

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**BRUNO LUIS ROCHA RAMOS**

**SOFTWARE PARA SELEÇÃO DE COMPRESSOR E DIMENSIONAMENTO DE  
TUBULAÇÕES DE AR COMPRIMIDO UTILIZANDO PYTHON3**

**LONDRINA**

**2025**

**BRUNO LUIS ROCHA RAMOS**

**SOFTWARE PARA SELEÇÃO DE COMPRESSOR E DIMENSIONAMENTO DE  
TUBULAÇÕES DE AR COMPRIMIDO UTILIZANDO PYTHON3**

**Software for compressor selection and sizing of compressed air pipes using  
python3**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Rafael Sene de Lima.

**LONDRINA**

**2025**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**BRUNO LUIS ROCHA RAMOS**

**SOFTWARE PARA SELEÇÃO DE COMPRESSOR E DIMENSIONAMENTO DE  
TUBULAÇÕES DE AR COMPRIMIDO UTILIZANDO PYTHON3**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 06/Dezembro/2024

---

Rafael Sene de Lima  
Doutorado em Engenharia Mecânica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ismael de Marchi Neto  
Doutorado em Engenharia Mecânica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ricardo de Vasconcelos Salvo  
Doutorado em Engenharia Mecânica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**LONDRINA**

**2025**

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente, esses parágrafos não serão suficientes para expressar minha gratidão a todas as pessoas que desempenharam um papel fundamental nesta importante fase da minha vida. Portanto, peço desculpas antecipadamente àqueles que não foram mencionados nestas palavras, mas saibam que estão em meus pensamentos e em minha gratidão.

Desejo expressar meu profundo agradecimento ao meu orientador, o Prof. Dr. Rafael Sene de Lima, por sua sabedoria e orientação ao longo desta jornada.

À minha família, em especial a minha mãe, Roseni Rocha Ramos, ao meu pai, José Ramos Barbeiro, aos meus avôs, Edson Paulo Zanoni e Maria José da Silva Rocha e a minha irmã, Andreia Rocha Ramos, agradeço por todo o apoio incondicional em todas as etapas da minha vida. Sem o apoio de vocês, seria extremamente difícil superar esse desafio.

Aos meus amigos, que me proporcionaram força e apoio ao longo deste percurso, gostaria de expressar minha sincera gratidão. Em particular, agradeço a Camilla Rubira, Murilo Maestro, Nicholas Prado, Tiago Piai, Vitor Lopes, Willian Medina e Wellerson Reis.

Não posso deixar de mencionar os amigos que fiz durante a graduação, em especial Gabriel Ramos Xavier, Gustavo Paixão e Kenny de Vasconcelos Nunes, que estiveram presentes em grande parte desta jornada.

Agradeço também à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a todos os funcionários que contribuíram para uma experiência acadêmica de qualidade ao longo da minha graduação.

Por fim, gostaria de expressar meu reconhecimento a todos os outros envolvidos, seja de forma direta ou indireta, que estiveram presentes e contribuíram para o alcance deste objetivo.

## RESUMO

O presente trabalho aborda o desenvolvimento de um software para auxiliar na seleção de compressores e no dimensionamento de tubulações de ar comprimido, utilizando a linguagem Python3. A proposta justifica-se pelos desperdícios de energia e pelos custos associados à aquisição e utilização de equipamentos. O software foi projetado para realizar cálculos de seleção e dimensionamento considerando variáveis como pressão, vazão e especificações do sistema. Ele conta com uma interface gráfica construída com a biblioteca Tkinter, visando facilitar sua utilização. A metodologia fundamenta-se na revisão bibliográfica sobre compressores, componentes do sistema e técnicas de dimensionamento, explicando a lógica por trás do software e o funcionamento das abas para inserção de dados e exibição de resultados. Esses resultados foram validados por meio de comparação com três outras monografias, demonstrando semelhança significativa com os valores encontrados pelos autores. Conclui-se que o software contribui para uma seleção mais eficiente de equipamentos e, com futuras atualizações, pode tornar-se uma ferramenta útil para profissionais da área dimensionarem sistemas de ar comprimido mais adequados.

Palavras-chave: ar comprimido; compressores; dimensionamento de rede de distribuição; Python3.

## ABSTRACT

The present work addresses the development of software to assist in compressor selection and the sizing of compressed air pipelines, using the Python3 programming language. The proposal is justified by energy waste and the costs associated with the acquisition and use of equipment. The software was *designed* to perform selection and sizing calculations considering variables such as pressure, flow rate, and system specifications. It includes a graphical interface built with the Tkinter library to facilitate its use. The methodology is based on a bibliographic review of compressors, system components, and sizing techniques, explaining the logic behind the software and the functionality of the tabs for data entry and results display. These results were validated through comparison with three other studies, showing significant similarity with the values found by the authors. It is concluded that the software contributes to more efficient equipment selection and, with future updates, may become a valuable tool for professionals in the field to design more efficient compressed air systems.

Keywords: compressed air; compressors; distribution network sizing; Python3.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de perda em sistema de ar comprimido e suas respectivas porcentagens.....	14
Figura 2 – Custo de um compressor de ar durante o seu tempo de vida útil....	15
Figura 3 - Classificação dos compressores.....	18
Figura 4 - Representação do ciclo de trabalho de um compressor parafuso....	19
Figura 5 - Ciclo de trabalho de um compressor de pistão de simples efeito.....	20
Figura 6 - Ciclo de trabalho de um compressor de pistão de duplo efeito .....	20
Figura 7 - Compressor dinâmico de fluxo radial .....	21
Figura 8 - Diagrama de Pressão x Vazão de vários tipos de compressor.....	23
Figura 9 - Processo de resfriamento para secagem de ar .....	25
Figura 10 - Secagem por absorção .....	26
Figura 11 - Secagem por adsorção .....	27
Figura 12 - Rede de distribuição de circuito aberto .....	28
Figura 13- Rede de distribuição de circuito fechado .....	28
Figura 14 - Ramificações do sistema de distribuição de anel fechado .....	29
Figura 15 - Reservatório de ar comprimido e seus componentes .....	31
Figura 16 - Unidade de condicionamento ou lubrefil .....	32
Figura 17 - Interface gráfica construída pela classe “Compressor” .....	34
Figura 18 - Interface gráfica da classe “Principal” .....	35
Figura 19 - Interface gráfica da classe "Secundária".....	36
Figura 20 - Interface gráfica da classe "Reservatório" .....	37
Figura 21 - Resultados obtidos após o preenchimento dos campos e adição das singularidades conforme a comparação proposta .....	39
Figura 22 - Vista superior da rede pneumática utilizada para resolução do exemplo prático.....	40
Figura 23 - Resultados obtidos após o preenchimento dos campos e adição das singularidades conforme a comparação proposta. ....	41
Figura 24 - Modelagem 3D da tubulação principal ligada ao compressor .....	42
Figura 25 - Modelagem 3D da linha de alimentação.....	43
Figura 26 - Modelagem 3D da empresa .....	44
Figura 27 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Compressor” .....	46
Figura 28 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Principal” .....	47
Figura 29 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Secundário” .....	48
Figura 30 - Captura de tela do Software com mensagem de resultado obtido após o preenchimento dos campos da aba “Reservatório”.....	49
Figura 31 - Modelo 3D do pavilhão. ....	50
Figura 32 - Modelo 3D da linha de distribuição .....	51
Figura 33 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Compressor” .....	54
Figura 34 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Principal” .....	56
Figura 35 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Secundária” .....	57

<b>Figura 36 - Captura de tela do Software com mensagem de resultado obtido após o preenchimento dos campos da aba “Reservatório” .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 37 - Planta baixa do galpão da Universidade Federal do Ceará .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 38 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Compressor” .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 39 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Principal” .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 40 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Secundária” .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 41 - Melhoria proposta ao <i>layout</i> da classe "Compressor" .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 42 - Melhoria proposta ao <i>layout</i> da classe "Principal" .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 43 - Melhoria proposta ao <i>layout</i> da classe "Secundário" .....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados da rede de distribuição do exemplo .....	38
Quadro 2 - Dados das singularidades do exemplo .....	38
Quadro 3 - Dados da rede de distribuição do exemplo .....	40
Quadro 4 - Dados das singularidades do exemplo .....	40
Quadro 5 - Compilado de dados referente aos equipamentos pneumáticos.....	44
Quadro 6 - Dados da rede distribuição da empresa.....	45
Quadro 7 - Singularidades presentes na linha principal.....	45
Quadro 8 - Singularidades presentes na linha de alimentação.....	48
Quadro 9 - Compilado de dados referente aos equipamentos pneumáticos da metalúrgica .....	51
Quadro 10 - Dados da rede de distribuição da metalúrgica .....	55
Quadro 11 - Singularidades presentes na linha principal da metalúrgica .....	55
Quadro 12 - Singularidades presentes na linha secundária da metalúrgica .....	56
Quadro 13 - Consumo de ar dos equipamentos existentes .....	60
Quadro 14 - Consumo de ar dos equipamentos a serem instalados futuramente .....	60
Quadro 15 - Dados da rede de distribuição do galpão .....	60
Quadro 16 - Singularidades presentes na linha principal do galpão.....	61
Quadro 17 - Singularidades presentes na linha secundária do galpão.....	61
Quadro 18 - Quadro comparativo entre resultados obtidos em relação ao compressor pelos autores e pelo software.....	64
Quadro 19 - Quadro comparativo entre resultados obtidos em relação a tubulação principal pelos autores e pelo software .....	64
Quadro 20 - Quadro comparativo entre os resultados obtidos em relação ao diâmetro da tubulação de alimentação/secundária pelos autores e pelo software.....	64
Quadro 21 - Quadro comparativo entre resultados obtidos em relação ao reservatório pelos autores e pelo software .....	65
Quadro 22 - Norma ASTM A 120 para tubos de aço sem costura Schedule 40 .....	73
Quadro 23 - Perda de carga equivalente em metros para cotovelos comuns de 90° .....	75
Quadro 24 - Perda de carga equivalente em metros para curvas de 90° no raio longo .....	75
Quadro 25 - Perda de carga equivalente em metros para curvas de 90° no raio longo .....	76
Quadro 26 - Perda de carga equivalente em metros para curva de 180° no raio longo .....	76
Quadro 27 - Perda de carga equivalente em metros para tê com fluxo em linha .....	77
Quadro 28 - Perda de carga equivalente em metros para tê com fluxo pelo ramal.....	77
Quadro 29 - Perda de carga equivalente em metros para válvula gaveta .....	78
Quadro 30 - Perda de carga equivalente em metros para válvula globo.....	78
Quadro 31 - Perda de carga equivalente em metros para válvula angular .....	79
Quadro 32 - Perda de carga equivalente em metros para válvula de retenção em portinhola.....	79

<b>Quadro 33 - Perda de carga equivalente em metros para válvula de retenção em portinhola.....</b>	<b>80</b>
<b>Quadro 34 - Denominação, consumo e pressão de operação de diversos tipos de equipamentos.....</b>	<b>82</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Compressores</b> .....	<b>17</b>
4.1.1	Definição e classificação dos compressores .....	17
4.1.2	Compressor de parafuso .....	18
4.1.3	Compressor alternativo de pistão simples .....	19
4.1.4	Compressor alternativo de pistão de duplo efeito.....	20
4.1.5	Compressor dinâmico de fluxo radial (centrífugo) .....	20
4.1.6	Parâmetros para a seleção de compressores .....	21
<b>4.2</b>	<b>Componentes do sistema de tratamento de ar comprimido</b> .....	<b>23</b>
4.2.1	Resfriador posterior .....	23
4.2.2	Filtro de ar comprimido .....	24
4.2.3	Secadores de ar comprimido.....	24
<u>4.2.3.1</u>	<u>Secadores refrigerantes</u> .....	<u>25</u>
<u>4.2.3.2</u>	<u>Secadores por absorção</u> .....	<u>25</u>
<u>4.2.3.3</u>	<u>Secadores por adsorção</u> .....	<u>26</u>
<b>4.3</b>	<b>Linha de distribuição</b> .....	<b>27</b>
4.3.1	Rede de circuito aberto .....	27
4.3.2	Rede de circuito fechado .....	28
4.3.3	Dimensionamento da linha principal .....	29
4.3.4	Dimensionamento da linha secundária.....	30
<b>4.4</b>	<b>Reservatório</b> .....	<b>30</b>
<b>4.5</b>	<b>Unidade de condicionamento</b> .....	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Metodologia para seleção do compressor</b> .....	<b>33</b>
<b>5.2</b>	<b>Metodologia para o dimensionamento da linha principal</b> .....	<b>34</b>
<b>5.3</b>	<b>Metodologia para dimensionamento da linha secundária</b> .....	<b>35</b>
<b>5.4</b>	<b>Metodologia para dimensionamento de reservatório</b> .....	<b>36</b>
<b>5.5</b>	<b>Execução do software</b> .....	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>

6.1	Comparativo de resultados com um exemplo prático para calcular o diâmetro da tubulação principal proposto no livro de Fialho (2011).....	38
6.2	Comparativo de resultados com um exemplo prático para calcular o diâmetro da tubulação secundária proposto no livro de Fialho (2011).....	39
6.3	Comparação de resultados com o trabalho de Bortolin (2014).....	41
6.4	Comparação de resultados obtidos com o trabalho de Maldaner (2016) .....	49
6.5	Comparação de resultados obtidos com o trabalho de Laura Silva (2022) .....	58
6.6	Resultados compilados .....	63
7	CONCLUSÃO .....	66
	REFERÊNCIAS.....	70
	APÊNDICE A - Norma ASTM A120 para tubos schedule 40, de aço e sem costura .....	72
	APÊNDICE B - Comprimento equivalente da perda de carga por singularidade .....	74
	APÊNDICE C - Especificações de operação de diversos equipamentos pneumático .....	81
	ANEXO A - Script .....	84
	ANEXO B - Classe “Compressor” .....	86
	ANEXO C - Classe “Principal” .....	93
	ANEXO D - Classe “Secundaria” .....	101
	ANEXO E - Classe “Reservatório” .....	107

## 1 INTRODUÇÃO

Nesta seção serão descritos os principais aspectos relacionados ao dimensionamento de sistemas de ar comprimido, assim como os primeiros registros de sua utilização e uso atual na indústria.

A partir da contextualização, serão estabelecidos objetivos a serem atingidos, justificados pelas vantagens do uso do ar comprimido, a crescente pesquisa na área e a necessidade de se encontrar formas eficientes de se utilizar este recurso.

De acordo com a Bosch (2008), o ar comprimido é definido como o ar atmosférico que é pressurizado e utilizado como meio de transferência de energia térmica e fluxo de energia. Esse meio é amplamente utilizado na indústria, sendo comparado a fluidos usados em sistemas hidráulicos e materiais condutores em sistemas elétricos.

Segundo Elliott (2006), o ar comprimido tem uma longa história de uso por humanos. Os primeiros registros de seu uso datam de 3000 a.C., quando os foles manuais eram usados para auxiliar na fundição de metais. Com o avanço da Revolução Industrial, os foles foram substituídos por sopradores manuais. Em 1650, o físico alemão Otto Von Guericke inventou a primeira bomba de ar, que foi usada para estudar pressão, vácuo, combustão e respiração. No início do século 19, engenheiros começaram a considerar o uso de ar comprimido como uma fonte de energia viável, pois o vapor não era ideal para a transmissão de potência em longas distâncias.

Hahn (2004) afirma que o primeiro compressor a pistão foi utilizado em 1776 em uma fábrica na Inglaterra, e que seu desenvolvimento acelerou em 1900, quando sua capacidade foi aumentada para 350 bar. Os compressores a parafuso, por sua vez, surgiram nos anos 1950, mas somente em 1960 atingiram eficiência similar aos compressores a pistão.

Conforme a Metalplan (2006), o ar comprimido é fundamental como fonte de energia em diversas aplicações. Anualmente, bilhões de toneladas de ar ambiente são comprimidas, resultando em um consumo energético significativo e custos consideráveis. O ar comprimido é amplamente utilizado em setores como odontologia, indústria alimentícia, fabricação de móveis, mineração e saúde.

Amorim (2010) ressalta que a falta de um projeto adequado e de manutenção regular torna os sistemas de ar comprimido uma fonte de desperdício de energia.

Dessa forma, este trabalho se propõe a desenvolver um *software* utilizando Python3 para auxiliar na seleção de compressores e o dimensionamento de tubulações de ar comprimido, promovendo o dimensionamento correto e redução de custos operacionais. A relevância da proposta está no potencial de preencher lacunas no processo de dimensionamento, oferecendo uma solução prática e acessível para profissionais da área. Os resultados esperados buscam contribuir para a otimização de sistemas de ar comprimido, demonstrando a aplicabilidade e a confiabilidade do *software* por meio de comparações com outras monografias.

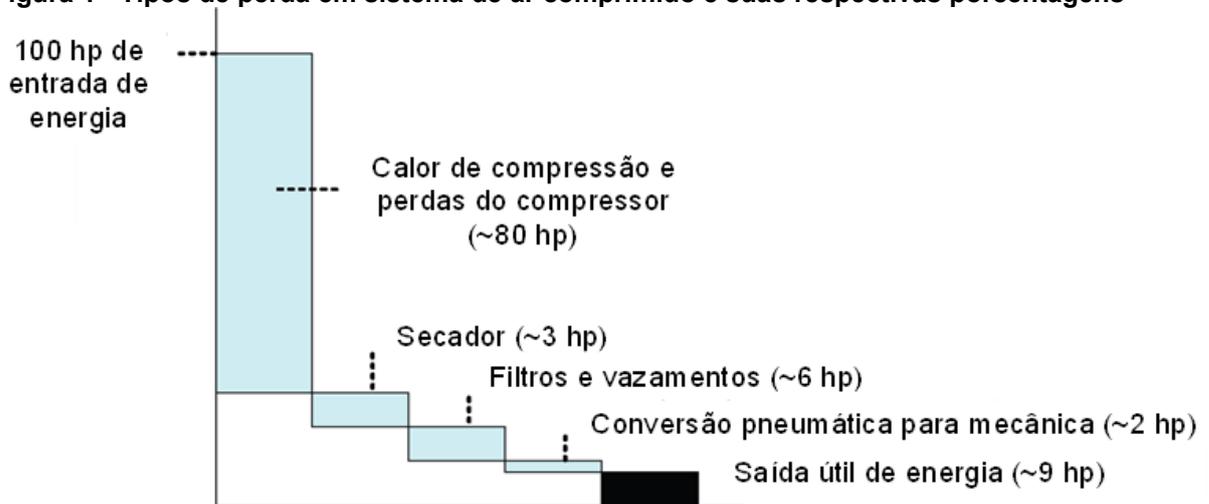
## 2 JUSTIFICATIVA

Hahn (2004) diz que depois da energia elétrica, o ar comprimido é a forma de energia mais consumida na indústria de transformação, sendo também a forma de energia mais onerosa e, paradoxalmente, mais negligenciada.

Ainda de acordo com o autor, Hahn (2004), boa parte do desperdício de ar comprimido se deve a sua má utilização. Isso ocorre porque, embora a matéria-prima do ar comprimido seja gratuita e captada da atmosfera, o processo de compressão exige o uso de motores elétricos e secadores, além de implicar perdas na linha, entre outros fatores

Exemplificando, conforme demonstrado pela CEA Technologies INC (2007), ao produzir e distribuir ar comprimido com uma entrada de 100 hp (horsepower), aproximadamente 91 hp são perdidos e apenas 9 hp são aproveitados, ou seja, aproximadamente 90% da energia é perdida. A Figura 1 ilustra um gráfico que quantifica as perdas em relação a suas causas.

**Figura 1 - Tipos de perda em sistema de ar comprimido e suas respectivas porcentagens**

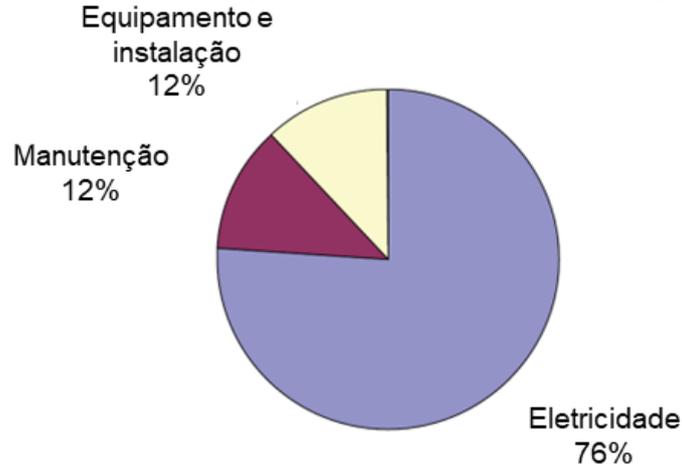


Fonte: Traduzido de Cea Technologies Inc (2007)

A manutenção e o consumo de energia de um compressor refrigerado a ar operando em dois turnos ao longo de dez anos correspondem a 88% do custo total ao longo de sua vida útil, enquanto que os custos de equipamento e instalação representam os 12% restantes. Como a energia representa cerca de 76% do custo operacional ao longo da vida útil, torna-se fundamental à aquisição dos componentes mais eficientes para o sistema de ar comprimido, recomendando-se que as compras sejam feitas baseadas no custo operacional previsto ao longo da vida útil e não em

relação ao custo inicial do equipamento (CEA TECHNOLOGIES INC, 2007). A Figura 2 ilustra a distribuição percentual dos custos de um compressor de ar ao longo de sua vida útil.

**Figura 2 – Custo de um compressor de ar durante o seu tempo de vida útil.**



**Fonte: Traduzido de Cea Technologies Inc (2007)**

Vide os desperdícios de energia e os custos atrelados ao uso de equipamentos, o desenvolvimento de um software para selecionar um compressor e dimensionar a tubulação de ar comprimido mostra-se uma alternativa viável para a seleção correta dos componentes do sistema, proporcionando velocidade e precisão na obtenção de resultados.

Também pode-se dizer que possíveis atualizações podem beneficiar seus usuários ao contemplar uma nova gama de equipamentos. Além disso, estas atualizações podem fazer com que o software se adapte a necessidades específicas de diferentes aplicações industriais.

Por fim, o uso correto do software pode reduzir os riscos relacionados ao dimensionamento inadequado de compressores e tubulações de ar comprimido, bem como reduzir os custos.

### 3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de um software usando a linguagem de programação Python3 para selecionar compressores e determinar o diâmetro de tubulações de sistemas de ar comprimido.

Para tal, o objetivo geral foi separado em quatro objetivos específicos:

- 1) Revisão da literatura respectiva ao tema;
- 2) Desenvolvimento de uma estrutura lógica envolvendo os procedimentos necessários ao objeto de estudo;
- 3) Desenvolvimento de uma interface gráfica para facilitar a seleção do compressor de ar, dimensionamento do reservatório e dimensionamento da tubulação de um sistema de ar comprimido;
- 4) Comparação dos resultados obtidos com diferentes sistemas de ar comprimido dimensionados e/ou analisados em outras monografias.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica do presente trabalho abordará os métodos de determinação da pressão e vazão de compressores de ar, levando em consideração os equipamentos que serão utilizados. A determinação do diâmetro das linhas principais e secundárias das tubulações de ar comprimido também será abordada.

Além disso, será feita uma breve descrição dos equipamentos comumente encontrados em sistemas de ar comprimido.

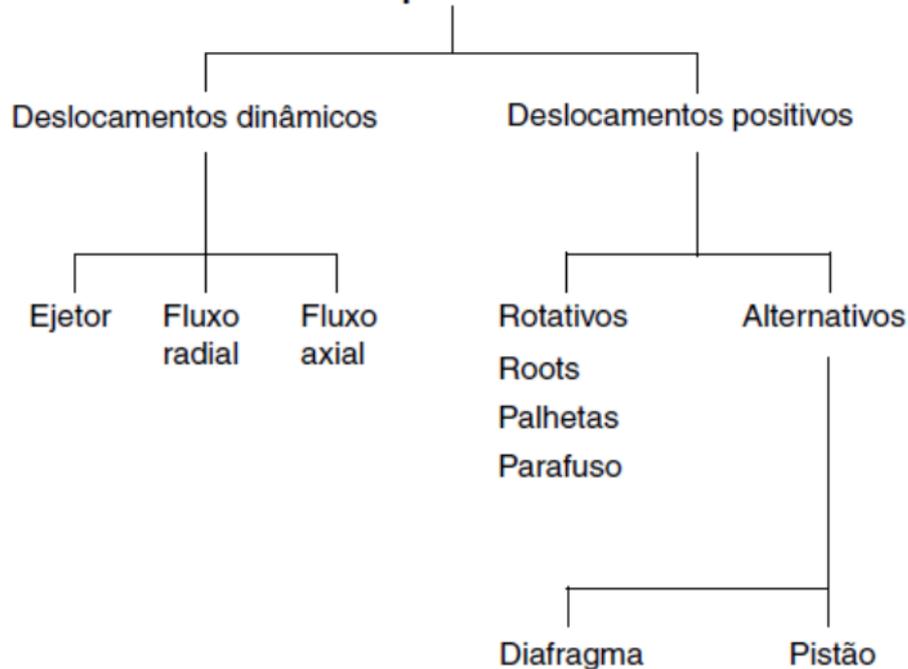
### **4.1 Compressores**

Nesta subseção será definido o que é um compressor, bem como os conhecimentos necessários para determinar sua quantidade, classificá-los e dimensioná-los.

#### **4.1.1 Definição e classificação dos compressores**

Os compressores são máquinas que tem como função aumentar a pressão de um volume específico de ar, admitido sob condições atmosféricas, até a pressão necessária para a realizar determinadas operações. Existem duas classificações principais baseadas nos princípios de trabalho: deslocamento positivo e deslocamento dinâmico. Os compressores de deslocamento positivo operam com base na redução de volume, onde o ar é admitido em uma câmara isolada e comprimido à medida que o volume interno diminui. Quando a pressão desejada é alcançada, as válvulas de descarga são abertas. Já os compressores de deslocamento dinâmico aumentam a pressão convertendo energia cinética em energia de pressão durante a passagem do ar pelo compressor. Neste caso, o ar admitido entra em contato com rotores em alta velocidade, sendo acelerado e recebendo energia cinética dos impulsores. Posteriormente, o fluxo de ar é retardado por meio de difusores, resultando no aumento da pressão (PARKER, 2006). A Figura 3 ilustra um diagrama de classificação dos compressores.

**Figura 3 - Classificação dos compressores**

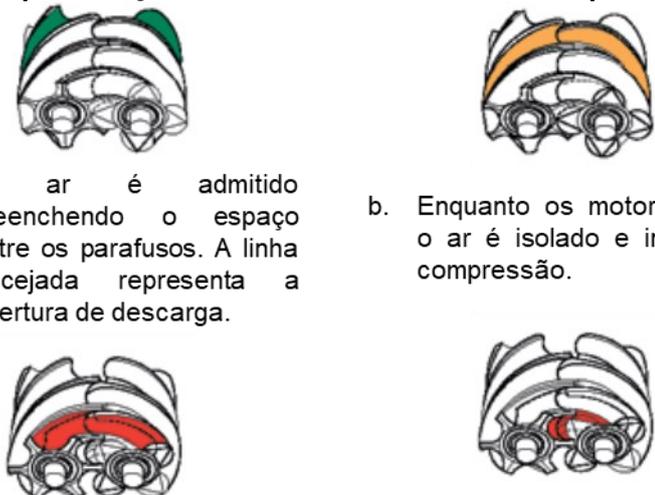


Fonte: Parker (2006)

#### 4.1.2 Compressor de parafuso

Este compressor é composto por uma carcaça que abriga dois rotores helicoidais girando em direções opostas, conhecidos como rotor macho e fêmea. Os rotores são sincronizados por engrenagens, embora alguns fabricantes optem por um acionamento direto. O rotor macho é geralmente acionado, resultando em uma velocidade menor para o rotor fêmea. Esses rotores giram dentro de uma carcaça cuja superfície interna se assemelha a um "oito". O ar à pressão atmosférica preenche o espaço entre os rotores e, à medida que giram, o volume de ar é isolado da admissão e começa a diminuir, iniciando a compressão. A compressão continua até que a descarga seja descoberta e o ar seja liberado continuamente. Uma válvula de retenção está presente no tubo de descarga para evitar que o compressor funcione como motor quando está parado (PARKER, 2006). A Figura 4 representa o ciclo de trabalho de um compressor parafuso.

**Figura 4 - Representação do ciclo de trabalho de um compressor parafuso**

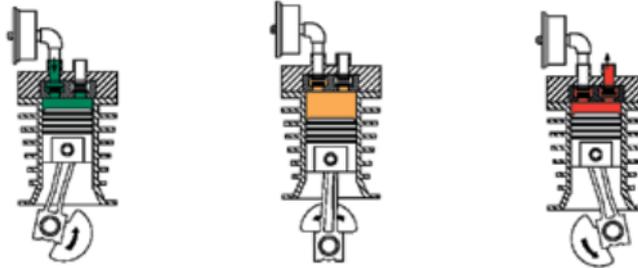
- 
- a. O ar é admitido preenchendo o espaço entre os parafusos. A linha tracejada representa a abertura de descarga.
- b. Enquanto os motores giram, o ar é isolado e inicia-se a compressão.
- c. A rotação suavemente comprime o ar, que continua até a abertura da descarga começar a se abrir.
- d. O ar comprimido é descarregado, selando a abertura da descarga até a passagem do volume comprimido.

**Fonte: Parker (2006)**

#### 4.1.3 Compressor alternativo de pistão simples

Os compressores alternativos de pistão simples possuem uma única câmara de compressão, onde a face superior do pistão aspira e comprime o ar. A face inferior do pistão está conectada ao cárter. O pistão, ligado diretamente ao virabrequim por meio de uma biela, realiza um movimento alternativo de sobe e desce, transmitindo todo o empuxo ao cilindro de compressão. Durante o movimento descendente, o ar é admitido através das válvulas e preenche a câmara de compressão. A compressão do ar começa com o movimento ascendente do pistão e, após atingir a pressão necessária, o ar é expelido do sistema (PARKER, 2006). O seu ciclo de trabalho é representado pela Figura 5.

**Figura 5 - Ciclo de trabalho de um compressor de pistão de simples efeito**

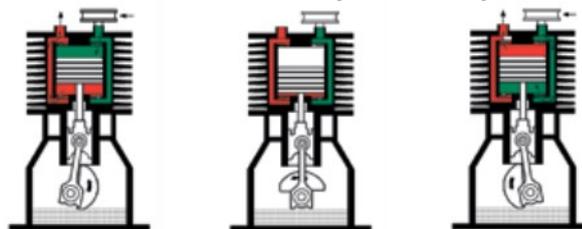


Fonte: Parker (2006)

#### 4.1.4 Compressor alternativo de pistão de duplo efeito

Os compressores alternativos de pistão duplo são denominados dessa forma pois possuem duas câmaras de compressão, onde ambas as faces do êmbolo aspiram e comprimem o ar. O virabrequim está conectado a uma cruzeta por meio de uma biela, que por sua vez está ligada ao êmbolo por uma haste, permitindo a transmissão de movimento alternativo ao êmbolo. A força de empuxo é transmitida às paredes guias da cruzeta, não ao cilindro de compressão. Durante o movimento descendente do êmbolo, o ar é admitido na câmara superior, enquanto o ar na câmara inferior é comprimido e expelido. No movimento ascendente, a câmara que admitiu o ar realiza a compressão, enquanto a câmara que comprime o ar realiza a admissão. Este ciclo de trabalho continua durante a operação do compressor (PARKER, 2006). Seu ciclo de trabalho é demonstrado na Figura 6.

**Figura 6 - Ciclo de trabalho de um compressor de pistão de duplo efeito**



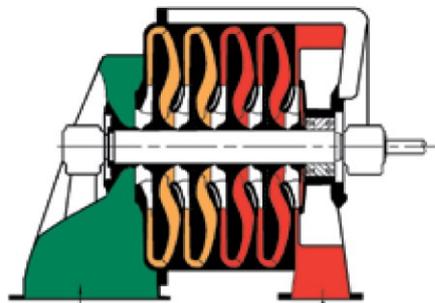
Fonte: Parker (2006)

#### 4.1.5 Compressor dinâmico de fluxo radial (centrífugo)

Este tipo de compressor acelera o ar do centro de rotação para a periferia, sendo admitido pela primeira hélice e expulso radialmente. Em compressores de múltiplos estágios com uma única carcaça, o ar é direcionado através de um difusor antes de ser conduzido ao próximo estágio, convertendo energia cinética em energia de pressão. A compressão entre os estágios é influenciada pelo *design* da hélice, velocidade tangencial e densidade do gás. O resfriamento, que antes era realizado

por camisas d'água, agora é feito por resfriadores intermediários de grande porte, exceto em compressores de baixa pressão. Esses compressores operam em altas velocidades, resultando em um deslocamento mínimo de ar e são geralmente usados como geradores de ar comprimido devido à influência das pressões na eficiência. Quando comparados a compressores de deslocamento positivo, sua eficiência é menor, tornando-os adequados para situações que exigem grandes volumes de ar comprimido (PARKER, 2006). A Figura 7 a seguir ilustra o interior de um compressor centrífugo a partir de um corte.

**Figura 7 - Compressor dinâmico de fluxo radial**



Fonte: Parker (2006)

#### 4.1.6 Parâmetros para a seleção de compressores

Segundo Parker (2006), para o dimensionamento adequado de um compressor, os fatores mais críticos a serem levados em conta são a vazão e a pressão. Além disso, para compressores de pistão, é essencial considerar o regime de intermitência, que é a proporção de tempo em que o compressor está em operação ou parado. Nestes compressores, a proporção ideal é de 30% do tempo em alívio e 70% em carga.

De acordo com a Atlas Copco (2015), a pressão de trabalho necessária é determinada pelos equipamentos que consomem ar comprimido em uma instalação, não dependendo apenas do compressor, mas também do projeto do sistema de ar comprimido como um todo. A pressão mais alta normalmente determina a pressão necessária da instalação, enquanto válvulas redutoras de pressão são instaladas em outros equipamentos para adequar a pressão. Filtros e filtros de pó especiais, que têm uma baixa perda de carga inicial, são substituídos quando obstruídos ao longo do tempo, conforme recomendado pela queda de pressão. Portanto, a pressão que o compressor deve fornecer é principalmente determinada pela aplicação nos pontos finais de consumo e pela queda de pressão entre o compressor e esses pontos.

A Atlas Copco (2015) ainda afirma que o requisito nominal de ar comprimido é calculado pela soma do consumo de ar de todos os equipamentos, máquinas e processos, levando em consideração o fator de utilização individual. É importante considerar adições de vazamento, desgaste e futuras alterações na necessidade de ar desde o início. A capacidade do compressor é determinada pelo consumo nominal total de ar comprimido, ou seja, a vazão de descarga livre do compressor deve atender à demanda de ar.

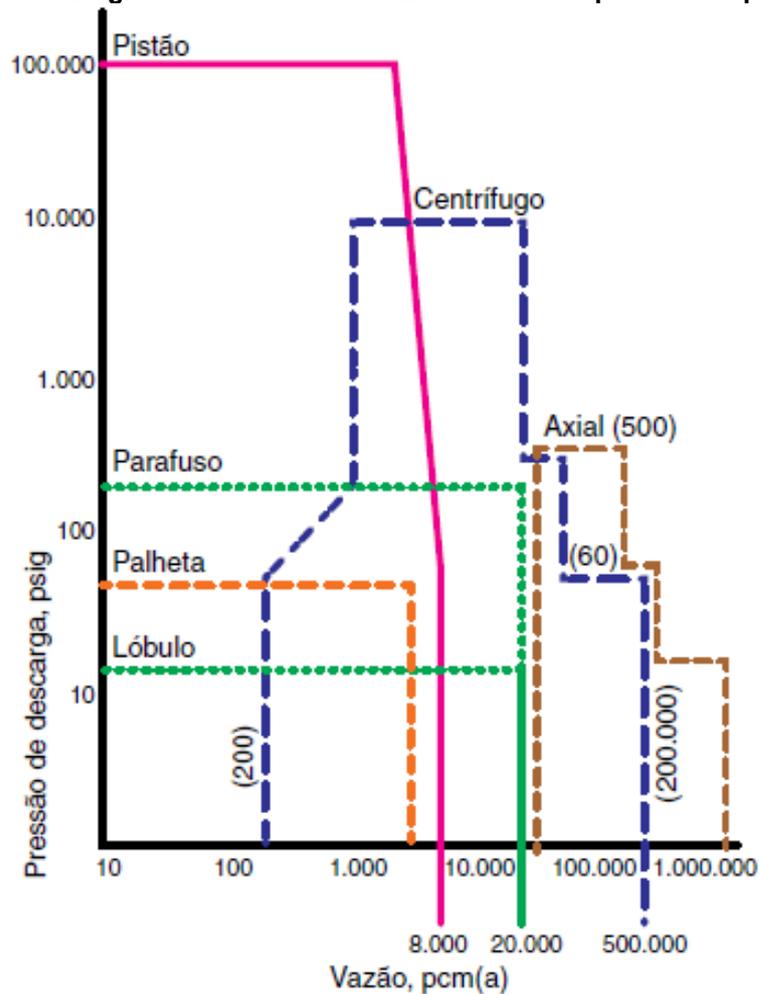
Uma vez definida a vazão total do sistema, Parker (2006) sugere estabelecer um fator entre 20% e 50% para futuras expansões. Além disso, sugere-se a seleção de dois compressores cuja soma atenda a essa vazão e a adição de um terceiro compressor de mesma capacidade ao sistema como reserva. Os três compressores podem ser programados em rotação para garantir um desgaste uniforme. Essa configuração é vantajosa para o usuário, pois garante o fornecimento de ar comprimido, presente e futuro, com o menor risco de falha.

Por fim, quanto a composição geral dos compressores, Parker (2006) os classifica quanto a vazão da seguinte forma:

- Compressores de pistão são comumente aplicados para vazões pequenas e médias (até 200 m<sup>3</sup>/h);
- Compressores de parafuso são mais indicados para vazões médias e grandes (150m<sup>3</sup>/h a 2000 m<sup>3</sup>/h);
- Compressores centrífugos são mais indicados para vazões grandes ou muito grandes (maiores que 1500 m<sup>3</sup>/h).

A Figura 8 ilustra um diagrama de pressão *versus* vazão e pode ser utilizado para auxiliar na seleção correta de compressores com base na sua classificação.

Figura 8 - Diagrama de Pressão x Vazão de vários tipos de compressor



Fonte: Parker (2006)

## 4.2 Componentes do sistema de tratamento de ar comprimido

A seguir serão discutidos alguns componentes do sistema de tratamento de ar comprimido.

### 4.2.1 Resfriador posterior

Para solucionar o problema de água em instalações de ar comprimido, o equipamento mais completo é o resfriador posterior, que deve ser instalado entre o compressor e o reservatório, pois o ar comprimido na saída do compressor atinge sua maior temperatura. O resfriamento permite a retirada de 75% a 90% do vapor de água contido no ar, assim como os vapores de óleo, além de evitar que a linha de distribuição se dilate devido à alta temperatura de descarga do ar. A constituição do resfriador posterior é descrita em duas partes: um corpo geralmente cilíndrico onde se alojam os feixes de tubos e um separador de condensado dotado de dreno. O ar

proveniente do compressor passa através dos tubos no sentido oposto ao fluxo de água para refrigeração, e na saída está o separador, onde, devido à sinuosidade do caminho a ser percorrido pelo ar, há a eliminação de água condensada que fica retida em uma câmara (PARKER, 2006).

#### 4.2.2 Filtro de ar comprimido

A norma ISO-8573 define o filtro como um aparato usado para separar contaminantes presentes num fluido. O filtro de ar comprimido é comumente encontrado em três locais diferentes: antes (pré-filtro) e depois do secador de ar comprimido e junto ao ponto de uso. Segundo Parker (2006), a função do pré-filtro é separar a contaminação sólida e líquida (em torno de 30%) que não foi eliminada totalmente pelo separador de condensados do resfriador posterior, protegendo o secador do excesso de óleo proveniente do compressor de ar, o que prejudicaria sua eficiência. Em sistemas dotados de secadores por adsorção, o pré-filtro deve garantir que não haja contaminação líquida, incluindo aerossóis de água e óleo, pois poderiam obstruir os poros e impedir a reativação do material adsorvedor. Os filtros instalados após o secador, também chamados de pós-filtros, devem ser responsáveis pela eliminação de umidade residual (em torno de 30%) não removida pelo separador de condensados do secador por refrigeração, além de contaminantes sólidos não retidos no pré-filtro. Os filtros convencionais de 5 micra não conseguem remover contaminantes submicrônicos. Entretanto, os filtros coalescentes são projetados especificamente para isso, removendo por volta de 99,9% de todas as partículas em suspensão na faixa de 0,3  $\mu\text{m}$  a 0,6  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.3 Secadores de ar comprimido

Parker (2006) afirma que é crucial eliminar ou minimizar a umidade presente no ar comprimido, pois sua presença pode causar graves consequências para as automações pneumáticas. Embora seja praticamente impossível eliminar completamente a umidade, é possível desidratar o ar para que contenha um nível residual de umidade tolerável. Um secador de ar comprimido pode representar um investimento significativo para uma empresa, podendo atingir até 25% do valor total da instalação em alguns casos. No entanto, a presença de ar úmido pode causar prejuízos significativos, além de impossibilitar a utilização do ar em determinadas

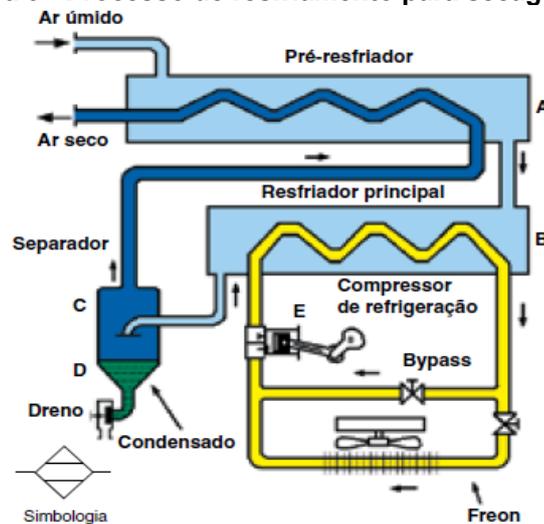
operações. O autor ainda destaca que, levando em consideração somente as peças que não seriam mais refugadas pela produção, o uso do secador pode se mostrar altamente lucrativo e se pagar em pouco tempo de trabalho. O secador de ar comprimido tem como função eliminar a umidade do fluxo de ar e fornecê-lo com o ponto de orvalho especificado pelo usuário. Os principais tipos de secadores de ar comprimido são: por refrigeração, com ponto de orvalho padrão de  $+3^{\circ}\text{C}$ , e por adsorção, comumente com ponto de orvalho de  $-40^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.2.3.1 Secadores refrigerantes

Segundo Emílio Silva (2002) os secadores refrigerantes resfriam o ar até a redução de seu ponto de orvalho utilizando um trocador de calor (serpentina com fluido refrigerante). O ponto de orvalho atingido com este método está entre  $2^{\circ}\text{C}$  e  $5^{\circ}\text{C}$ .

Através da Figura 9, é perceptível que na região após o resfriador há condensação na linha pneumática.

**Figura 9 - Processo de resfriamento para secagem de ar**



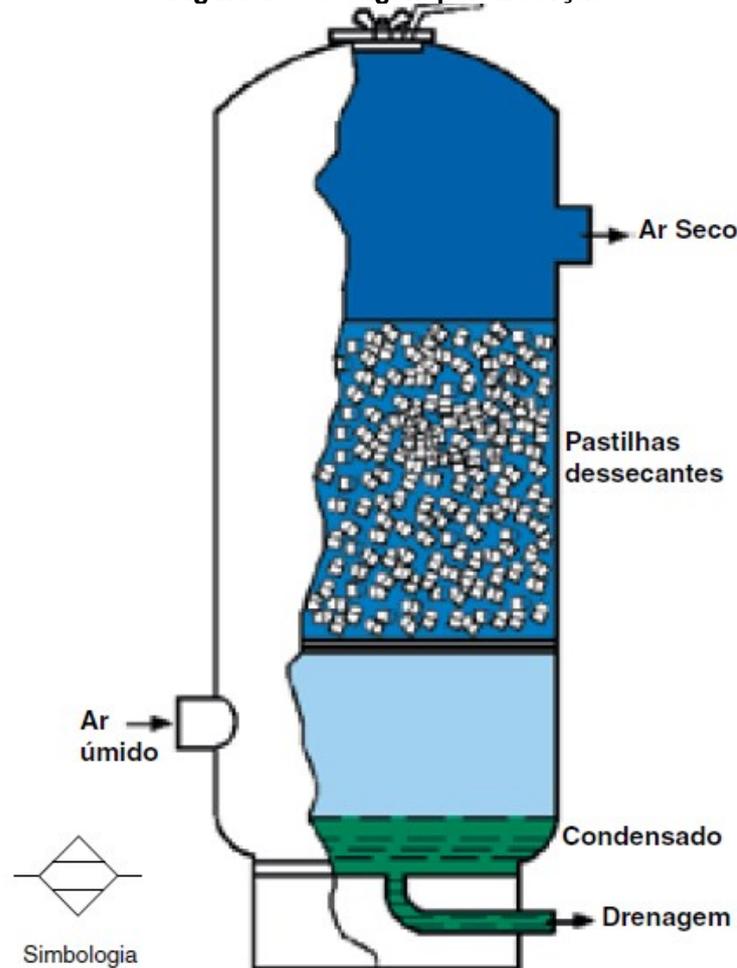
Fonte: Parker (2006)

#### 4.2.3.2 Secadores por absorção

Emílio Silva (2002) descreve que o secador opera por meio de um processo químico, onde o ar comprimido atravessa uma camada solta de elemento secador, fazendo com que a água ou vapor d'água se combinem e se diluam ao entrar em contato com o secador, resultando em um composto que deve ser removido periodicamente, sendo necessário reabastecer o elemento secador de 2 a 4 vezes por ano. Este secador também separa partículas de óleo junto com o vapor, embora

grandes quantidades de óleo possam prejudicar seu funcionamento, justificando o uso de um filtro fino antes do secador. O método atinge um ponto de orvalho de 10°C, sendo a opção mais econômica, mas também a menos eficiente na remoção de umidade. A Figura 10 ilustra este tipo de secador.

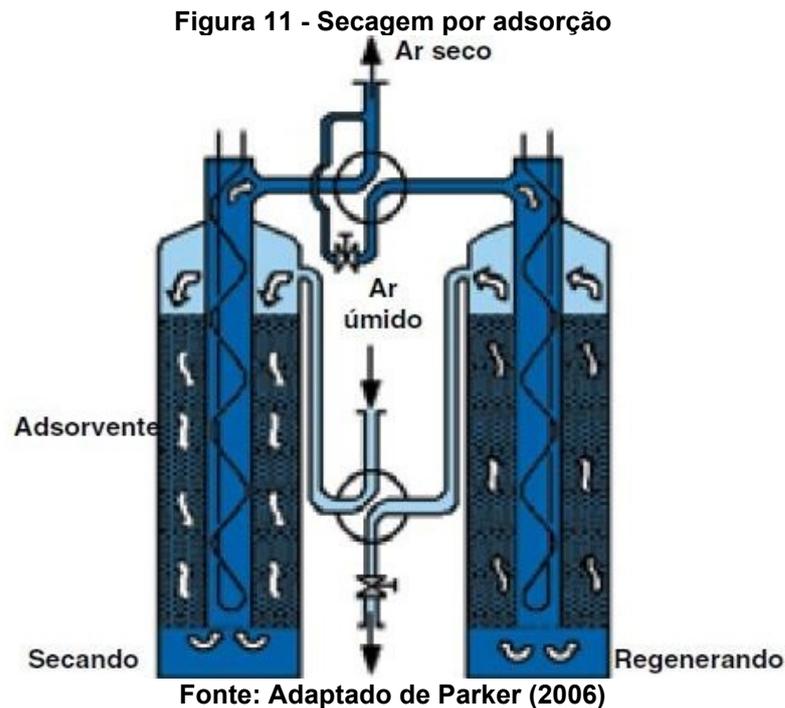
Figura 10 - Secagem por absorção



Fonte: Adaptado de Parker (2006)

#### 4.2.3.3 Secadores por adsorção

Parker (2006) afirma que a secagem por adsorção ocorre devido à fixação das moléculas de um adsorvato na superfície de um material adsorvente, geralmente poroso e granulado. Em outras palavras, é o processo de depositar moléculas de água na superfície sólida do material adsorvente. Este processo é regenerativo, permitindo a liberação de água do material adsorvente quando ele é submetido a aquecimento. A Figura 11 ilustra este tipo de secagem.



De acordo com Emílio Silva (2002), deve-se utilizar dois secadores em paralelo, pois isso permite a utilização contínua enquanto um dos secadores passa por regeneração. Os secadores de adsorção podem atingir um ponto de orvalho de  $-20^{\circ}\text{C}$ , chegando a  $-90^{\circ}\text{C}$  em casos especiais. O material secador utilizado é o dióxido de silício, conhecido como sílica gel. Este sistema é o mais caro em relação aos demais, mas o que tem a maior capacidade de remoção de umidade.

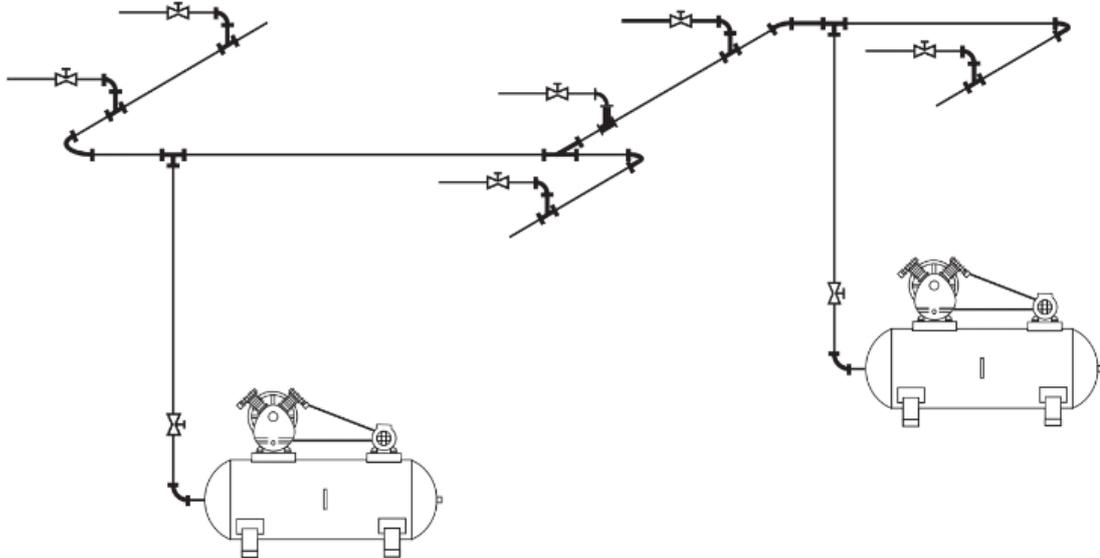
### 4.3 Linha de distribuição

Neste tópico serão abordados os conceitos necessários para determinar o diâmetro da linha principal da tubulação de ar comprimido, assim como da linha secundária. Além disso, serão revisados os *layouts* mais comuns de tubulação de ar comprimido, um passo importante para obter a representação isométrica do projeto posteriormente.

#### 4.3.1 Rede de circuito aberto

A rede de circuito aberto, onde o ar flui em uma única direção, é geralmente indicada para abastecer pontos isolados ou distantes, pois não permite uma alimentação uniforme em todos os pontos (FIALHO, 2011). A Figura 12 exemplifica uma rede de distribuição de circuito aberto:

**Figura 12 - Rede de distribuição de circuito aberto**

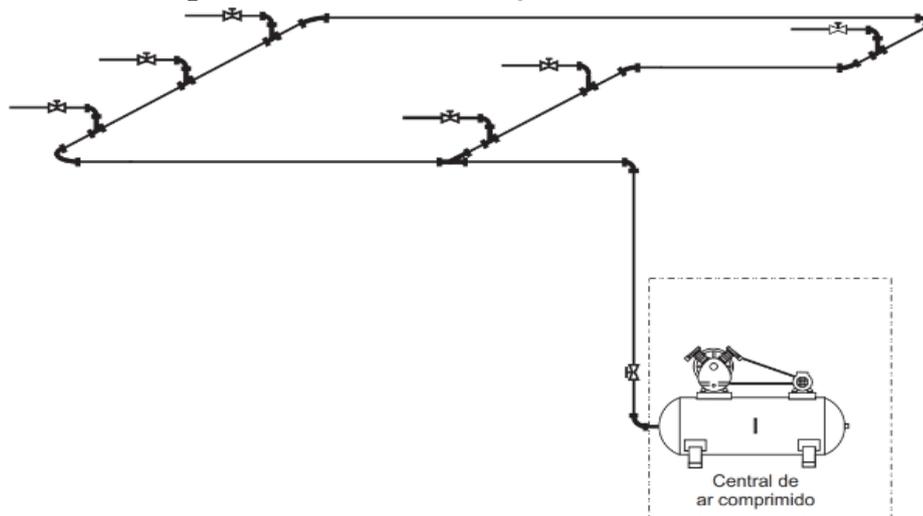


Fonte: Fialho (2011)

#### 4.3.2 Rede de circuito fechado

O modelo de circuito fechado é amplamente utilizado na indústria, pois acomoda toda a fábrica, facilita a instalação de novas tomadas de ar e permite uma alimentação uniforme em todos os pontos, já que o ar flui em ambos os sentidos (FIALHO, 2011). A Figura 13 exemplifica uma rede de distribuição de circuito fechado.

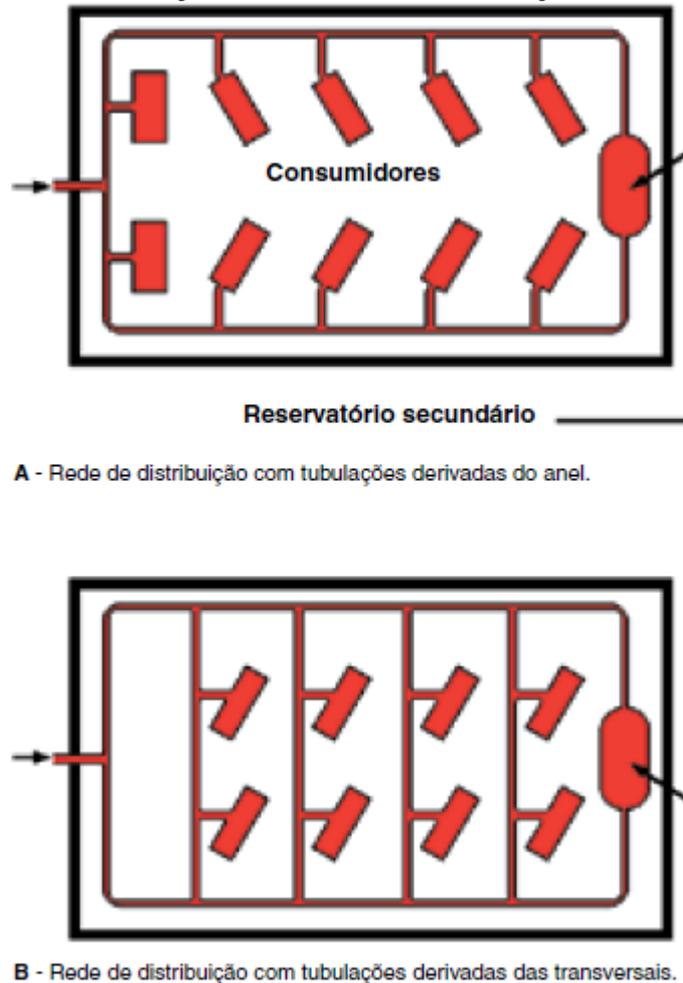
**Figura 13- Rede de distribuição de circuito fechado**



Fonte: Fialho (2011)

Parker (2006) diz que as redes de circuito fechado são caracterizadas por um anel do qual se originam diversas ramificações que se dirigem a diferentes pontos de consumo. A Figura 14 ilustra dois exemplos de tais ramificações em redes de distribuição de anel fechado.

Figura 14 - Ramificações do sistema de distribuição de anel fechado



Fonte: Parker (2006)

#### 4.3.3 Dimensionamento da linha principal

Para estabelecer o diâmetro mínimo da linha principal que satisfaça a pressão e vazão necessárias em vários pontos de alimentação, Fialho (2011) diz que é preciso prever um possível aumento de demanda futura. Além disso, é necessário considerar uma queda de pressão de 0,3 a 0,5 kgf/cm<sup>2</sup> do reservatório até o consumidor, adotando 0,5 kgf/cm<sup>2</sup> a partir de 500m. O dimensionamento deve levar em conta o volume de ar por unidade de tempo, o comprimento total da linha tronco, o diferencial de pressão admissível, a quantidade de pontos de estrangulamento e a pressão de armazenamento. Para determinar o diâmetro da linha principal, pode-se utilizar a Equação 1.

$$d = \left[ \sqrt[5]{ \frac{1,663785 \cdot Q^{1,85} \cdot L_t}{\Delta P \cdot P} } \right] \quad (1)$$

onde:

- Volume de ar por unidade de tempo (Vazão): Denotado pela letra  $Q$  é comumente conhecido como vazão e mede a quantidade de ar em  $m^3$  por hora que será consumida pela rede. Esse valor deve ser multiplicado por um fator de ampliação futura estimado;
- Comprimento da linha troco em metros: Denotado por  $L_t$ , é a soma do comprimento da linha de tronco ( $L_1$ ) com a perda de carga em comprimento equivalente ( $L_2$ ) obtidos utilizando as tabelas no Apêndice B;
- Diferencial de pressão admissível: Denotado por  $\Delta P$ , é o diferencial de pressão causado perdas geradas quando o fluido passa por singularidades (curvas, registros e tês). Esse valor não deve ultrapassar  $0,3 \text{ kgf/cm}^2$ , entretanto para instalações grandes pode-se admitir até  $0,5 \text{ kgf/cm}^2$ ;
- Quantidade de pontos de estrangulamento: São as singularidades (curvas, cotovelos, válvulas, filtros e tês) disponibilizadas no Apêndice B do presente trabalho;
- Pressão de regime: Denotada pela letra  $P$ , também conhecida como pressão de regime, é a pressão em que o ar está armazenado no reservatório, na faixa de 7 a  $12 \text{ kgf/cm}^2$  e deve ser maior do que a pressão de trabalho utilizada pelos automatismos pneumáticos,

Perceba que esta é uma Equação iterativa, primeiro ela deve ser executada desconsiderando o valor de  $L_2$ , ou seja,  $L_t = L_1$ , obtendo um diâmetro de referência. A partir deste diâmetro, é possível determinar a perda de carga equivalente  $L_2$  utilizando as tabelas do Apêndice C.

#### 4.3.4 Dimensionamento da linha secundária

O dimensionamento das linhas secundárias e de alimentação pode ser feito através da mesma Equação (Equação 1). No entanto, para linhas secundárias onde todas tem o mesmo comprimento, divide-se o consumo de ar pelo número de linhas secundárias para realização do cálculo, ajustando também o valor de  $L_t$ .

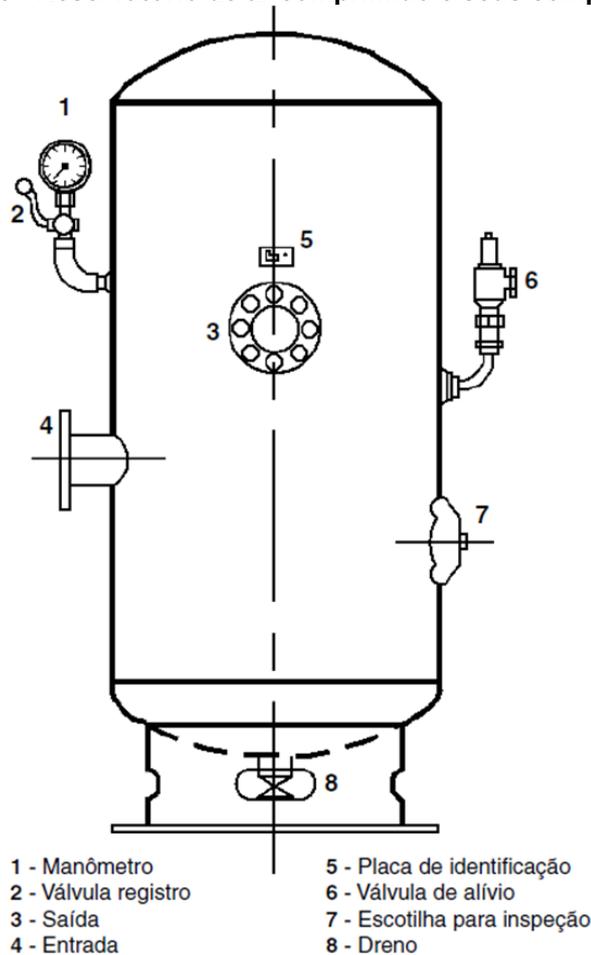
#### 4.4 Reservatório

Parker (2006) diz que um sistema de ar comprimido geralmente possui um ou mais reservatórios de ar, que têm como objetivo armazenar o ar comprimido, resfriá-lo para auxiliar na eliminação de condensado, compensar flutuações de pressão no

sistema de distribuição, estabilizar o fluxo de ar e controlar a marcha dos compressores. Esses reservatórios, construídos no Brasil conforme a PNB 109 da A.B.N.T, devem ser instalados em locais de fácil acesso, preferencialmente fora da sala de compressores e na sombra, para facilitar a condensação da umidade e do óleo contidos no ar comprimido. Eles devem possuir um dreno e realizar a drenagem após 8 horas de trabalho. Além disso, esses reservatórios devem ter manômetro, válvulas de segurança e serem submetidos a testes hidrostáticos antes de sua utilização.

A Figura 15 apresenta o desenho de um reservatório de ar comprimido e seus respectivos componentes.

**Figura 15 - Reservatório de ar comprimido e seus componentes**



**Fonte: Adaptado de Parker (2006)**

Ainda de acordo com o autor citado, Parker (2006), pode-se realizar um cálculo rápido para estimar o volume do reservatório de ar comprimido com base na vazão e no tipo de compressor. Para tal, pode-se utilizar as Equações 2 e 3:

- Compressores de pistão:

$$V_{\text{reservatório}} = 0,2 \cdot Q_{\text{ar}} \quad (2)$$

- Compressores rotativos:

$$V_{\text{reservatório}} = 0,1 \cdot Q_{\text{ar}} \quad (3)$$

onde:

- $V_{\text{reservatório}}$ : Volume do reservatório de ar comprimido em  $\text{m}^3$ ;
- $Q_{\text{ar}}$ : Vazão de ar comprimido em  $\text{m}^3/\text{min}$ .

#### 4.5 Unidade de condicionamento

Segundo Parker (2006), após o tratamento e distribuição, o ar comprimido deve passar por um último condicionamento antes de ser colocado em operação, que consiste na filtragem, regulação de pressão e lubrificação. A duração e o funcionamento dos componentes de um circuito dependem do grau de filtragem, isenção de umidade, estabilidade da pressão e lubrificação das partes móveis. Isso é superado quando se aplicam os tratamentos preliminares de ar comprimido após a tomada de ar. Os componentes do lubrefil, ou unidade de condicionamento, são o filtro, a válvula reguladora de pressão e o lubrificador. A Figura 16 ilustra a unidade de condicionamento.

**Figura 16 - Unidade de condicionamento ou lubrefil**



Fonte: Adaptado de Parker (2006)

## 5 METODOLOGIA

Nesta seção, os conceitos detalhados na revisão bibliográfica serão utilizados para o desenvolvimento de um *Software* para a seleção de um compressor e do dimensionamento da tubulação principal e tubulações secundárias de um sistema de ar comprimido, utilizando a linguagem de programação python3. Para criar a interface gráfica do software utilizou-se a biblioteca Tkinter.

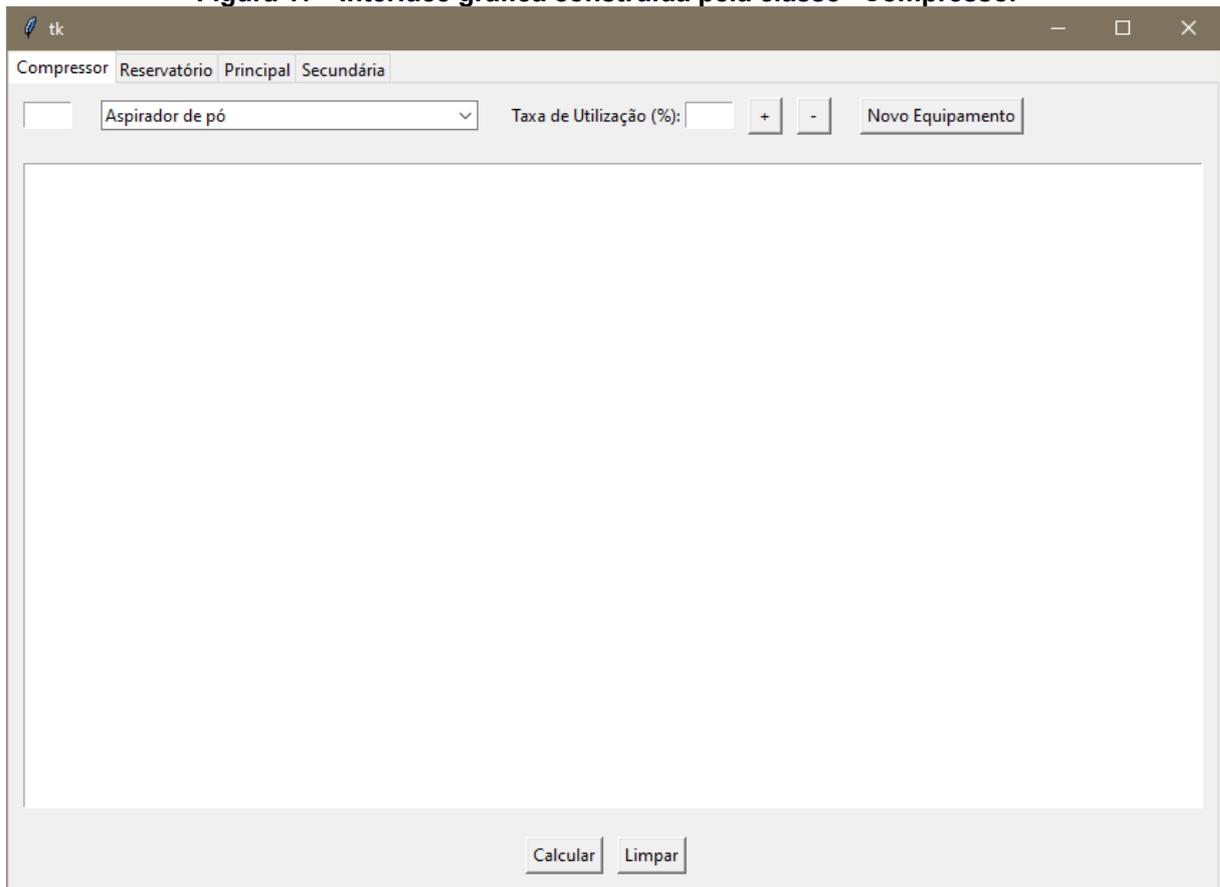
Para este trabalho, será assumido que o ar está na qualidade estabelecida para sua aplicação. Os parâmetros de seleção do compressor serão determinados com base nos equipamentos que utilizarão o ar comprimido, dado sua vazão, pressão, quantidade e tempo de operação. A classificação do compressor será determinada com base na literatura.

A partir da seleção do compressor, o reservatório de ar comprimido poderá ser minimamente dimensionado com base na vazão de ar disponível. Por fim, determina-se o diâmetro da tubulação principal e o diâmetro da tubulação secundária, especificados.

### 5.1 Metodologia para seleção do compressor

A fim de se selecionar o compressor de ar conforme a revisão bibliográfica do presente trabalho, foi desenvolvida a classe denominada “Compressor”, disponibilizada no anexo B. Esta classe contém uma caixa de texto para que o usuário insira a quantidade de equipamentos, seguida de uma lista suspensa que contém os equipamentos disponibilizados no Quadro 22 do Apêndice A (é importante ressaltar que esta lista serve apenas como estimativa para quantificar os valores de vazão e pressão dos equipamentos disponibilizados, pois estes podem variar em mesmos equipamentos de diferentes fabricantes), uma caixa de texto para inserir a taxa de utilização em %, um botão com o símbolo de “+” que adiciona estes valores a lista de resultados e os exibe na caixa de texto abaixo, um botão com o símbolo de “-” que deleta o último equipamento adicionado, um botão denominado “novo equipamento” para adicionar equipamentos não listados, um botão chamado “calcular” que retorna os resultados numa caixa de mensagem separada e um botão de limpar que deleta todos os valores armazenados. Esta interface gráfica é demonstrada na Figura 17:

**Figura 17 - Interface gráfica construída pela classe “Compressor”**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

Os resultados exibidos na caixa de mensagem após pressionar o botão calcular são a pressão em bar, a vazão em PCM (pés cúbicos por minuto) e o tipo do compressor. Para determinar a pressão, há uma estrutura condicional que seleciona a maior pressão dentre todos os equipamentos. Para determinar a vazão, há uma estrutura de repetição que realiza a soma da vazão de todos os equipamentos. Por fim, para determinar o tipo do compressor, há uma estrutura condicional que classifica o compressor em pistão, parafuso ou centrífugo, com base na vazão em  $m^3/h$ , conforme explicitado na seção 4.1.6 do presente trabalho.

## **5.2 Metodologia para o dimensionamento da linha principal**

Para determinar o diâmetro da linha principal de ar comprimido conforme a revisão bibliográfica deste trabalho, foi desenvolvida a classe denominada “Principal”, disponibilizada no anexo C. Esta classe contém caixas de texto para que o usuário digite a vazão ( $m^3/h$ ), a pressão ( $kgf/cm^2$ ) e o comprimento da tubulação principal de ar comprimido (m). Além disso, ela contém caixas de texto referente a quantidade de singularidades a serem adicionadas, bem como duas listas suspensas para selecionar

o tipo da singularidade e a forma como ela é conectada (rosca ou flange). Outros botões como “+” (adiciona a singularidade ao sistema), “limpar” (deleta todos os valores calculados) e “calcular” (retorna os valores de diâmetro inicial, diâmetro real e diâmetro adotado). Por fim, esta interface contém uma caixa de texto que exibe a quantidade, o tipo, a conexão e o nome das singularidades adicionadas ao sistema. Esta interface gráfica é demonstrada na Figura 18:

**Figura 18 - Interface gráfica da classe “Principal”**

	Vazão (m³/h)	Pressão (kgf/cm²)	Comprimento (m)	
T	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	+
Válvula	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	+
Curva	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	+
Cotovelo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	+
Filtro	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	+

Calcular Limpar

Fonte: Autoria própria (2024)

Os resultados são obtidos após o software executar o cálculo da Equação 1 do presente trabalho.

### 5.3 Metodologia para dimensionamento da linha secundária

A classe “Secundária” é muito similar a classe “Principal”, apresentando o mesmo *design*, entretanto contando com uma caixa de texto adicional para a inserção da quantidade de linhas secundárias. Seu código está disponibilizado no anexo D deste trabalho. A Figura 19 ilustra sua interface gráfica:

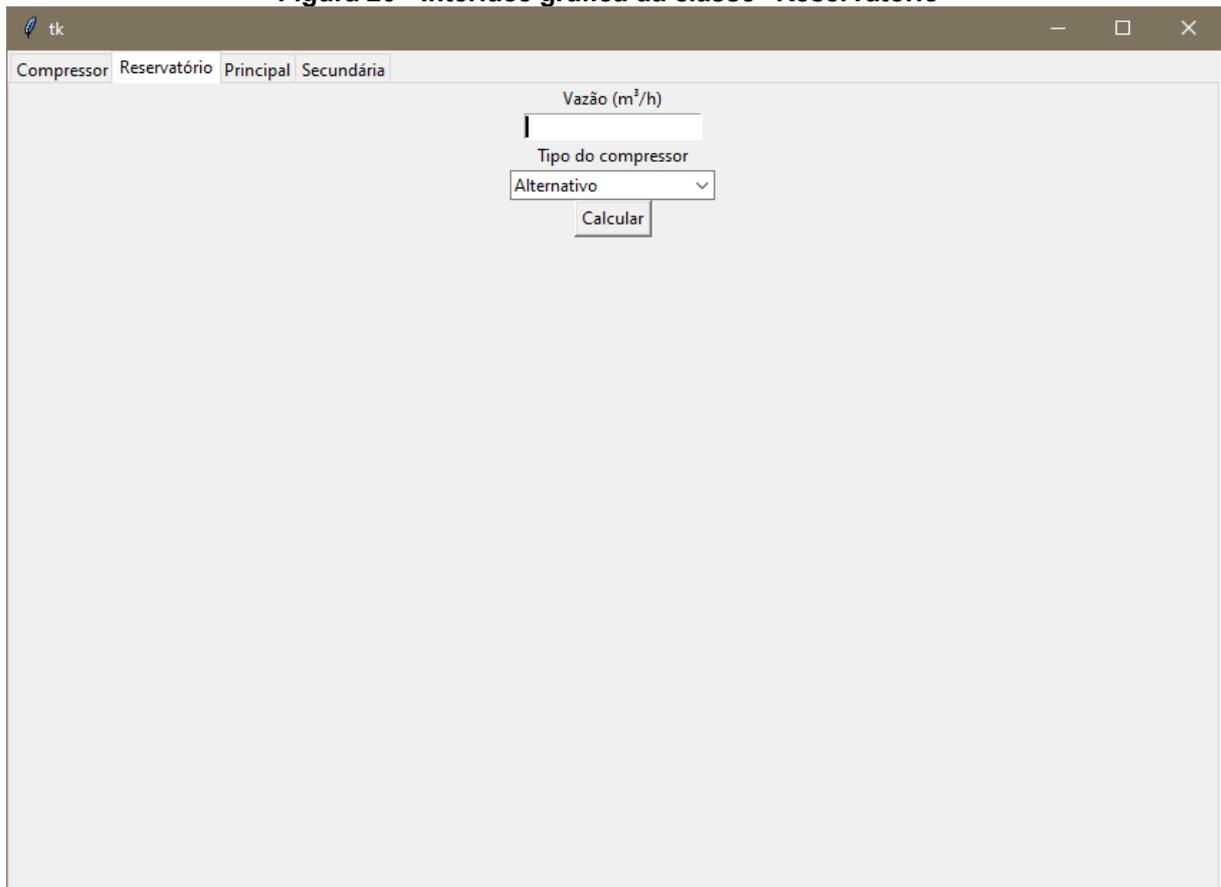
**Figura 19 - Interface gráfica da classe "Secundária"**

	Vazão (m³/h)	Pressão (kgf/cm²)	Comprimento (m)	Quantidade
T	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Válvula	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Curva	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Cotovelo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Filtro	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Fonte: Autoria própria (2024)

#### 5.4 Metodologia para dimensionamento de reservatório

Quanto ao dimensionamento do reservatório com base nas Equações 2 e 3, foi desenvolvida a classe denominada “Reservatório”, disponibilizada no anexo E. Esta contém uma caixa de texto para que o usuário digite a vazão (m³/h), uma lista suspensa para que o usuário insira o tipo de compressor conforme determinado na seção 4.1.6 do presente trabalho, e um botão calcular, que ao pressionado, retorna o volume do reservatório em m³. A Figura 20 ilustra a interface gráfica construída pela classe:

**Figura 20 - Interface gráfica da classe "Reservatório"**

Fonte: Autoria própria (2024)

## 5.5 Execução do software

Uma das formas de executar o software é utilizando linha de comando “python app.py” em um editor de código fonte, como o VSCode. Após isso, o “Script” disponibilizado no anexo A “chamará” as classes que construirão a interface gráfica utilizando a biblioteca Tkinter

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para garantir confiabilidade aos resultados disponibilizados pelo software, ele será utilizado para resolver dois exemplos de Fialho (2011), assim como seus resultados serão comparados com os resultados obtidos por Bortolin (2014), Maldaner (2016) e Laura Silva (2022).

### 6.1 Comparativo de resultados com um exemplo prático para calcular o diâmetro da tubulação principal proposto no livro de Fialho (2011)

Para a determinação do diâmetro da linha principal, considere o exemplo disponibilizado por Fialho (2011), cuja rede de distribuição tem as características dispostas nos Quadros 1 e 2:

**Quadro 1 - Dados da rede de distribuição do exemplo**

<b>Dados da rede de distribuição</b>		
Comprimento de tubulação linear	300	m
Queda de pressão admitida	0,30	kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão do regime	9,00	kgf/cm <sup>2</sup>
Quantidade de ar disponível	300,00	m <sup>3</sup> /h
Aumento de capacidade nos próximos dez anos	60,00	%

Fonte: Adaptado de Fialho (2011)

**Quadro 2 - Dados das singularidades do exemplo**

<b>Quantidade</b>	<b>Singularidade</b>	<b>Tipo</b>	<b>Conexão</b>
5	Curva	90°	Roscada
29	"T"	Linha	Roscado
5	"T"	Ramal	Roscado
7	Válvula	Gaveta	Roscada

Fonte: Adaptado de Fialho (2011)

A fim de se determinar o diâmetro principal, foram preenchidos os campos da interface gráfica com os dados apresentados nos Quadros 1 e 2, obtendo o resultado disponibilizado na Figura 21, cujo valor do diâmetro adotado de 3 polegadas está de acordo com o resultado disponibilizado pelo livro.

**Figura 21 - Resultados obtidos após o preenchimento dos campos e adição das singularidades conforme a comparação proposta**

The screenshot shows a software window with the following data and components:

Compressor	Reservatório	Principal	Secundária
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	300	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	9
Comprimento (m)	300		
T	29	Linha	Rosca
Válvula	7	Gaveta	Rosca
Curva	5	90°	Rosca
Cotovelo			
Filtro			

Summary of singularities:

```

5 T Ramal Rosca
29 T Linha Rosca
7 Válvula Gaveta Rosca
5 Curva 90° Rosca
  
```

Dialog box results:

```

Re...
Diametro inicial: 2.75801 pol
Diametro real: 2.681 pol
Diametro adotado: 3 pol
  
```

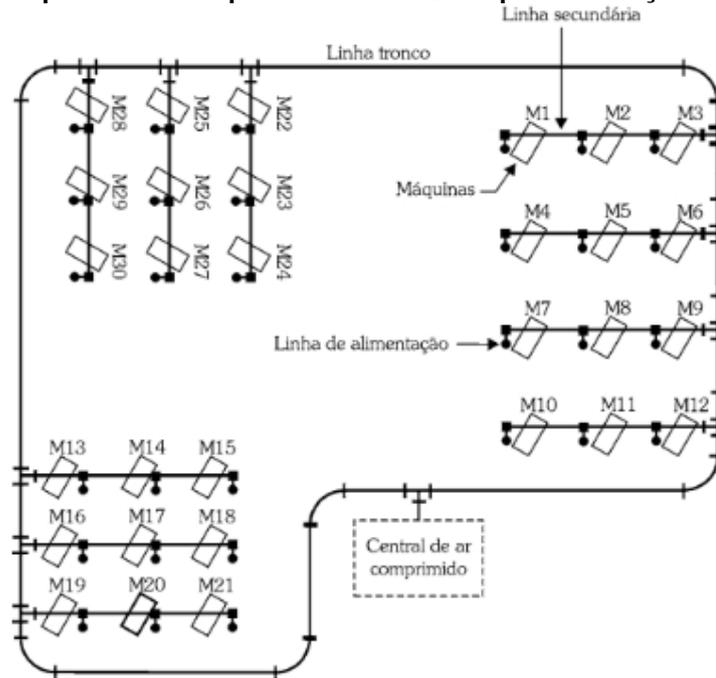
Buttons: Calcular, Limpar

Fonte: Autoria própria (2024)

## 6.2 Comparativo de resultados com um exemplo prático para calcular o diâmetro da tubulação secundária proposto no livro de Fialho (2011)

Para a determinação do diâmetro da linha secundária, considere o exemplo prático disponibilizado por Fialho (2011), cuja rede de distribuição é representada pela Figura 22:

Figura 22 - Vista superior da rede pneumática utilizada para resolução do exemplo prático



Fonte: Fialho (2011)

Os dados necessários para a resolução deste exemplo estão disponibilizados nos Quadros 3 e 4.

Quadro 3 - Dados da rede de distribuição do exemplo

Dados da rede de distribuição		
Comprimento de tubulação linear (cada linha)	11	m
Queda de pressão admitida	0,3	kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão do regime	9	kgf/cm <sup>2</sup>
Quantidade de ar disponível	300	m <sup>3</sup> /h
Aumento de capacidade nos próximos dez anos	60	%

Fonte: Adaptado de Fialho (2011)

Quadro 4 - Dados das singularidades do exemplo

Quantidade	Singularidade	Tipo	Conexão
1	Cotovelo	-	Roscado
1	Curva	90°	Roscada
3	"T"	Ramal	Roscado
1	Válvula	Gaveta	Roscada

Fonte: Adaptado de Fialho (2011)

Percebe-se pela Figura 23 que são 10 linhas secundárias de comprimentos iguais. A fim de se determinar o diâmetro principal, foram preenchidos os campos da interface gráfica com os dados apresentados nos Quadros 3 e 4, obteve-se o resultado

disponibilizado na Figura 23, cujo valor do diâmetro adotado de 3/4 polegada está de acordo com o resultado disponibilizado no livro.

**Figura 23 - Resultados obtidos após o preenchimento dos campos e adição das singularidades conforme a comparação proposta.**

Compressor	Reservatório	Principal	Secundária
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	300	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	9
		Comprimento (m)	11
			Quantidade
T	3	Ramal	Rosca
Válvula	1	Gaveta	Rosca
Curva	1	90°	Rosca
Cotovelo	1	-	Rosca
Filtro			

```

3 T Ramal Rosca
1 Válvula Gaveta Rosca
1 Curva 90° Rosca
1 Cotovelo - Rosca
  
```

Diametro inicial: 0.54604 pol  
Diametro real: 0.59458 pol  
Diametro adotado: 0.75

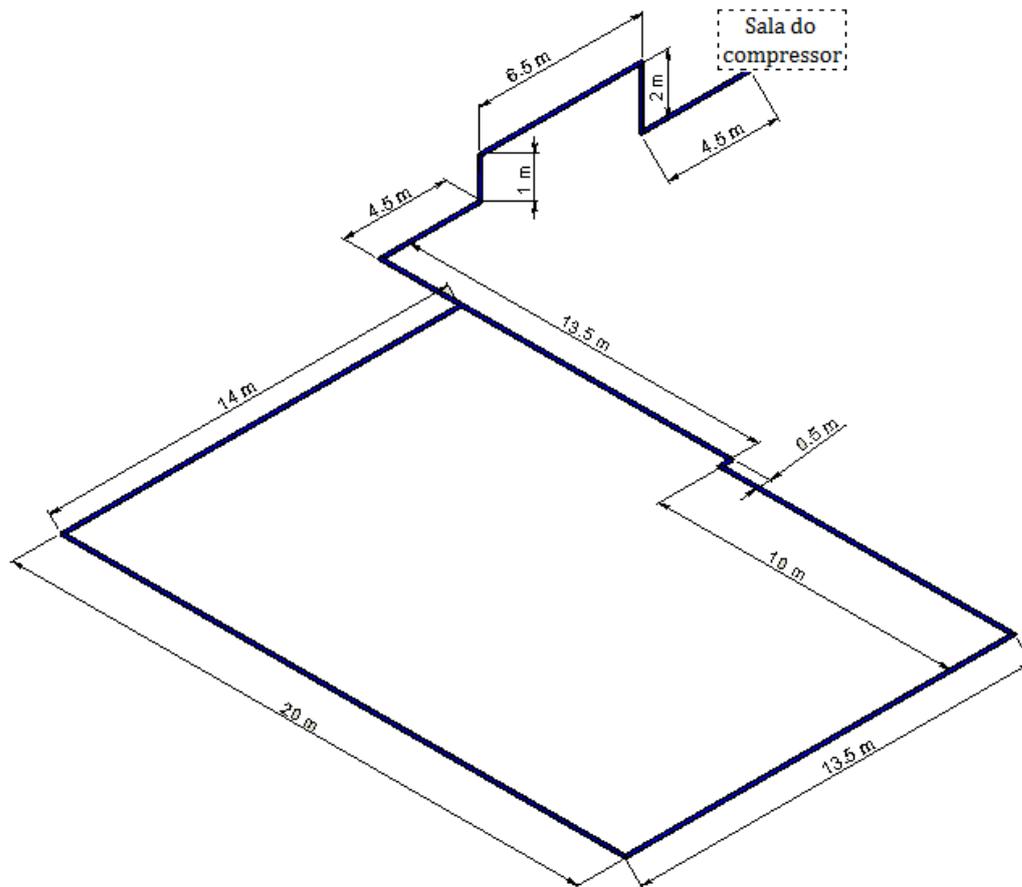
Calcular Limpar

Fonte: Autoria própria (2024)

### 6.3 Comparação de resultados com o trabalho de Bortolin (2014)

O trabalho de Bortolin (2014) aborda o dimensionamento de uma rede de ar comprimido para uma empresa de pequeno porte que atua no ramo de materiais e serviços de revestimento em Santa Rosa/RS. A empresa não dispunha de um sistema de ar comprimido em suas unidades, o qual é essencial para a realização de determinadas atividades de produção, como soldagem, rebatamento e aplicação de ilhós. Utilizando o software Solidworks, o autor desenvolveu o *layout* da tubulação que liga o compressor às linhas de alimentação. A Figura 24 representa esse *layout*:

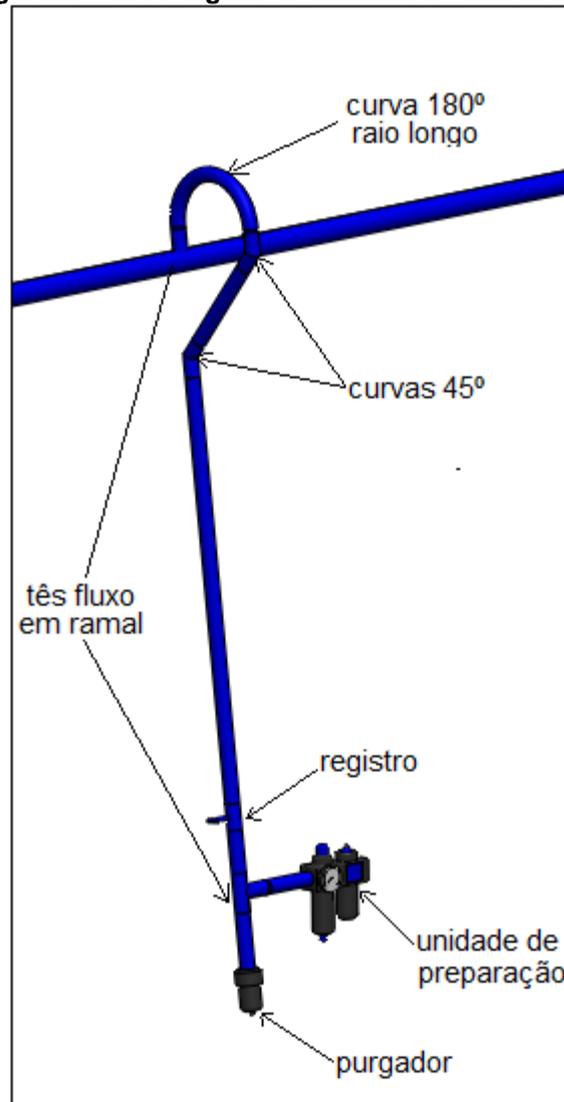
Figura 24 - Modelagem 3D da tubulação principal ligada ao compressor



Fonte: Bortolin (2014)

Já a linha de alimentação é ilustrada na Figura 25:

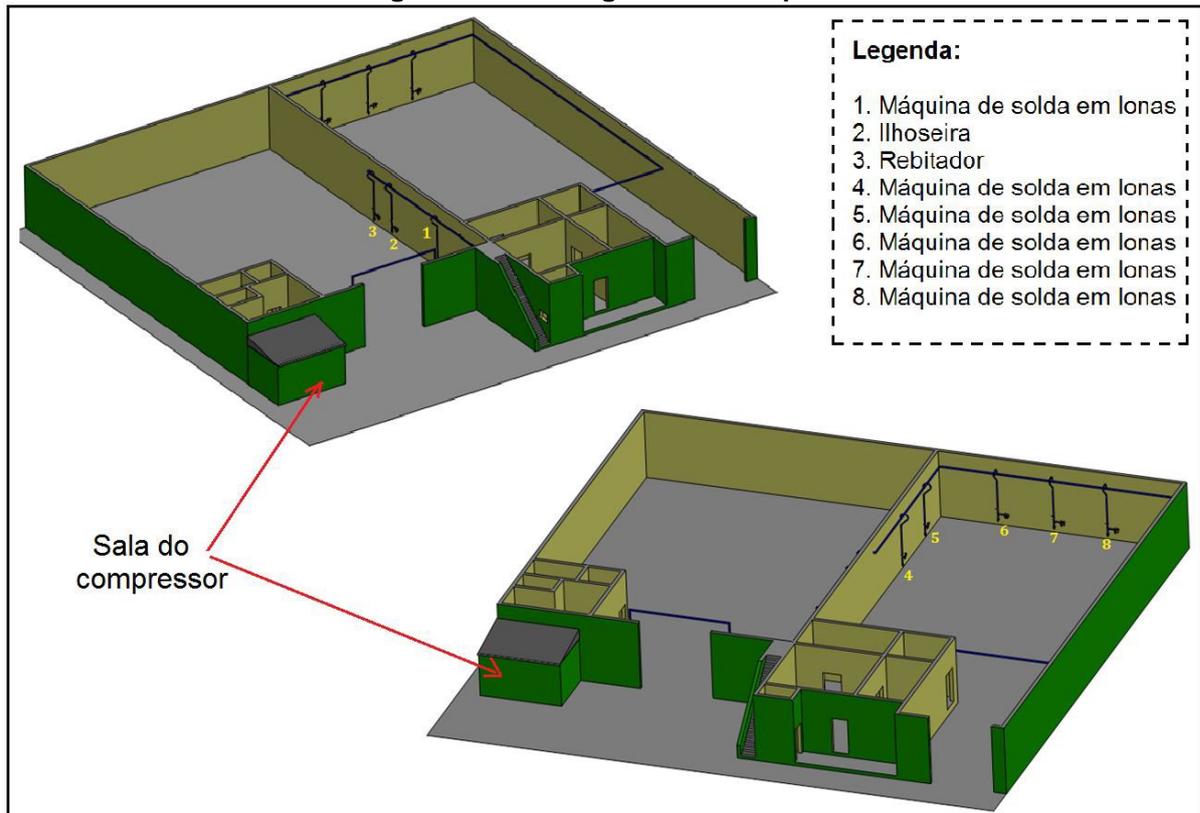
Figura 25 - Modelagem 3D da linha de alimentação



Fonte: Bortolin (2014)

Bortolin (2014) afirma que as linhas de alimentação saem pela parte superior da linha principal para evitar o acúmulo de condensado. O autor também destaca que a linha de alimentação contará com uma unidade de preparação de ar e um registro para a realização de manutenção ou dreno, permitindo isso sem a necessidade de desligar parte da distribuição. A Figura 26 ilustra as linhas principais e de alimentação da empresa, assim como a casa do compressor:

Figura 26 - Modelagem 3D da empresa



Fonte: Bortolin (2014)

O autor previamente citado nesta subseção afirma ter realizado diversas medições na empresa e coletados informações fundamentais para o dimensionamento da tubulação. O Quadro 5 compila os equipamentos pneumáticos a empresa, enquanto que os Quadros 6 e 7, respectivamente, demonstram os dados da rede de distribuição principal e suas singularidades:

Quadro 5 - Compilado de dados referente aos equipamentos pneumáticos

Descrição	Quantidade	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Vazão unitária (m <sup>3</sup> /h)	Vazão total (m <sup>3</sup> /h)
Máquina de Solda	6	6,00	17,00	102,00
Rebitador	1	6,00	22,00	22,00
Ilhoseira	1	6,00	26,00	26,00
<b>Soma Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>				
150				
<b>Maior Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>				
6				

Fonte: Adaptado de Bortolin (2014)

**Quadro 6 - Dados da rede distribuição da empresa**

<b>Dados da rede de distribuição</b>		
Comprimento de tubulação linear (cada linha)	90,00	m
Queda de pressão admitida	0,30	kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão do regime	9,00	kgf/cm <sup>2</sup>
Vazão de ar + 40%	225,00	m <sup>3</sup> /h

Fonte: Adaptado de Bortolin (2014)

**Quadro 7 - Singularidades presentes na linha principal**

<b>Quantidade</b>	<b>Singularidade</b>	<b>Tipo</b>	<b>Conexão</b>
1	Curva	90°	Roscada
2	"T"	Linha	Roscado
2	"T"	Ramal	Roscado
1	Válvula	Gaveta	Roscada

Fonte: Adaptado de Bortolin (2014)

Para preencher os campos do software construído a partir das linhas de código disponibilizadas no Anexo B, é necessário converter tanto a vazão quanto a pressão apresentada no Quadro 5, respectivamente, de m<sup>3</sup>/h para PCM e de kgf/cm<sup>2</sup> para bar. Para isso, foram utilizadas as Equações 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

$$Q_{maquina\ de\ solda} = \frac{17,00\ m^3}{h} \cdot \frac{1,00\ PCM}{1,699\ \frac{1m^3}{h}} = 10,01\ PCM \quad (4)$$

$$Q_{rebitador} = \frac{22\ m^3}{h} \cdot \frac{1,00\ PCM}{1,699\ \frac{1m^3}{h}} = 12,95\ PCM \quad (5)$$

$$Q_{ilhoseira} = \frac{26,00\ m^3}{h} \cdot \frac{1,00\ PCM}{1,699\ \frac{1m^3}{h}} = 15,30\ PCM \quad (6)$$

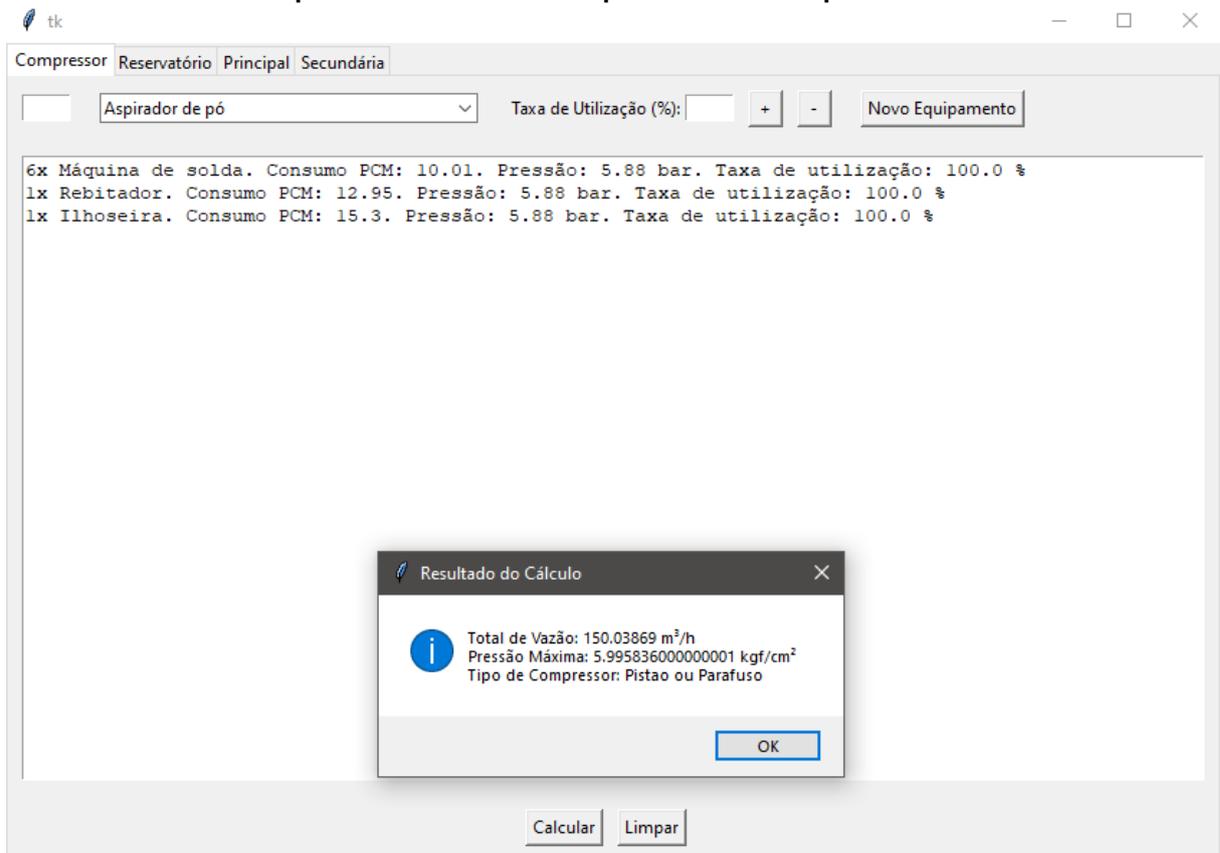
$$P_{maquina\ de\ solda} = 6,00\ \frac{kgf}{cm^2} \cdot \frac{1,00\ bar}{1,02\ \frac{kgf}{cm^2}} = 5,88\ bar \quad (7)$$

$$P_{rebitador} = 6,00\ \frac{kgf}{cm^2} \cdot \frac{1,00\ bar}{1,02\ \frac{kgf}{cm^2}} = 5,88\ bar \quad (8)$$

$$P_{ilhoseira} = 6,00 \frac{kgf}{cm^2} \cdot \frac{1,00 \text{ bar}}{1,02 \frac{kgf}{cm^2}} = 5,88 \text{ bar} \quad (9)$$

Com estes resultados, torna-se possível o preenchimento dos campos. A Figura 27 demonstra os resultados obtidos.

**Figura 27 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Compressor”**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

O valor de 150 m<sup>3</sup>/h está de acordo com o resultado obtido pelo autor mencionado nesta seção, antes da estimativa de aumento de 50% para futuras ampliações. Considerando esse aumento, obtém-se 225 m<sup>3</sup>/h, conforme demonstrado na Equação 10.

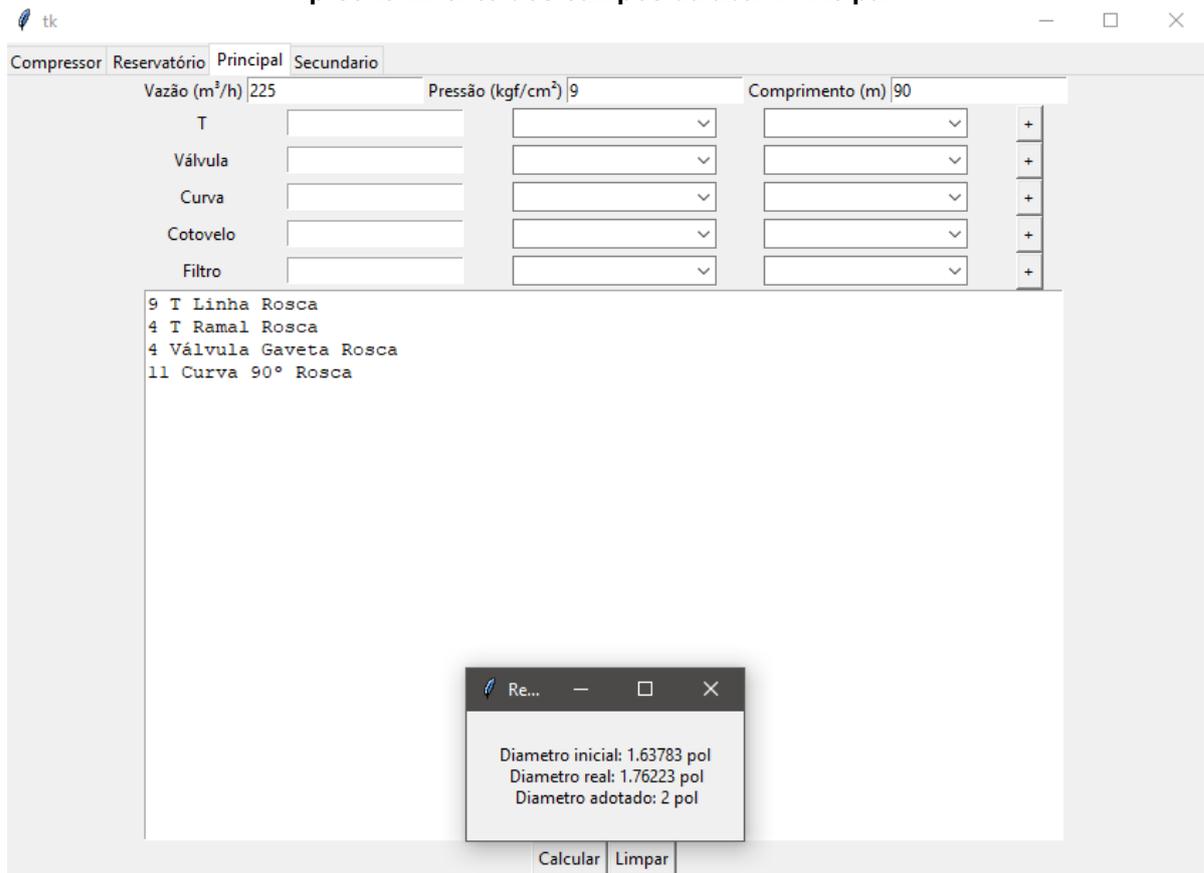
$$P_{adotada} = 150,00 \frac{m^3}{h} + 0,50 \cdot 150,00 \frac{m^3}{h} = 225,00 \frac{m^3}{h} \quad (10)$$

Em relação à pressão, obteve-se o resultado de 5.99kgf/cm<sup>2</sup>. Em comparação, Bortolin (2014) adota em seu trabalho uma pressão de 9 kgf/cm<sup>2</sup>. Essa divergência nos resultados se deve ao fato de que o software não sugere um valor dentro do intervalo de 7 a 12 kgf/cm<sup>2</sup>, conforme explicitado na revisão bibliográfica da Seção 4.3.3 deste trabalho.

Quanto ao tipo de compressor, o resultado obtido foi pistão ou parafuso. O referido autor selecionou em seu trabalho o compressor de deslocamento positivo alternativo de pistão.

Referente à determinação do diâmetro da linha principal, preenchendo os campos corretamente com os dados apresentados nos Quadros 6 e 7, obteve-se o resultado que pode ser observado na Figura 28.

**Figura 28 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba "Principal"**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

O diâmetro adotado de 2 polegadas é condizente com os resultados obtidos pelo autor em seu trabalho.

Para determinar o diâmetro da linha de alimentação de ar comprimido, considerando oito linhas com comprimento de 2,7 metros, Bortolin (2014) utilizou os dados da rede de distribuição apresentados no Quadro 8 e as singularidades da linha secundária, que também estão disponibilizadas no Quadro 8, a seguir:

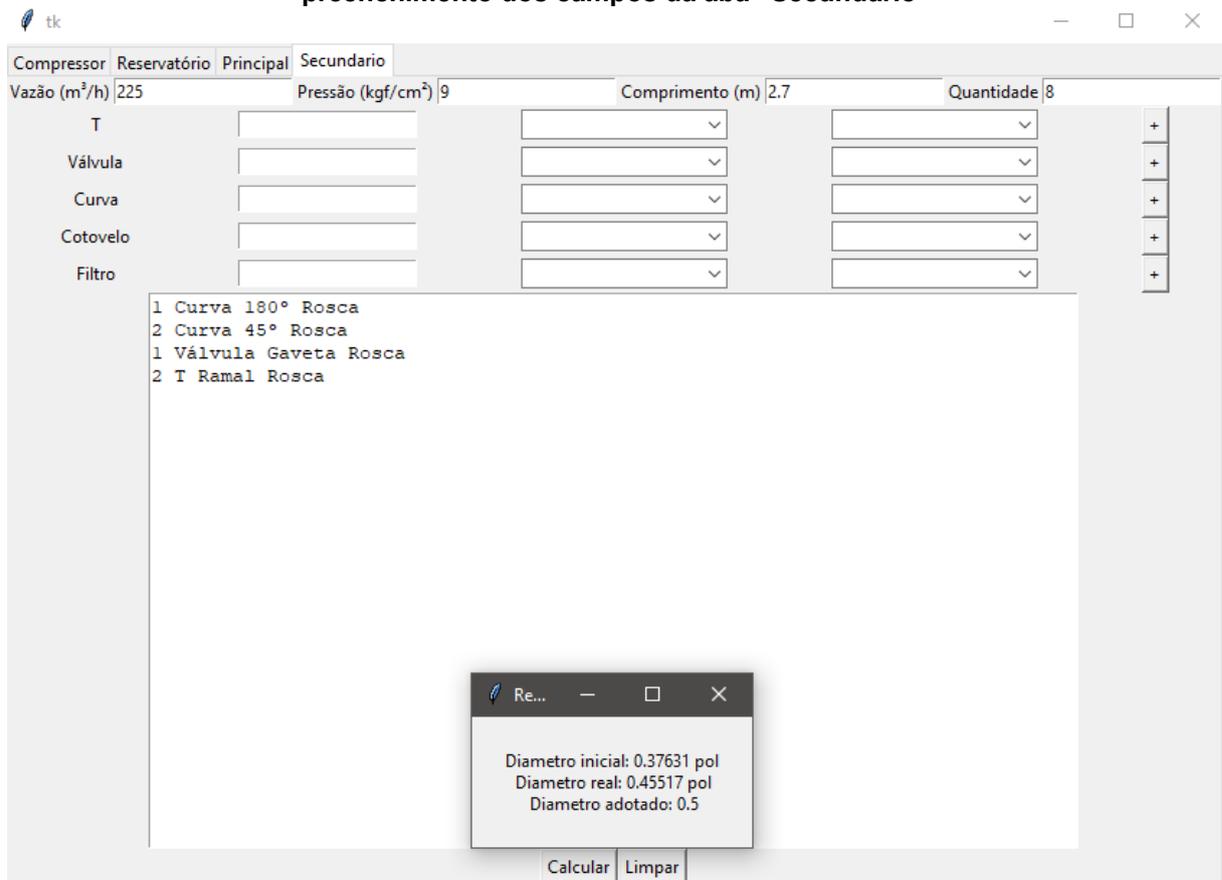
**Quadro 8 - Singularidades presentes na linha de alimentação**

Quantidade	Singularidade	Tipo	Conexão
1	Curva	180°	Roscada
2	Curva	90°	Roscada
2	“T”	Ramal	Roscado
1	Válvula	Gaveta	Roscada

Fonte: Adaptado de Bortolin (2014)

A Figura 29 demonstra os resultados obtidos após o preenchimento dos dados em seus respectivos campos e execução do software.

**Figura 29 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Secundário”**

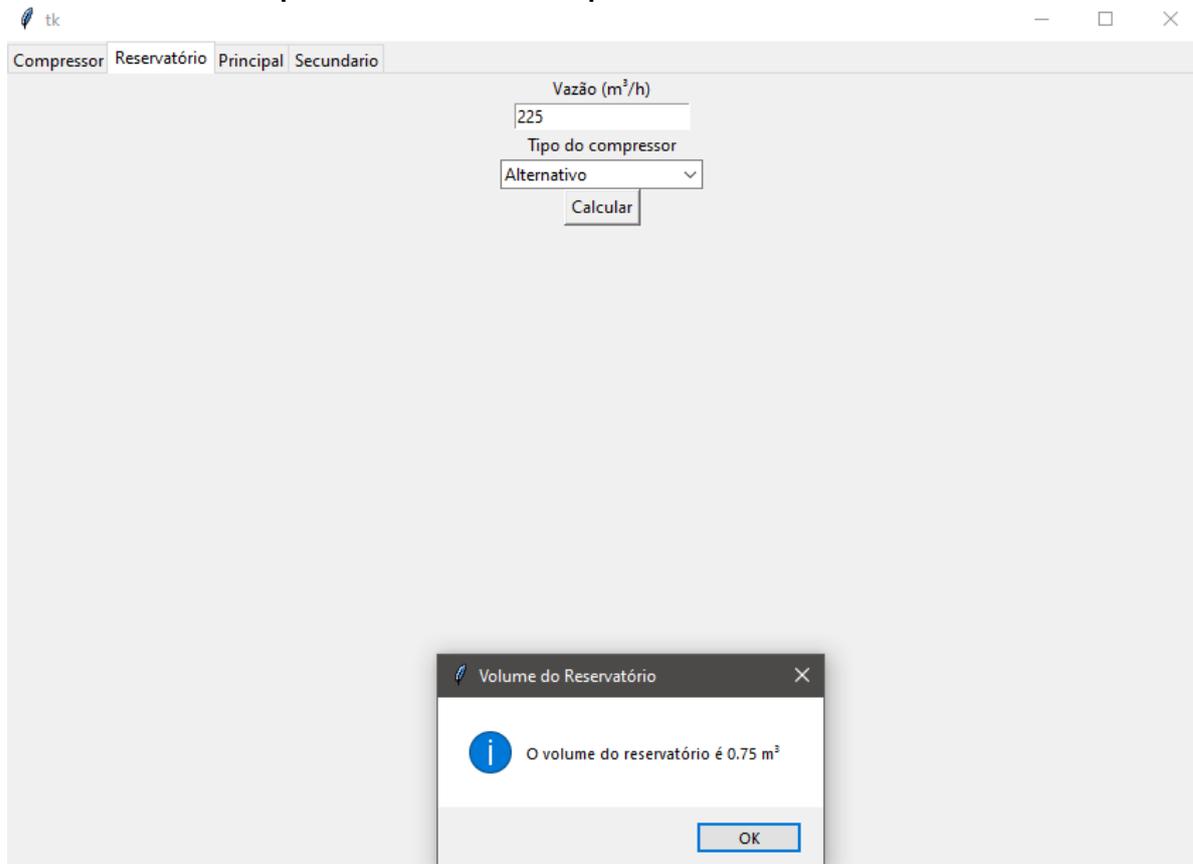


Fonte: Autoria própria (2024)

O diâmetro adotado de 1/2 polegada é condizente com os resultados obtidos pelo autor em seu trabalho.

Por fim, quanto ao reservatório, considerando o compressor de pistão e a vazão de  $225\text{m}^3/\text{h}$ , obteve-se o resultado ilustrado na Figura 30.

**Figura 30 - Captura de tela do Software com mensagem de resultado obtido após o preenchimento dos campos da aba "Reservatório"**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

onde, o volume de  $0,75\text{ m}^3$  está de acordo com os resultados obtidos no trabalho do autor previamente citado.

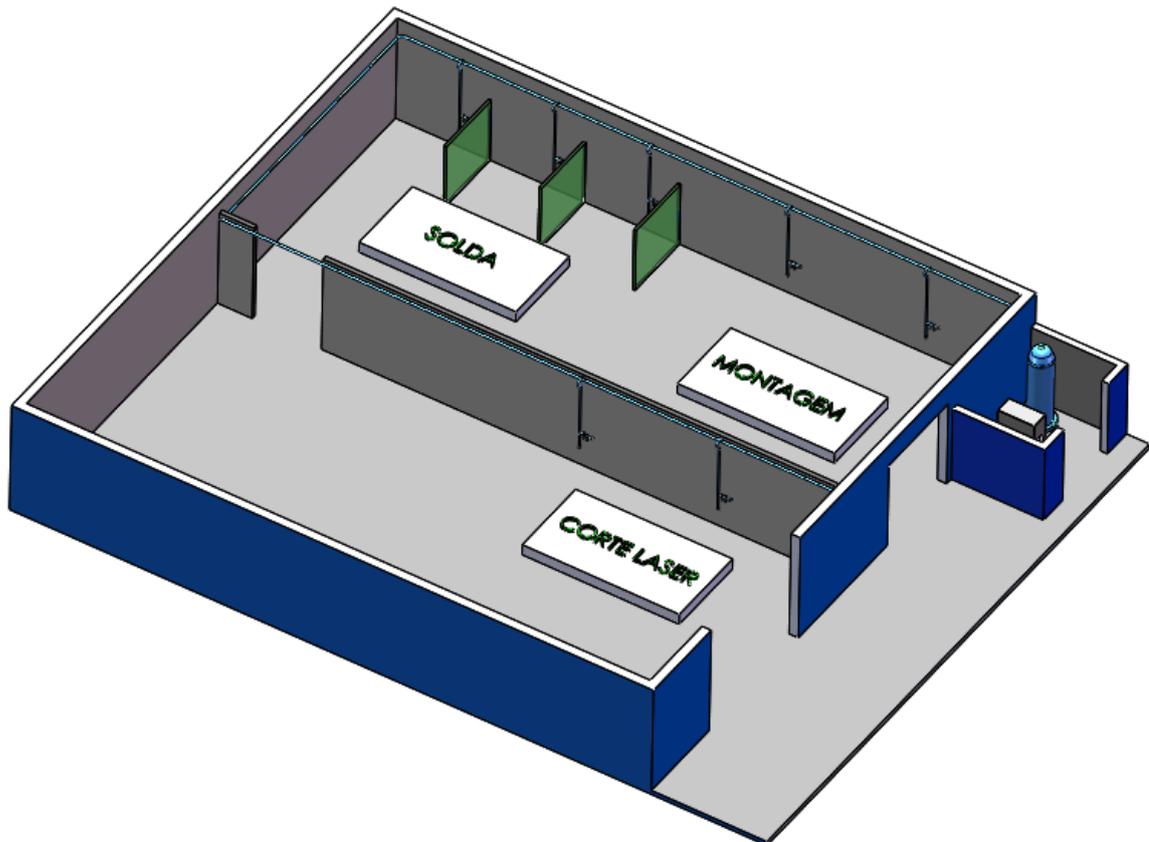
#### **6.4 Comparação de resultados obtidos com o trabalho de Maldaner (2016)**

O trabalho de Maldaner (2016) visa o dimensionamento de um sistema de ar comprimido para atender às necessidades dos equipamentos utilizados em uma metalúrgica de pequeno porte localizada em Nova Horizontina (RS), incluindo a previsão de novos equipamentos e futuras expansões. A referida metalúrgica possui uma unidade de produção que receberá novos equipamentos para atender a demandas adicionais de clientes e serviços. A empresa alugou um pavilhão anexo ao pavilhão atual e decidiu reformá-los, unificando-os em um único espaço para otimizar o *layout* e acomodar os novos equipamentos (como ventosa pneumática e lixadeira)

para atender à produção, uma vez que o sistema de ar comprimido anterior suportava apenas uma máquina de corte a laser.

A partir das dimensões coletadas da unidade de produção, Maldaner (2016) desenvolveu o *layout* do sistema, definindo o trajeto da tubulação e os pontos de alimentação. A Figura 31 ilustra esse *layout*.

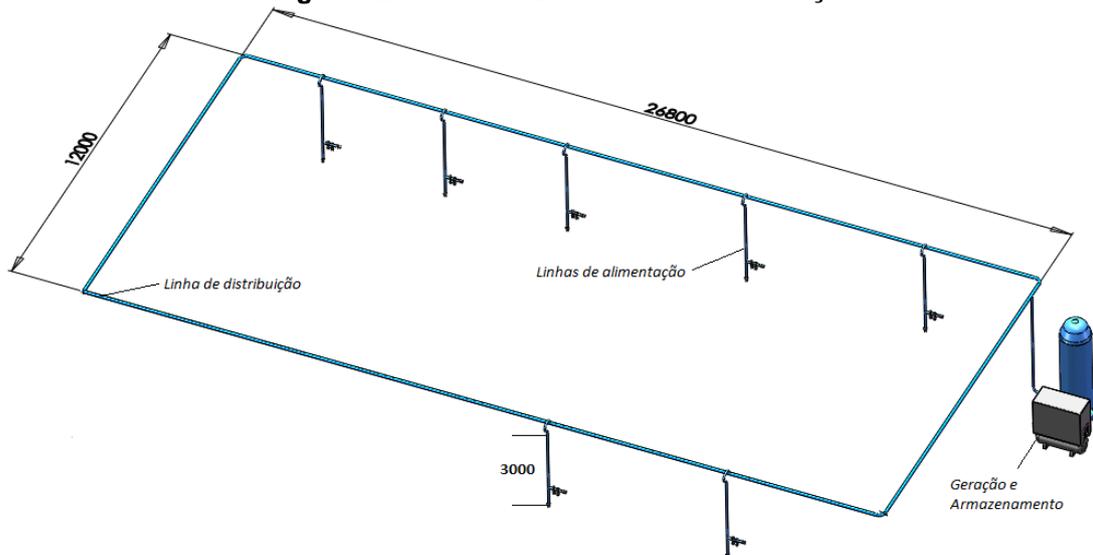
**Figura 31 - Modelo 3D do pavilhão.**



Fonte: Maldaner (2016)

Já a linha de distribuição com o compressor e os reservatórios estão representados pela Figura 32.

Figura 32 - Modelo 3D da linha de distribuição



Fonte: Maldaner (2016)

A fim de se determinar o consumo de ar comprimido do sistema, o autor fez um levantamento dos equipamentos pneumáticos da empresa, conforme demonstrado no Quadro 9:

Quadro 9 - Compilado de dados referente aos equipamentos pneumáticos da metalúrgica

Descrição	Quantidade	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Vazão unitária (m <sup>3</sup> /h)	Vazão total (m <sup>3</sup> /h)
Máquina de corte laser	1	6,00	45,00	45,00
Esmerilhadeira	3	6,00	50,40	151,20
Furadeira	3	6,00	30,60	91,80
Bico de Limpeza	4	6,00	10,20	40,80
Movimentador de chapas	1	6,00	3,00	3,00
Parafusadeira	2	6,00	30,60	61,20
Chave de impacto $\frac{3}{4}$ "	1	6,00	43,20	43,20
<b>Soma Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>				
				436,20
<b>Maior Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>				
				6,00

Fonte: Adaptado de Maldaner (2016)

Para o preenchimento dos campos no software desenvolvido, a partir das linhas de código disponíveis no Anexo B, é necessário inicialmente converter a vazão e a pressão do Quadro 9, de m<sup>3</sup>/h para PCM e de kgf/cm<sup>2</sup> para bar, respectivamente. Para essas conversões, utilizaram-se as Equações 10 a 24.

$$Q_{\text{maquina de corte}} = \frac{45,00 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{1,00 \text{ PCM}}{1,699 \frac{1\text{m}^3}{h}} = 26,49 \text{ PCM} \quad (11)$$

$$Q_{\text{esmerilhadeira}} = \frac{151,20 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{1,00 \text{ PCM}}{1,699 \frac{1\text{m}^3}{h}} = 88,99 \text{ PCM} \quad (12)$$

$$Q_{\text{furadeira}} = \frac{91,80 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{1,00 \text{ PCM}}{1,699 \frac{1\text{m}^3}{h}} = 54,03 \text{ PCM} \quad (13)$$

$$Q_{\text{bicos de limpeza}} = \frac{40,80 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{1,00 \text{ PCM}}{1,69 \frac{1\text{m}^3}{h}} = 24,01 \text{ PCM} \quad (14)$$

$$Q_{\text{movimentador de chapas}} = \frac{3,00 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{1,00 \text{ PCM}}{1,69 \frac{1\text{m}^3}{h}} = 1,77 \text{ PCM} \quad (15)$$

$$Q_{\text{parafusadeira}} = \frac{61,20 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{1,00 \text{ PCM}}{1,699 \frac{1\text{m}^3}{h}} = 36,02 \text{ PCM} \quad (16)$$

$$Q_{\text{chave de impacto}} = \frac{43,20 \text{ m}^3}{h} \cdot \frac{1,00 \text{ PCM}}{1,699 \frac{1\text{m}^3}{h}} = 25,43 \text{ PCM} \quad (17)$$

$$P_{\text{maquina de corte}} = 6,00 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{1,00 \text{ bar}}{1,02 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 5,88 \text{ bar} \quad (18)$$

$$P_{\text{esmerilhadeira}} = 6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{1,00 \text{ bar}}{1,02 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 5,88 \text{ bar} \quad (19)$$

$$P_{\text{furadeira}} = 6,00 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{1 \text{ bar}}{1,02 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 5,88 \text{ bar} \quad (20)$$

$$P_{bicos\ de\ limpeza} = 6,00 \frac{kgf}{cm^2} \cdot \frac{1\ bar}{1,02 \frac{kgf}{cm^2}} = 5,88\ bar \quad (21)$$

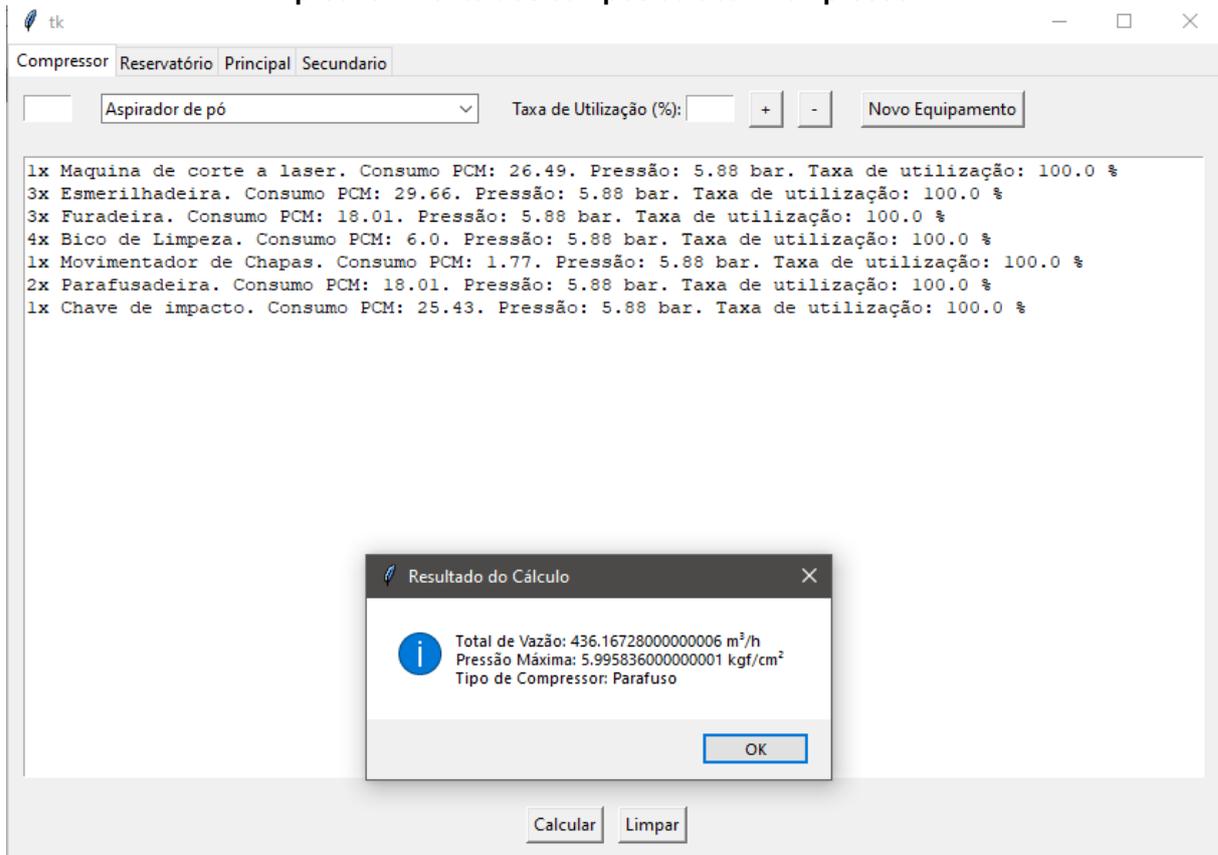
$$P_{movimentador\ de\ chapas} = 6,00 \frac{kgf}{cm^2} \cdot \frac{1\ bar}{1,02 \frac{kgf}{cm^2}} = 5,88\ bar \quad (22)$$

$$P_{parafusadeira} = 6,00 \frac{kgf}{cm^2} \cdot \frac{1\ bar}{1,02 \frac{kgf}{cm^2}} = 5,88\ bar \quad (23)$$

$$P_{chave\ de\ impacto} = 6,00 \frac{kgf}{cm^2} \cdot \frac{1\ bar}{1,02 \frac{kgf}{cm^2}} = 5,88\ bar \quad (24)$$

Com estes resultados, torna-se possível o preenchimento dos campos. A Figura 33 demonstra os resultados obtidos.

**Figura 33 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Compressor”**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

O resultado arredondado para cima, de 436,20 m<sup>3</sup>/h, está em conformidade com os valores obtidos pelo autor citado anteriormente nesta subseção, antes do acréscimo de 40% referente a futuras ampliações. Em relação à pressão, obteve-se o valor de 5.99 kgf/cm<sup>2</sup>. Em comparação, Maldaner (2016) obteve a mesma pressão, entretanto o autor adota em seu trabalho uma pressão de 10 kgf/cm<sup>2</sup> para que o ar atinja os pontos de alimentação com a pressão especificada, considerando as perdas de carga durante a distribuição.

Quanto ao tipo de compressor, observa-se que a sugestão oferecida pelo software, de acordo com os critérios da seção 4.1.6, é o compressor do tipo parafuso. No estudo de Maldaner (2016), foram identificadas duas opções possíveis: compressores do tipo pistão e parafuso, com a escolha final sendo o compressor de parafuso.

Para o dimensionamento da tubulação principal, os dados relacionados à vazão, pressão, comprimento da tubulação e queda de pressão admitida utilizados pelo autor estão apresentados no Quadro 10.

**Quadro 10 - Dados da rede de distribuição da metalúrgica**

<b>Dados da rede de distribuição</b>		
Comprimento de tubulação linear (cada linha)	83,00	m
Queda de pressão admitida	0,30	kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão do regime	10,00	kgf/cm <sup>2</sup>
Vazão de ar + 40%	611,00	m <sup>3</sup> /h

Fonte: Adaptado de Maldaner (2016)

Já o Quadro 11 disponibiliza as singularidades, assim como suas respectivas quantidades e comprimentos totais equivalentes:

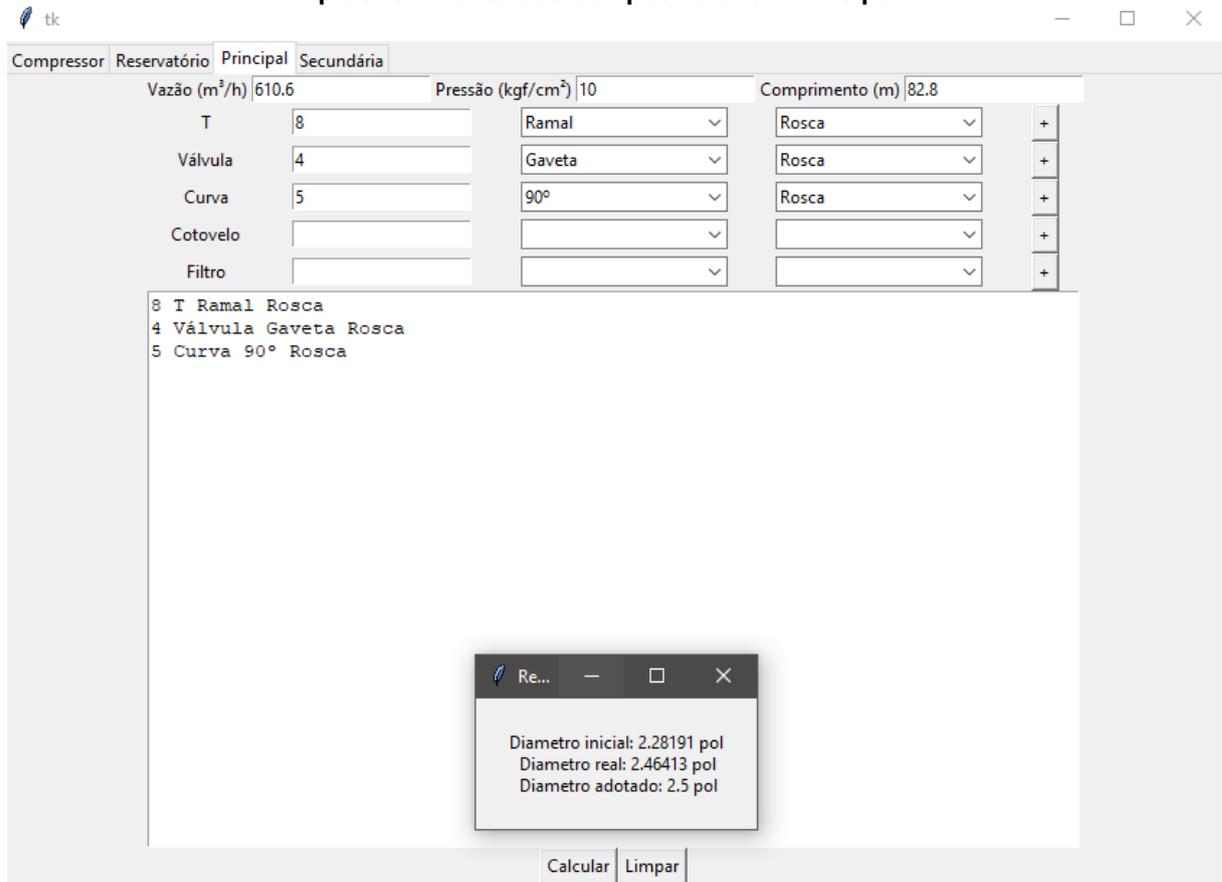
**Quadro 11 - Singularidades presentes na linha principal da metalúrgica**

<b>Quantidade</b>	<b>Singularidade</b>	<b>Tipo</b>	<b>Conexão</b>
5	Curva	90°	Roscada
8	"T"	Ramal	Roscado
4	Válvula	Gaveta	Roscada

Fonte: Adaptado de Maldaner (2016)

A partir dos dados apresentados nos Quadros 10 e 11, é possível determinar o diâmetro da linha principal de ar comprimido. Preenchendo os campos da interface gráfica, foi obtido o resultado que pode ser observado na Figura 34.

**Figura 34 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba "Principal"**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

O diâmetro adotado de 2,5 polegadas está de acordo com os resultados obtidos pelo autor em seu trabalho.

Para determinar o diâmetro da linha de alimentação de ar comprimido, considerando 7 linhas secundárias de comprimento de 3 metros, Maldaner (2016) utilizou os dados da rede de distribuição que estão disponibilizados no Quadro 4 e as singularidades presentes na linha secundária que estão disponibilizadas no Quadro 12:

**Quadro 12 - Singularidades presentes na linha secundária da metalúrgica**

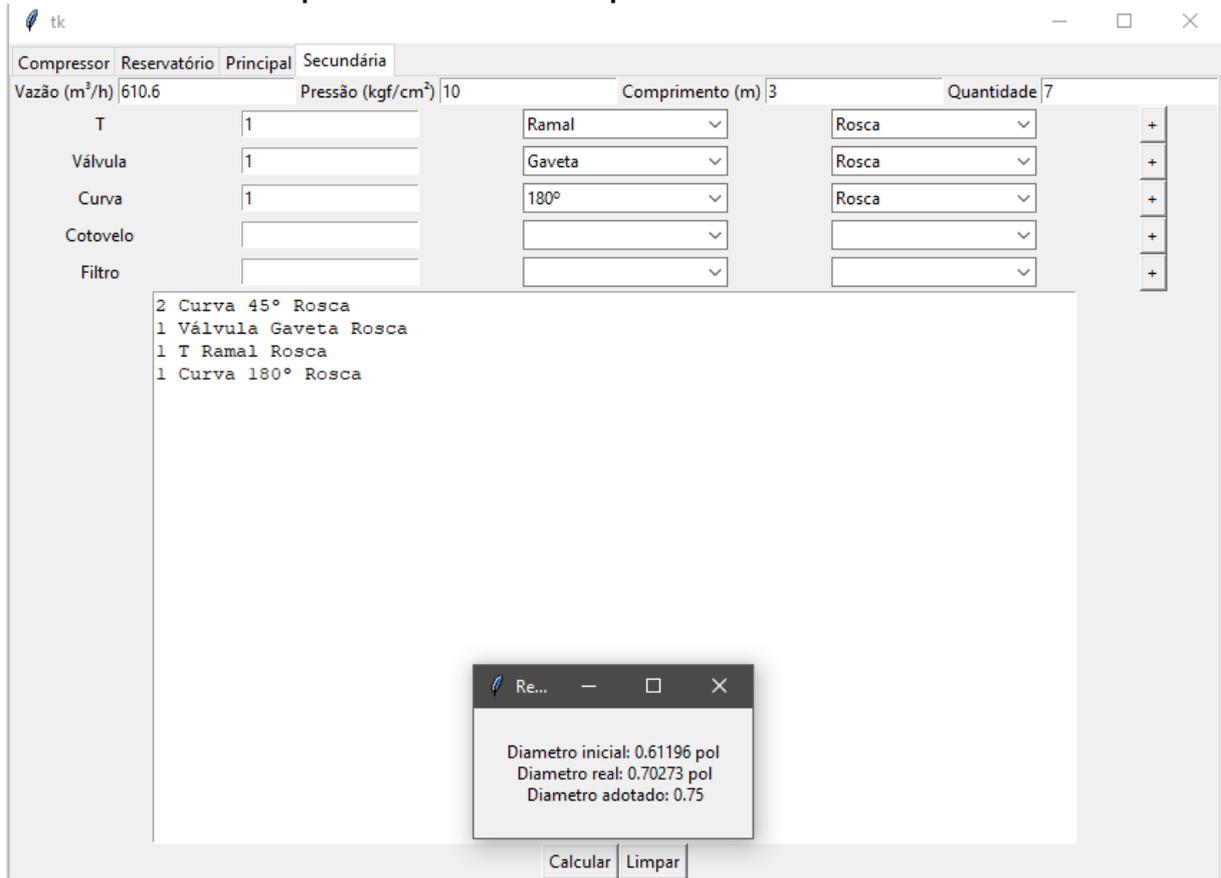
Quantidade	Singularidade	Tipo	Conexão
2	Curva	45°	Roscada
1	Curva	180°	Roscada
1	"T"	Ramal	Roscado
1	Válvula	Gaveta	Roscada

**Fonte: Adaptado de Maldaner (2016)**

A partir dos dados apresentados nos Quadros 10 e 12, e considerando o número de linhas secundárias e seus respectivos comprimentos, é possível

determinar o diâmetro da linha secundária de ar comprimido. A Figura 35 demonstra os resultados obtidos após o preenchimento dos dados em seus respectivos campos e a execução do software.

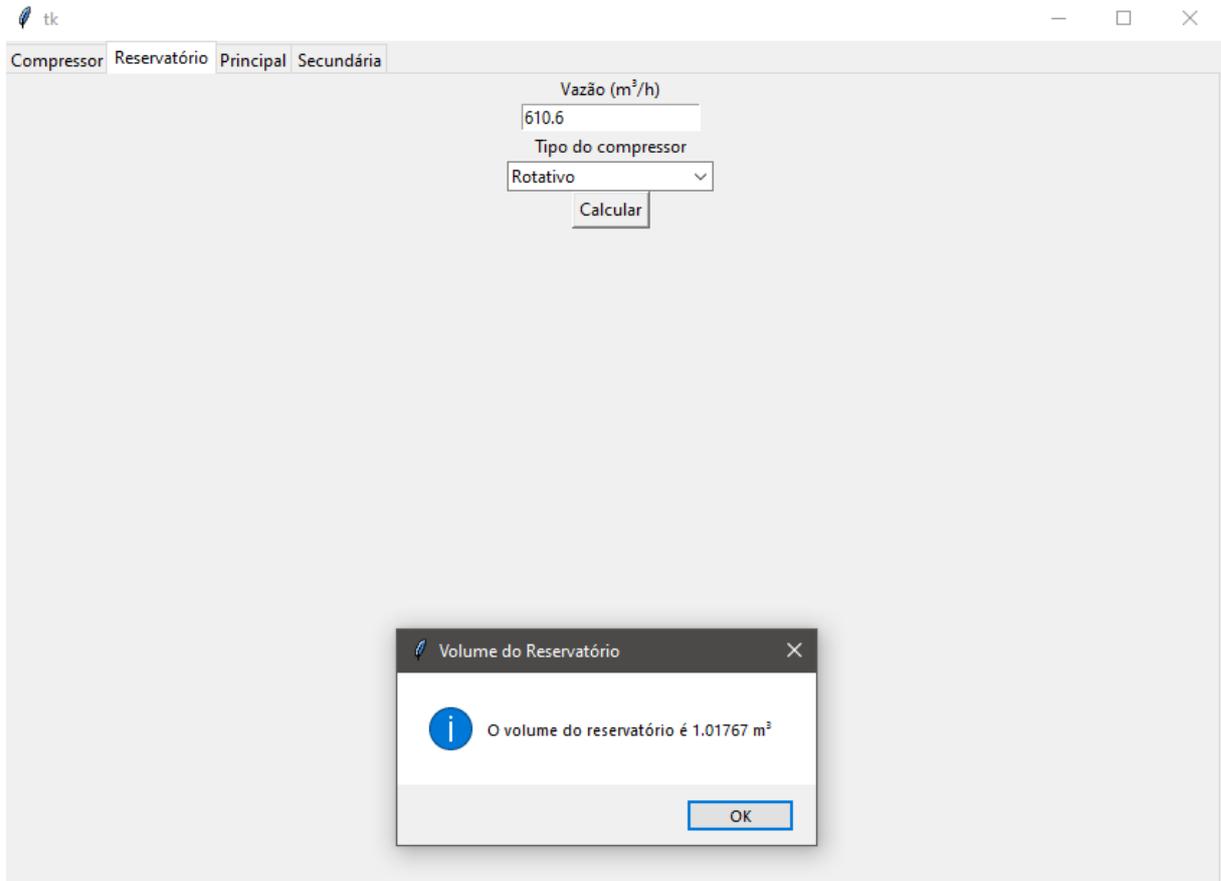
**Figura 35 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Secundária”**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

O diâmetro adotado de 3/4 de polegada está de acordo com os resultados obtidos pelo autor em seu trabalho. Por fim, quanto ao reservatório, considerando o compressor de pistão e a vazão de 610,6 m<sup>3</sup>/h, obteve-se o resultado ilustrado na Figura 36.

**Figura 36 - Captura de tela do Software com mensagem de resultado obtido após o preenchimento dos campos da aba “Reservatório”**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

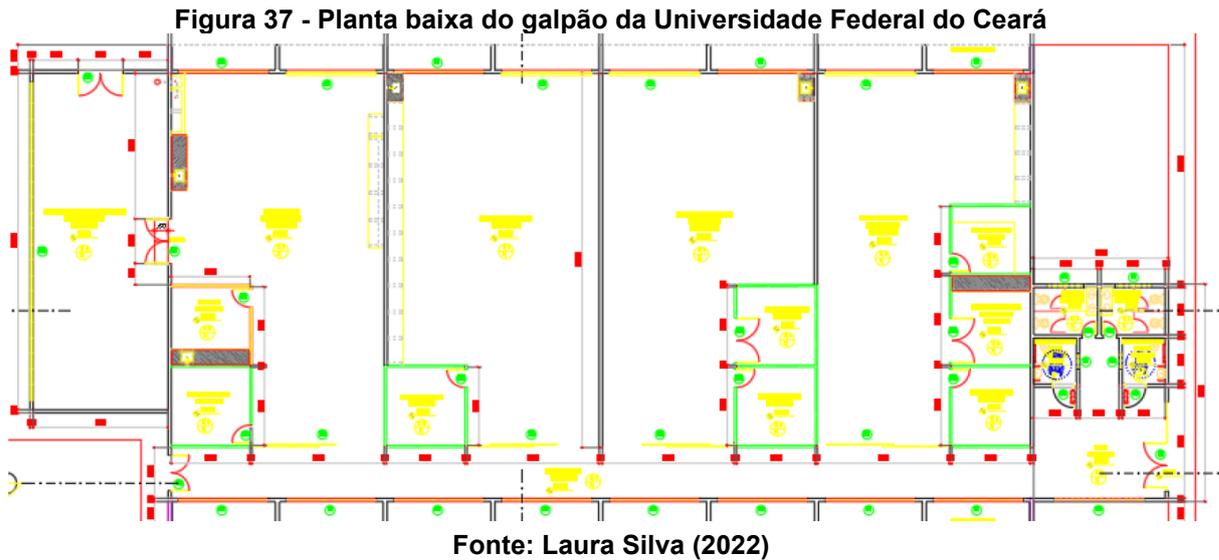
O volume de  $1.01767 \text{ m}^3$  está de acordo com os resultados obtidos pelo autor em seu trabalho.

### **6.5 Comparação de resultados obtidos com o trabalho de Laura Silva (2022)**

O trabalho de Laura Silva (2022) tem como objetivo o dimensionamento e a seleção de uma rede de ar comprimido para o galpão de engenharia da Universidade Federal do Ceará - Campus Russas. O galpão é composto por quatro unidades de engenharia: os laboratórios de ensaios mecânicos, fundição e soldagem, usinagem e materiais de construção. Há ainda previsão de instalação futura de novas máquinas, especificadas em conjunto com o técnico de laboratório mecânico, sendo a quantidade e localização determinadas de acordo com o espaço disponível e as necessidades. A autora ainda estima um aumento de 60% para pontos de consumo que não foram especificados.

Laura Silva (2022) destaca que, ao visitar o galpão, obteve a planta baixa com todas as dimensões. Considerando a tubulação desde a saída do compressor até

todos os pontos de consumo, o comprimento retilíneo totaliza 167,06 m, incluindo seis curvas de 90°, sete têes de fluxo em linha e uma válvula de registro. Para a linha de distribuição secundária, há 11 pontos de alimentação de 4,25 m cada, com 11 curvas de 180°, 11 têes de fluxo em ramal, 11 registros e 11 dispositivos de tratamento lubrefil. A Figura 37 ilustra a planta baixa do galpão.



Para determinar o consumo de ar, Laura Silva (2022) identificou os equipamentos que compõem o Quadro de instalações atuais e os de instalações futuras, considerando ainda um aumento de 60% para equipamentos não especificados. O consumo de ar comprimido final, calculado pela autora, foi de 109,63 m<sup>3</sup>/h. Todos os dados apresentados são compilados em tabelas, com os consumos de ar dos equipamentos existentes, das futuras instalações, da rede de distribuição e das singularidades das linhas principal e secundária, conforme os Quadros 13, 14, 15, 16 e 17, respectivamente.

**Quadro 13 - Consumo de ar dos equipamentos existentes**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Consumo (L/min)</b>	<b>Total (L/min)</b>
Máquina de ensaio universal	1x Cilindro 01	2,46	4,92
	1x Cilindro 02	2,46	
Retífica de corpos de prova	1x Cilindro 01	13,74	19,24
	1x Cilindro 02	5,50	

Fonte: Adaptado de Laura Silva (2022)

**Quadro 14 - Consumo de ar dos equipamentos a serem instalados futuramente**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Consumo (L/min)</b>	<b>Total (L/min)</b>
Torno CNC	1	150,00	150,00
Fresadora CNC	1	150,00	150,00
Centro de usinagem	1	100,00	100,00
Bancada de automação pneumática	2x Cilindro simples ação	8,58	283,38
	2x Cilindro de dupla ação	274,80	
Garra Pneumática	2	17,32	34,64
Bico de Limpeza	4	100,00	400,00

Fonte: Adaptado de Laura Silva (2022)

**Quadro 15 - Dados da rede de distribuição do galpão**

<b>Dados da rede de distribuição</b>		
Comprimento de tubulação linear (cada linha)	167,06	m
Queda de pressão admitida	0,30	kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão do regime	9,00	kgf/cm <sup>2</sup>
Vazão de ar + 40%	109,63	m <sup>3</sup> /h

Fonte: Adaptado de Silva (2022)

**Quadro 16 - Singularidades presentes na linha principal do galpão**

Quantidade	Singularidade	Tipo	Conexão
6	Curva	90°	Roscada
7	“T”	Linha	Roscado
1	Válvula	Gaveta	Roscada

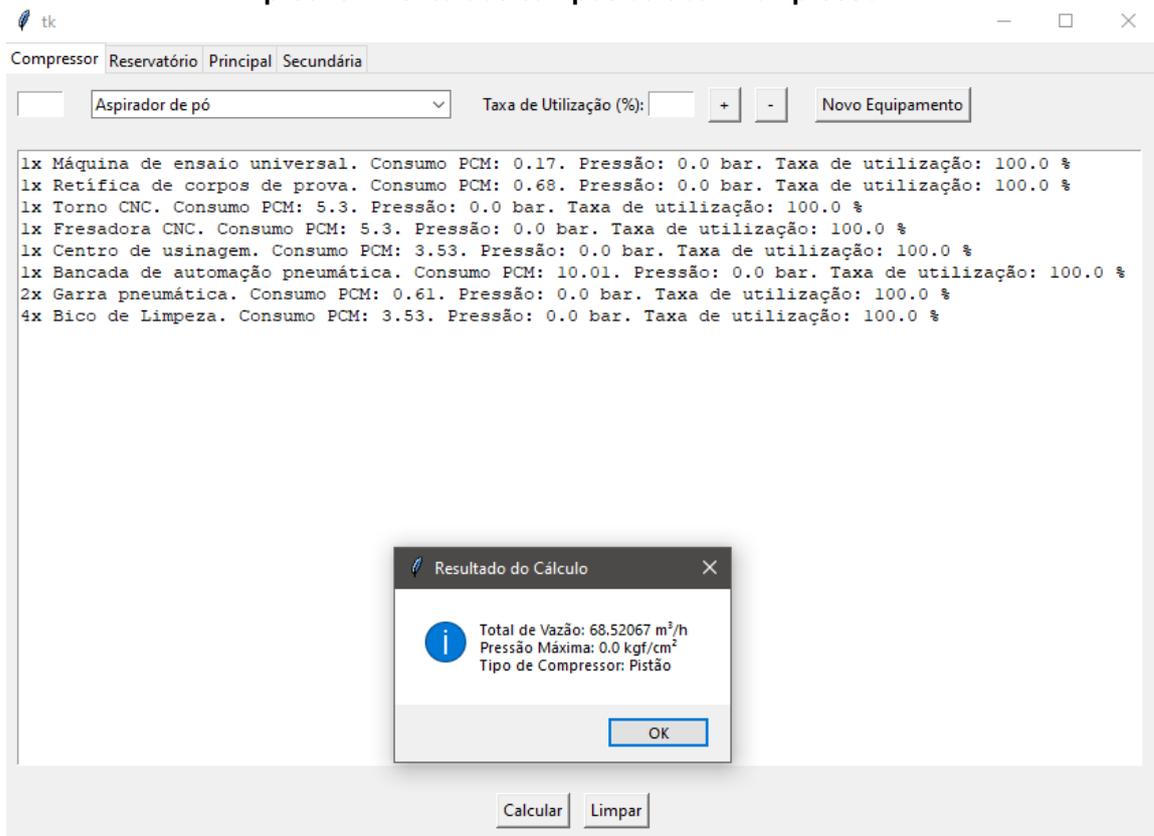
Fonte: Adaptado de Laura Silva (2022)

**Quadro 17 - Singularidades presentes na linha secundária do galpão**

Quantidade	Singularidade	Tipo	Conexão
11	Curva	180°	Roscada
11	“T”	Ramal	Roscada
11	Válvula	Gaveta	Roscada

Fonte: Adaptado de Laura Silva (2022)

Após converter as vazões dos Quadros 13 e 14 para PCM, foi possível determinar a vazão necessária para o compressor, conforme ilustrado na Figura 38.

**Figura 38 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Compressor”**

Fonte: Autoria própria (2024)

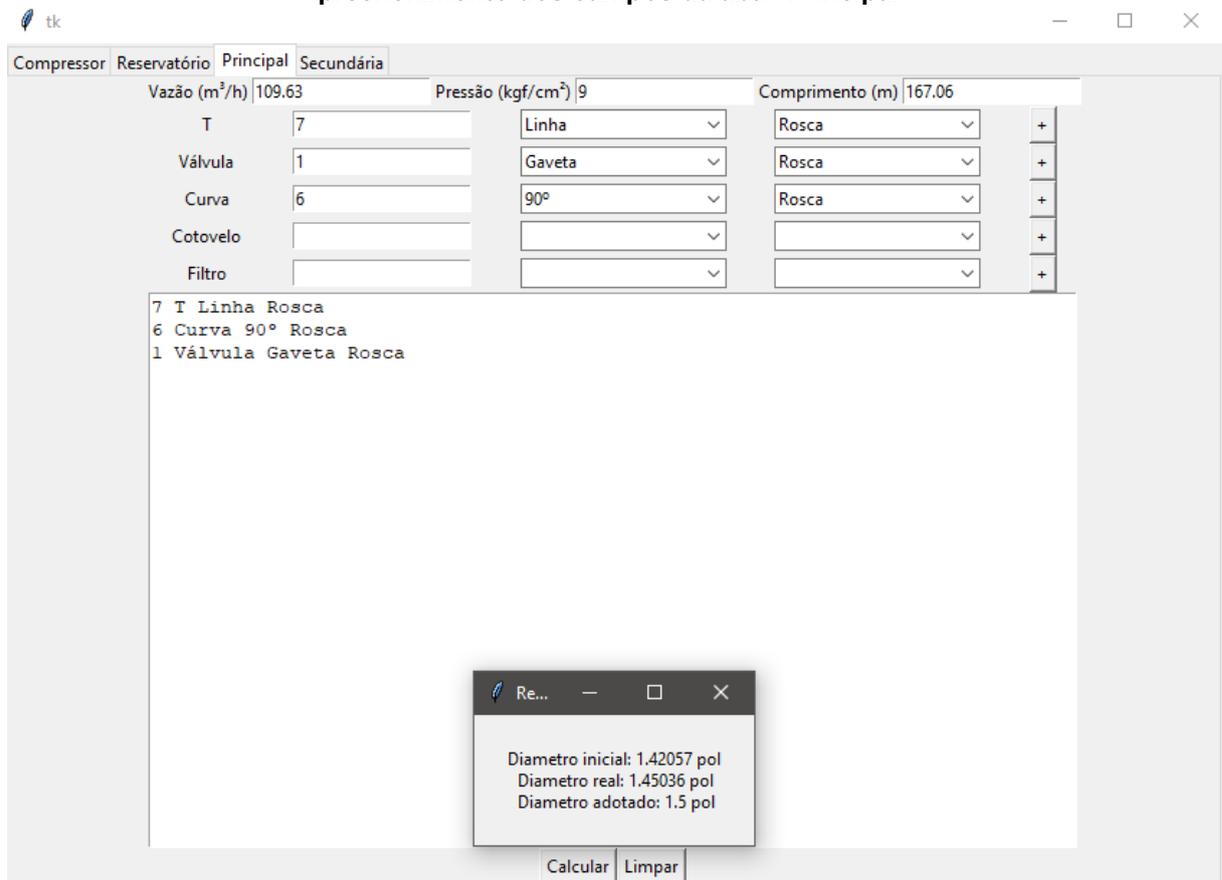
Considerando o acréscimo de 60%, como demonstrado pela Equação 25, o consumo de ar comprimido necessário equivale a 109,63 m<sup>3</sup>/h, condizente com o resultado obtido pela autora.

$$Q_{ar,pcm} = 68,52 + (0,6 * 68,52) = 109,63 \frac{m^3}{h} \quad (25)$$

Quanto ao tipo de compressor, a autora obteve dois tipos possíveis: pistão e parafuso, optando pelo tipo pistão em função do menor custo. O software sugere apenas o compressor tipo pistão.

A fim de se determinar o diâmetro principal, foram preenchidos os campos da interface gráfica com os dados apresentados nos Quadros 15 e 16, obteve-se o resultado mostrado na Figura 39, cujo diâmetro adotado de 1,5 polegadas é condizente com os resultados obtidos pelo autor em seu trabalho.

**Figura 39 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba "Principal"**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

Para determinar o diâmetro da linha de alimentação de ar comprimido, considerando 11 linhas secundárias de comprimento de 4,25 metros, utilizou-se os dados do Quadro 17. Preenchendo os campos corretamente, obteve-se o resultado que pode ser observado através da Figura 40, cujo diâmetro adotado de 1/2 polegada não está condizente com o resultado obtido pela autora, de 3/8 polegada.

Convertendo o diâmetro real de 0,4217pol para milímetros, conforme a Equação 26, obtém-se 10,71mm, equivalente ao valor obtido pela autora.

**Figura 40 - Captura de tela do software com mensagem de resultados obtidos após o preenchimento dos campos da aba “Secundária”**

The screenshot shows a software window titled 'tk' with a tabbed interface. The 'Secundária' tab is active, displaying a table of components. The table has columns for 'Vazão (m³/h)', 'Pressão (kgf/cm²)', 'Comprimento (m)', and 'Quantidade'. The values are: Vazão 109.63, Pressão 9, Comprimento 4.25, and Quantidade 11. The table lists components: T, Válvula, Curva, Cotovelo, and Filtro. Each component has a quantity of 11 and is associated with specific configurations: T (Ramal, Rosca), Válvula (Gaveta, Rosca), Curva (180°, Rosca), Cotovelo, and Filtro. A dialog box titled 'R...' is open, displaying the following text: 'Diâmetro inicial: 0.2807 pol', 'Diâmetro real: 0.4217 pol', and 'Diâmetro adotado: 0.5'. Below the dialog box are buttons for 'Calcular' and 'Limpar'.

Componente	Quantidade	Configuração 1	Configuração 2
T	11	Ramal	Rosca
Válvula	11	Gaveta	Rosca
Curva	11	180°	Rosca
Cotovelo			
Filtro			

11 T Ramal Rosca  
11 Válvula Gaveta Rosca  
11 Curva 180° Rosca

Diâmetro inicial: 0.2807 pol  
Diâmetro real: 0.4217 pol  
Diâmetro adotado: 0.5

Calcular Limpar

**Fonte: Autoria própria (2024)**

Portanto, percebe-se que essa diferença se dá pelo fato de que a autora optou por escolher o diâmetro interno comercial superior mais próximo, enquanto que o software adota o diâmetro comercial mais próximo do diâmetro real calculado, mesmo que ele seja um valor inferior.

## 6.6 Resultados compilados

Para fins de comparação, os Quadros 18, 19, 20 e 21 compilam os resultados obtidos por Bortolin (2014), Maldaner (2016) e Laura Silva (2022), juntamente com os resultados obtidos por meio do software.

**Quadro 18 - Quadro comparativo entre resultados obtidos em relação ao compressor pelos autores e pelo software**

Descrição	Vazão do compressor (m <sup>3</sup> /h) - Autor	Vazão do compressor (m <sup>3</sup> /h) - Software	Pressão do compressor (kgf/cm <sup>2</sup> ) - Autor	Pressão do compressor (kgf/cm <sup>2</sup> ) - Software	Tipo do compressor - Autor	Tipo do compressor - Software
Exemplo 01 - Fialho (2011)	-	-	-	-	-	-
Exemplo 02 - Fialho (2011)	-	-	-	-	-	-
Maldaner (2016)	225,00	225,00	10,00	6,00	Embolo ou pistão	Pistão ou parafuso
Bortolin (2014)	436,20	436,2	10,00	6,00	Pistão ou parafuso	Parafuso
Laura Silva (2022)	109,63	109,63	-	-	Pistão e parafuso	Pistão

Fonte: Autoria própria (2024)

**Quadro 19 - Quadro comparativo entre resultados obtidos em relação a tubulação principal pelos autores e pelo software**

Descrição	Diâmetro da tubulação principal (pol) - Autor	Diâmetro da tubulação principal (pol) - Software
Exemplo 01 - Fialho (2011)	3	3
Exemplo 02 - Fialho (2011)	-	-
Maldaner (2016)	2	2
Bortolin (2014)	2.1/2	2.1/2
Laura Silva (2022)	1.1/2	1.1/2

Fonte: Autoria própria (2024)

**Quadro 20 - Quadro comparativo entre os resultados obtidos em relação ao diâmetro da tubulação de alimentação/secundária pelos autores e pelo software**

Descrição	Diâmetro da tubulação secundária/Alimentação (pol) - Autor	Diâmetro da tubulação secundária/Alimentação (pol) - Software
Exemplo 01 - Fialho (2011)	-	-
Exemplo 02 - Fialho (2011)	3/4	3/4
Maldaner (2016)	1/2	1/2
Bortolin (2014)	3/4	3/4
Laura Silva (2022)	3/8	1/2

Fonte: Autoria própria (2024)

**Quadro 21 - Quadro comparativo entre resultados obtidos em relação ao reservatório pelos autores e pelo software**

<b>Descrição</b>	<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>) - Autor</b>	<b>Volume do reservatório - Software</b>
<b>Exemplo 01 - Fialho (2011)</b>	-	-
<b>Exemplo 02 - Fialho (2011)</b>	-	-
<b>Maldaner (2016)</b>	0,75	0,75
<b>Bortolin (2014)</b>	1,01	1,02
<b>Laura Silva (2022)</b>	-	-

**Fonte: Autoria própria (2024)**

## 7 CONCLUSÃO

No presente trabalho, desenvolveu-se a primeira versão de um software para seleção de compressores e dimensionamento de tubulações de ar comprimido, seguindo determinadas referências bibliográficas. Durante as comparações com os resultados obtidos por outros autores, ao se utilizar os mesmos dados, verificou-se uma boa precisão. Observou-se, também, a necessidade de adicionar novos campos, como o de aumento de consumo de ar previsto na classe “Compressor” e nas classes “Principal” e “Secundário”.

Além da precisão, destaca-se que a obtenção de resultados se torna significativamente mais rápida, eliminando a necessidade de cálculos manuais, o que é vantajoso para a indústria, pois permite ao usuário direcionar mais tempo a outras atividades.

É importante ressaltar que, embora o software apresente precisão e agilidade, recomenda-se que o usuário possua conhecimentos adicionais que o auxiliem na seleção e dimensionamento, permitindo análises específicas. Adicionalmente, é desejável que o usuário seja capaz de modelar em 3D os sistemas a serem dimensionados.

Para o futuro, vislumbra-se que, em parceria com empresas do setor, o software possa sugerir equipamentos correlatos, como compressores, reservatórios e até mesmo equipamentos pneumáticos similares. Além disso, espera-se integrar ao software novas metodologias para seleção de compressores e dimensionamento de tubulações de ar comprimido, proporcionando resultados ainda mais precisos ao usuário.

Por fim, melhorias como a inclusão de legendas para campos vazios nas classes “Principal” e “Secundário”, o tratamento de variáveis e erros, bem como aprimoramentos na interface, seriam bem-vindas, considerando que se trata de uma versão “beta”. Por fim, as Figuras 41, 42 e 43 sugerem as modificações de *layout* apresentadas nesta seção.

**Figura 41 - Melhoria proposta ao *layout* da classe "Compressor"**

The image shows a software interface for the 'Compressor' class. At the top, there is a dark header bar. Below it, a tabbed interface has three tabs: 'Compressor', 'Principal', 'Secundário', and 'Reservatório'. The 'Compressor' tab is active. The form contains the following elements:

- Three input fields: 'Qtd', 'Incremento de vazão (%)', and 'Taxa de utilização (%)'. The 'Taxa de utilização (%)' field has a small dropdown arrow on its right side.
- A 'Descrição' label followed by a text input field and a dropdown arrow.
- A button labeled 'Equipamento Customizado'.
- A large, empty rectangular area for data entry or display.
- At the bottom, three buttons: 'Remover ultima linha', 'Limpar', and 'Calcular'.

Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 42 - Melhoria proposta ao *layout* da classe "Principal"

Compressor				
Principal		Secundário		Reservatório
Vazão(m <sup>3</sup> /h)	<input type="text"/>	Pressão(kgf/cm <sup>2</sup> )	<input type="text"/>	Comprimento(m) <input type="text"/>
	Qtd	Tipo	Conexão	
T	<input type="text"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="button" value="+"/>
Válvula	<input type="text"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="button" value="+"/>
Curva	<input type="text"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="button" value="+"/>
Cotovelo	<input type="text"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="button" value="+"/>
Filtro	<input type="text"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="text" value="▼"/>	<input type="button" value="+"/>
<input type="button" value="Remover ultima linha"/>		<input type="button" value="Limpar"/>		<input type="button" value="Calcular"/>

Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 43 - Melhoria proposta ao *layout* da classe "Secundário"

Compressor	Principal	Secundário	Reservatório					
Vazão(m <sup>3</sup> /h)	<input type="text"/>	Pressão(kgf/cm <sup>2</sup> )	<input type="text"/>	Comprimento(m)	<input type="text"/>	Qtd	<input type="text"/>	
		Qtd	Tipo	Conexão				
T	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	+
Válvula	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	+
Curva	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	+
Cotovelo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	+
Filtro	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	+

Fonte: Autoria própria (2024)

## REFERÊNCIAS

AMORIM, Priscila Silva de. **Aplicação de Inteligência Artificial no Controle e Automação de Sistemas de Ar Comprimido com Foco na Eficiência Energética**. 2010. 85 f. Monografia (Pós-Graduação) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

ATLAS COPCO (Bélgica). **Compressed Air Manual**. 9. ed. Antuérpia: Atlas Copco Airpower Nv, 2015. 146 p. Disponível em: <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/compressor-technique-service/documents/Compressed-Air-Manual-9th-edition.pdf>. Acesso em: 04 set. 2023.

BORTOLIN, Eduardo. **Dimensionamento de Um Sistema de Ar Comprimido Para Uma Empresa de Pequeno Porte**. 2014. 45 p. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014. Disponível em: [https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng\\_Mecanica/2014/Eduardo\\_Bortolin.pdf](https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2014/Eduardo_Bortolin.pdf). Acesso em: 01 set. 2024.

BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido**. Campinas: Robert Bosch Limitada, 2008.

CEA TECHNOLOGIES INC. (CEATI). **Compressed air: energy efficiency reference guide**. Montréal, 2007. Disponível em: <https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/energy/pdf/energystar/compressed-air-ref-eng.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

ELLIOTT, B. **Compressed air operations manual**. McGraw-Hill Professional, 2006.

FIALHO, Arivelto B. **Automação Pneumática - Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 7th ed. Rio de Janeiro: Érica, 2011. E-book. p.4. ISBN 9788536505176. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536505176/>. Acesso em: 12 abr. 2023.

HAHN, A. **Eficiência energética industrial: compressores: guia avançado**. Eletrobrás/Procel. Dez. 2004.

MALDANER, Djonatan Eduardo. **Dimensionamento de Uma Rede de Ar Comprimido Industrial**. 2016. 47 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2016. Disponível em: [https://fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2016/Djonatan\\_Eduardo\\_Maldaner.pdf](https://fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2016/Djonatan_Eduardo_Maldaner.pdf). Acesso em: 01 set. 2024.

METALPLAN. **Manual de Ar Comprimido**. São Paulo: Metalplan, 2006

PARKER. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Jacareí: Parker Training, 2006.

SILVA, E. C. N. **Apostila de Pneumática**. São Paulo: Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da Poli (USP), 2002. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4203382/mod\\_resource/content/1/Apostila%20de%20pneuma%CC%81tica%20Poli.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4203382/mod_resource/content/1/Apostila%20de%20pneuma%CC%81tica%20Poli.pdf). Acesso em: 12 abr. 2023.

SILVA, Laura Fernanda Pereira da. **DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO PARA OS LABORATÓRIOS DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CAMPUS DE RUSSAS**. 2022. 87 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, Russas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/70878>. Acesso em: 01 set. 2024.

**APÊNDICE A - Norma ASTM A120 para tubos schedule 40, de aço e sem costura**

**Quadro 22 - Norma ASTM A 120 para tubos de aço sem costura Schedule 40**

Diâmetro			Espessura de parede			Peso teórico do tubo preto		Pressão de ensaio
Nominal	Externo	Interno				Pontas lisas	Com rosca e luvas	
in	in	mm	mm	in	mm	kg/m	kg/m	
1/4	0,540	13,7	9,2	0,088	2,24	0,63	0,66	50
3/8	0,675	17,2	12,6	0,091	2,31	0,85	0,88	50
1/2	0,840	21,3	15,8	0,109	2,77	1,27	1,29	50
3/4	1,050	26,7	21,0	0,113	2,87	1,68	1,72	50
1	1,315	33,4	26,1	0,133	3,38	2,5	2,56	50
1 1/4	1,660	42,2	35,1	0,140	3,46	3,38	3,45	70
1 1/2	1,900	48,3	40,9	0,145	3,68	4,05	4,18	70
2	2,375	60,3	52,5	1,154	3,91	5,43	5,6	70
2 1/2	2,875	73,0	62,7	0,203	5,16	8,62	8,76	70
3	3,500	88,9	77,9	0,216	5,49	11,28	11,6	70
3 1/2	4,000	101,6	90,1	0,226	5,74	13,56	14,11	85
4	5,500	114,3	102,3	0,237	6,02	16,06	16,81	85
5	5,563	141,3	128,2	0,258	6,55	21,76	22,67	85
6	6,625	168,3	154,1	0,280	7,11	28,23	29,59	85
8	8,625	219,1	202,7	0,322	8,18	42,49	44,66	90

Fonte: Fialho (2011)

**APÊNDICE B - Comprimento equivalente da perda de carga por singularidade**

**Quadro 23 - Perda de carga equivalente em metros para cotovelos comuns de 90°**

90° Cotovelo comum							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	1,10	1,34	1,58	2	2,25	2,6	2,8
FLAN.	0,30	0,37	0,50	0,62	0,73	0,95	1,10
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	3,4	3,7	4	-	-	-	-
FLAN.	1,3	1,55	1,8	2,2	2,7	3,7	4,3

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 24 - Perda de carga equivalente em metros para curvas de 90° no raio longo**

Curva de 90° raio longo							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	0,67	0,70	0,83	0,98	1	1,1	1,1
FLAN.	0,33	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	1,2	1,3	1,4	-	-	-	-
FLAN.	1,0	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 25 - Perda de carga equivalente em metros para curvas de 90° no raio longo**

Curva de 45°							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	0,21	0,28	0,39	0,52	0,64	0,83	0,97
FLAN.	0,14	0,18	0,25	0,34	0,40	0,52	0,61
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	1,2	1,45	1,7	-	-	-	-
FLAN.	0,3	0,95	1,1	1,4	1,7	2,3	2,7

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 26 - Perda de carga equivalente em metros para curva de 180° no raio longo**

Curva 180° raio longo							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	1,10	1,30	1,60	2,0	2,3	2,6	2,8
FLAN.	0,34	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	3,4	3,7	4,0	-	-	-	-
FLAN.	1,00	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 27 - Perda de carga equivalente em metros para tê com fluxo em linha**

Tê fluxo em linha							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	0,52	0,73	0,99	1,4	1,7	2,3	2,8
FLAN.	0,21	0,25	0,30	0,40	0,45	0,55	0,58
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	3,7	4,45	5,2	-	-	-	-
FLAN.	0,67	0,74	0,85	1	1,2	1,4	1,6

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 28 - Perda de carga equivalente em metros para tê com fluxo pelo ramal**

Tê fluxo pelo ramal							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	1,30	1,60	2,00	2,7	3,0	3,7	3,9
FLAN.	0,61	0,80	1,00	1,30	1,60	2,00	2,30
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	5,2	5,8	6,4	-	-	-	-
FLAN.	2,90	3,3	3,7	4,6	5,5	7,3	9,1

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 29 - Perda de carga equivalente em metros para válvula gaveta**

Válvula gaveta							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	0,17	0,20	0,25	0,34	0,37	0,46	0,52
FLAN.	-	-	-	-	-	0,8	0,83
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	0,58	0,67	0,8	-	-	-	-
FLAN.	0,85	0,86	0,88	0,95	0,98	0,98	0,98

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 30 - Perda de carga equivalente em metros para válvula globo**

Válvula globo							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	6,70	7,30	8,80	11,30	12,80	16,50	18,90
FLAN.	11,60	12,20	13,70	16,50	18,00	21,4	23,50
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	24,00	27,25	33,5	-	-	-	-
FLAN.	28,70	32,65	36,6	45,7	47,9	49,3	94,5

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 31 - Perda de carga equivalente em metros para válvula angular**

Válvula angular							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	4,60	4,60	5,20	5,50	5,50	5,55	5,55
FLAN.	4,60	4,60	5,20	5,50	5,50	6,4	6,70
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	5,55	5,55	5,55	-	-	-	-
FLAN.	8,50	10,05	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 32 - Perda de carga equivalente em metros para válvula de retenção em portinhola**

Válvula de retenção portinhola							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	2,4	2,7	3,4	4	4,6	5,8	6,7
FLAN.	1,2	1,6	2,2	3	3,7	5,2	6,4
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	8,2	9,7	11,6	-	-	-	-
FLAN.	8,3	9,6	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6

Fonte: Fialho (2011)

**Quadro 33 - Perda de carga equivalente em metros para válvula de retenção em portinhola**

União filtro Y							
Conexões	Diâmetro nominal (in)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
ROSQ.	0,07	0,07	0,08	0,11	4,60	5,80	6,70
FLAN.	1,50	2,00	2,30	5,50	8,10	8,3	8,80
	Diâmetro nominal (in)						
	3	3 1/2	4	5	6	8	10
ROSQ.	0,16	0,18	0,19	-	-	-	-
FLAN.	10,40	11,60	12,8	16,2	18,6	-	-

Fonte: Fialho (2011)

**APÊNDICE C - Especificações de operação de diversos equipamentos  
pneumático**

**Quadro 34 - Denominação, consumo e pressão de operação de diversos tipos de equipamentos**

Denominação	Consumo		Press. De Operação	
	pés <sup>3</sup> /min	l/min	bar	psi
Aspirador de pó	8	226	até 12,3	até 175
Bico limpeza	6	170	2,8	40
Calibrador de pneus eletrônico	2	57	6,38/8,3	90/120
Chapeador	7	198	6,3	90
Cortador circular (serra)	12	339	6,3	90
Descolador de pneus	18,5	524	4,9/8,3	70/120
Desmontador de pneus	8	226	9,8/12,3	140/175
Elevador hidropneumático 1,5 T	3,5	99	9,8/12,3	140/175
Elevador hidropneumático 4 T	6	170	9,8/12,3	140/175
Elevador hidropneumático 7 T	9,5	269	9,8/12,3	140/175
Elevador hidropneumático 10 T	12	340	9,8/12,3	140/175
Elevador hidropneumático 15 T	18,5	524	9,8/12,3	140/175
Equipamento odontológico sem sugador	1,8	51	4,9/7,0	70/100
Filtro manga	4	113	4,9/8,3	70/120
Furadeira reta 1/4"	9	255	6,3	90
Furadeira reta 5/16" a 1/2"	14	397	6,3	90
Furadeira tipo pistola 1/4"	9	255	6,3	90
Furadeira tipo pistola 5/16" a 1/2"	14	397	6,3	90
Esmerilhadeira reta 30000 giros	12,5	354	6,3	90
Esmerilhadeira reta 22000 giros	16,5	467	6,3	90
Esmerilhadeira reta 14000 giros	21	595	6,3	90
Lixadeira angular 20000 giros	7	198	6,3	90
Lixadeira angular 12000 giros	21	595	6,3	90
Lixadeira angular 8000 giros	30	850	6,3	90
Lixadeira angular 6000 giros	25	708	6,3	90
Lixadeira orbital (treme-treme)	21	595	6,3	90
Parafusadeira de impacto 3/8"	9,1	258	6,3	90
Graxeira 1 bico	6	170	5,6/7,0	80/100
Graxeira 2 bicos	12	340	5,6/7,0	80/100
Guincho	3	85	6,3/12,3	90/175
Micromotor odontológico	2,1	60	2,4	35
Parafusadeira de impacto 5/8"	15	425	6,3	90
Parafusadeira de impacto 3/4"	17	481	6,3	90
Pistola pintura baixa pressão	2	57	2,8/4,9	40/70
Pistola pintura média pressão	4	114	3,5/5,6	50/80
Pistola pintura alta pressão	8	226	4,9/7,0	70/100
Pistola pintura com tanque de pressão	9,5	269	4,9/7,0	70/100
Pistola tipo AD	2	57	2,8	40

Pistola pulverização	3	85	6,3/8,3	90/120
Politriz 7" 2000 giros	13,3	376	6,3	90
Raspadeira para carne	16,5	466	6,3	90
Rebarbador reto 1600 impactos	6,7	190	6,3	90
Rebarbador reto 5000 impactos	6,7	190	6,3	90
Rebarbador tipo pistola 800 impactos	9	255	6,3	90
Socador - 1600 impactos	9	255	6,3	90
Socador - 800 impactos	25	708	6,3	90
Sugador odontológico	1,5	43	4,9/7,0	70/100
Teste de freios	3,5	99	4,9/7,0	70/100
Teste de radiadores	2	57	4,9/7,0	70/100
Tupia (madeira) 12000 giros	21	595	6,3	90
Tupia (madeira) 17000 giros	16,5	466	6,3	90
Vibrador p/ concreto/fundição 2600 giros	17,5	496	6,3	90
Vibrador p/ concreto/fundição 6000 giros	10,5	297	6,3	90

Fonte: Parker (2006)

**ANEXO A - Script**

```
import tkinter as tk
from tkinter import ttk
from classes.compressor import Compressor
from classes.reservatorio import Reservatorio
from classes.principal import Principal
from classes.secundaria import Secundaria

def main():
    root = tk.Tk()

    notebook = ttk.Notebook(root)

    tab1 = ttk.Frame(notebook)
    notebook.add(tab1, text='Compressor')

    tab2 = ttk.Frame(notebook)
    notebook.add(tab2, text='Reservatório')

    tab3 = ttk.Frame(notebook)
    notebook.add(tab3, text='Principal')

    tab4 = ttk.Frame(notebook)
    notebook.add(tab4, text='Secundária')

    notebook.pack(expand=True, fill='both')

    app1 = Compressor(tab1)

    app2 = Reservatorio(tab2)

    app3 = Principal(tab3)

    app4 = Secundaria(tab4)

    root.mainloop()

if __name__ == "__main__":
    main()
```

## **ANEXO B - Classe "Compressor"**

```
import tkinter as tk
from tkinter import ttk, messagebox
```

```
class Compressor:
```

```
    def __init__(self, root):
```

```
        self.root = root
```

```
        self.equipamentos = {
```

```
            "Aspirador de pó": {"consumo_pcm": 6.0, "pressao_bar": 12.3},
```

```
            "Bico limpeza": {"consumo_pcm": 6.0, "pressao_bar": 2.8},
```

```
            "Calibrador de pneus eletrônico": {"consumo_pcm": 2.0, "pressao_bar": 6.8},
```

```
            "Chapeador": {"consumo_pcm": 7.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Cortador circular (serra)": {"consumo_pcm": 12.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Destocador de pneus": {"consumo_pcm": 8.0, "pressao_bar": 12.3},
```

```
            "Desmontador de pneus": {"consumo_pcm": 8.0, "pressao_bar": 8.1},
```

```
            "Elevador hidropneumático 1.5T": {"consumo_pcm": 12.5, "pressao_bar":
```

```
9.0},
```

```
            "Elevador hidropneumático 4.0T": {"consumo_pcm": 18.5, "pressao_bar":
```

```
9.8},
```

```
            "Elevador hidropneumático 7.0T": {"consumo_pcm": 18.5, "pressao_bar":
```

```
8.3},
```

```
            "Elevador hidropneumático 10.0T": {"consumo_pcm": 18.5, "pressao_bar":
```

```
8.8},
```

```
            "Elevador hidropneumático 15.0T": {"consumo_pcm": 18.5, "pressao_bar":
```

```
9.0},
```

```
            "Equipamento odontológico sem sugador": {"consumo_pcm": 1.8,
```

```
"pressao_bar": 5.5},
```

```
            "Filtro magna": {"consumo_pcm": 4.0, "pressao_bar": 4.9},
```

```
            "Furadeira reta 1/4\":" {"consumo_pcm": 9.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Furadeira reta 5/16\ a 1/2\":" {"consumo_pcm": 19.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Furadeira tipo pistola 1/4\":" {"consumo_pcm": 9.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Furadeira tipo pistola 5/16\ a 1/2\":" {"consumo_pcm": 15.0, "pressao_bar":
```

```
6.3},
```

```
            "Esmerilhadeira reta 30000 giros": {"consumo_pcm": 16.0, "pressao_bar":
```

```
6.3},
```

```
            "Esmerilhadeira reta 22000 giros": {"consumo_pcm": 16.5, "pressao_bar":
```

```
6.3},
```

```
            "Esmerilhadeira reta 14000 giros": {"consumo_pcm": 16.0, "pressao_bar":
```

```
6.3},
```

```
            "Lixadeira angular 20000 giros": {"consumo_pcm": 7.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Lixadeira angular 12000 giros": {"consumo_pcm": 21.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Lixadeira angular 8000 giros": {"consumo_pcm": 25.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Lixadeira orbital (treme-treme)": {"consumo_pcm": 8.5, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Parafusadeira de impacto 3/8\":" {"consumo_pcm": 12.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Graveta 1 bloco": {"consumo_pcm": 7.0, "pressao_bar": 5.8},
```

```
            "Graveta 2 blocos": {"consumo_pcm": 7.0, "pressao_bar": 5.8},
```

```
            "Guilhotina": {"consumo_pcm": 6.0, "pressao_bar": 7.0},
```

```
            "Micromotor odontológico": {"consumo_pcm": 2.5, "pressao_bar": 5.5},
```

```
            "Parafusadeira tipo pistola 5/8\":" {"consumo_pcm": 21.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```
            "Parafusadeira de impacto 3/4\":" {"consumo_pcm": 17.0, "pressao_bar": 6.3},
```

```

        "Pistola pintura baixa pressão": {"consumo_pcm": 12.0, "pressao_bar": 3.5},
        "Pistola pintura média pressão": {"consumo_pcm": 12.0, "pressao_bar": 5.2},
        "Pistola pintura alta pressão": {"consumo_pcm": 12.0, "pressao_bar": 6.3},
        "Pistola pintura com tanque de pressão": {"consumo_pcm": 12.0,
"pressao_bar": 6.3},
        "Pistola tipo AZ3": {"consumo_pcm": 13.5, "pressao_bar": 3.5},
        "Pistola pulverizadora": {"consumo_pcm": 3.0, "pressao_bar": 4.2},
        "Politriz 7\" 2000 giros": {"consumo_pcm": 7.0, "pressao_bar": 6.3},
        "Raspadeira para carne": {"consumo_pcm": 6.0, "pressao_bar": 4.2},
        "Rebitadeira de impacto": {"consumo_pcm": 4.0, "pressao_bar": 6.3},
        "Rebitadeira tipo pistola 800 Impactos": {"consumo_pcm": 5.0, "pressao_bar":
6.3},
        "Rebitadeira tipo pistola 1800 Impactos": {"consumo_pcm": 10.0,
"pressao_bar": 6.3},
        "Sugador odontológico": {"consumo_pcm": 10.0, "pressao_bar": 3.5},
        "Socador - 1800 Impactos": {"consumo_pcm": 8.0, "pressao_bar": 6.3},
        "Socador - 800 Impactos": {"consumo_pcm": 8.0, "pressao_bar": 6.3},
        "Tupia (metal) 12000 giros": {"consumo_pcm": 15.0, "pressao_bar": 6.3},
        "Tupia (madeira) 17000 giros": {"consumo_pcm": 16.5, "pressao_bar": 6.3},
        "Vibrador p/ concreto/fundação 3500 giros": {"consumo_pcm": 21.0,
"pressao_bar": 6.3},
        "Vibrador p/ concreto/fundação 2600 giros": {"consumo_pcm": 17.5,
"pressao_bar": 6.3},
        "Vibrador p/ concreto/fundação 1600 giros": {"consumo_pcm": 10.5,
"pressao_bar": 6.3}
    }

    self.equipamentos_personalizados = {}

    self.selected equipments = []

    self.create_widgets()

    def create_widgets(self):
        self.top_frame = tk.Frame(self.root)
        self.top_frame.pack(pady=10, padx=10, fill=tk.X)

        self.quantity_entry = tk.Entry(self.top_frame, width=5)
        self.quantity_entry.grid(row=0, column=0, padx=(0, 10))

        self.equipment_combobox = ttk.Combobox(self.top_frame, width=40,
state="readonly")
        self.equipment_combobox.grid(row=0, column=1, padx=(10, 10))

        tk.Label(self.top_frame, text="Taxa de Utilização (%):").grid(row=0, column=5,
padx=(10, 0))
        self.utilization_entry = tk.Entry(self.top_frame, width=5)
        self.utilization_entry.grid(row=0, column=6, padx=(0, 10))

```

```

self.add_button = tk.Button(self.top_frame, text="+", width=2,
command=self.add_equipment)
self.add_button.grid(row=0, column=7, padx=(0, 10))

self.remove_button = tk.Button(self.top_frame, text="-", width=2,
command=self.remove_equipment)
self.remove_button.grid(row=0, column=8, padx=(0, 10))

self.add_custom_button = tk.Button(self.top_frame, text="Novo Equipamento",
command=self.add_custom_equipment_window)
self.add_custom_button.grid(row=0, column=9, padx=(10, 0))

self.update_combobox()

self.middle_frame = tk.Frame(self.root)
self.middle_frame.pack(pady=10, padx=10, fill=tk.BOTH, expand=True)

self.selected_text = tk.Text(self.middle_frame, height=10, width=60)
self.selected_text.pack(fill=tk.BOTH, expand=True)

self.bottom_frame = tk.Frame(self.root)
self.bottom_frame.pack(pady=10)

self.calculate_button = tk.Button(self.bottom_frame, text="Calcular",
command=self.calculate)
self.calculate_button.grid(row=0, column=0, padx=(0, 10))

self.clear_button = tk.Button(self.bottom_frame, text="Limpar",
command=self.clear)
self.clear_button.grid(row=0, column=1, padx=(0, 10))

def update_combobox(self):
    equipamentos_list = list(self.equipamentos.keys())
    self.equipment_combobox['values'] = equipamentos_list
    if equipamentos_list:
        self.equipment_combobox.current(0)

def add_equipment(self):
    try:
        quantity = int(self.quantity_entry.get())
        equipment_name = self.equipment_combobox.get()
        utilization = float(self.utilization_entry.get())
        if equipment_name and 0 <= utilization <= 100:
            for _ in range(quantity):
                self.selected equipments.append((equipment_name, utilization))
                self.utilization_entry.delete(0, tk.END)
            else:
                messagebox.showerror("Erro", "Por favor, insira uma taxa de utilização
válida (entre 0 e 100).")
    except ValueError:

```

```
messagebox.showerror("Erro", "Por favor, insira um número válido para a
quantidade e/ou taxa de utilização.")
```

```
self.update_text_box()
self.quantity_entry.delete(0, tk.END)
self.equipment_combobox.current(0)
```

```
def remove_equipment(self):
    if self.selected equipments:
        self.selected equipments.pop()
```

```
self.update_text_box()
```

```
def update_text_box(self):
    self.selected_text.delete('1.0', tk.END)
```

```
equipment_counts = {}
for equipment, utilization in self.selected equipments:
    if equipment not in equipment_counts:
        equipment_counts[equipment] = {"count": 0, "utilization": utilization}
    equipment_counts[equipment]["count"] += 1
```

```
for equipment, info in equipment_counts.items():
    if equipment in self.equipamentos:
        consumption_pcm = self.equipamentos[equipment]["consumo_pcm"]
        pressure_bar = self.equipamentos[equipment]["pressao_bar"]
        self.selected_text.insert(tk.END, f"{info['count']}x {equipment}. Consumo
PCM: {consumption_pcm}. Pressão: {pressure_bar} bar. Taxa de utilização:
{info['utilization']} %\n")
    elif equipment in self.equipamentos_personalizados:
        consumption_pcm =
self.equipamentos_personalizados[equipment]["consumo_pcm"]
        pressure_bar =
self.equipamentos_personalizados[equipment]["pressao_bar"]
        self.selected_text.insert(tk.END, f"{info['count']}x {equipment}. Consumo
PCM: {consumption_pcm}. Pressão: {pressure_bar} bar. Taxa de utilização:
{info['utilization']} %\n")
```

```
def calculate(self):
    total_flow_pcm = 0.0
    max_pressure_bar = 0.0
```

```
for equipment, utilization in self.selected equipments:
    if equipment in self.equipamentos:
        total_flow_pcm += self.equipamentos[equipment]["consumo_pcm"] *
utilization / 100.0
        if self.equipamentos[equipment]["pressao_bar"] > max_pressure_bar:
            max_pressure_bar = self.equipamentos[equipment]["pressao_bar"]
    elif equipment in self.equipamentos_personalizados:
```

```

        total_flow_pcm +=
self.equipamentos_personalizados[equipment]["consumo_pcm"] * utilization / 100.0
        if self.equipamentos_personalizados[equipment]["pressao_bar"] >
max_pressure_bar:
            max_pressure_bar =
self.equipamentos_personalizados[equipment]["pressao_bar"]

total_flow_pcm = round((total_flow_pcm), 5)
max_pressure_bar = round(max_pressure_bar, 5)

total_flow_m3_h = total_flow_pcm * 1.6990

max_pressure_kgf_cm_2 = max_pressure_bar * 1.0197
if total_flow_m3_h <= 150:
    compressor_type = 'Pistão'
elif 150 < total_flow_m3_h <= 200:
    compressor_type = 'Pistao ou Parafuso'
elif 200 < total_flow_m3_h <= 1500:
    compressor_type = 'Parafuso'
elif 1500 < total_flow_m3_h <= 2000:
    compressor_type = 'Parafuso ou Centrifugo'
elif total_flow_m3_h > 2000:
    compressor_type = 'Centrifugo'

messagebox.showinfo("Resultado do Cálculo", f"Total de Vazão:
{total_flow_m3_h} m³/h\nPressão Máxima: {max_pressure_kgf_cm_2} kgf/cm² \nTipo
de Compressor: {compressor_type}")

def clear(self):
    self.selected equipments = []
    self.update_text_box()

def add_custom_equipment_window(self):
    custom_window = tk.Toplevel(self.root)
    custom_window.title("Adicionar Equipamento Personalizado")

    quantity_frame = tk.Frame(custom_window)
    quantity_frame.pack(pady=5)

    custom_window.geometry("500x300")

    tk.Label(quantity_frame, text="Quantidade:").grid(row=0, column=0, padx=5)
    custom_quantity_entry = tk.Entry(quantity_frame, width=5)
    custom_quantity_entry.grid(row=0, column=1, padx=5)

    tk.Label(custom_window, text="Nome do Equipamento:").pack(pady=5)
    name_entry = tk.Entry(custom_window, width=30)
    name_entry.pack()

    tk.Label(custom_window, text="Vazão (PCM):").pack(pady=5)

```

```
flow_entry = tk.Entry(custom_window, width=10)
flow_entry.pack()
```

```
tk.Label(custom_window, text="Pressão (bar):").pack(pady=5)
pressure_entry = tk.Entry(custom_window, width=10)
pressure_entry.pack()
```

```
tk.Label(custom_window, text="Taxa de Utilização (%):").pack(pady=5)
utilization_entry = tk.Entry(custom_window, width=10)
utilization_entry.pack()
```

```
add_button = tk.Button(custom_window, text="Adicionar", command=lambda:
self.add_custom_equipment(name_entry.get(), flow_entry.get(), pressure_entry.get(),
custom_quantity_entry.get(), utilization_entry.get(), custom_window))
add_button.pack(pady=10)
```

```
def add_custom_equipment(self, name, flow, pressure, quantity, utilization,
window):
    if not name.strip() or not flow.strip() or not pressure.strip() or not quantity.strip()
or not utilization.strip():
        messagebox.showerror("Erro de Dados", "Por favor, preencha todos os
campos corretamente.")
        return
```

```
try:
    flow_pcm = float(flow.strip())
    pressure_bar = float(pressure.strip())
    qty = int(quantity.strip())
    utilization_rate = float(utilization.strip())
```

```
self.equipamentos_personalizados[name] = {"consumo_pcm": flow_pcm,
"pressao_bar": pressure_bar, "utilization": utilization_rate}
```

```
for _ in range(qty):
    self.selected equipments.append((name, utilization_rate))
```

```
self.update_text_box()
```

```
self.update_combobox()
```

```
window.destroy()
```

```
except ValueError:
    messagebox.showerror("Erro de Dados", "Por favor, insira valores numéricos
para Vazão, Pressão e Taxa de Utilização.")
    return
```

## **ANEXO C - Classe "Principal"**

```

import tkinter as tk
from tkinter import ttk

class Principal:

    def __init__(self, master):
        self.master = master
        self.frame = tk.Frame(self.master)
        self.frame.pack()

        self.top_frame = tk.Frame(self.frame)
        self.top_frame.grid(row=0, column=0, columnspan=5)

        self.diameter_list = {
            'Flange': [0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6.5, 8, 10.5],
            'Rosca': [0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4]
        }

        self.list_ls = {
            'cotovelo_-': {
                'Flange': [0.3, 0.37, 0.50, 0.62, 0.73, 0.95, 1.10, 1.30, 1.55, 1.80,
2.20, 2.70, 3.70, 4.30],
                'Rosca': [1.10, 1.34, 1.58, 2.00, 2.25, 2.60, 2.80, 3.40, 3.70, 4.00]
            },
            'curva_45': {
                'Flange': [0.14, 0.18, 0.25, 0.34, 0.40, 0.52, 0.61, 0.8, 0.95, 1.10,
1.40, 1.70, 2.30, 2.70],
                'Rosca': [0.21, 0.28, 0.39, 0.52, 0.64, 0.83, 0.97, 1.20, 1.45, 1.70]
            },
            'curva_90': {
                'Flange': [0.33, 0.40, 0.49, 0.61, 0.70, 0.83, 0.88, 1.00, 1.15, 1.30,
1.50, 1.70, 2.10, 2.40],
                'Rosca': [0.67, 0.70, 0.83, 0.98, 1.00, 1.10, 1.10, 1.20, 1.30, 1.40]
            },
        }

```

```

'curva_180': {
  'Flange': [0.34, 0.40, 0.49, 0.61, 0.70, 0.83, 0.88, 1.00, 1.15, 1.30,
1.50, 1.70, 2.10, 2.40],
  'Rosca': [1.10, 1.30, 1.60, 2.00, 2.30, 2.60, 2.80, 3.40, 3.70, 4.00]
},
't_linha': {
  'Flange': [0.21, 0.25, 0.30, 0.40, 0.45, 0.55, 0.58, 0.67, 0.74, 0.85,
1.0, 1.20, 1.40, 1.60],
  'Rosca': [0.52, 0.73, 0.99, 1.40, 1.70, 2.30, 2.80, 3.70, 4.45, 5.20]
},
't_ramal': {
  'Flange': [0.61, 0.80, 1.00, 1.30, 1.60, 2.00, 2.30, 2.90, 3.30, 3.70,
4.60, 5.50, 7.30, 9.10],
  'Rosca': [1.30, 1.60, 2.00, 2.70, 3.00, 3.70, 3.90, 5.20, 5.80, 6.40]
},
'filtro_-': {
  'Flange': [1.50, 2.00, 2.30, 5.50, 8.10, 8.30, 8.80, 10.40, 11.60,
12.80, 16.20, 18.60],
  'Rosca': [0.07, 0.07, 0.08, 0.11, 0.12, 0.14, 0.14, 0.16, 0.175, 0.190]
},
'valvula_angular': {
  'Flange': [4.60, 4.60, 5.20, 5.50, 5.50, 6.4, 6.7, 8, 10.05, 11.6, 15.2,
19.2, 27.2, 36.2],
  'Rosca': [4.60, 4.60, 5.20, 5.50, 5.50, 5.55, 5.55, 5.55, 5.55, 5.55]
},
'valvula_gaveta': {
  'Flange': [0, 0, 0, 0, 0, 0.80, 0.83, 0.85, 0.86, 0.88, 0.95, 0.98, 0.98,
0.98, 0.98],
  'Rosca': [0.17, 0.20, 0.25, 0.34, 0.37, 0.46, 0.52, 0.58, 0.67, 0.76]
},
'valvula_globo': {
  'Flange': [11.6, 12.2, 13.7, 16.5, 18.0, 21.4, 23.5, 28.7, 32.65, 36.6,
45.7, 47.9, 49.3, 94.5],
  'Rosca': [6.7, 7.3, 8.8, 11.3, 12.8, 16.5, 18.9, 24.0, 27.25, 33.5]
}

```

```

    },
    'valvula_retencao': {
        'Flange': [1.20, 1.60, 2.20, 3.00, 3.70, 5.20, 6.40, 8.20, 9.70, 11.60,
15.20, 19.20, 27.40, 36.60],
        'Rosca': [2.40, 2.70, 3.40, 4.00, 4.60, 5.80, 6.70, 8.20, 9.70, 11.60]
    }
}

```

```
self.accessories = ['T', 'Válvula', 'Curva', 'Cotovelo', 'Filtro']
```

```
self.accessory_types = {
```

```
    'T': ['Linha', 'Ramal'],
```

```
    'Válvula': ['Angular', 'Gaveta', 'Globo', 'Retenção'],
```

```
    'Curva': ['45°', '90°', '180°'],
```

```
    'Cotovelo': ['-'],
```

```
    'Filtro': ['-']
}

```

```
self.connection_types = ['Rosca', 'Flange']
```

```
self.equipment_list = []
```

```
self.top_labels = ['Vazão (m3/h)', 'Pressão (kgf/cm2)', 'Comprimento (m)']
```

```
self.entries = {}
```

```
for i, label in enumerate(self.top_labels):
```

```
    tk.Label(self.top_frame, text=label).grid(row=0, column=i*2)
```

```
    entry = tk.Entry(self.top_frame)
```

```
    entry.grid(row=0, column=i*2+1)
```

```
    self.entries[label] = entry
```

```
for i, accessory in enumerate(self.accessories, len(self.top_labels)):
```

```
    tk.Label(self.frame, text=accessory).grid(row=i, column=0)
```

```
    quantity_entry = tk.Entry(self.frame)
```

```
    quantity_entry.grid(row=i, column=1)
```

```
    type_combobox = ttk.Combobox(self.frame,
values=self.accessory_types[accessory])
```

```

        type_combobox.grid(row=i, column=2)
        connection_combobox = ttk.Combobox(self.frame,
values=self.connection_types)
        connection_combobox.grid(row=i, column=3)
        tk.Button(self.frame, text='+', command=lambda q=quantity_entry,
a=accessory, t=type_combobox, c=connection_combobox: self.add_equipment(q, a,
t, c)).grid(row=i, column=4)

        self.equipment_text = tk.Text(self.frame)
        self.equipment_text.grid(row=len(self.accessories) + len(self.top_labels),
column=0, columnspan=5)

        self.button_frame = tk.Frame(self.frame)
        self.button_frame.grid(row=len(self.accessories) + len(self.top_labels) +
1, column=0, columnspan=5)

        tk.Button(self.button_frame, text='Calcular',
command=self.calculate_diameters).grid(row=0, column=0)
        tk.Button(self.button_frame, text='Limpar',
command=self.clear_equipment).grid(row=0, column=1)

    def add_equipment(self, quantity_entry, accessory, type_combobox,
connection_combobox):
        quantity = quantity_entry.get()
        accessory_type = type_combobox.get()
        connection_type = connection_combobox.get()
        equipment = f"{quantity} {accessory} {accessory_type}
{connection_type}"
        self.equipment_list.append(equipment)
        self.equipment_text.insert(tk.END, equipment + '\n')

    def initial_diameter(self):
        try:
            flow_m3_h = float(self.entries['Vazão (m³/h)'].get())

```

```

pressure_kgf_cm2 = float(self.entries['Pressão (kgf/cm²)'].get())
lenght_m = float(self.entries['Comprimento (m)'].get())

delta_P_kgf_cm2 = 0.3 if lenght_m < 500 else 0.5
initial_diameter_mm = 10 * (((1.663785 * (10**-3) *
((flow_m3_h)**1.85) * lenght_m) / (delta_P_kgf_cm2 * pressure_kgf_cm2))**(1/5))
initial_diameter_mm = round(initial_diameter_mm, 5)
initial_diameter_pol = (initial_diameter_mm/25.4)
initial_diameter_pol = round(initial_diameter_pol, 5)

return initial_diameter_pol
except ValueError:
    self.show_result_window("Por favor, preencha todos os campos
corretamente.")

def calcuate_ls_m(self):
    initial_diameter_pol = self.initial_diameter()
    result_list = []

    for equipment in self.equipment_list:
        quantity, accessory, accessory_type, connection_type =
equipment.split(' ')
        quantity = int(quantity)

        if accessory == 'Curva' and accessory_type == '90°':
            accessory_key = 'curva_90'
        elif accessory == 'Curva' and accessory_type == '180°':
            accessory_key = 'curva_180'
        elif accessory == 'Curva' and accessory_type == '45°':
            accessory_key = 'curva_45'
        elif accessory == 'T':
            accessory_key = ft_{accessory_type.lower()}
        elif accessory == 'Válvula':
            accessory_key = fvalvula_{accessory_type.lower()}

```

```

elif accessory == 'Filtro':
    accessory_key = f'filtro_{accessory_type.lower()}'
elif accessory == 'Cotovelo':
    accessory_key = f'cotovelo_{accessory_type.lower()}'

diameters = self.diameter_list[connection_type]
nearest_index = min(range(len(diameters)), key=lambda index:
abs(diameters[index] - initial_diameter_pol))
list_ls_m = self.list_ls[accessory_key][connection_type]
answer = list_ls_m[nearest_index]

if answer == 0:
    print('Não é possível calcular o comprimento equivalente utilizando
as tabelas disponíveis neste software.')
else:
    ls_n_m = answer * quantity
    result_list.append(ls_n_m)

ls_m = sum(result_list)
return ls_m

def real_diameter(self):
    flow_m3_h = float(self.entries['Vazão (m³/h)'].get())
    pressure_kgf_cm2 = float(self.entries['Pressão (kgf/cm²)'].get())
    lc_m = float(self.entries['Comprimento (m)'].get())
    ls_m = self.calcuete_ls_m()
    lt_m = ls_m + lc_m

    real_diameter_mm = 10 * (((1.663785 * (10**-3) * ((flow_m3_h)**1.85) *
lt_m) / (0.3 * pressure_kgf_cm2))**(1/5))
    real_diameter_pol = (real_diameter_mm/25.4)
    real_diameter_pol = round((real_diameter_mm/25.4),5)
    return real_diameter_pol

def commercial_diameter(self):

```

```

        real_diameter_pol = self.real_diameter()
        commercial_diameter_list = [0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5,
6.5, 8, 10.5]
        filtered_list = [d for d in commercial_diameter_list if d >=
real_diameter_pol]
        return min(filtered_list)

def calculate_diameters(self):
    initial_diameter_result = self.initial_diameter()
    real_diameter_result = self.real_diameter()
    commercial_diameter_result = self.commercial_diameter()
    result_text = f"Diametro inicial: {initial_diameter_result} pol\n Diametro
real: {real_diameter_result} pol\n Diametro adotado: {commercial_diameter_result}
pol"

    self.show_result_window(result_text)

def clear_equipment(self):
    self.equipment_list.clear()
    self.equipment_text.delete('1.0', tk.END)

def show_result_window(self, result_text):
    result_window = tk.Toplevel(self.master)
    result_window.title("Resultado")
    tk.Label(result_window, text=result_text).pack(padx=20, pady=20)

```

**ANEXO D - Classe "Secundaria"**

```
import tkinter as tk
from tkinter import ttk
```

```
class Secundaria:
```

```
    def __init__(self, master):
        self.master = master
        self.frame = tk.Frame(self.master)
        self.frame.pack()

        self.top_frame = tk.Frame(self.frame)
        self.top_frame.grid(row=0, column=0, columnspan=5)

        self.diameter_list = {
            'Flange': [0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6.5, 8, 10.5],
            'Rosca': [0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4]
        }

        self.list_ls = {
            'cotovelo_-': {
                'Flange': [0.3, 0.37, 0.50, 0.62, 0.73, 0.95, 1.10, 1.30, 1.55, 1.80, 2.20,
                2.70, 3.70, 4.30],
                'Rosca': [1.10, 1.34, 1.58, 2.00, 2.25, 2.60, 2.80, 3.40, 3.70, 4.00]
            },
            'curva_45': {
                'Flange': [0.14, 0.18, 0.25, 0.34, 0.40, 0.52, 0.61, 0.8, 0.95, 1.10, 1.40,
                1.70, 2.30, 2.70],
                'Rosca': [0.21, 0.28, 0.39, 0.52, 0.64, 0.83, 0.97, 1.20, 1.45, 1.70]
            },
            'curva_90': {
                'Flange': [0.33, 0.40, 0.49, 0.61, 0.70, 0.83, 0.88, 1.00, 1.15, 1.30, 1.50,
                1.70, 2.10, 2.40],
                'Rosca': [0.67, 0.70, 0.83, 0.98, 1.00, 1.10, 1.10, 1.20, 1.30, 1.40]
            },
            'curva_180': {
                'Flange': [0.34, 0.40, 0.49, 0.61, 0.70, 0.83, 0.88, 1.00, 1.15, 1.30, 1.50,
                1.70, 2.10, 2.40],
                'Rosca': [1.10, 1.30, 1.60, 2.00, 2.30, 2.60, 2.80, 3.40, 3.70, 4.00]
            },
            't_linha': {
                'Flange': [0.21, 0.25, 0.30, 0.40, 0.45, 0.55, 0.58, 0.67, 0.74, 0.85, 1.0,
                1.20, 1.40, 1.60],
                'Rosca': [0.52, 0.73, 0.99, 1.40, 1.70, 2.30, 2.80, 3.70, 4.45, 5.20]
            },
            't_ramal': {
                'Flange': [0.61, 0.80, 1.00, 1.30, 1.60, 2.00, 2.30, 2.90, 3.30, 3.70, 4.60,
                5.50, 7.30, 9.10],
                'Rosca': [1.30, 1.60, 2.00, 2.70, 3.00, 3.70, 3.90, 5.20, 5.80, 6.40]
            },
            'filtro_-': {
```

```

        'Flange': [1.50, 2.00, 2.30, 5.50, 8.10, 8.30, 8.80, 10.40, 11.60, 12.80,
16.20, 18.60],
        'Rosca': [0.07, 0.07, 0.08, 0.11, 0.12, 0.14, 0.14, 0.16, 0.175, 0.190]
    },
    'valvula_angular': {
        'Flange': [4.60, 4.60, 5.20, 5.50, 5.50, 6.4, 6.7, 8, 10.05, 11.6, 15.2, 19.2,
27.2, 36.2],
        'Rosca': [4.60, 4.60, 5.20, 5.50, 5.50, 5.55, 5.55, 5.55, 5.55, 5.55]
    },
    'valvula_gaveta': {
        'Flange': [0, 0, 0, 0, 0, 0.80, 0.83, 0.85, 0.86, 0.88, 0.95, 0.98, 0.98, 0.98,
0.98],
        'Rosca': [0.17, 0.20, 0.25, 0.34, 0.37, 0.46, 0.52, 0.58, 0.67, 0.76]
    },
    'valvula_globo': {
        'Flange': [11.6, 12.2, 13.7, 16.5, 18.0, 21.4, 23.5, 28.7, 32.65, 36.6, 45.7,
47.9, 49.3, 94.5],
        'Rosca': [6.7, 7.3, 8.8, 11.3, 12.8, 16.5, 18.9, 24.0, 27.25, 33.5]
    },
    'valvula_retencao': {
        'Flange': [1.20, 1.60, 2.20, 3.00, 3.70, 5.20, 6.40, 8.20, 9.70, 11.60, 15.20,
19.20, 27.40, 36.60],
        'Rosca': [2.40, 2.70, 3.40, 4.00, 4.60, 5.80, 6.70, 8.20, 9.70, 11.60]
    }
}

self.accessories = ['T', 'Válvula', 'Curva', 'Cotovelo', 'Filtro']
self.accessory_types = {
    'T': ['Linha', 'Ramal'],
    'Válvula': ['Angular', 'Gaveta', 'Globo', 'Retenção'],
    'Curva': ['45°', '90°', '180°'],
    'Cotovelo': ['-'],
    'Filtro': ['-']
}
self.connection_types = ['Rosca', 'Flange']

self.equipment_list = []

self.top_labels = ['Vazão (m³/h)', 'Pressão (kgf/cm²)', 'Comprimento (m)',
'Quantidade']
self.entries = {}
for i, label in enumerate(self.top_labels):
    tk.Label(self.top_frame, text=label).grid(row=0, column=i*2)
    entry = tk.Entry(self.top_frame)
    entry.grid(row=0, column=i*2+1)
    self.entries[label] = entry

for i, accessory in enumerate(self.accessories, len(self.top_labels)):
    tk.Label(self.frame, text=accessory).grid(row=i, column=0)
    quantity_entry = tk.Entry(self.frame)

```

```

        quantity_entry.grid(row=i, column=1)
        type_combobox = ttk.Combobox(self.frame,
values=self.accessory_types[accessory])
        type_combobox.grid(row=i, column=2)
        connection_combobox = ttk.Combobox(self.frame,
values=self.connection_types)
        connection_combobox.grid(row=i, column=3)
        tk.Button(self.frame, text='+', command=lambda q=quantity_entry,
a=accessory, t=type_combobox, c=connection_combobox: self.add_equipment(q, a,
t, c)).grid(row=i, column=4)

        self.equipment_text = tk.Text(self.frame)
        self.equipment_text.grid(row=len(self.accessories) + len(self.top_labels),
column=0, columnspan=5)

        self.button_frame = tk.Frame(self.frame)
        self.button_frame.grid(row=len(self.accessories) + len(self.top_labels) + 1,
column=0, columnspan=5)

        tk.Button(self.button_frame, text='Calcular',
command=self.calculate_diameters).grid(row=0, column=0)
        tk.Button(self.button_frame, text='Limpar',
command=self.clear_equipment).grid(row=0, column=1)

    def add_equipment(self, quantity_entry, accessory, type_combobox,
connection_combobox):
        quantity = quantity_entry.get()
        accessory_type = type_combobox.get()
        connection_type = connection_combobox.get()
        equipment = f"{quantity} {accessory} {accessory_type} {connection_type}"
        self.equipment_list.append(equipment)
        self.equipment_text.insert(tk.END, equipment + '\n')

    def initial_diameter(self):
        try:
            flow_m3_h = float(self.entries['Vazão (m³/h)'].get())
            pressure_kgf_cm2 = float(self.entries['Pressão (kgf/cm²)'].get())
            lenght_m = float(self.entries['Comprimento (m)'].get())
            secondary_quantity = int(self.entries['Quantidade'].get())

            secondary_flow_m3_h = flow_m3_h/secondary_quantity

            delta_P_kgf_cm2 = 0.3 if lenght_m < 500 else 0.5
            initial_diameter_mm = 10 * (((1.663785 * (10**-3) *
((secondary_flow_m3_h)**1.85) * lenght_m) / (delta_P_kgf_cm2 *
pressure_kgf_cm2))**(1/5))
            initial_diameter_mm = round(initial_diameter_mm, 5)
            initial_diameter_pol = (initial_diameter_mm/25.4)
            initial_diameter_pol = round(initial_diameter_pol, 5)

```

```

        return initial_diameter_pol
    except ValueError:
        self.show_result_window("Por favor, preencha todos os campos
corretamente.")

def calculate_ls_m(self):
    initial_diameter_pol = self.initial_diameter()
    result_list = []

    for equipment in self.equipment_list:
        quantity, accessory, accessory_type, connection_type = equipment.split(' ')
        quantity = int(quantity)

        if accessory == 'Curva' and accessory_type == '90°':
            accessory_key = 'curva_90'
        elif accessory == 'Curva' and accessory_type == '180°':
            accessory_key = 'curva_180'
        elif accessory == 'Curva' and accessory_type == '45°':
            accessory_key = 'curva_45'
        elif accessory == 'T':
            accessory_key = f't_{accessory_type.lower()}'
        elif accessory == 'Válvula':
            accessory_key = f'valvula_{accessory_type.lower()}'
        elif accessory == 'Filtro':
            accessory_key = f'filtro_{accessory_type.lower()}'
        elif accessory == 'Cotovelo':
            accessory_key = f'cotovelo_{accessory_type.lower()}'

        diameters = self.diameter_list[connection_type]
        nearest_index = min(range(len(diameters)), key=lambda index:
abs(diameters[index] - initial_diameter_pol))
        list_ls_m = self.list_ls[accessory_key][connection_type]
        answer = list_ls_m[nearest_index]

        if answer == 0:
            print('Não é possível calcular o comprimento equivalente utilizando as
tabelas disponíveis neste software.')
        else:
            ls_n_m = answer * quantity
            result_list.append(ls_n_m)

    ls_m = sum(result_list)
    return ls_m

def real_diameter(self):
    flow_m3_h = float(self.entries['Vazão (m³/h)'].get())
    pressure_kgf_cm2 = float(self.entries['Pressão (kgf/cm²)'].get())
    lc_m = float(self.entries['Comprimento (m)'].get())
    ls_m = self.calculate_ls_m()

```

```

lt_m = ls_m + lc_m
secondary_quantity = int(self.entries['Quantidade'].get())
secondary_flow_m3_h = flow_m3_h/secondary_quantity

real_diameter_mm = 10 * (((1.663785 * (10**-3) *
((secondary_flow_m3_h)**1.85) * lt_m) / (0.3 * pressure_kgf_cm2))**(1/5))
real_diameter_pol = (real_diameter_mm/25.4)
real_diameter_pol = round((real_diameter_mm/25.4),5)
return real_diameter_pol

def commercial_diameter(self):
    real_diameter_pol = self.real_diameter()
    commercial_diameter_list = [0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6.5, 8,
10.5]
    filtered_list = [d for d in commercial_diameter_list if d >= real_diameter_pol]
    return min(filtered_list)

def calculate_diameters(self):
    initial_diameter_result = self.initial_diameter()
    real_diameter_result = self.real_diameter()
    commercial_diameter_result = self.commercial_diameter()
    result_text = f"Diametro inicial: {initial_diameter_result} pol\n Diametro real:
{real_diameter_result} pol\n Diametro adotado: {commercial_diameter_result}"
    self.show_result_window(result_text)

def clear_equipment(self):
    self.equipment_list.clear()
    self.equipment_text.delete('1.0', tk.END)

def show_result_window(self, result_text):
    result_window = tk.Toplevel(self.master)
    result_window.title("Resultado")
    tk.Label(result_window, text=result_text).pack(padx=20, pady=20)

```

## **ANEXO E - Classe “Reservatório”**

```

import tkinter as tk
from tkinter import ttk
from tkinter import messagebox

class Reservatorio:
    def __init__(self, master):
        self.master = master

        self.label_vazao = tk.Label(master, text="Vazão (m³/h)")
        self.label_vazao.pack()

        self.entry_vazao = tk.Entry(master)
        self.entry_vazao.pack()

        self.label_tipo_compressor = tk.Label(master, text="Tipo do compressor")
        self.label_tipo_compressor.pack()

        self.opcoes_compressor = ["Alternativo", "Rotativo"]
        self.combobox_tipo_compressor = ttk.Combobox(master,
values=self.opcoes_compressor)
        self.combobox_tipo_compressor.set("Alternativo")
        self.combobox_tipo_compressor.pack()

        self.botao_calcular = tk.Button(master, text="Calcular",
command=self.calcular_volume)
        self.botao_calcular.pack()

    def calcular_volume(self):
        vazao = float(self.entry_vazao.get())
        tipo_compressor = self.combobox_tipo_compressor.get()

        if tipo_compressor == 'Alternativo':
            volume = 0.20 * (vazao/60)
        elif tipo_compressor == 'Rotativo':
            volume = 0.15 * (vazao/60)

        messagebox.showinfo("Volume do Reservatório", f"O volume do reservatório é
{round((volume), 5)} m³")

```