema > 2 And pot_abaixo_sistema <= 5 Then
    pot_abaixo_sistema = pot_abaixo_sistema * 1.3

ElseIf pot_abaixo_sistema > 5 And pot_abaixo_sistema <= 10 Then
    pot_abaixo_sistema = pot_abaixo_sistema * 1.2

ElseIf pot_abaixo_sistema > 10 And pot_abaixo_sistema <= 20 Then
    pot_abaixo_sistema = pot_abaixo_sistema * 1.15

ElseIf pot_abaixo_sistema > 20 Then
    pot_abaixo_sistema = pot_abaixo_sistema * 1.1

End If

If pot_abaixo_sistema < ActiveCell.Offset(w + 1, 0).Value Then
    pot_abaixo_sistema = ActiveCell.Offset(w + 1, 0).Value
End If

```

'Calculo da potencia para o primeiro diametro acima do diametro calculado  
w = -1

```

pot_acima_sistema = ActiveCell.Offset(w, 0).Value

Do
    w = w + 1
    pot_acima_sistema = ActiveCell.Offset(w, 0).Value
Loop Until pot_acima_sistema >= pot_bomba_acima_cv

If pot_acima_sistema <= 2 Then
    pot_acima_sistema = pot_acima_sistema * 1.5

ElseIf pot_acima_sistema > 2 And pot_acima_sistema <= 5 Then
    pot_acima_sistema = pot_acima_sistema * 1.3

ElseIf pot_acima_sistema > 5 And pot_acima_sistema <= 10 Then
    pot_acima_sistema = pot_acima_sistema * 1.2

ElseIf pot_acima_sistema > 10 And pot_acima_sistema <= 20 Then
    pot_acima_sistema = pot_acima_sistema * 1.15

ElseIf pot_acima_sistema > 20 Then
    pot_acima_sistema = pot_acima_sistema * 1.1

End If

If pot_acima_sistema < ActiveCell.Offset(w + 1, 0).Value Then

```

```

    pot_acima_sistema = ActiveCell.Offset(w + 1, 0).Value
End If
'CALCULO ECONOMICO DA INSTALACAO DE RECALQUE
'Calculo fator de recuperacao de capital - FRC
FRC = (juros * ((1 + juros) ^ vida_util)) / (((1 + juros) ^ vida_util) - 1)

'Calculo dos custos da instalacao
custo_tubo_rec = preco_tubo * PesoMaterial * Pi * (diam_rec / 1000) * espessura_rec * comp_recalque
custo_tubo_abaixo_rec = preco_tubo * PesoMaterial * Pi * (diam_abaixo_rec / 1000) *
espessura_abaixo_rec * comp_recalque
custo_tubo_acima_rec = preco_tubo * PesoMaterial * Pi * (diam_acima_rec / 1000) * espessura_acima_rec
* comp_recalque

custo_tubo_suc = preco_tubo * PesoMaterial * Pi * (diam_suc / 1000) * espessura_suc * comp_succao
custo_tubo_abaixo_suc = preco_tubo * PesoMaterial * Pi * (diam_abaixo_suc / 1000) *
espessura_abaixo_suc * comp_succao
custo_tubo_acima_suc = preco_tubo * PesoMaterial * Pi * (diam_acima_suc / 1000) *
espessura_acima_suc * comp_succao

custo_total_tubulacao = custo_tubo_rec + custo_tubo_suc
custo_total_abaixo_tubulacao = custo_tubo_abaixo_rec + custo_tubo_abaixo_suc
custo_total_acima_tubulacao = custo_tubo_acima_rec + custo_tubo_acima_suc

custo_motobomba = 2 * preco_motobomba * pot_sistema
custo_abaixo_motobomba = 2 * preco_motobomba * pot_abaixo_sistema
custo_acima_motobomba = 2 * preco_motobomba * pot_acima_sistema

custo_operacao = preco_energia * horas_oper * pot_bomba_cv * 0.736
custo_abaixo_operacao = preco_energia * horas_oper * pot_bomba_abaixo_cv * 0.736
custo_acima_operacao = preco_energia * horas_oper * pot_bomba_acima_cv * 0.736

custo_total_sistema = ((custo_total_tubulacao + custo_motobomba) * FRC) + custo_operacao
custo_total_abaixo_sistema = ((custo_total_abaixo_tubulacao + custo_abaixo_motobomba) * FRC) +
custo_abaixo_operacao
custo_total_acima_sistema = ((custo_total_acima_tubulacao + custo_acima_motobomba) * FRC) +
custo_acima_operacao

'ATRIBUICAO DOS VALORES CALCULADOS NA SAIDA DOS RESULTADOS
txtDiamRec1 = diam_comercial_abaixo
txtDiamRec2 = diam_comercial
txtDiamRec3 = diam_comercial_acima

txtDiamSuc1 = diam_comercial_abaixo_suc
txtDiamSuc2 = diam_comercial_suc
txtDiamSuc3 = diam_comercial_acima_suc

txtPerdaDistRec1 = Format(perdaDistribuida_abaixo_rec, "0.00")
txtPerdaDistRec2 = Format(perdaDistribuida_rec, "0.00")
txtPerdaDistRec3 = Format(perdaDistribuida_acima_rec, "0.00")

txtPerdaDistSuc1 = Format(perdaDistribuida_abaixo_suc, "0.00")
txtPerdaDistSuc2 = Format(perdaDistribuida_suc, "0.00")
txtPerdaDistSuc3 = Format(perdaDistribuida_acima_suc, "0.00")

txtPerdaLocalRec1 = Format(perdaLocal_abaixo_rec, "0.00")
txtPerdaLocalRec2 = Format(perdaLocal_rec, "0.00")
txtPerdaLocalRec3 = Format(perdaLocal_acima_rec, "0.00")

txtPerdaLocalSuc1 = Format(perdaLocal_abaixo_suc, "0.00")
txtPerdaLocalSuc2 = Format(perdaLocal_suc, "0.00")

```

```
txtPerdaLocalSuc3 = Format(perdaLocal_acima_suc, "0.00")

txtPerdaTotal1 = Format((perdas_abaixo_rec + perdas_abaixo_suc), "0.00")
txtPerdaTotal2 = Format((perdas_rec + perdas_suc), "0.00")
txtPerdaTotal3 = Format((perdas_acima_rec + perdas_acima_suc), "0.00")

txtAlturaMano1 = Format(carga_abaixo_manometrica, "0.00")
txtAlturaMano2 = Format(carga_manometrica, "0.00")
txtAlturaMano3 = Format(carga_acima_manometrica, "0.00")

txtPotencia1 = Format(pot_bomba_abaixo_cv, "0.00")
txtPotencia2 = Format(pot_bomba_cv, "0.00")
txtPotencia3 = Format(pot_bomba_acima_cv, "0.00")

txtCustoTubo1 = Format(custo_total_abaixo_tubulacao, "00,000.00")
txtCustoTubo2 = Format(custo_total_tubulacao, "00,000.00")
txtCustoTubo3 = Format(custo_total_acima_tubulacao, "00,000.00")

txtCustoMotor1 = Format(custo_abaixo_motobomba, "00,000.00")
txtCustoMotor2 = Format(custo_motobomba, "00,000.00")
txtCustoMotor3 = Format(custo_acima_motobomba, "00,000.00")

txtCustoEnergia1 = Format(custo_abaixo_operacao, "00,000.00")
txtCustoEnergia2 = Format(custo_operacao, "00,000.00")
txtCustoEnergia3 = Format(custo_acima_operacao, "00,000.00")

txtCustoTotal1 = Format(custo_total_abaixo_sistema, "00,000.00")
txtCustoTotal2 = Format(custo_total_sistema, "00,000.00")
txtCustoTotal3 = Format(custo_total_acima_sistema, "00,000.00")

txtFatorAtritoRec1 = Format(fator_abaixo_rec, "0.0000")
txtFatorAtritoRec2 = Format(fator_rec, "0.0000")
txtFatorAtritoRec3 = Format(fator_acima_rec, "0.0000")

txtFatorAtritoSuc1 = Format(fator_abaixo_suc, "0.0000")
txtFatorAtritoSuc2 = Format(fator_suc, "0.0000")
txtFatorAtritoSuc3 = Format(fator_acima_suc, "0.0000")

txtVelocidadeRec1 = Format(veloc_abaixo_rec, "0.00")
txtVelocidadeRec2 = Format(veloc_rec, "0.00")
txtVelocidadeRec3 = Format(veloc_acima_rec, "0.00")

txtVelocidadeSuc1 = Format(veloc_abaixo_suc, "0.00")
txtVelocidadeSuc2 = Format(veloc_suc, "0.00")
txtVelocidadeSuc3 = Format(veloc_acima_suc, "0.00")

txtNPSH1 = Format(npsh_abaixo_disp, "0.00")
txtNPSH2 = Format(npsh_disp, "0.00")
txtNPSH3 = Format(npsh_acima_disp, "0.00")
```

End Sub