

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GABRIEL CUSTÓDIO LODI

PAULO HENRIQUE GOUVEA RODRIGUES

**PROJETO CONCEITUAL DE UM CIRCUITO EXPERIMENTAL  
MULTIPROPÓSITO PARA O ESTUDO DE ESCOAMENTOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

GABRIEL CUSTÓDIO LODI  
PAULO HENRIQUE GOUVEA RODRIGUES

**PROJETO CONCEITUAL DE UM CIRCUITO EXPERIMENTAL  
MULTIPROPÓSITO PARA O ESTUDO DE ESCOAMENTOS**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Raul H. Erthal, M. Eng.

Co-Orientador: Prof. Rigoberto E. M. Morales, D. Sc.

CURITIBA

2013

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "PROJETO CONCEITUAL DE UM CIRCUITO EXPERIMENTAL MULTIPROPÓSITO PARA O ESTUDO DE ESCOAMENTOS", realizado pelo aluno(s) Gabriel Custódio Lodi e Paulo Henrique Gouvea Rodrigues, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.



Prof. Raul H. Erthal, M. Eng.

UTFPR – Damec

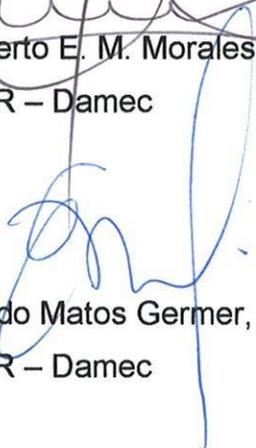
Orientador



Prof. Rigoberto E. M. Morales, Dr.

UTFPR – Damec

Orientador



Prof. Eduardo Matos Germer, M. Eng.

UTFPR – Damec

Avaliador

Prof. Edenilson Wichinescki, Eng

UTFPR – Damec

Avaliador

Curitiba, 10 de Maio de 2013.

## RESUMO

LODI, Gabriel Custódio; RODRIGUES, Paulo Henrique Gouvea. Projeto conceitual de um circuito experimental multipropósito para o estudo de escoamentos. 2013. 186 f. Monografia (Engenharia Industrial Mecânica) – Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

O crescente desenvolvimento da indústria petrolífera vem aumentando os recursos investidos em pesquisa nessa área. O estudo de diferentes escoamentos, tal qual o escoamento bifásico pressurizado, é de extrema valia nesse campo, por exemplo, por representar o escoamento que ocorre na elevação de óleo e gás nas linhas de produção das estações de exploração de petróleo. Nesse contexto, desenvolve-se no presente trabalho o projeto conceitual de uma instalação experimental de escoamento multipropósito, com a finalidade de estudar o escoamento bifásico pressurizado horizontal e vertical. Esse projeto é complementar ao de Bloemer (2009), e neste serão contempladas atividades de revisão da concepção inicial e das especificações técnicas previamente definidas. A partir do estudo da planta do bloco do LACIT, construído no campus Ecoville da UTFPR, e dos parâmetros obtidos na literatura e nos trabalhos que antecedem esse, dimensionaram-se os circuitos e tubulações, bem como se especificou e selecionaram-se os componentes e equipamentos necessários, sejam eles estruturais, hidráulicos e eletrônicos. Por fim, a instalação foi analisada pelo viés das normas de segurança vigentes e um modelo virtual tridimensional foi desenvolvido. Como produto final, obteve-se um projeto conceitual de uma instalação experimental multipropósito, capaz de simular escoamentos multifásicos de até 50 bars de pressão.

**Palavras-chave:** Circuito experimental, escoamento multifásico, escoamento pressurizado.

## ABSTRACT

LODI, Gabriel Custódio; RODRIGUES, Paulo Henrique Gouvea. Conceptual project of a multipurpose experimental circuit for flow studies. 2013. 186 p. Monograph (Industrial Mechanical Engineering) – Academic Department of Mechanical Engineering, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2013.

The petroleum industry development increased the invested resources in researches in this area. The study of different flows, as the pressurized biphasic flow, is extremely valorous in this field, for instance, representing the occurring flow in the elevation of oil and gas in petroleum production lines and exploring stations. In this context, it is developed in this present work the detailed project of a multipurpose flow experimental workbench, which finality is to study the pressurized multiphase flow in horizontal and vertical conditions. This project is complementary to the one developed by Bloemer (2009), and it will consider the revision of the initial concept and the previous defined technical specifications. Following the study of the new LACIT plant, build in UTFPR's Ecoville Campus and the gathered parameters from literature and from the previous works, the circuits and pipelines has been dimensioned as the needed equipments and components, for instance, structural, hydraulics and electronics components. Finally, the installation has been analyzed according the current and valid security standards and a virtual 3D model has been developed. As the final product, the result is a conceptual project of a multipurpose experimental installation capable of simulate multiphase flow with pressures by 50bars.

**Keywords:** Experimental circuit, Multiphase flow, Pressurized flow.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Consumo industrial mundial de energia por fonte .....	15
Figura 2 - Custo de geração (US\$/MWh) .....	16
Figura 3 - Instalações do SINTEF, Noruega.....	21
Figura 4 - Desenho esquemático da casa de máquinas.....	27
Figura 5 - Desenho esquemático da seção de testes.....	28
Figura 6 - Projeto CAD da instalação .....	29
Figura 7 - Casa de máquinas .....	30
Figura 8 - Circuito de Ar .....	30
Figura 9 - Circuito de óleo .....	31
Figura 10 - Circuito de água e separador .....	31
Figura 11 - Desnível.....	32
Figura 12 - Rampa .....	32
Figura 13 - Seção de testes .....	33
Figura 14 - Medidores de vazão.....	33
Figura 15 - Conexões T para circuito vertical ou horizontal .....	34
Figura 16 - Seção horizontal .....	35
Figura 17 - Seção de testes horizontal.....	35
Figura 18 - Final da linha de testes horizontal – Pré-separador .....	36
Figura 19 - Seção de testes vertical .....	36
Figura 20 - Final da linha de testes vertical – Pré-separador.....	37
Figura 21 - Retorno dos fluídos .....	37
Figura 22 - Curva característica do sistema – Circuito de água – Horizontal.....	41
Figura 23 - Curva característica do sistema – Circuito de água - Vertical.....	42
Figura 24 - Curva característica do sistema – Circuito de óleo – Horizontal.....	42
Figura 25 - Curva característica do sistema – Circuito de óleo - Vertical.....	43

Figura 26 - Curva característica do sistema – Circuito de ar – Horizontal .....	43
Figura 27 - Curva característica do sistema – Circuito de ar - Vertical .....	44
Figura 31 - Primeira proposta do sistema de ar comprimido .....	48
Figura 32 - Proposta criogênica para o sistema de ar comprimido .....	49
Figura 33 - Compressor Atlas Copco P65-60 .....	49
Figura 34 - Solução com um único compressor para o sistema de ar comprimido ...	50
Figura 35 - Tipos de Flanges .....	65
Figura 36 – Válvula de Gaveta – Componentes .....	71
Figura 37 – Válvula de Esfera – Componentes .....	72
Figura 38 – Válvula de Macho – Componentes.....	73
Figura 39 – Válvula de Guilhotina – Componentes .....	73
Figura 40 – Válvula Globo– Esquema.....	74
Figura 41 – Válvula Borboleta – Componentes .....	75
Figura 42 – Válvula de Diafragma – Componentes .....	77
Figura 43 – Válvula de Mangote – Componentes.....	78
Figura 44 – Válvula de Retenção – Componentes .....	78
Figura 45 – Válvula Redutora de Pressão– Componentes .....	79
Figura 46 – Válvula de Segurança / Alívio – Componentes.....	80
Figura 47 - Intervalos recomendados de Operação .....	82
Figura 48 - Carta de Seleção de Bombas .....	83
Figura 49 - Desenho esquemático da casa de máquinas.....	92
Figura 50 - Desenho esquemático da seção de testes.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de referência .....	22
Tabela 2 – Dados das curvas características de sistema dos líquidos .....	40
Tabela 3 - Dados das curvas características de sistema do ar.....	41

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tubos utilizados no sistema .....	46
Quadro 2 - Tipos de válvulas utilizadas.....	47
Quadro 3 - Determinação do volume dos vasos.....	51
Quadro 4 - Geometria dos vasos .....	51
Quadro 5 - Cálculo da espessura dos vasos.....	52
Quadro 6 - Cálculo da espessura dos tampos - Toroidal.....	52
Quadro 7 - Medidores Coriólis selecionados .....	53
Quadro 8 - Pressões nominais por classes (bar).....	64
Quadro 9 - Aplicação geral de válvulas.....	70
Quadro 10 - Tipos de Termopares .....	88
Quadro 11 - Comparação entre diversos medidores de vazão para fluidos. ....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ASME	American Society of Mechanical Engineers.
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> , Projeto auxiliado por computador.
CENPES	Centro de Pesquisas da Petrobras.
CEPETRO	Centro de Estudos de Petróleo, Unicamp.
LABPETRO	Laboratório Experimental de Petróleo Kelsen Valente, Unicamp.
LACIT	Laboratório de Ciências Térmicas.
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
P&D	Pesquisa & Desenvolvimento.
QFD	Quality Function Deployment.
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas.
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C$	Margem de segurança	[mm]
$D$	Diâmetro do tubo	[m]
$e$	Rugosidade absoluta do material	[m]
$E$	Coefficiente de Confiabilidade da solda	[ - ]
$f$	Fator de atrito	[ - ]
$f_0$	Valor inicial do fator de atrito (Eq. De Miller)	[ - ]
$g$	Gravidade local	[9,81 m/s <sup>2</sup> ]
$H_{lm}$	Perda de carga concentrada	[m]
$H_{IT}$	Perda de carga total	[m]
$H_t$	Perda de carga distribuída	[m]
$H_{atm}$	Pressão atmosférica local	[m]
$H_s$	Altura de sucção	[m]
$H_v$	Pressão de vapor do fluido	[m]
$\Delta H_s$	Perda de carga na linha de sucção	[m]
$K$	Coefficiente de perda de carga	[ - ]
$L$	Comprimento	[m]
$NPSH_d$	Net Positive Suction Head (disponível)	[m]
$p$	Pressão	[Pa]
$P$	Pressão de trabalho	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
$\rho$	Massa específica	[kg/m <sup>3</sup> ]
$R$	Raio do vaso	[m]
$Re$	Número de Reynolds	[ - ]
$S$	Tensão admissível do material	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
$V$	Velocidade Média do Fluido	[m/s]
$z$	Altura relativa	[m]

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	Contexto do Tema	15
1.2	Caracterização do Problema	17
1.3	Objetivos	18
1.4	Justificativa	18
1.5	Etapas do projeto	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DOS LABORATÓRIOS EXISTENTES</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DO PROJETO</b>	<b>22</b>
3.1	Parâmetros do Projeto	22
3.2	Considerações Iniciais	23
<b>4</b>	<b>LEIAUTE DO CIRCUITO</b>	<b>25</b>
4.1	Definições	25
4.2	Esquemático 2D	26
4.3	Projeto CAD	29
4.3.1	Visão geral do projeto final	29
4.3.2	Casa de máquinas	29
4.3.3	Seção de testes	33
4.4	Curvas Características do Sistema	38
4.4.1	Perda de Carga	38
4.4.2	Cálculo da Perda de carga	38
4.4.3	Curvas	40
<b>5</b>	<b>EQUIPAMENTOS</b>	<b>45</b>
5.1	Tubulação	45
5.2	Flanges	46
5.3	Válvulas	47
5.4	Compressores	47
5.4.1	Sistema de pressurização	48
5.4.2	Sistema de circulação	50
5.5	Vasos de Pressão	51
5.6	Instrumentação	53
5.6.1	Vazão	53
5.7	Normas de Segurança	53
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>55</b>
6.1	Discussão dos resultados	55
6.2	Sugestão para próximos trabalhos	56
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICE A – EQUIPAMENTOS</b>	<b>59</b>
7.1	Tubulação	59
7.2	Conexões	62
7.2.1	Ligações rosqueadas.	62
7.2.2	Ligações soldadas	62
7.2.3	Ligações flangeadas	63
7.3	Válvulas	68
7.3.1	Válvulas de Gaveta	70

7.3.2	Válvula de Esfera	71
7.3.3	Válvula de Macho	72
7.3.4	Válvula de Guilhotina	73
7.3.5	Válvulas Globo	73
7.3.6	Válvulas Borboleta	74
7.3.7	Válvulas Diafragma	75
7.3.8	Válvulas de Mangote	77
7.3.9	Válvula De Retenção	78
7.3.10	Válvula Redutora De Pressão	78
7.3.11	Válvula De Segurança E Alívio	79
7.4	Bombas	80
7.5	Compressores	84
7.6	Vasos de Pressão	85
7.7	Instrumentação	87
7.7.1	Temperatura	87
7.7.2	Pressão	89
7.7.3	Vazão	89
<b>8</b>	<b>APÊNDICE B – CONJUNTO DE VÁLVULAS</b>	<b>92</b>
8.1	Linha de Ar	94
8.1.1	Pressurização do sistema	94
8.1.2	Circulação de ar	94
8.1.3	Purgo do acúmulo de líquidos no reservatório amortecedor:	94
8.1.4	Retorno do ar ao reservatório de armazenamento	94
8.2	Linha de Água:	94
8.2.1	Alimentação do sistema	94
8.2.2	Circulação de Água	94
8.2.3	Retorno da água para o reservatório:	94
8.3	Linha de Óleo:	95
8.3.1	Alimentação do sistema	95
8.3.2	Circulação de Óleo:	95
8.3.3	Retorno do óleo para o reservatório:	95
<b>9</b>	<b>APÊNDICE C – MEMORIAL DE CÁLCULO - CURVAS DO SISTEMA</b>	<b>96</b>
9.1	Perda de carga Água horizontal	96
9.1.1	Perdas Distribuídas	100
9.1.2	Perdas Localizadas	103
9.2	Perda de Carga Agua Vertical	105
9.2.1	Perdas Distribuídas	110
9.2.2	Perdas Localizadas	113
9.3	Perda de carga Ar Horizontal	115
9.3.1	Perdas Distribuídas	119
9.3.2	Perdas Localizadas	121
9.4	Perda de carga ar vertical	123
9.4.1	Perdas Distribuídas	127
9.4.2	Perdas Localizadas	129
9.5	Perda de carga Óleo Horizontal	131
9.5.1	Perdas Distribuídas	136
9.5.2	Perdas Localizadas	139
9.6	Perda de Carga Óleo Vertical	141

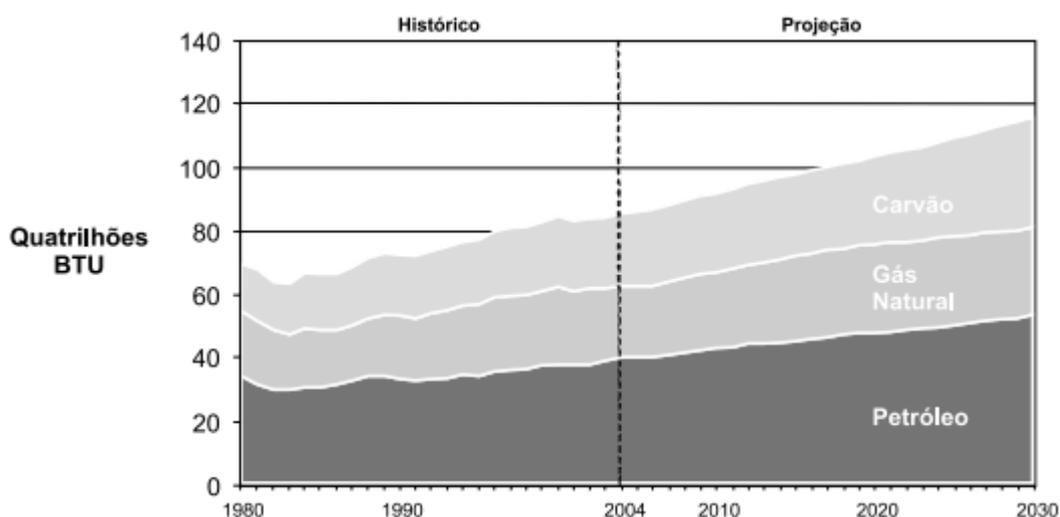
9.6.1	Perdas Distribuidas	146
9.6.2	Perdas Localizadas	149
ANEXO A – TENSÃO ADMISSÍVEL PARA TUBOS DE AÇO INOX		152
ANEXO B – DIMENSÕES DOS TUBOS – ASME.B.36.19 – AÇO INOX		153
ANEXO C – DIMENSÕES DE FLANGES		155
ANEXO D – MEDIDORES DE VAZÃO		158
ANEXO E – PLANTA DO LACIT NO CAMPUS ECOVILLE (DEPRO/UTFPR)		163

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto do Tema

Devido à crescente evolução tecnológica, a demanda energética mundial vem também aumentando continuamente, o que gera uma necessidade de, cada vez mais, investir-se em pesquisa e desenvolvimento de técnicas mais eficientes para suprir essa demanda.

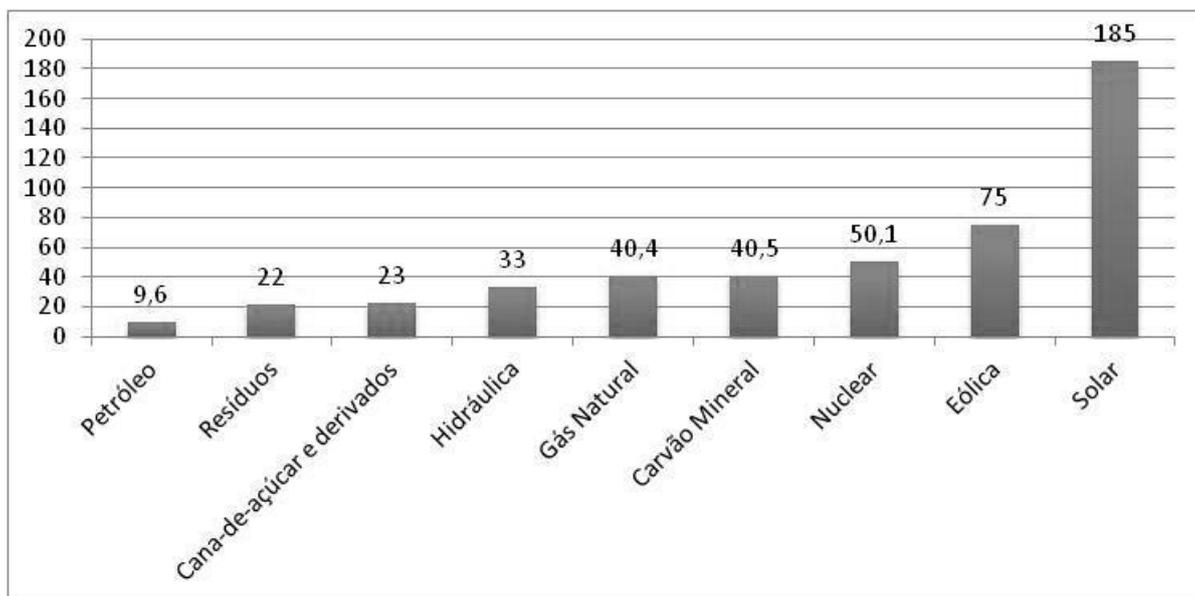
Nas indústrias, os principais insumos energéticos são o petróleo, o gás natural e o carvão (CONFEDERAÇÃO, 2007), sendo o petróleo o mais representativo de acordo com a Figura 1.



**Figura 1 - Consumo industrial mundial de energia por fonte**

Fonte: <http://www.cni.org.br>

No composto da matriz energética, os custos envolvidos na obtenção da energia são de extrema importância. Pode-se verificar na Figura 2, para efeito comparativo, o custo por MWh para cada fonte energética:



**Figura 2 - Custo de geração (US\$/MWh)**

Fonte: <http://www.abepro.org.br>

Além de ser uma das fontes mais versáteis, observa-se que o petróleo é também a de menor custo. Entende-se por isso o motivo dessa fonte de energia, junto do gás natural, ser de extrema importância no conjunto da matriz energética brasileira. Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento dessas tecnologias no Brasil são realizados pela Petrobrás, cujas pesquisas se voltam, prioritariamente, em tecnologias de extração em águas profundas e ultraprofundas.

As recentes descobertas de reservas na camada conhecida como pré-sal aumentaram significativamente o volume de petróleo em reservas brasileiras, que anteriormente contavam com 14 bilhões de barris de petróleo. Somados, os campos de Libra, Lara e Tupi podem conter entre 11,7 e 27 bilhões de barris. (BRASIL, 2010).

Esperam-se, nos reservatórios de petróleo, a presença de óleo, gás natural e água, ocasionalmente apresentando areia e cascalho. A predominância de cadeias moleculares menores no petróleo faz com que esse se apresente na forma gasosa. Caso contrário, se cadeias maiores predominarem, esse se apresentará como um óleo pesado e altamente viscoso. Para a exploração e extração do petróleo ocorrer da maneira mais rentável e em condições cada vez mais complexas – como a do pré-sal -, faz-se necessário desenvolver tecnologias apropriadas que permitam a especificação de sistemas de produção capazes de operar com a diversidade de

arranjos de fase que podem se apresentar. Nesse contexto, aparatos experimentais se mostram de grande utilidade na determinação de parâmetros dos modelos, facilitando a compreensão dos fenômenos envolvidos, por exemplo, no escoamento multifásico nas linhas de produção petrolíferas.

## **1.2 Caracterização do Problema**

Os reservatórios de petróleo se apresentam como uma mistura de óleo, água, gases e cascalho. Durante a exploração do recurso, uma mistura multifásica é transportada por dutos horizontais e verticais (THOMAS, 2004).

A dificuldade é maior no caso do pré-sal: as elevadas pressões, que excedem 200 bars, devido à profundidade dos reservatórios, geram altas tensões nas paredes dos poços. As elevadas temperaturas, em torno de 70 a 100°C, também aumentam a complexidade. Amostras coletadas no reservatório de Tupi apresentam uma alta concentração de gás carbônico dissolvido, o que gera problemas na linha de produção, por exemplo, corrosão e a dificuldade da modelagem do escoamento (HENRIQUE, 2008, apud BLOEMER, 2009).

Parte dos estudos relacionados ao cenário do pré-sal são realizados em bancadas e instalações experimentais, cujo propósito é reproduzir de forma controlada as condições encontradas durante a exploração e produção do petróleo. Os resultados são úteis na compreensão dos fenômenos físicos envolvidos e na verificação de modelos matemáticos.

Atualmente o LACIT possui uma bancada experimental capaz de reproduzir escoamentos bifásicos em pequena escala e pressões moderadas de até 7 bars. Este sistema de pequeno porte permitiu o desenvolvimento de valioso conhecimento nas áreas de projeto de sistemas pressurizados. Na área de instrumentação, este sistema proporcionou o desenvolvimento de instrumentação específica, como sensores resistivos, capacitivos e ópticos, além de experiência na instalação e operação de sistemas de instrumentação convencionais. Por fim, esta bancada trouxe experiência na área de aquisição de dados, controle e automação do sistema.

No entanto, parâmetros como diâmetro dos tubos e comprimento de desenvolvimento, além da pressão de trabalho, influem de forma decisiva no

comportamento do escoamento, sendo necessária a realização de testes também em escalas maiores. Desta forma, este projeto visa atender a necessidade de expandir em diferentes escalas os estudos já realizados pelo LACIT.

### **1.3 Objetivos**

Tendo como referência o pré-estudo realizado por Bloemer (2009), este trabalho visa realizar o projeto conceitual de um circuito experimental de escoamento multipropósito. O objetivo é determinar de forma definitiva a disposição da tubulação e dos equipamentos necessários.

O projeto considera a possibilidade da utilização de diversas combinações de fluidos e gases, com a finalidade de simular o comportamento do fluido ou a mistura em questão. A seção de testes poderá ser estudada na horizontal, vertical e eventualmente com seções inclinadas, de acordo com as condições de contorno apresentadas pela planta onde a instalação será construída.

Os parâmetros do escoamento, tais quais vazão e pressão, servirão como referência para o desenvolvimento do projeto e seleção de conceitos para a instalação.

### **1.4 Justificativa**

A utilização de bancadas de testes em escala reduzida se mostra uma boa alternativa para laboratórios e instituições de pesquisa como o LACIT. Este já possui uma bancada de escoamento bifásico de pequenas dimensões, para pressões de até 7 bars, lotada na sede Curitiba da UTFPR.

O presente projeto ampliará a capacidade de estudo do laboratório, acrescentando a possibilidade de escoamento em pressões e vazões maiores, bem como observar a evolução dos escoamentos multifásicos em linhas horizontais, verticais e eventualmente em trechos inclinados, em diâmetros maiores do que é possível nas atuais instalações do LACIT. Devido à alta complexidade dos escoamentos multifásicos, dificilmente consegue-se extrapolar os padrões de escoamento observados em determinadas condições para outros, como diâmetros

de tubos e comprimentos de desenvolvimento diferentes. Desta forma, é imprescindível para a evolução dos estudos nesta área que uma planta de maiores capacidades seja construída.

A nova instalação será construída no Campus Ecoville, onde há espaço destinado exclusivamente para a instalação do sistema a ser desenvolvido.

### **1.5 Etapas do projeto**

O desenvolvimento do projeto transcorreu seguindo as etapas descritas a seguir:

1. Estudo do pré-projeto realizado por Bloemer (2009);
2. Estudo das mudanças realizadas no projeto do espaço disponível para o laboratório do LACIT;
3. Discussão e definição dos recursos e funcionalidades que a instalação deve apresentar;
4. Concomitantemente ao item anterior, discussão sobre a implicação das características dos escoamentos multifásicos no leiaute da estrutura, disposição dos equipamentos e da tubulação;
5. Seleção de equipamentos.

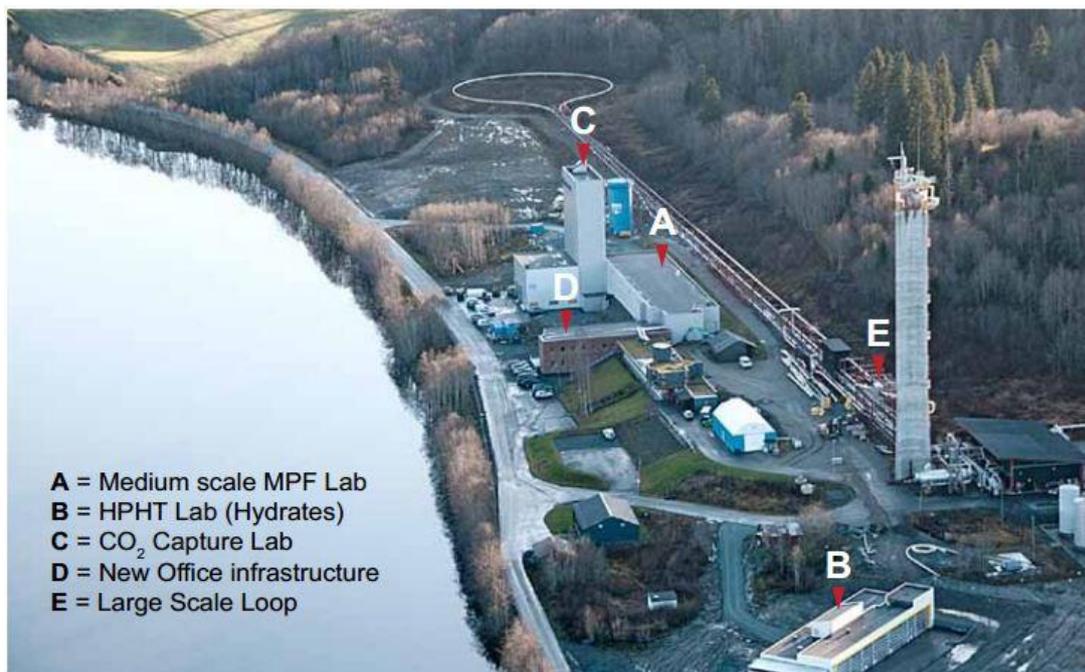
## 2 REVISÃO DOS LABORATÓRIOS EXISTENTES

As pesquisas relacionadas à exploração de petróleo no Brasil são lideradas pela PETROBRAS, dentre outras empresas privadas, e conta com o suporte de diversas universidades federais. No campo do escoamento multifásico, atualmente duas instalações podem ser citadas como referência nacional.

O primeiro é o Circuito de Escoamento Multifásico, pertencente ao CENPES/PETROBRAS e instalado no Núcleo Experimental de Pesquisa e Desenvolvimento em Produção, em Atalaia, Sergipe. Com capacidade para vazões de até 110 m<sup>3</sup>/h de líquido e 1100m<sup>3</sup>/h de gases, este sistema pode realizar testes com petróleo, água e gases diversos. As limitações operacionais são: 16 bars de pressão e 60°C de temperatura máxima (OLIVEIRA, 2009).

A Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – possui um laboratório que atende a diversas áreas de pesquisa. O LABPETRO comporta testes de bombeio centrífugo submerso com viscosidades entre 1 e 1000cP e vazões entre 10 e 100m<sup>3</sup>/h. Os fluidos de trabalho podem ser emulsões de água em óleo ou misturas aeradas. Outro circuito disponível testa escoamentos trifásicos de óleos pesados assistidos por água, que suporta até 50m<sup>3</sup>/h de óleo e água, e 350m<sup>3</sup>/h de ar (CEPETRO/UNICAMP, 2012).

O SINTEF é um dos principais centros de pesquisa experimental sobre escoamentos multifásicos e está localizado em Trondheim, Noruega. Escoamentos bifásicos óleo/nitrogênio podem ser simulados em um dos circuitos com estrutura horizontal atingindo 500m de comprimento (considerando o retorno, 1000m de tubulação na seção horizontal) e estrutura vertical com 60m de altura, além da possibilidade de trabalhar com diferentes inclinações. O circuito suporta 90 bars e uma temperatura máxima de 40°C. Com limite de 10 bars, um segundo circuito é capaz de simular escoamentos trifásicos com água, hidrocarbonetos e outros fluidos não inflamáveis. Um terceiro circuito pressurizado também é encontrado, mas em menor escala. Pressões de trabalho de até 100 bars e temperaturas entre -10°C e 50°C podem ser testadas para fluidos como óleos, gás natural e salmoura (SINTEF, 2012).



**Figura 3 - Instalações do SINTEF, Noruega.**

Fonte: <http://www.sintef.no>

### 3 METODOLOGIA DO PROJETO

O projeto está baseado no desenvolvimento realizado por Bloemer (2009), utilizando basicamente os mesmos parâmetros de projeto, mas aplicando o refinamento do leiaute e a definição dos conceitos de acordo com a necessidade de testes do LACIT.

A elaboração da instalação de testes multifásicos foi realizada em contato direto e frequente com os pesquisadores responsáveis pelo projeto, permitindo a constante troca de informações e atualização do trabalho para atender da melhor forma possível as necessidades futuras do laboratório.

Primeiramente, as discussões foram focadas em como distribuir os equipamentos necessários no espaço destinado à casa de máquinas, ao mesmo tempo em que as linhas de tubulação eram planejadas. Muitas alterações foram realizadas de forma a encontrar um equilíbrio entre disponibilidade e características necessárias.

Com o leiaute definido, passou-se a etapa de seleção de alguns equipamentos através de consulta a literatura, catálogos e, eventualmente, através do contato com empresas especializadas.

#### 3.1 Parâmetros do Projeto

Os parâmetros apresentados na Tabela 1 são considerados limites máximos.

**Tabela 1 - Valores de referência**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Pressão máxima	50 bar
Vazão máxima de líquido	100 m <sup>3</sup> /h
Vazão máxima de gases	280 m <sup>3</sup> /h

A temperatura dos fluidos de trabalho será controlada para garantir a repetitividade e estabilidade dos experimentos. Para a seleção de materiais, considerou-se que o sistema será capaz de atingir temperaturas de operação de até 150°C.

### **3.2 Considerações Iniciais**

Os fluidos de trabalho serão inicialmente ar e água. No entanto, o projeto deve considerar o uso de óleos misturados aos dois fluidos citados. Testes com gases diferentes do ar, como gás carbônico e nitrogênio, também deve ser considerado.

Duas seções de testes deverão ser projetadas: uma horizontal e outra vertical. A seção de teste horizontal deve possuir flexibilidade para alteração na rota dos tubos, sendo possível criar seções inclinadas. O espaço disponível pode ser verificado no Anexo E, onde as plantas do prédio em que a bancada será instalada podem ser visualizadas. As dimensões básicas são: área útil de 260 m<sup>2</sup> (40 m por 6,5 m), com vão livre de 3,25 m de altura. O espaço reservado para a seção vertical será uma área de 4,9 m com a mesma largura de 6,5 m (31,85 m<sup>2</sup>) que passará por todos os andares, possuindo então 15 m de altura disponível.

A casa de máquinas deve ter todos os equipamentos necessários para armazenar os fluidos, pressurizar o sistema, circulação dos fluidos durante os testes, trocadores de calor para controle de temperatura, o separador principal. Outros equipamentos podem vir a ser instalados na casa de máquinas, dependendo do espaço disponível. Para os fluidos, além de uma bomba dedicada à circulação de água, outras bombas deverão possibilitar testes com óleos de viscosidades variadas. O espaço reservado para a casa de máquinas pode ser verificado no Anexo E. As dimensões básicas são: área útil de 74,61 m<sup>2</sup> (11,75 m por 6,35 m), com altura livre de 5 m. Em relação aos 11,75 m de comprimento, aproximadamente 6 m estão reservados para este projeto, ou seja, 38,10 m<sup>2</sup>.

A instrumentação deve ser posicionada de forma a obter os parâmetros de cada fluido separadamente, e só após as medições eles devem ser misturados. Após os misturadores, o escoamento é analisado, e então os fluidos são levados

para a casa de máquinas onde são separados e circulados novamente, ou armazenados.

O projeto deve ser flexível, permitindo futuros rearranjos da tubulação para adição de trechos inclinados na seção horizontal, ou a adição ou remoção de seções de visualização do escoamento.

## 4 LEIAUTE DO CIRCUITO

### 4.1 Definições

Considerando a possibilidade de trabalhar com fluidos de diferentes viscosidades, dois reservatórios para óleos serão posicionados na casa de máquinas. Assim, um deles pode estar em serviço enquanto outro é preparado para futuros testes com o óleo desejado. Dependendo das especificações, pode ser necessária uma bomba para atender intervalos específicos de viscosidade. A temperatura deverá ser controlada para repetitividade dos testes, portanto um trocador de calor será necessário.

Devido à necessidade de aproveitar da melhor forma possível o espaço disponível e a disponibilidade dos 5 metros de pé-direito da casa de máquinas (veja Anexo E para detalhes), sugeriu-se posicionar o tanque de água em uma estrutura sobre o vaso separador. Para controle da temperatura, o espaço para um sistema com trocador de calor deverá ser reservado.

Os parâmetros vazão, pressão e temperatura deverão ser obtidos com os fluidos ainda separados, para melhor controle e análise dos testes realizados.

Após medição das vazões, as linhas de fluidos separados irão se dirigir para a estrutura principal, onde uma bifurcação com válvulas determinará se o fluxo irá à direção da sessão de testes vertical ou horizontal. De um lado da estrutura estarão três linhas, uma para cada fluido, e do lado oposto estará a linha de teste.

O misturador da seção de testes vertical estará posicionado logo abaixo da estrutura, e a linha de testes subirá verticalmente do misturador, sendo suportada por esta.

Separadores secundários deverão ser instalados ao final das sessões de testes para realizar uma separação parcial do gás que estiver misturado aos líquidos, e evitar oscilações de pressão nas linhas de teste.

Linhas de retorno do vertical e horizontal se unem, e continuam como uma única linha até a casa de máquinas, economizando tubos, haja vista que as seções não realizarão testes ao mesmo tempo.

O separador principal fará a separação final entre líquidos e do gás remanescente.

Diâmetros nominais para linhas de ar/água/óleo foram escolhidos baseados na vazão e velocidade desejadas para o fluido.

Dois medidores de vazão deverão ser determinados para cada fluido, pois grandes medidores apresentam consideráveis erros de medição para baixas vazões. Com dois medidores, cada um deles é destinado a uma faixa de vazão.

Quaisquer que sejam os suportes utilizados para suspender a tubulação, eles deverão permitir flexibilidade no leiaute e ajuste fino para garantir alinhamento da tubulação.

Na casa de máquinas, os tubos serão instalados suspensos sempre que possível, facilitando a movimentação entre os equipamentos e movimentações dos mesmos.

## **4.2 Esquemático 2D**

A fim de visualizar as linhas, conexões e válvulas necessárias, desenhos esquemáticos foram elaborados durante a concepção do projeto. O resultado final está apresentado na Figura 4, referente à casa de máquinas, e na Figura 5, referente à área de testes com as seções horizontal e vertical.

Os detalhes sobre a operação do circuito no que diz respeito à posição das válvulas para cada procedimento foram avaliados estão disponíveis no Apêndice B.

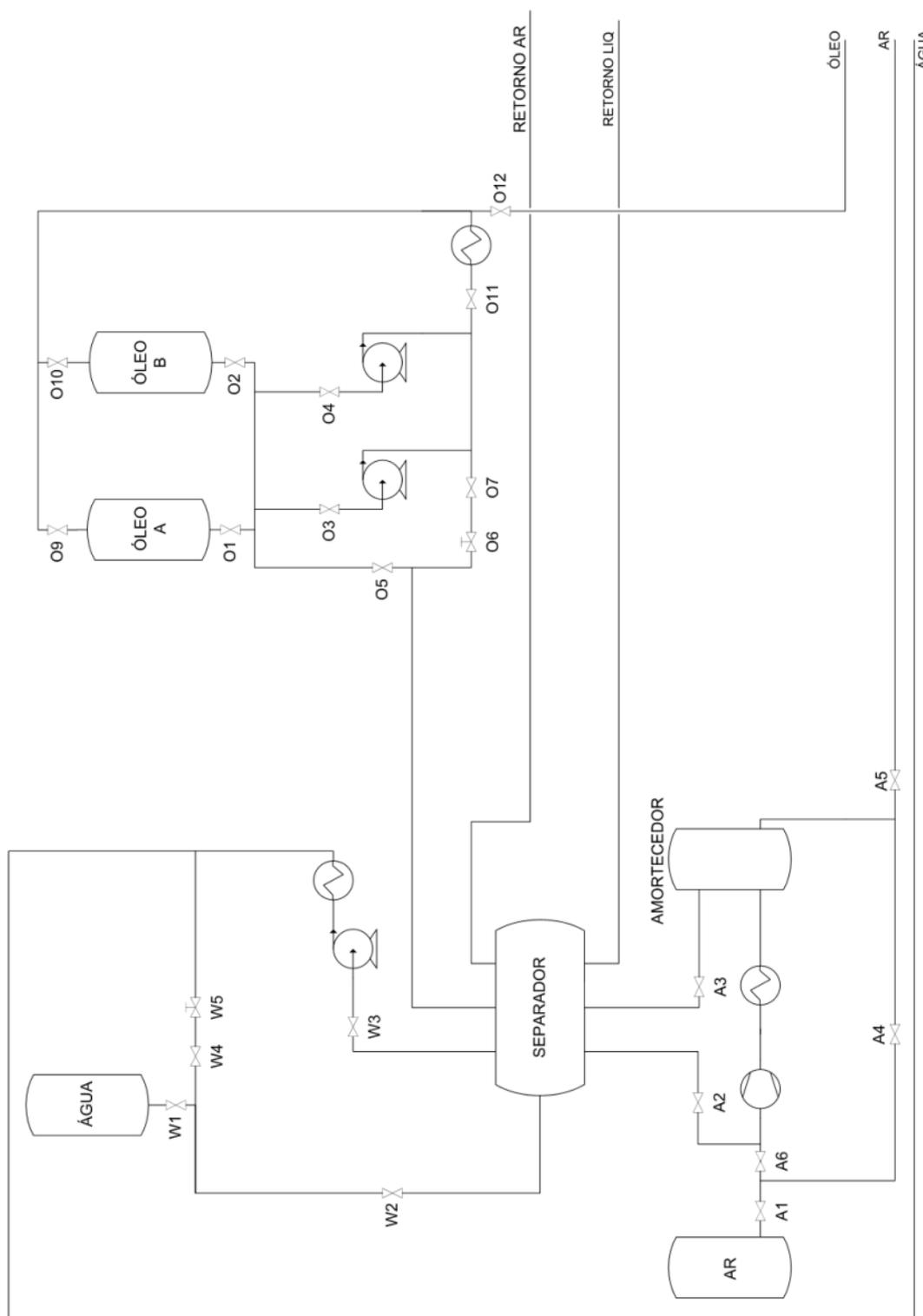


Figura 4 - Desenho esquemático da casa de máquinas.

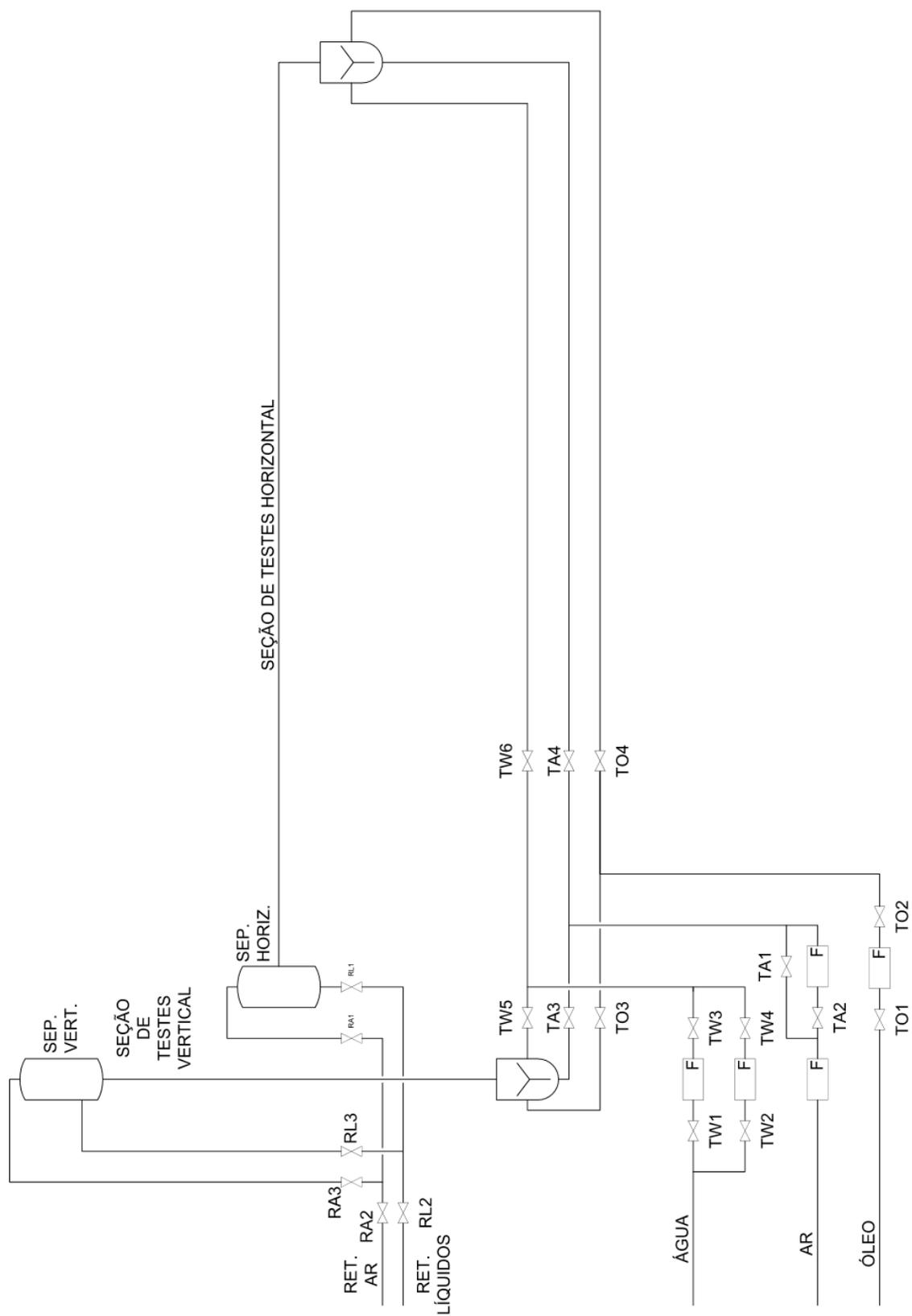


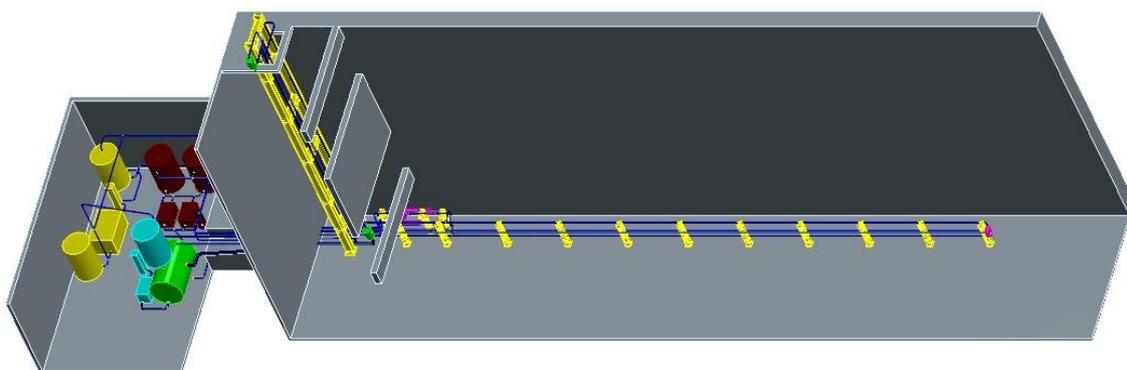
Figura 5 - Desenho esquemático da seção de testes.

## 4.3 Projeto CAD

### 4.3.1 Visão geral do projeto final

Durante e após as definições do leiaute do projeto foi realizada a modelagem virtual da instalação.

A bancada, como vista na Figura 6, é distribuída em dois ambientes, o laboratório do bloco N e a casa de máquinas.



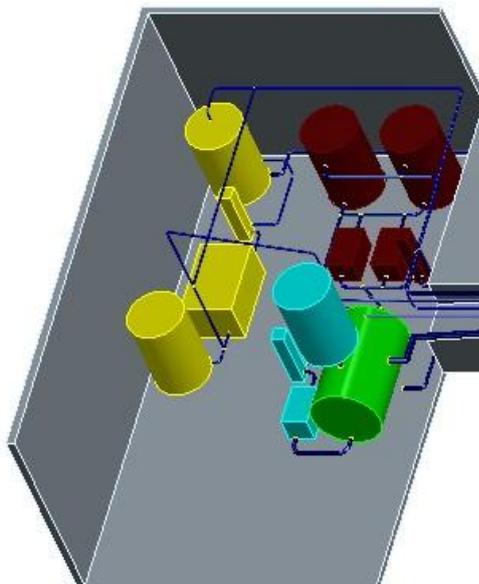
**Figura 6 - Projeto CAD da instalação**

### 4.3.2 Casa de máquinas

São quatro os circuitos principais presentes na casa de máquinas, como visto na Figura 7:

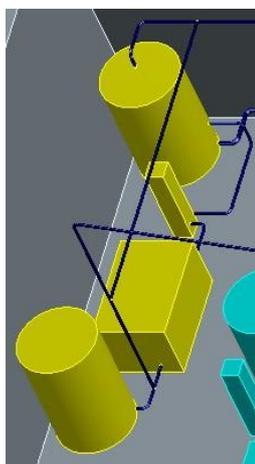
- Circuito de ar comprimido – Amarelo;
- Circuito de óleo – Marrom;
- Circuito de água – Azul claro;
- Separador – Verde;

Os elementos presentes na casa de máquinas são os vasos reservatórios, as bombas, compressores, trocadores de calor e o vaso de pressão separador.



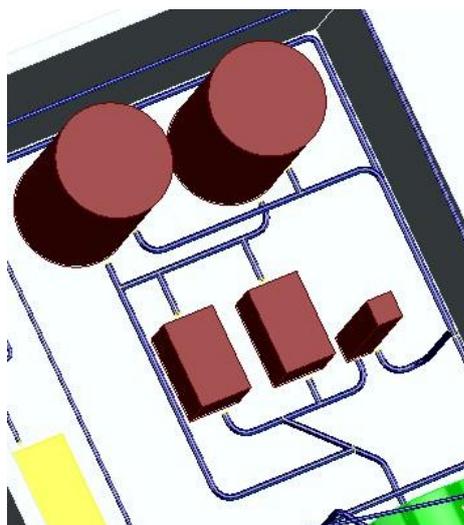
**Figura 7 - Casa de máquinas**

No circuito de ar, visto na Figura 8, vemos, de baixo para cima, um tanque reservatório de ar, um compressor de pistão, um trocador de calor e um tanque amortecedor de flutuações na linha.



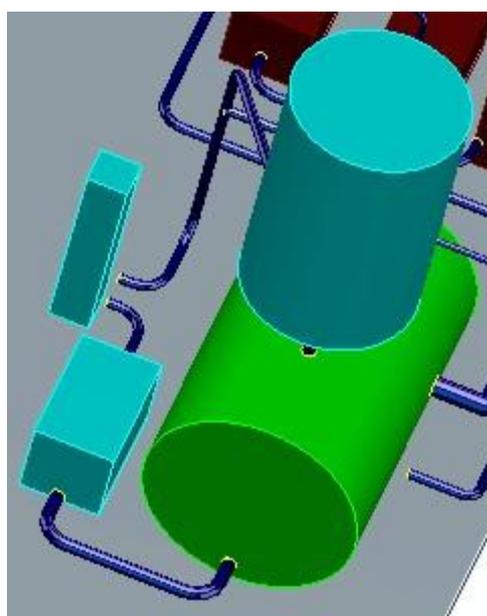
**Figura 8 - Circuito de Ar**

Para o circuito de óleo, como visto na Figura 9, vemos dois tanques reservatório, duas bombas e um trocador de calor. A duplicidade dos tanques e bombas se dá pela possibilidade da diferença de viscosidade entre os óleos utilizados.



**Figura 9 - Circuito de óleo**

Vê-se, na Figura 10, que o reservatório de água encontra-se acima do separador principal. Essa solução foi utilizada para que a alimentação de água no sistema fosse feita por gravidade, evitando bombas ou tubulações adicionais. Na esquerda da imagem, vê-se a bomba e o trocador de calor.

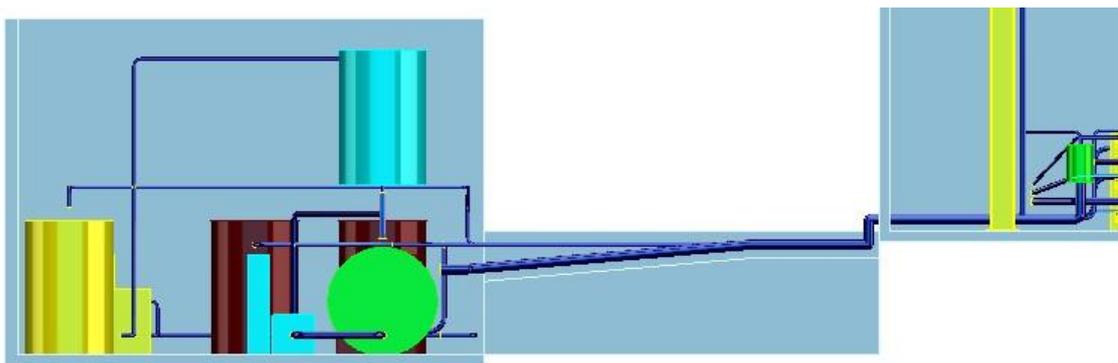


**Figura 10 - Circuito de água e separador**

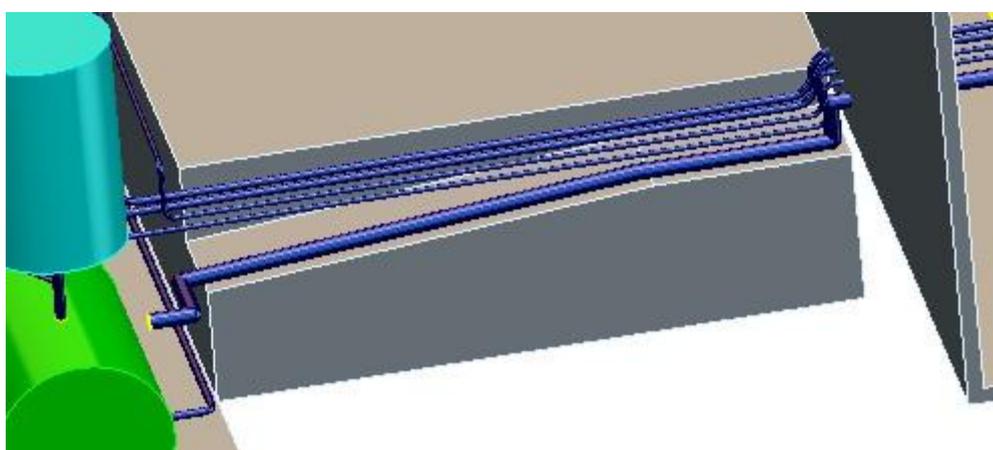
Os fluidos presentes no vaso separador são bombeados pelas tubulações para fora da casa de máquinas. Como visto na Figura 11 e na Figura 12, cinco tubulações são dispostas entre os blocos, sendo três de alimentação (água, óleo e ar) e duas de retorno (ar e líquidos).

A rampa se faz necessária apenas para que a inclinação da tubulação de retorno dos líquidos seja presente, visto que o escoamento dessa tubulação se dará principalmente por gravidade. O diâmetro desta linha é maior (6") para evitar contrapressão na seção de testes. Cobertura total ou mantas térmicas poderão ser necessárias, dependendo dos fluidos envolvidos e a necessidade de controle de temperatura para cada teste.

O fosso de passagem das tubulações não será um obstáculo para a passagem dos pedestres, visto que uma grade permitirá a movimentação de pessoas.



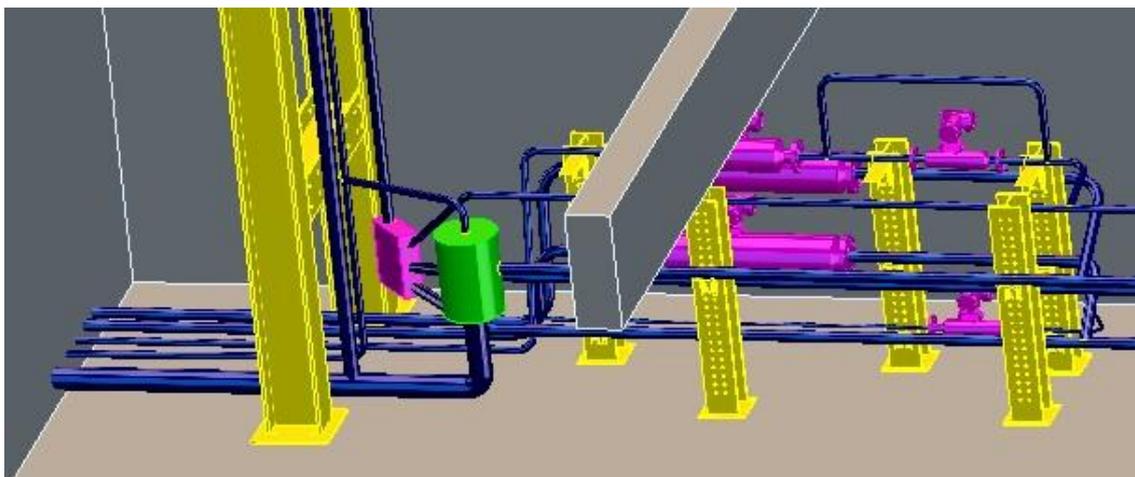
**Figura 11 - Desnível**



**Figura 12 - Rampa**

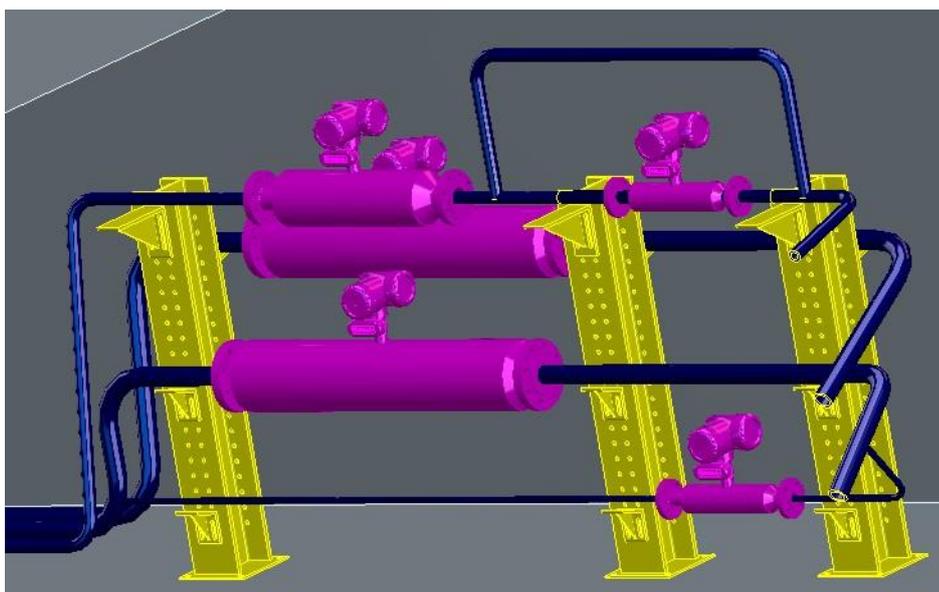
### 4.3.3 Seção de testes

Na Figura 13 podem-se ver as linhas entrando no laboratório. As tubulações, à esquerda, de cima para baixo, referem-se às seguintes linhas: Alimentação de óleo, alimentação de água, alimentação de ar, retorno de ar e retorno de líquidos.



**Figura 13 - Seção de testes**

Após a entrada dos tubos de alimentação a seção de testes, o roteamento segue até os medidores de vazão, como visto na Figura 14.



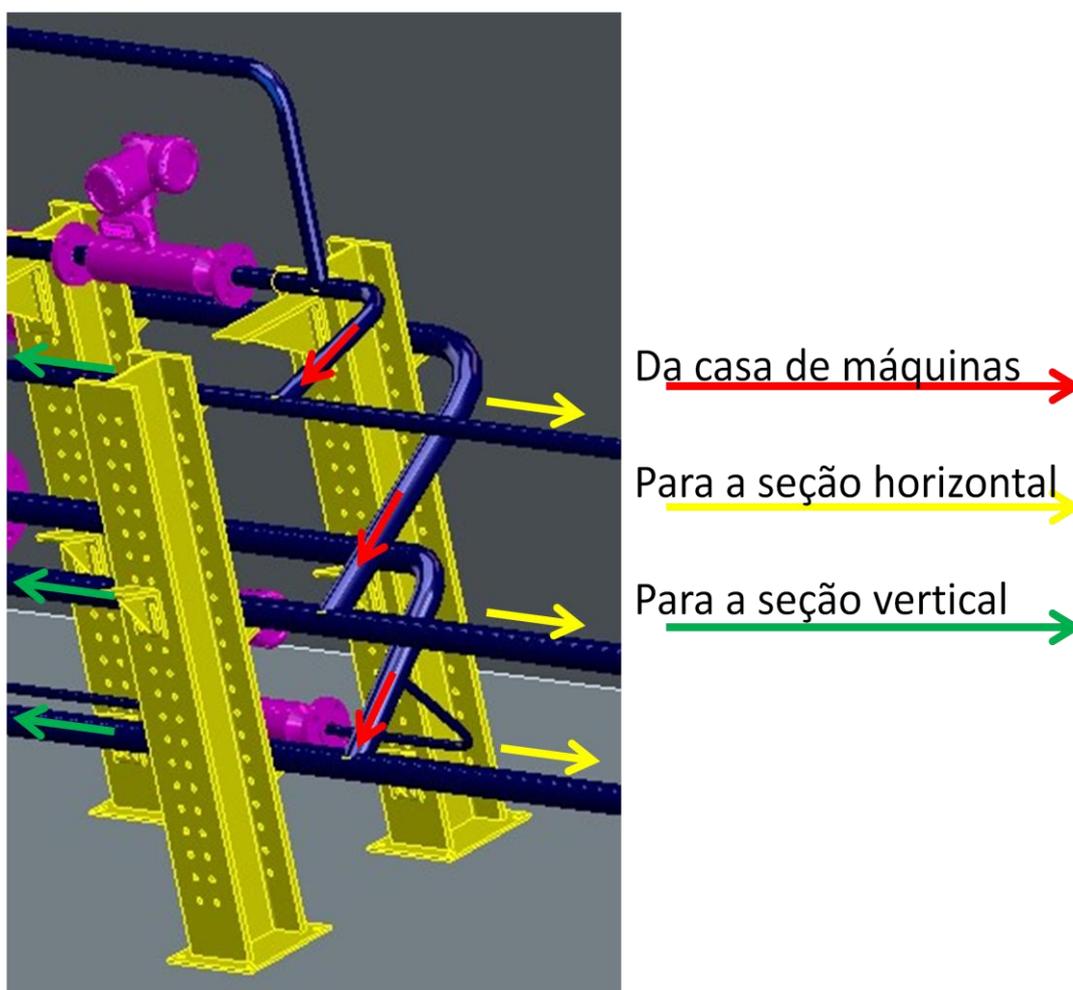
**Figura 14 - Medidores de vazão**

Na parte da frente da estrutura, na linha superior, vemos os medidores de vazão para o ar. O primeiro é um medidor de alta vazão e o segundo é um de baixa vazão. O segundo apresenta um by-pass, visto que não é adequado permitir o escoamento de altas vazões neste equipamento.

Abaixo, encontram-se dois medidores de vazão para água. Os medidores se encontram em paralelo, dependendo se trabalhando em alta ou baixa vazão.

Na parte posterior da estrutura está instalado o único medidor de vazão de óleo.

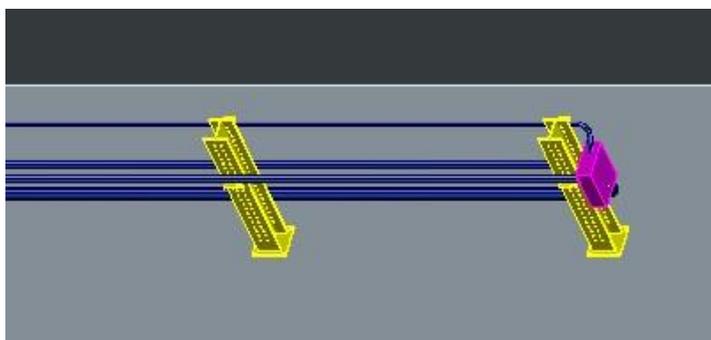
Após os medidores, as linhas de alimentação são direcionadas para a seção de testes, podendo ser a horizontal ou a vertical, como visto na Figura 15



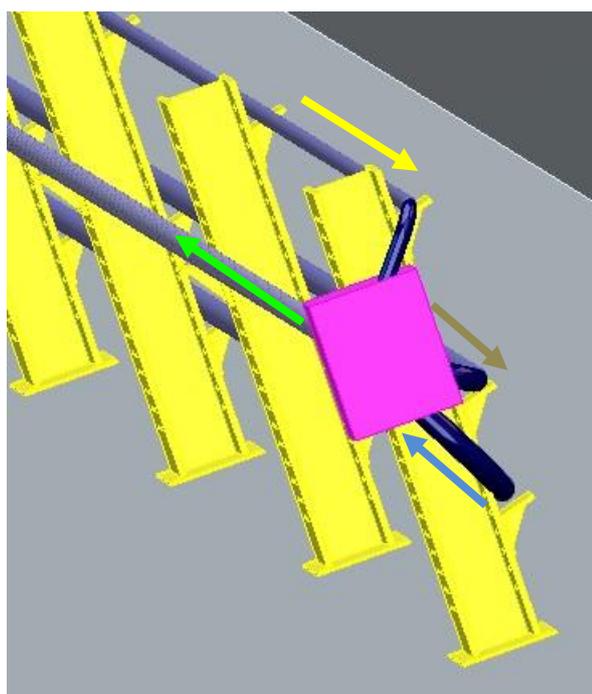
**Figura 15 - Conexões T para circuito vertical ou horizontal**

#### 4.3.3.1 Seção Horizontal

Quando para a seção horizontal, vista na Figura 16, as linhas correm pelo lado direito da estrutura e se encontram em um misturador no início da seção de testes, como se vê na Figura 17



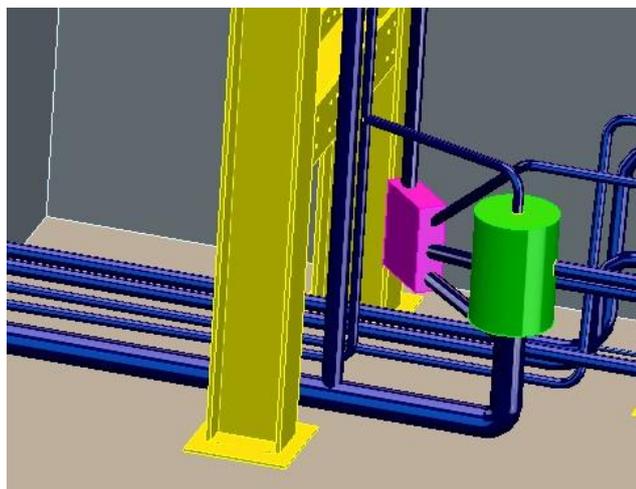
**Figura 16 - Seção horizontal**



**Figura 17 - Seção de testes horizontal**

Ao final da linha de teste horizontal, como pode ser visto na Figura 18, encontra-se um pré-separador amortecedor. Sua função é de realizar uma separação inicial entre o ar e os líquidos e de manter uma pressão constante na linha de testes, evitando uma possível contrapressão no sistema.

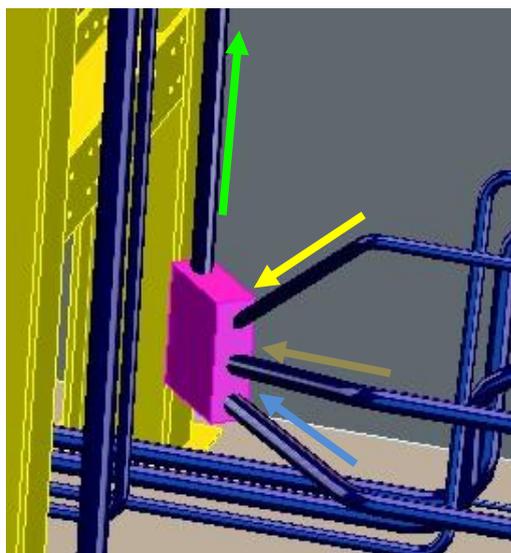
Para os pré-separadores, o escoamento chega ao componente pela horizontal. Os gases, de menor densidade, escapam para cima e seguem a tubulação menor. Já os líquidos, por gravidade, escoam para o tubo posicionado no inferior do pré-separador. Para que esse líquido escoe até a casa de máquinas, faz-se necessário a rampa previamente mostrada.



**Figura 18 - Final da linha de testes horizontal – Pré-separador**

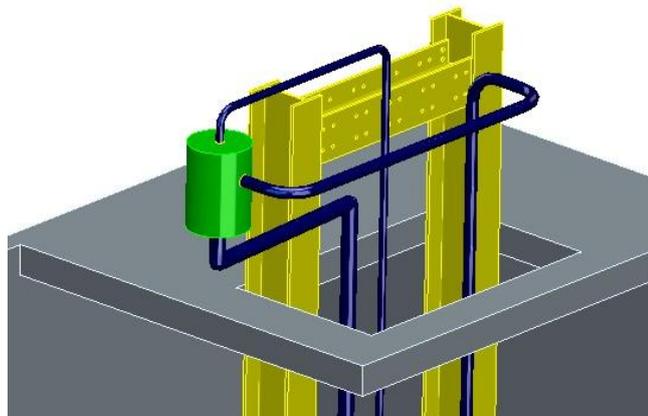
#### **4.3.3.2 Seção Vertical**

Para o circuito vertical as tubulações de alimentação também correm pelo lado direito da estrutura, encontrando-se em um misturador para o escoamento multifásico ascendente, como é visto na Figura 19.



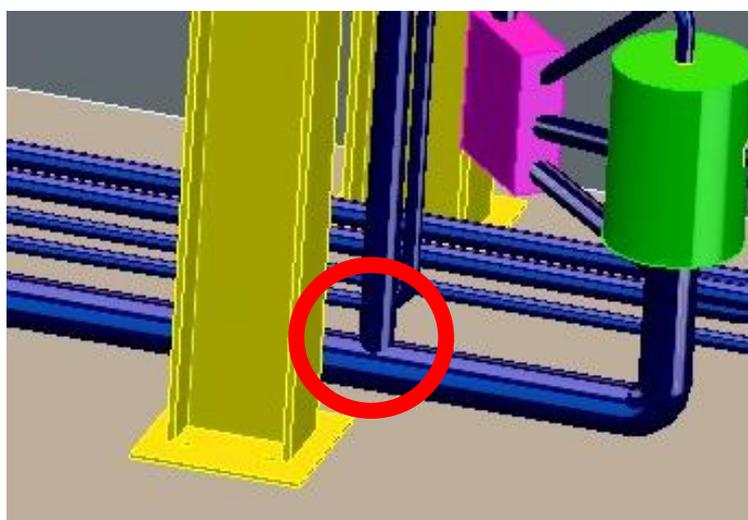
**Figura 19 - Seção de testes vertical**

Assim como no final da linha de testes horizontal, no fim da seção de testes vertical também há um pré-separador amortecedor de pressão, como se vê na Figura 20.



**Figura 20 - Final da linha de testes vertical – Pré-separador**

Na Figura 21 podemos ver como as linhas de retorno do circuito horizontal e vertical se encontram após os pré-separadores e encaminham-se para a casa de máquinas, onde desembocarão mais uma vez no separador principal.



**Figura 21 - Retorno dos fluídos**

## 4.4 Curvas Características do Sistema

### 4.4.1 Perda de Carga

O movimento de um fluido no interior de uma tubulação resulta em atrito do mesmo tanto com a superfície interna da tubulação quanto com as partículas do próprio fluido. Esse fenômeno se apresenta pela redução gradativa da pressão do fluido na direção do escoamento devido à dissipação de energia. Essa perda de pressão é conhecida por perda de carga, e é representada na equação modificada de Bernoulli (1):

$$\left(\frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{\bar{v}^2}{2 \cdot g} + z\right)_1 - \left(\frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{\bar{v}^2}{2 \cdot g} + z\right)_2 = H_{IT} \quad (1)$$

Na qual  $H_{IT}$  é a perda de carga em metros e os índices 1 e 2 são, respectivamente, os pontos imediatamente posteriores e anteriores à bomba.

A perda de carga pode ser dividida em dois grupos, a perda de carga distribuída e a localizada. A distribuída é representada pela perda de pressão distribuída ao longo da tubulação, resultando na diminuição gradativa da pressão. Já as perdas localizadas são causadas pelos acessórios e elementos do circuito hidráulico, tais entrada e saídas da tubulação, reduções e curvas, válvulas, medidores de vazão, e demais acessórios do sistema que provocam turbulências e obstruções ao escoamento, aumentando as perdas de energia em que esses elementos são localizados.

### 4.4.2 Cálculo da Perda de carga

#### 4.4.2.1 Perda de carga distribuída

Segundo o equacionamento encontrado na literatura (FOX, 2006), a perda de carga distribuída pode ser calculada a partir a equação (2):

$$H_t = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\bar{v}^2}{2 \cdot g} \quad (2)$$

Onde  $f$  é o fator de atrito e varia para cada situação, como abordado a seguir.

##### 4.4.2.1.1 Escoamento Laminar

O escoamento laminar é caracterizado por um número de Reynolds  $Re < 2300$ , e nessa situação a queda de pressão pode ser determinada analiticamente para o

escoamento completamente desenvolvido. Nessa situação, tem-se a equação (3) para o cálculo do fator de atrito.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

#### 4.4.2.1.2 Escoamento Turbulento

Para o escoamento turbulento, que é caracterizado por  $Re > 3200$ , a determinação analítica da queda de pressão não é possível, devendo se utilizar de dados experimentais para obter a perda de carga.

A partir de correlações e análise dimensional, descobriu-se uma relação de Reynolds, da rugosidade e do diâmetro da tubulação para a determinação do fator de atrito. Neste trabalho, a determinação do fator de atrito se dará pelo método de Colebrook (4).

$$\frac{1}{f^{0,5}} = -2,0 \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot f^{0,5}} \right) \quad (4)$$

Sendo  $\varepsilon = e/D$ ,  $e$  a rugosidade absoluta do material e  $D$  o diâmetro da tubulação.

A equação de Colebrook exige que um processo iterativo seja realizado até a sua convergência. Para evitar os cálculos, utiliza-se a equação de Miller, que fornece um valor inicial para o fator de atrito que atinja um erro inferior a 1% já em sua primeira iteração (5).

$$f_0 = 0,25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^{-2} \quad (5)$$

Onde  $f_0$  é o valor inicial do fator de atrito procurado.

#### 4.4.2.2 Perda de carga localizada

As perdas de carga localizadas podem ser expressas de acordo com a equação (6).

$$H_{lm} = K \cdot \frac{\bar{v}^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

Sendo  $H_{lm}$  a perda de carga localizada e  $K$  o coeficiente de perda do componente hidráulico em questão. Esse coeficiente pode ser encontrado em tabelas e gráficos presentes na literatura.

#### 4.4.3 Curvas

Tem-se então que a perda de carga total  $H_{IT}$  é a soma das perdas localizadas e distribuídas, ou seja (7):

$$H_{IT} = H_t + H_{lm} \quad (7)$$

A curva característica do sistema é um gráfico que relaciona a altura manométrica necessária no sistema para se atingir diferentes vazões especificadas. O cálculo de cada altura manométrica é dado pela equação modificada de Bernoulli, sendo  $H_{IT}$  toda a perda de carga do sistema considerado.

As informações que alimentam as curvas características do sistema, tanto para as condições de operação horizontal e vertical estão apresentadas nas Tabela 2 e Tabela 3. Os gráficos correspondentes estão apresentados nas Figuras 20 a 25. Os cálculos para a obtenção desses valores se encontram no apêndice C.

**Tabela 2 – Dados das curvas características de sistema dos líquidos**

Vazão [m <sup>3</sup> /h]	Vazão [m <sup>3</sup> /s]	Perda de carga [m]			
		Água (Horizontal)	Água (Vertical)	Óleo (Horizontal)	Óleo (Vertical)
5	0,0014	2,43	16,58	2,84	16,84
10	0,0028	3,06	17,11	4,20	17,82
20	0,0056	5,56	19,18	8,79	21,25
30	0,0083	9,68	22,61	15,71	26,57
40	0,0111	15,42	27,40	24,85	33,70
50	0,0139	22,78	33,55	36,14	42,61
60	0,0167	31,76	41,05	49,57	53,27
70	0,0194	42,38	49,91	65,08	65,68
80	0,0222	54,61	60,14	82,66	79,82
90	0,025	68,47	71,72	102,30	95,67
100	0,0278	83,96	84,66	123,96	113,23

Tabela 3 - Dados das curvas características de sistema do ar

		Perda de carga [m]	
Vazão [m <sup>3</sup> /h]	Vazão [m <sup>3</sup> /s]	Ar (Horizontal)	Ar (Vertical)
10	0,003	5,33	19,08
28	0,008	26,62	37,36
56	0,016	99,76	100,18
84	0,023	221,61	204,85
112	0,031	392,16	351,38
140	0,039	611,43	539,76
168	0,047	879,40	770,00
196	0,054	1,20.10 <sup>3</sup>	1,04.10 <sup>3</sup>
224	0,062	1,56.10 <sup>3</sup>	1,36.10 <sup>3</sup>
252	0,07	1,98.10 <sup>3</sup>	1,71.10 <sup>3</sup>
280	0,078	2,44.10 <sup>3</sup>	2,11.10 <sup>3</sup>

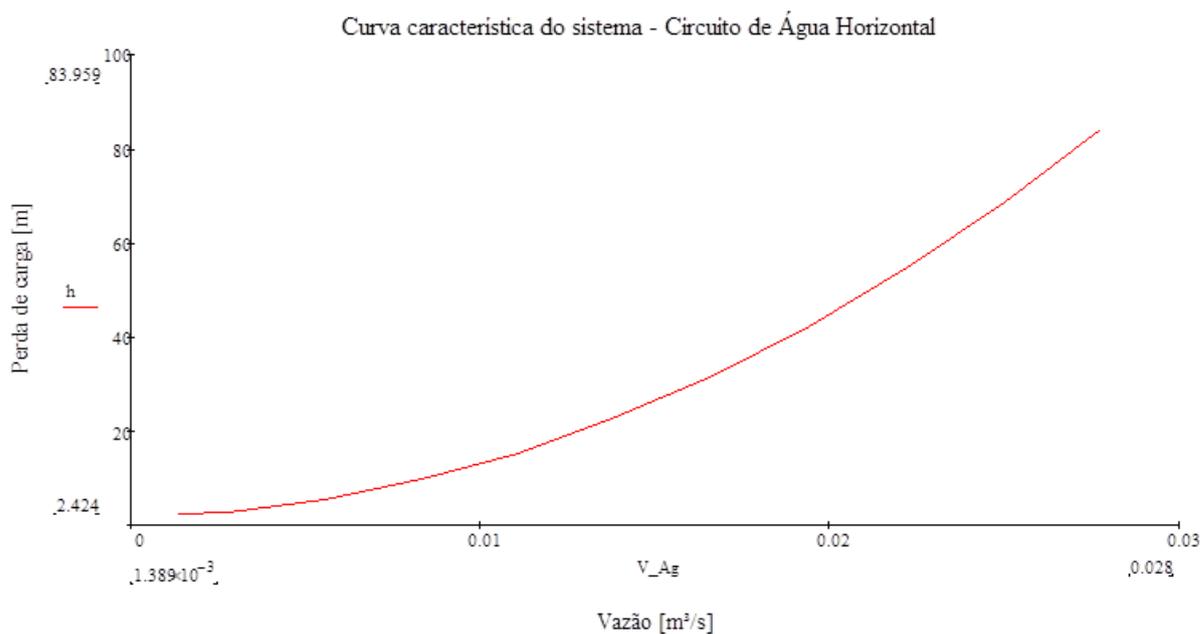
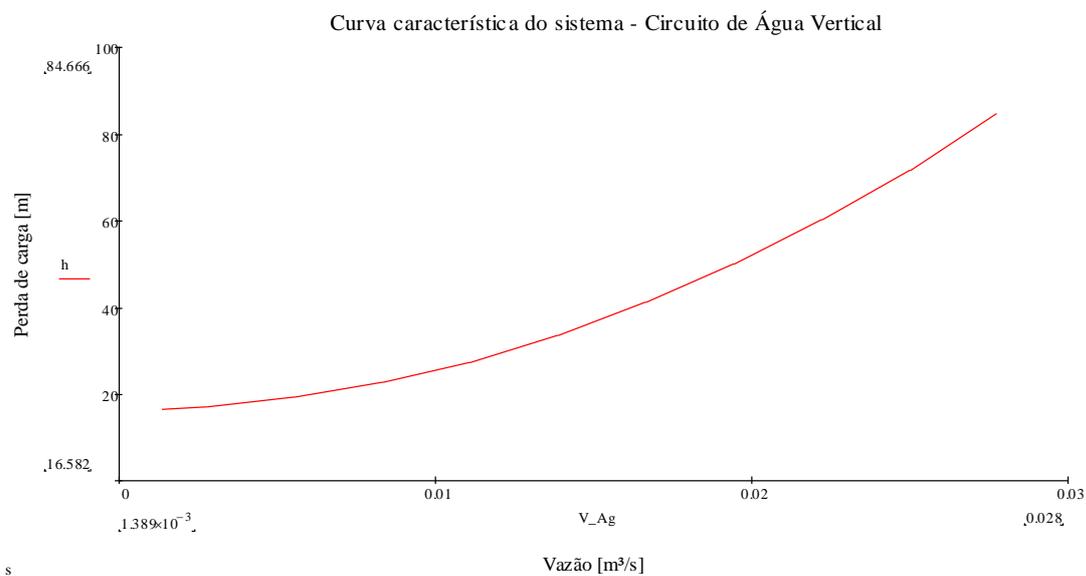
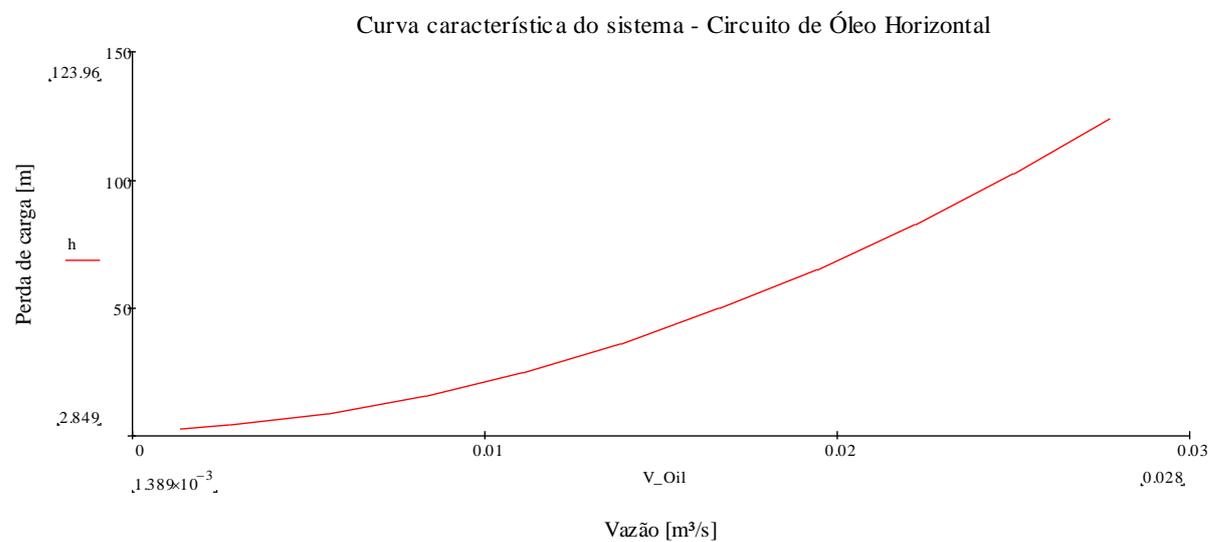


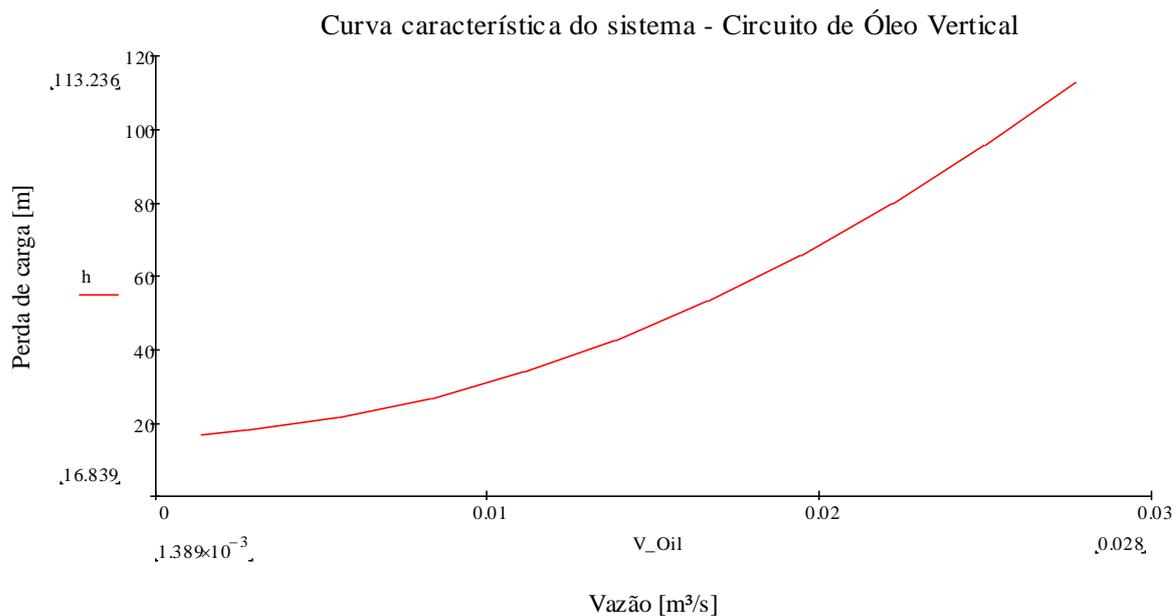
Figura 22 - Curva característica do sistema – Circuito de água – Horizontal



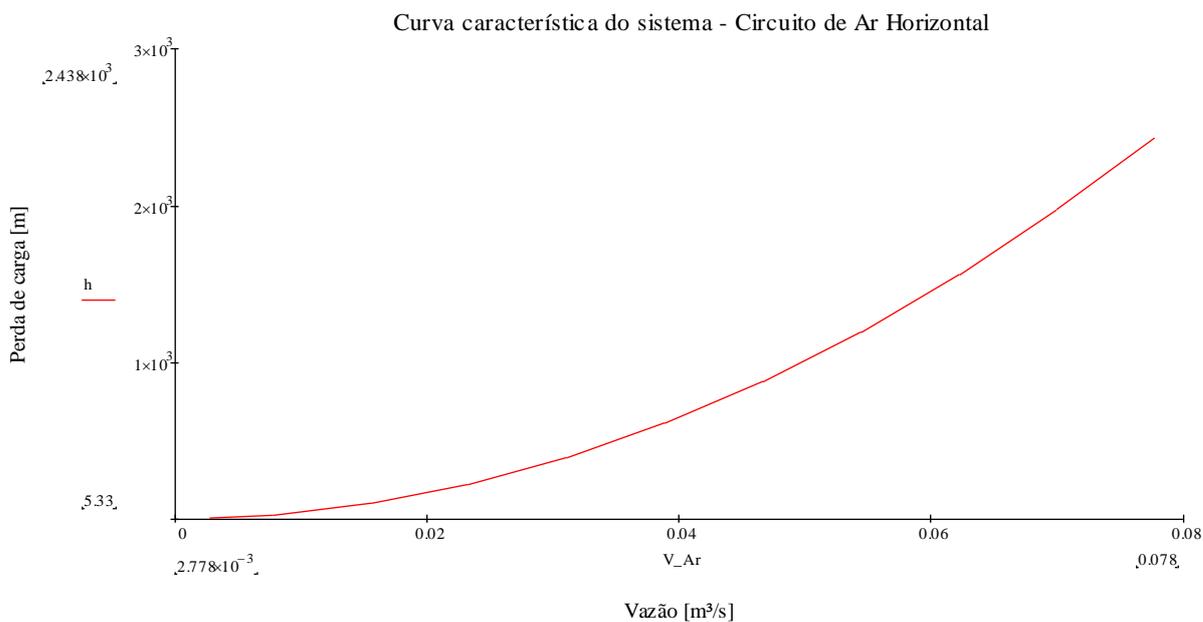
**Figura 23 - Curva característica do sistema – Circuito de água - Vertical**



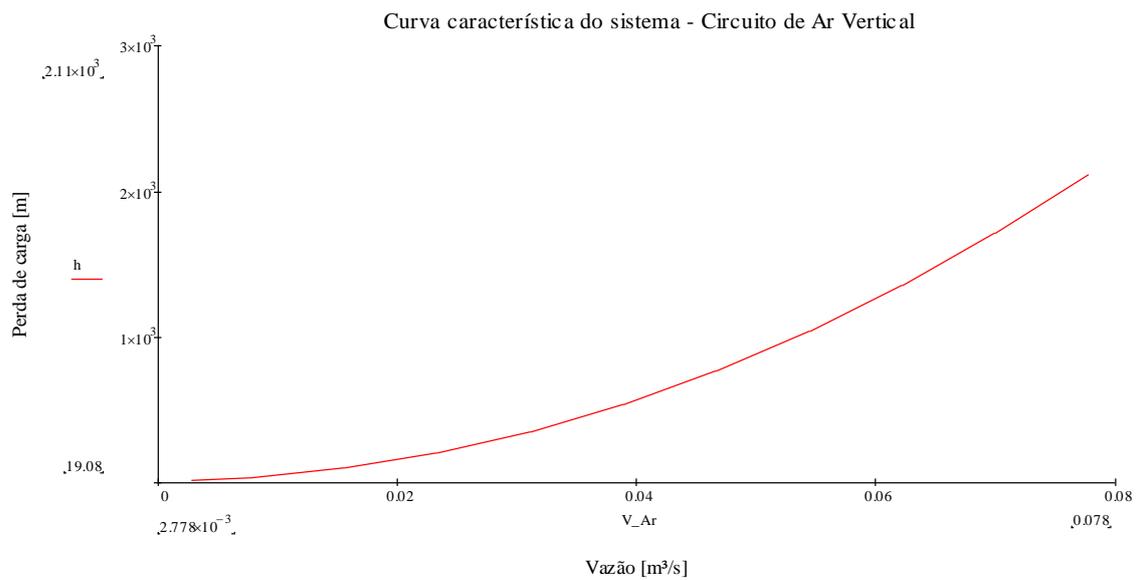
**Figura 24 - Curva característica do sistema – Circuito de óleo – Horizontal**



**Figura 25 - Curva característica do sistema – Circuito de óleo - Vertical**



**Figura 26 - Curva característica do sistema – Circuito de ar – Horizontal**



**Figura 27 - Curva característica do sistema – Circuito de ar - Vertical**

## 5 EQUIPAMENTOS

### 5.1 Tubulação

Os diâmetros nominais para a tubulação, apresentados no Quadro 1, foram escolhidos de forma a comportar as altas vazões com as quais se pretende realizar os testes, e equilibrando o custo com a perda de carga oferecida. Quanto maior o diâmetro do tubo, maior o custo por unidade de comprimento, mas é menor a perda de carga. Como foi apresentado na seção 4.3 *Curvas Características do Sistema*, os valores indicados na tabela a seguir se mostraram adequados.

O material escolhido é o aço inoxidável austeníticos A304 sem costura, pois este possui alta resistência à corrosão mesmo quando utilizando gases como gás carbônico. Dessa forma, todo o sistema estará preparado para realizar testes com qualquer tipo de fluido com uma longa vida útil, reduzindo a necessidade de investimentos futuros. Como não são esperados operações acima de 450°C, não há risco de sensitização, não havendo necessidade de se utilizar aços inoxidáveis de baixo carbono.

Para determinar a espessura necessária, calcula-se a Série do tubo, de acordo com a pressão de trabalho, utilizando-se a equação (8).

$$Série = \frac{1000 P}{S} \quad (8)$$

Sendo P a pressão de admissível durante serviço (50 bars = 50.99 kgf/cm<sup>2</sup>), e S a tensão admissível do material escolhido (1400 kgf/cm<sup>2</sup>, veja Anexo A), tem-se o resultado expresso em (9).

$$Série = \frac{1000 * 50,99 \left[ \frac{kgf}{cm^2} \right]}{1400 \left[ \frac{kgf}{cm^2} \right]} = 36 \cong 40 \quad (9)$$

Dessa forma, têm-se os seguintes resultados para as demais dimensões dos tubos. (veja Anexo B para detalhes).

Quadro 1 - Tubos utilizados no sistema

Fluido	Seção	Diâm. Nom. (pol)	Diam. Ext. (mm)	Espessura (mm)	Diam. Int (mm)
Água	Do reservatório até a bomba	4"	114,4	6,02	102,36
Água	Da bomba até os misturadores, inclusive medidor de alta vazão.	3"	88,9	5,49	77,92
Água	Medidor de baixa vazão.	1"	33,4	3,38	26.64
Água + óleo	Do separador secundário até o separador principal.	6"	168,3	7,11	154,08
Gas	Toda a linha	2"	60,3	3,91	52,48
Óleo	Toda a linha	3"	88,9	5,49	77,92

## 5.2 Flanges

As flanges foram escolhidas por flexibilizar todo o leiaute da seção de testes e a distribuição dos equipamentos na casa de máquinas. O material deve ser o mesmo utilizado na tubulação, facilitando o processo de soldagem.

A classe escolhida é a #300 (ver seção 8.2.3 *Ligações Flangeadas* para mais detalhes). Esta classe permite operação em temperatura ambiente com até 50 bars. Para operações em temperaturas maiores, deve-se verificar a tabela na seção 8.2.3 para conhecer a pressão máxima em temperaturas mais elevadas.

Sendo o material o aço inoxidável A304, têm-se as seguintes especificações para os flanges, em função do diâmetro nominal da tubulação (ver Anexo C para

detalhes das dimensões): Flange de pescoço, face com ressalto, acabamento liso para a face, junta semimetálica em espiral (aço inoxidável preenchido com grafite flexível), norma de projeto ASME.B.16.5.

### 5.3 Válvulas

As válvulas foram selecionadas de acordo com o atendimento dos requisitos do projeto.

Para as linhas de controle de vazão e *by-pass* das bombas e compressores se faz necessário uma válvula que possa ser tanto de bloqueio quanto apresentar regulagem de precisão. Para tal, seleciona-se a válvula de agulha. No diagrama esquemático do circuito, são as válvulas W5 e O6.

Para as outras aplicações do circuito, faz-se necessária a presença de uma válvula que permita o bloqueio garantindo estanqueidade, que seja operável com frequência, permita uma passagem plena enquanto aberta e apresente uma perda de carga reduzida. Para satisfazer essas especificações, optou-se pela válvula esfera.

O descritivo da operação das válvulas pode ser encontrado no apêndice B.

**Quadro 2 - Tipos de válvulas utilizadas**

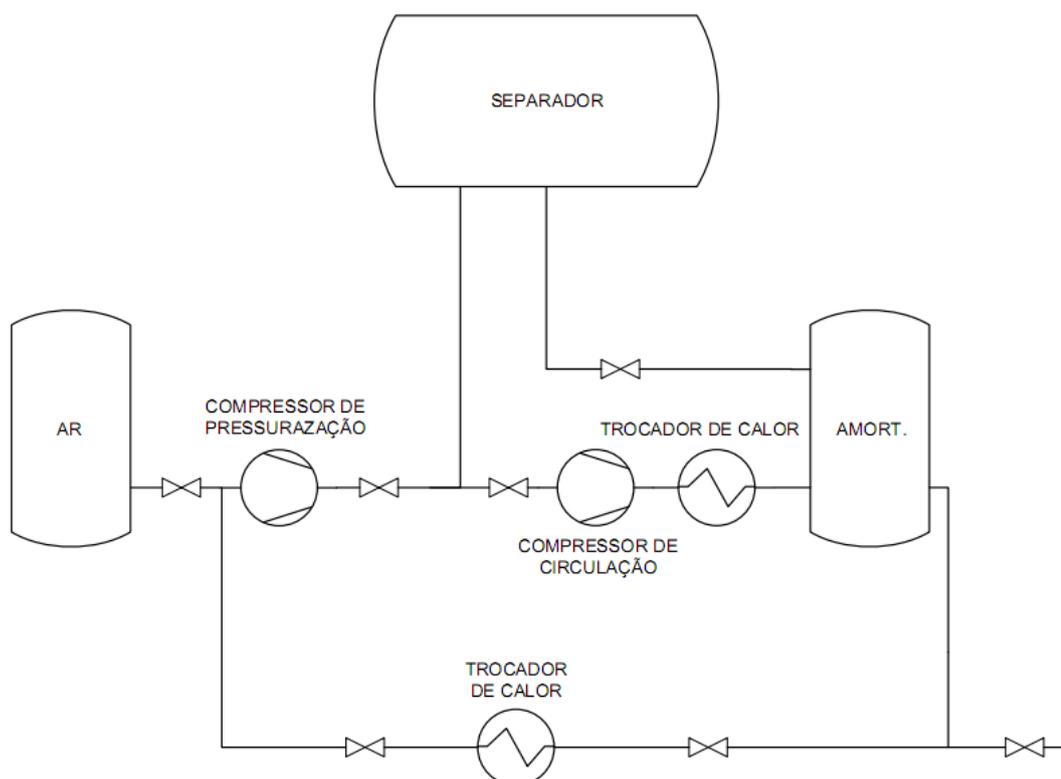
Tipo de Válvula	Aplicação	Justificativa
Agulha	By-pass de bombas e compressores	Estanqueidade, vazão plena enquanto aberta e regulagem precisa de vazão
Esfera	Bloqueio e passagem	Ótima estanqueidade, vazão plena enquanto aberta e operável com frequência.

### 5.4 Compressores

Para a seleção de compressores foram utilizados os parâmetros de sistema disponíveis na Tabela 1.

Optou-se pela utilização de dois compressores, um para a pressurização do sistema e outro para a recirculação. Para o primeiro, é necessário um sistema que

consiga atingir até 50 bars de pressão partindo da pressão ambiente. Para o segundo, se faz necessário que ele supra apenas a perda de carga do sistema e que sua selagem suporte 50 bars. Esta sugestão de conjunto de compressores está apresentada de forma esquemática na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

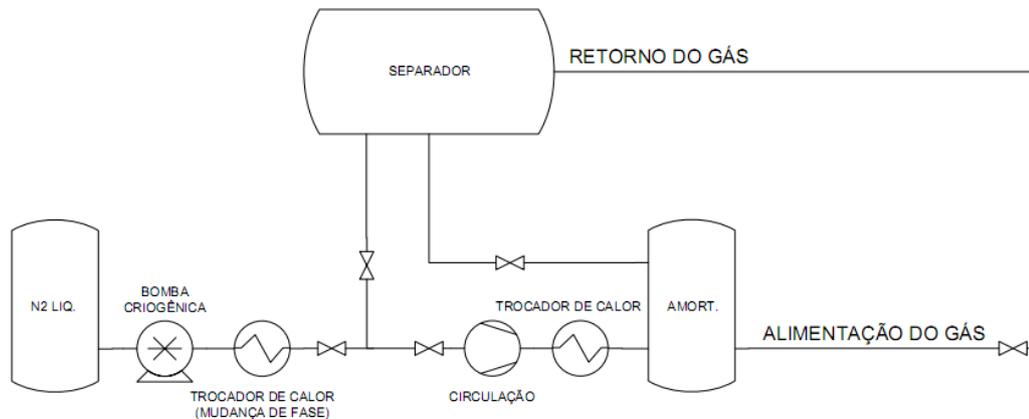


**Figura 28 - Primeira proposta do sistema de ar comprimido**

#### 5.4.1 Sistema de pressurização

Tentou-se selecionar um compressor para a pressurização do sistema, mas a pesquisa mostrou que tal equipamento, além de exigir um investimento elevado, ocuparia muito do espaço disponível na casa de máquinas. Para evitar a solução dos compressores de múltiplo estágio, sugere-se um sistema de bombeamento de nitrogênio líquido. O nitrogênio ficaria armazenado em um vaso criogênico e seria circulado por uma bomba adequada (criogênica). Após esta etapa, o fluido seria direcionado para um trocador de calor onde mudaria de fase para gás e teria sua pressão aumentada até a desejada para teste.

Esse sistema é atualmente utilizado pelo SINTEF e é capaz de atingir pressões de trabalho na ordem de 90 bars (SINTEF, 2012).



**Figura 29 - Proposta criogênica para o sistema de ar comprimido**

Alternativamente pode-se utilizar um compressor comercial de pressurização que não atinja os 50 bars inicialmente previstos. Para tal hipótese, selecionou-se o seguinte compressor (ATLAS COPCO, 2013):

Atlas Copco

Tipo: Deslocamento positivo – Alternativo (Pistões)

60Hz P65-60

Pressão de trabalho: 25~40bar

Pressão de sucção: 1bar

Vazão: 323m<sup>3</sup>/h



**Figura 30 - Compressor Atlas Copco P65-60**

Considerando que 50 bars é a pressão limite de trabalho, e não se pretende realmente realizar testes nessa ordem, o compressor P65-60 se mostra adequado e

uma opção interessante por garantir a segurança do sistema, não permitindo que este opere em sua pressão limite.

#### 5.4.2 Sistema de circulação

Seja a perda de carga do sistema de ar calculada em 13,9 bars, se faz necessária a seleção de um compressor que supra essa perda de carga, que apresente selagem para operar até 50 bars e que suporte as vazões do sistema, ou seja, 280m<sup>3</sup>/h. Faz-se necessário lembrar também que será desejável ao laboratório a possibilidade de utilizar circuitos inclinados, curvas e outras condições de operação, bem como sensores e elementos de circuito que, eventualmente, irão elevar a perda de carga calculada. Assim, a perda de carga calculada poderá ser superior dependendo das futuras alterações no projeto.

O compressor que mais facilmente satisfizes essas condições de projeto foi exatamente aquele selecionado para o sistema de pressurização, com uma pressão mínima de trabalho de 25 bars.

Alguns ajustes no sistema se mostram válidos no caso de se optar por utilizar o mesmo compressor tanto para a pressurização, quanto para a circulação.

Portanto, a proposta final da linha de ar comprimido se mantém da maneira mostrada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

**Figura 31 - Solução com um único compressor para o sistema de ar comprimido**

## 5.5 Vasos de Pressão

O dimensionamento dos vasos consistiu em determinar as características geométricas do vaso, baseando-se no volume de fluido escoando no sistema e na determinação da espessura das chapas dos cilindros e tampos dos vasos de pressão.

Com o projeto CAD totalmente especificado, extraiu-se o comprimento das tubulações e se calculou o volume de cada linha. Os resultados estão apresentados no Quadro 3. É importante que seja possível recolher completamente todos os fluidos em seus respectivos vasos, permitindo procedimentos de manutenção.

**Quadro 3 - Determinação do volume dos vasos**

			Comprimento da linha [m]	Diâmetro da linha [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Volume total [m <sup>3</sup> ]	Coefficiente de segurança C	Volume*C [m <sup>3</sup> ]
AGUA	Vertical	Sucção	2,10	0,10	0,02	0,68	2,00	1,37
		Descarga	40,71	0,08	0,18			
		Retorno	26,49	0,15	0,48			
	Horizontal	Sucção	2,10	0,10	0,02	0,57		1,15
		Descarga	78,46	0,08	0,36			
		Retorno	10,99	0,15	0,20			
OLEO	Vertical	Sucção	6,00	0,10	0,05	0,72	2,00	1,43
		Descarga	41,34	0,08	0,19			
		Retorno	26,49	0,15	0,48			
	Horizontal	Sucção	6,00	0,10	0,05	0,61		1,21
		Descarga	78,89	0,08	0,36			
		Retorno	10,99	0,15	0,20			
AR	Vertical	Sucção	77,52	0,05	0,16	0,22	2,00	0,45
		Descarga	14,35	0,08	0,07			
	Horizontal	Sucção	85,30	0,05	0,17	0,32		0,64
		Descarga	32,00	0,08	0,15			

Selecionando o maior valor, entre horizontal e vertical, para cada uma das linhas de fluido e arredondando para um valor padrão, chegamos a 1,5m<sup>3</sup> para água e óleo e 0,7m<sup>3</sup> para o ar. De posse dessas informações e com diâmetros estipulados em função da arquitetura da casa de máquinas, calcula-se a altura e reunimos as principais informações dos vasos (Quadro 4).

**Quadro 4 - Geometria dos vasos**

Geometria dos vasos					
	Amortecedor de Ar	Reservatórios de Óleo	Reservatório de Água	Vaso separador principal	Vasos separadores intermediários
Volume desejado [m <sup>3</sup> ]	0,7	1,5	1,5	5	0,05
Diâmetro [m]	0,8	0,8	0,8	1,6	0,4
Altura [m]	1,4	3	3	2,5	0,4

Com a formulação descrita nos apêndices dos vasos de pressão, encontrada em TELLES (2012), seguindo a norma ASTM, pode-se calcular e selecionar os materiais utilizados na manufatura dos vasos, como apresentado nos Quadros 7 e 8.

**Quadro 5 - Cálculo da espessura dos vasos**

Espessura dos vasos					
	Amortecedor de Ar	Reservatórios de Óleo	Reservatório de Água	Vaso separador principal	Vasos separadores intermediários
Pressão [Bar]	50	1,01	1,01	50	50
Raio do vaso [m]	0,4	0,4	0,4	0,8	0,2
Material	SS 1 1/4 Cr 1/2Mo Chapa A-387-11 cl1				
Tensão do material [kg/cm <sup>2</sup> ]	1202	1202	1202	1202	1202
Coefficiente E	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Margem C [mm]	3	3	3	3	3
0,385.S.E	294,9	294,9	294,9	294,9	294,9
Condição	Pequenas espessuras				
Espessura calculada[mm]	30,2	3,5	3,5	57,3	16,6
Espessura selecionada [mm]	31,5	5,3	5,3	60,0	17,0

**Quadro 6 - Cálculo da espessura dos tampos - Toroidal**

Espessura dos tampos - Toroidal					
	Amortecedor de Ar	Reservatórios de Óleo	Reservatório de Água	Vaso separador principal	Vasos separadores intermediários
Pressão [Bar]	50	1,01	1,01	50	50
Raio do vaso [m]	0,4	0,4	0,4	0,8	0,2
Material	SS 1 1/4 Cr 1/2Mo Chapa A-387-11 cl1				
Tensão do material [kg/cm <sup>2</sup> ]	1202	1202	1202	1202	1202
Coefficiente E	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Margem C [mm]	3	3	3	3	3
Espessura calculada[mm]	49,5	3,9	3,9	96,0	26,3
Espessura selecionada [mm]	50	5,3	5,3	100	26,5

## 5.6 Instrumentação

### 5.6.1 Vazão

Apesar de não ter sido possível incluir o projeto de instrumentação neste trabalho, foram especificados os medidores de vazão mássicos por estes serem de grande porte e suas posições deveriam ser consideradas na definição da rota da tubulação, como foi apresentado no Capítulo 4. No caso, a melhor opção encontrada foram os medidores de vazão Coriolis de tubo reto da Khrono, cuja representante no Brasil é a Conaut Controles Automáticos Ltda.

O Quadro 7 apresenta o resumo dos modelos escolhidos para cada fluido, bem como o intervalo de vazão. Detalhes técnicos estão disponíveis no Anexo D. Estes modelos foram selecionados de forma a atender uma ampla faixa de vazões com precisão, principalmente para água e ar.

**Quadro 7 - Medidores Coriolis selecionados**

Fluido	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Modelo
Água	10 - 100	OPTIMASS 7300 – T80
Água	1,0 - 10	OPTIMASS 1300 – S25
Ar	10 – 50	OPTIMASS 1300 – S25
Ar	50 - 280	OPTIMASS 1300 –S50
Óleo ou glicerina	3,5 - 100	OPTIMASS 7300 – T80

## 5.7 Normas de Segurança

Todo o sistema de tubulações e válvulas deve ser testado após a montagem para verificar a estanqueidade e segurança do sistema. Para as tubulações, o teste hidrostático é o mais recomendado. No entanto, o teste pode ser realizado com ar comprimido em condições especiais, como por exemplo, quando a estrutura não suportaria o peso adicional da água.

A norma ASME B.31.3 define que a pressão de teste para tubulações que não ultrapassam 340°C deve ser uma vez e meia a pressão de trabalho.

As válvulas devem ser testadas quanto à estanqueidade da carcaça e do sistema de vedação interno. O teste da carcaça é realizado da mesma forma que o teste para a tubulação. Aplica-se uma pressão interna igual a uma vez e meia a pressão de trabalho da válvula, não sendo permitidos quaisquer vazamentos. O teste de estanqueidade interno é realizado com a válvula completamente fechada e flanges cegos instalados em suas extremidades, aplicando-se pressão igual a 1,1 vezes a pressão de trabalho. Gotejamentos podem ser permitidos de acordo com as normas correspondentes e orientações do fabricante.

O teste hidrostático deve ser registrado formalmente, registrando-se todas as informações sobre o mesmo. O teste deve ser refeito toda a vez que houver intervenção na tubulação que possa alterar sua capacidade de estanqueidade.

Algumas providências devem ser tomadas antes de se iniciar o teste:

- A tubulação deve ser dividida em seções, podendo incluir vasos e outros equipamentos e possam suportar a pressão de testes;
- Restrições de fluxo devem ser removidas da tubulação;
- Todas as válvulas devem permanecer totalmente abertas;
- Instrumentos e equipamentos que não possam ser submetidos à pressão de teste devem ser retirados ou isolados do sistema;
- Válvulas de segurança devem ser removidas, e suas saídas devem ser bloqueadas;
- Todas as soldas, roscas, conexões por flanges e quaisquer conexões devem ser mantidos expostos durante o teste, bem como emendas em tubos enterrados;

## 6 CONCLUSÃO

### 6.1 Discussão dos resultados

Este trabalho resultou em um projeto conceitual de uma instalação pressurizada para estudo de escoamentos bifásicos ou trifásicos, em tubulações horizontais ou verticais, havendo ainda a possibilidade de montar trechos inclinados. Água e ar são os fluidos inicialmente utilizados, mas o teste com óleos em uma larga faixa de viscosidades é possível.

O leiaute foi completamente determinado, desde a disposição de tanques de armazenamento e de separação, bombas, compressores e trocadores de calor na casa de máquinas, até a disposição da seção horizontal e vertical de testes dentro do prédio, passando pela área de instrumentação.

Entretanto, não foi possível realizar o projeto completo dos vasos misturadores e separadores, apenas um dimensionamento básico da capacidade necessária e espessura de parede para aqueles que deverão suportar altas pressões. Por outro lado, toda a tubulação e flanges estão completamente especificados de forma capaz de operar com os mais diversos gases e líquidos, bem como a posição de todas as válvulas que serão instaladas, incluindo os testes hidrostáticos que devem ser realizados para averiguar a segurança do sistema.

Em posse destas informações, os valores de perda de carga e curvas características do sistema puderam ser calculados, passo determinante para a correta especificação de bombas e compressores. Um modelo de compressor foi apresentado para realizar a pressurização e circulação de ar atmosférico no sistema.

Na área de instrumentação, apenas os medidores de vazão mássica foram especificados detalhadamente, por se tratarem de fator determinante para a disposição da tubulação.

Este projeto alcançou seu objetivo ao definir definitivamente os conceitos a serem utilizados na instalação apresentada.

## 6.2 Sugestão para próximos trabalhos

Considerando os resultados atingidos neste projeto, os passos a serem seguidos pelos próximos trabalhos são:

- Determinação do sistema de controle de temperatura para os fluidos utilizados nos testes;
- Projeto e especificação de um circuito composto por bomba criogênica, trocador de calor e compressor de circulação, permitindo testes com nitrogênio;
- Estudo da aplicação de outros gases, como gás carbônico e hexafluoreto de enxofre;
- Projeto detalhado e cotação comercial dos vasos misturadores e separadores multifásicos (principal e complementares);
- Especificação comercial de bombas para água e óleos de diversas viscosidades que atendam os parâmetros de vazão e pressão desejados para o sistema;
- Projeto completo de controle e instrumentação;
- Construção da instalação.

## REFERÊNCIAS

ATLAS COPCO. **Compressores de pistão de movimento alternativo isentos de óleo, até 40 bar (580 psig) 37-275 kW / 50-368 hp.** Disponível em: <<http://www.atlascopco.com.br/brbr/products/navigationbyproduct/Product.aspx?id=1528405&productgroupid=1473242>>. Acesso em 23 de março de 2013.

BLOEMER, Kevin H. Huscher. **Projeto de Circuito Experimental Para Simulação de Escoamento Bifásico Líquido-Gás a Altas Pressões em Tubulações.** Curitiba: UTFPR, 2009.

BOGÉA, Lorena; FILHO, Roberto Mattos; TEZZA, Thiago Luis de Lorenzi. **Projeto e Construção de Um Circuito Experimental Para Simulação do Escoamento Bifásico Líquido-Gás em Tubulações.** Curitiba: UTFPR, 2007.

BRONZATTI, Fabricio L.; NETO, Alfredo I.; **Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010-2030.** Artigo publicado no XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ. 2008. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_TN\\_STO\\_077\\_541\\_11890.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_541_11890.pdf)> Acesso em 01 de Maio de 2012.

CEPETRO/UNICAMP. **Laboratório Kelsen Valente Serra: LABPETRO.** Disponível em: <<http://www.cepetro.unicamp.br/laboratorios/labpetro/index.html>>. Acesso em: 30 de Maio de 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Matriz Energética: Cenários, Oportunidades e Desafios.** Brasília, 2007.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos.** 6ª ed. LTC, 2006.

KARASSIK, Igor J.; MESSINA, Joseph P.; COOPER, Paulo; HEALD, Charles C. **Pump Handbook.** 3ª ed. MacGraw hill, 2001.

PORTAL BRASIL. **Pré-sal: poço de Libra tem maior reserva de petróleo do Brasil, diz ANP.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/>

arquivos/2010/10/29/poco-de-libra-no-pre-sal-pode-ser-maior-do-que-todas-as-reservas-brasileiras-diz-anp>. Acesso em 01 de Maio de 2012.

SINTEF Petroleum Research. **Multiphase Flow Laboratory**. Disponível em:[http://www.sintef.no/upload/Petroleumsforskning/Brosjyrer/Multiphase\\_Flow\\_Laboratory.pdf](http://www.sintef.no/upload/Petroleumsforskning/Brosjyrer/Multiphase_Flow_Laboratory.pdf)>. Acesso em 01 de Maio de 2012.

SWAGELOK. Catálogo on-line. Disponível em: <https://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/PT/MS-02-200.pdf>. Acesso em 22 de Março de 2013.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Tubulações Industriais - Materiais Projetos e Montagem**. Editora LTC. 10ª Ed. 2012.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2ª Ed. Editora Interciência. 2004.

ZATTONI, Célio Carlos. **Materiais para Tubulação – Materiais Metálicos**. Apostila para o curso de Hidráulica e Saneamento Ambiental. Faculdades de Tecnologia de São Paulo. São Paulo. 2008.

## 7 APÊNDICE A – EQUIPAMENTOS

### 7.1 Tubulação

Os tubos são classificados comumente pela sua aplicação, como é descrito por (ZATTONI, 2008):

- Tubos para condução:
  - Para fluidos não corrosivos, como água, vapor, ar comprimido; podem ser pretos ou galvanizados;
  - Para fluidos corrosivos, utilizando aços com elementos de liga;
  - Para fluidos corrosivos ou sanitários, utilizando aços inoxidáveis;
- Eletrodutos, utilizados para proteção de fios e cabos elétricos;
- Tubos industriais, destinados a funções estruturais como andaimes, postes e escoras;
  - Tubos mecânicos, também de aplicações industriais, mas com requisitos maiores de qualidade superficial e propriedades mecânicas, por exemplo, para a indústria automobilística;
  - Tubos para troca térmica, comuns em caldeiras, trocadores de calor. Geralmente fabricados em aço carbono.

Quanto ao processo de fabricação, os tubos podem ser classificados em dois grupos:

- Tubos sem costura: Obtidos por laminação, estes não apresentam emendas na sua seção transversal;
- Tubos com costura: apresentam emendas realizadas por solda em sua seção transversal. Quando o tubo é fabricado a partir de chapas, a costura resultante é longitudinal. Se obtido através de bobinas, a costura resultante é helicoidal.

Quanto aos materiais, a gama de opções é muito grande, desde tubos metálicos como aço, ferro e ligas diversas, revestidos ou não, até os tubos plásticos ou cerâmicos em geral. As aplicações industriais frequentemente requerem tubos de materiais metálicos, por sua resistência mecânica, e serão abordados a seguir. No entanto, materiais como o acrílico são muito úteis em laboratórios por permitirem a visualização direta das condições de escoamento.

Tubos de aço carbono apresentam a melhor relação custo/resistência, facilmente conformados e soldáveis e, portanto, estão largamente disponíveis. São as primeiras opções consideradas em projeto.

As propriedades mecânicas dos aços carbono variam consideravelmente dependendo da composição química, mas raramente permitem aplicações severas. Primeiramente, a resistência à corrosão é muito baixa. Mesmo em aplicações comuns, como água e vapor a baixa pressão, esse fator deve ser considerado. Geralmente acrescenta-se uma espessura de corrosão, baseado no ambiente de trabalho e no tempo que se espera de serviço para a tubulação.

A temperatura de operação também é um fator crítico para a escolha do aço carbono, pois geralmente ocorre precipitação de carbono quando exposto por períodos prolongados em temperaturas acima de 420°C (TELLES, 2012). A exposição a altas temperaturas também não deve ocorrer concomitantemente com grandes solicitações mecânicas, pois sua resistência diminui quanto maior a temperatura. No outro extremo, aços carbono não devem ser expostos a temperaturas muito baixas, evitando atingir o nível de transição dúctil-frágil. Este limite é muito influenciado pela composição química, tamanho de grão, solicitações mecânicas e geometria da peça. De modo geral, evitam-se aplicações em que a temperatura de operação atinja valores inferiores a 45°C (TELLES, 2012).

Os aços inoxidáveis contêm ao menos 12% de Cromo, o que lhes confere, dentre outras qualidades, maior resistência à corrosão. Da mesma forma, seu custo é maior do que os aços carbono, e sua escolha devem ser bem justificados. As situações em que sua aplicação é necessária são aplicações com fluidos de alta corrosão (exceto por água salgada), e quando há exigências de ausência de contaminantes, principalmente na indústria alimentícia e farmacêutica. Sua aplicabilidade em relação a temperatura também é mais ampla quando comparados aos aços carbonos.

Para tubulações, as duas classes utilizadas são os aços inoxidáveis austeníticos (com 16% a 26% de Cromo e 6% a 22% de Níquel) e os ferríticos (com 12% a 30% de Cromo), sendo os primeiros mais comuns (TELLES, 2012).

Os aços inoxidáveis austeníticos possuem limites de temperatura de utilização muito superiores aos aços carbono, devido a sua resistência a oxidação e fluência, além de não sofrerem fragilização em baixas temperaturas. Assim, são utilizados em serviços desde temperaturas criogênicas até aproximadamente 600°C, e também para gases como gás carbônico por suas propriedades anticorrosivas.

Os aços da classe ferríticos são mais baratos que os austeníticos, mas algumas restrições, como limites de temperatura mais baixos, são mais difíceis de soldar e não são recomendáveis para aplicações em baixas temperaturas.

Metais não ferrosos ou materiais plásticos possuem resistência à corrosão ainda maior em relação aos aços inoxidáveis. No entanto, a baixa resistência mecânica os torna desfavoráveis para as aplicações abordadas neste trabalho e, portanto, não serão discutidos.

A seleção dos parâmetros da tubulação será realizada de acordo com as informações presentes em catálogos, em função da pressão de projeto do sistema.

O diâmetro externo é definido inicialmente em funções das vazões desejadas, implicando em velocidades de escoamento aceitáveis, principalmente devido aos efeitos de perda de carga.

Em seguida determina-se a espessura necessária em função da pressão de trabalho, seguido pela escolha de dimensões padrão. Para facilitar este procedimento existe uma classificação normalizada que define a espessura da parede necessária em função da pressão interna no sistema que é apresentada diretamente nos catálogos, denominadas “séries” ou “*schedule (sch)*”, definida de acordo com a equação (10).

$$Série = \frac{1000 P}{S} \quad (10)$$

Onde P é a pressão interna de trabalho e S é a tensão admissível do material. Ambas devem estar na mesma unidade.

Veja tabela com valores normatizados para aço inoxidável no Anexo A.

Na seção 5.9 Normas de Segurança, encontram-se informações sobre os testes hidrostáticos que devem ser efetuados para assegurar a segurança das instalações.

## **7.2 Conexões**

Tubulação denomina todo o conjunto de tubos e seus acessórios, tais como válvulas e curvas. A conexão entre esses elementos, e também entre a tubulação e os equipamentos, como vasos, tanques e bombas, pode ser efetuada por diversos meios de ligação. A seguir, serão apresentados os mais comuns.

### **7.2.1 Ligações rosqueadas.**

As ligações rosqueadas são efetuadas através de uma luva com roscas internas em ambas as extremidades, conectando dois tubos com roscas externas em suas extremidades. É um modo de ligação amplamente utilizado, de baixo custo, e prático para tubulações de até 2”.

Tubos galvanizados demandam esse tipo de conexão, pois o processo de solda causaria dano ao revestimento. Tubos de aço inoxidável e metais não ferrosos raramente utilizam esse tipo de conexão por apresentarem parede mais fina quando comparados, por exemplo, com os tubos de aço carbono, inviabilizando a usinagem da rosca.

A conexão roscada sempre representa um ponto mais frágil quando comparado ao resto da tubulação, sendo pouco utilizada em serviços de responsabilidade. (TELLES, 2012).

### **7.2.2 Ligações soldadas**

As ligações soldadas são as mais utilizadas em tubulações industriais, pois a dificuldade de desmontagem não é importante nessas situações. Para que a conexão seja possível de ser aplicada, basta apenas que um procedimento de solda adequado seja possível de ser elaborado, considerando os materiais e processos envolvidos.

Em tubulações com mais de 2" geralmente se utiliza solda de topo, em que as extremidades dos tubos são chanfradas e preenchidas com metal de adição. Em tubos menores, geralmente recorre-se a solda de encaixe, em que uma luva é soldada nas extremidades, efetuando a ligação.

Segundo (TELLES, 2012), a norma ASME.B31.3 recomenda que serviços de alta corrosão ou erosão não utilizem conexões soldadas, bem como em tubos maiores que 1 ½" em serviços intensamente cíclicos.

### **7.2.3 Ligações flangeadas**

As conexões flangeadas são geralmente utilizadas apenas nas posições em que realmente são necessárias, pois possui maior custo, peso e ocupam bastante espaço, além de representarem pontos de possíveis vazamentos. Em serviços pressurizados de alta vazão, recomenda-se a conexão soldada sempre que possível.

No entanto, flanges possuem a vantagem de permitir facilmente a desmontagem do sistema para manutenção ou mudança de leiaute, continuidade dos revestimentos anticorrosivos (quando aplicados também sobre os flanges). Além disso, elas são a melhor opção para conectar a tubulação em equipamentos (bombas, compressores, vasos, seções para instalação de visualizadores ou sensores).

A norma dimensional mais utilizada no país é a ASME.B.16.5, abrangendo flanges de aço carbono, forjado e inoxidável, em diâmetros nominais até 24". Esta norma define sete séries, ou classes de pressão, representadas pelos seguintes números: 150#, 300#, 400#, 600#, 900#, 1500# e 2500#. Para cada classe e material, é definida uma curva correlacionando temperatura de operação e pressão admissível.

Os flanges do tipo anel não são normalizados, devendo ser calculados para cada projeto em específico.

Para correta e completa especificação de um flange, devem ser fornecidas as seguintes informações: Tipo de flange, diâmetro nominal, tipo de face e acabamento,

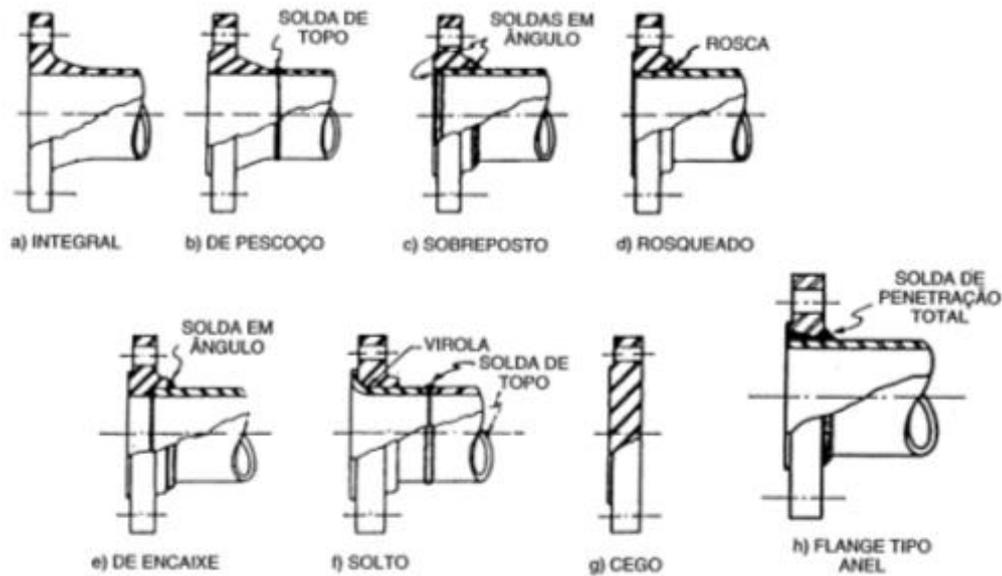
especificação completa do material. A espessura da parede do tubo deve ser informada no caso de flanges de pescoço e de encaixe. O tipo de rosca deve ser informado no caso de flanges rosqueados.

### Quadro 8 - Pressões nominais por classes (bar)

Fonte: Swagelock, 2013.

Temperatura °C	Classe ASME						
	150	300	400	600	900	1500	2500
-29 a 38	19,0	49,6	66,2	99,3	148,9	248,2	413,7
50	18,4	48,1	64,2	96,2	144,3	240,6	400,9
100	16,2	42,2	56,3	84,4	126,6	211,0	351,6
150	14,8	38,5	51,3	77,0	115,5	192,5	320,8
200	13,7	35,7	47,6	71,3	107,0	178,3	297,2
250	12,1	33,4	44,5	66,8	100,1	166,9	278,1
300	10,2	31,6	42,2	63,2	94,9	158,1	263,5
325	9,3	30,9	41,2	61,8	92,7	154,4	257,4
350	8,4	30,3	40,4	60,7	91,0	151,6	252,7
375	7,4	29,9	39,8	59,8	89,6	149,4	249,0
400	6,5	29,4	39,3	58,9	88,3	147,2	245,3
425	5,5	29,1	38,9	58,3	87,4	145,7	242,9
450	4,6	28,8	38,5	57,7	86,5	144,2	240,4
475	3,7	28,7	38,2	57,3	86,0	143,4	238,9
500	2,8	28,2	37,6	56,5	84,7	140,9	235,0
538	1,4	25,2	33,4	50,0	75,2	125,5	208,9

Considerando que esta será a conexão mais utilizada no sistema desenvolvido, a seguir será descrito os tipos de flanges e suas aplicabilidades.



**Figura 32 - Tipos de Flanges**

(TELLES, 2012)

### 7.2.3.1 Flange integral

Utilizado em tubulações de ferro fundido ou plásticos em que este é fabricado diretamente no tubo, sendo o tipo mais resistente, no entanto menos prático e pouco utilizado.

### 7.2.3.2 Flange de pescoço

Tipo de flange não integral mais resistente, sendo o mais utilizado em tubulações industriais para quaisquer temperaturas e pressões de trabalho. A vantagem reside na melhor transmissão de esforços entre flange e tubo e menores tensões residuais decorrentes da soldagem e diferenças de temperatura quando em operação. Esse tipo de flange exige que o tubo seja chanfrado com comprimento relativamente preciso, tornando esta montagem mais cara.

### 7.2.3.3 Flange sobreposto

Ao contrário do flange de pescoço, os flanges sobrepostos são posicionados no tubo em seu diâmetro original, dispensando o chanfro para solda e, por isso, representa uma opção mais barata. Por outro lado, essa forma de montagem impõe restrições maiores aos esforços de aperto suportado, sendo utilizada em serviços

menos severos, não podendo ser utilizados para classe de pressão 600# ou acima, bem como em serviços altamente cíclicos, segundo norma ASME.B.31.1.

#### **7.2.3.4 Flange Rosqueado.**

Os flanges rosqueados são utilizados em tubos metálicos que não permitem a soldagem, ou instalações secundárias. Há ainda aplicações de tubos plásticos com esse tipo de flange. Quando utilizados em redes de fluidos inflamáveis ou tóxicos, a norma ASME.B.31.3 recomenda que soldas de vedação sejam efetuadas, considerando que a rosca possui alto potencial de vazamento.

#### **7.2.3.5 Flange de encaixe**

Flanges de encaixe são utilizados em tubulações de qualquer tipo de aço com diâmetro até 1 ½". Este tipo de flange é mais resistente quando comparado ao tipo sobreposto, e com melhor encaixe na extremidade do tubo.

#### **7.2.3.6 Flange solto**

O flange desliza livremente pela tubulação, tendo seu limite determinado por uma peça especial soldada ao tubo, denominada "pestana" ou "virola". Adequados para situações em que materiais especiais são utilizados para os tubos. A resistência mecânica é inferior a qualquer outro tipo, tendo sua aplicação restrita a classes de pressão até 150# e temperaturas não maiores que 60°C.

#### **7.2.3.7 Flange cego**

Flanges em forma de disco, fechados, utilizados apenas para fechar uma extremidade da linha.

#### **7.2.3.8 Flange tipo anel**

Os flanges tipo anel não representam um tipo padronizado de flange. Consiste em uma conexão similar ao sobreposto, mas ligado ao tubo por uma solda de penetração total, apresentando maior resistência mecânica e eliminando o vazio interno. Assim, podem ser aplicados para classes de pressão acima de 600#, com hidrogênio, ou altamente cíclicos. Flanges tipo anel devem ser dimensionados e fabricados especialmente, não sendo encontrados comercialmente, limitando sua aplicação.

### 7.2.3.9 Tipos de Faces

Após a decisão sobre o melhor formato de flange a ser utilizado, a próxima decisão de projeto deve ser qual faceamento essa conexão terá. A escolha é baseada nos parâmetros de trabalho e no tipo de fluido envolvido no processo. Os faceamentos mais comuns são:

- Face com ressalto: aplicável a qualquer condição de pressão e temperatura, e por isso o mais utilizado. O diâmetro externo do ressalto depende principalmente da pressão de trabalho. A superfície do ressalto pode ser usinada com um padrão de ranhura específico ou lisa, com diversos graus de acabamento.

- Face plana: utilizada principalmente em flanges de ferro fundido ou materiais plásticos, em que a presença do ressalto poderia ocasionar uma fratura quando recebesse o aperto dos parafusos. A superfície também pode receber padrões ranhurados lisa.

- Face para junta de anel: tipo de face utilizada em serviços severos, de altas pressões e temperaturas, para flanges de classe 600# ou superiores. A junta é um anel metálico que se encaixa em um rasgo trapezoidal na face do flange, proporcionando alta vedação sem maior aperto dos parafusos, comparado a outros tipos de flange. A dureza da face do flange deve ser sempre superior a dureza do anel, sendo que recomendam-se os seguintes valores, segundo TELLES (2012):

- Aço carbono: 120 Brinell;
- Aços baixa liga ou aços inoxidáveis 304, 316, 347 e 321: 160 Brinell;
- Aços inoxidáveis 304L e 316L: 140 Brinell.

- Face de macho e fêmea: faces indicadas para fluidos altamente corrosivos, pois evitam o contato da junta com o fluido de trabalho;

### 7.2.3.10 Juntas para flanges

A junta é o elemento responsável pela vedação nas conexões flangeadas, sendo indispensável. Em serviço, a junta sofre esforços de cisalhamento da pressão do fluido de trabalho, que deve ser superada pela pressão exercida pelos parafusos. Portanto, quanto maior a pressão de trabalho, mais dura e resistente deve ser a junta. Em contrapartida, para garantir a estanqueidade do sistema, a junta deve ser maleável para se adaptar as irregularidades das faces dos flanges. Ou seja, quanto

maior a pressão do sistema, melhor deve ser o acabamento superficial da face dos flanges, para garantir que a junta consiga exercer sua função de vedação.

- Juntas não metálicas: empregadas geralmente em conjunto com flanges de face com ressalto, permitindo que padrão de ranhuras seja espiralado, ou plano. Os materiais comumente utilizados são a borracha natural (água, ar e condensados), borrachas sintéticas (óleos até 80°C), plásticos (fluidos corrosivos em temperatura e pressão ambientes) e papelão hidráulico (combinações de amianto e aglutinantes utilizados desde água e vapor até hidrocarbonetos e soluções ácidas).

- Juntas semimetálicas, em espiral: constituída por uma lâmina metálica, geralmente aço inoxidável, torcida em espiral, preenchida em cada volta com grafite flexível. Especialmente utilizadas para juntas classe 600#, ou temperaturas extremas nas classes 150# e 300#. Quando escolhida, o acabamento recomendado para a face dos flanges é o liso, com rugosidade média até 0.003mm. As normas ABNT EB-234 e ASME.B.16.20 padronizam essas juntas.

- Juntas metálicas maciças: Juntas constituídas apenas por uma chapa metálica, de face plana ou ranhurada, podendo ser fabricada em aço carbono, inoxidável ou outros metais. São geralmente utilizadas junto com faces com ressalto, no caso de pressões muito altas, ou face de macho e fêmea. O material escolhido deve ser sempre menos duro que o material do flange.

- Juntas metálicas de anel: Utilizadas nos flanges especialmente preparadas para esse tipo de junta. O anel pode possuir seção ovalada ou octogonal, sendo a primeira mais comum, e fabricado comumente com aço inoxidável, ou outros tipos de aço. Ao contrário do flange, a junta de anel é padronizada pela norma ASME.B.16.20. Sugere-se uma diferença de 30 Brinell entre a dureza da junta e do flange. A grande vantagem das juntas de anel é a força inferior necessária no aperto dos parafusos, dada a menor área de contato entre junta e flange.

### **7.3 Válvulas**

Válvulas são acessórios instalados em tubulações com a finalidade de controlar, direcionar, interromper ou permitir o fluxo de fluidos. Recentemente, inovações tem permitido que válvulas controlem fluxo com precisão, pressão e

temperatura. Elas podem ser operadas manualmente ou por mecanismos automatizados de controle.

As válvulas encontram desde simples aplicações residenciais, com construção simples e materiais comuns, até utilização com produtos químicos corrosivos, radioativos, vapores superaquecidos, podendo operar em um amplo intervalo de temperatura e pressão, dependendo dos materiais selecionados, da precisão do projeto e qualidade da manufatura.

Existem diversas formas de conexão dos extremos da válvula com a tubulação. Podem ser roscadas, soldadas, encaixadas, além de variações mais específicas. Pelas características da tubulação utilizada na seção de testes e na casa de máquinas, optou-se por conexões flangeadas. Estas permitem ser adaptadas em diversos leiautes do sistema com facilidade. São geralmente utilizadas nas mais diversas aplicações industriais, podendo suportar altas temperaturas e pressões.

Diversos materiais podem ser utilizados, como alumínio, aço, bronze e latão. Pelas características corrosivas dos fluidos utilizados nos experimentos e principalmente pela pressão de projeto, as válvulas selecionadas deverão ser fabricadas em aço inoxidável fundido (geralmente ASTM A351/CF8 ou A351/CF8M), assim como as tubulações.

Este tipo de conexão é normalizado pelas normas americanas ASME / ANSI B16.1, B16.5 e B16.24. Materiais internos, juntas de vedação internas também devem ser verificadas para garantir que atendam as características de serviço a que se destinam. Geralmente o material mais utilizado na vedação é o PTFE (Teflon®), limitado pela temperatura no intervalo -30°C e 140°C.

As válvulas são classificadas por classe de pressão, definida em função da pressão e a temperatura de trabalho. A pressão de trabalho é a máxima pressão admissível para cada valor da temperatura de trabalho (norma ASM/ANSI B16.34). A pressão nominal é apenas um valor de referência.

Os conceitos apresentados a seguir serão importantes para a descrição das características de cada tipo de válvula.

- Válvula de bloqueio (on/off): realizam a abertura e fechamento total do fluxo, e pode ser acionada manualmente, por mecanismos hidropneumáticos ou elétricos;

- Válvula de regulagem: possuem a capacidade de modular o fluxo, sendo geralmente acionada por volante ou alavanca;
- Válvula de controle: apresentam a capacidade de modulação das características do fluxo, como vazão, temperatura ou pressão, concebida para cada aplicação;
- Válvula auto-operada: assim denominadas as válvulas que apresentam um sensor em seu corpo, utilizando essa informação para controlar o fluxo;
- Válvula unidirecional: característica da válvula que bloqueia o refluxo;

O Quadro 9 apresenta os dispositivos comumente encontrados nas válvulas em função da ação desejada. Essas informações são úteis para a escolha da válvula ideal em cada ponto do sistema.

**Quadro 9 - Aplicação geral de válvulas**  
(TELLES, 2012)

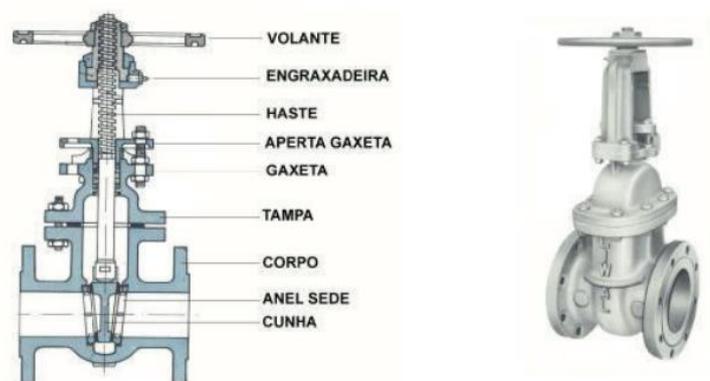
VÁLVULAS	AÇÃO SOBRE AS VALVULAS										
	ACIONAMENTO RÁPIDO	BAIXA PRESSÃO DIFERENCIAL	BLOQUEIO	CONTROLE DE PRESSÃO	FLUIDOS DENSOS	OPERAÇÕES FREQUENTES	PASSAGEM PLENA	PREVENÇÃO DE REFLUXO	PREVENÇÃO DE SOBRE PRESSÃO	REGULAGEM	REGULAGEM DE PRECISÃO
x CONFIGURAÇÃO NORMAL o CERTAS CONFIGURAÇÕES											
AGULHA			x								x
ANGULAR			x			x					x
BORBOLETA	x	x	x		x	x	x				x
CONTROLE	o	x		x	o		o				x
DIAFRAGMA	o	o	x		o		o			o	
ESFERA	x	x	x		x	x	o			o	
GAVETA	o	x	x				x				
GLOBO			x			x					x
GUILHOTINA	o	x	x		x		x				
MACHO	x	x	x			x	o				x
MANGOTE		x	x		x		x				x
OBLÍQUA			x			x					x
RETENÇÃO								x			
REDUTORA DE PRESSÃO				x							
SEGURANÇA E/OU ALÍVIO									x		
SOLENOIDÉ	x	x	x		x	x					x
TERMOSTÁTICA		x	x		x	x					x

### 7.3.1 Válvulas de Gaveta

São empregadas como válvulas de bloqueio para fluidos sem sólidos em suspensão, seja água, óleo ou gás. Também não são recomendadas para aplicações em que o fluido possa se solidificar no interior, como resinas, tintas e vernizes.

São válvulas de construção simples, que oferecem baixa restrição e perda de carga quando totalmente abertas, versáteis para os mais diversos diâmetros de tubulação e condições de pressão e temperatura em trabalho, com boa estanqueidade.

Entretanto, as válvulas de gaveta não são recomendadas em serviços que exijam operações frequentes e não podem ser utilizadas para regular o fluxo. Possuem grandes dimensões externas e alto custo quando comparadas com outras opções.



**Figura 33 – Válvula de Gaveta – Componentes**  
(ZATTONI, 2008)

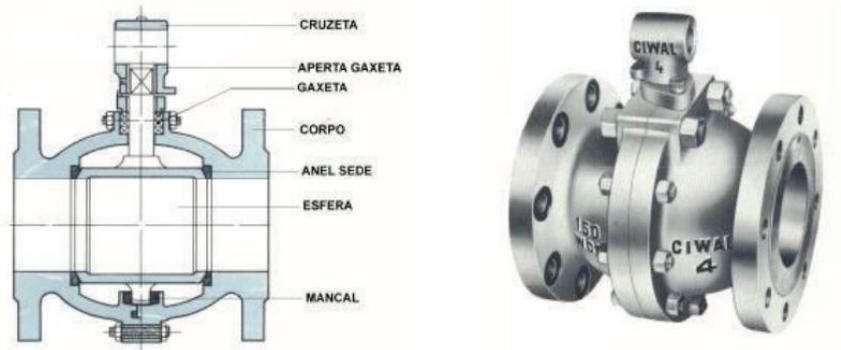
### 7.3.2 Válvula de Esfera

Este tipo de válvula vem ganhando espaço frente às válvulas de gaveta por serem mais eficientes e baratas (quando fabricadas com esferas fundidas). Assim como as válvulas de gaveta, apresentam perda de carga extremamente baixa quando totalmente abertas. Além disso, possui aplicações semelhantes, podendo ser utilizada com água, óleo e gases, desde que sem sólidos em suspensão.

Além das vantagens citadas, as válvulas de esfera apresentam excelente estanqueidade, mantém o fluido longe do contato com os componentes internos, diversidade de diâmetros e conexões, e indicadas para operações frequentes, com abertura e fechamento rápido. Finalmente, permite o fluxo nos dois sentidos.

Apesar de poder ser utilizada em uma ampla gama de pressões, o material de vedação limita a temperatura de operação. A vedação mais robusta é a PTFE com

carga, resistindo até 160°C, sendo que as mais simples, com elastômeros, podem operar até 80°C. O custo desse tipo de válvula pode ser elevado quando se utilizam esferas forjadas.



**Figura 34 – Válvula de Esfera – Componentes**

(ZATTONI, 2008)

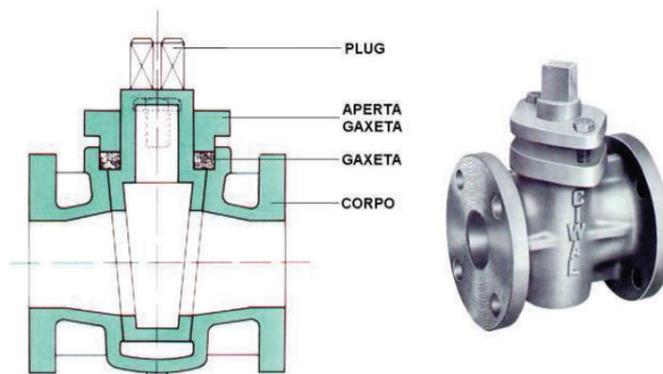
### 7.3.3 Válvula de Macho

São válvulas que apresentam um macho paralelo ou cônico que gira em torno da sua haste, alinhando sua abertura com as do corpo da válvula. A abertura ou fechamento é realizado ininterruptamente e com suavidade do ponto de vista do fluxo, com apenas um quarto de volta.

O macho pode ser revestido com materiais que reduzam o atrito entre as partes móveis, como teflon, ou ainda ser lubrificado com lubrificantes não solúveis no fluido de trabalho. Esta solução é utilizada no manuseio de óleos, graxas, no refino de petróleo e sob pressões de até 6000 psi e temperaturas entre -30°C e 300°C.

O diferencial nas aplicações com as válvulas apresentadas até aqui fica por conta da possibilidade das válvulas de macho serem utilizadas com fluidos contendo sólidos em suspensão. Geralmente são utilizadas em linhas de ácidos, álcalis e produtos petrolíferos nas instalações industriais.

Apresentam baixa perda de carga, fluxo ininterrupto nos dois sentidos e construção simples e robusta, implicando em alto peso. Permitem o fechamento rápido.



**Figura 35 – Válvula de Macho – Componentes**  
(ZATTONI, 2008)

#### 7.3.4 Válvula de Guilhotina

Válvula apropriada para aplicações com líquidos ou gases contendo alta porcentagem de sólidos, pastas ou fluidos muito densos, sendo muito utilizadas em indústrias de papel e celulose. Difere das válvulas de gaveta por apresentar uma lâmina que desliza entre sedes paralelas como obturador.

São utilizadas como válvulas de bloqueio, possuem construção simples e muito curta. Como desvantagem, ressalta-se a falta de estanqueidade total.

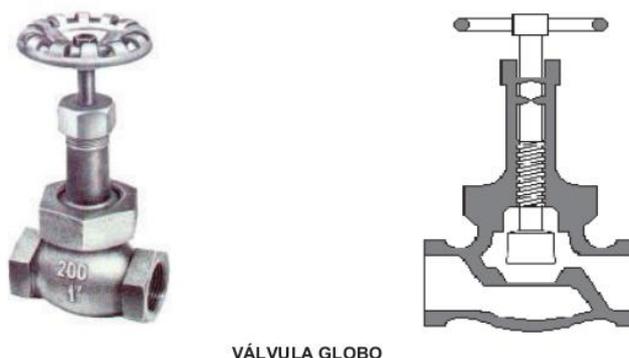


**Figura 36 – Válvula de Guilhotina – Componentes**  
(ZATTONI, 2008)

#### 7.3.5 Válvulas Globo

As válvulas globo são popularmente conhecidas por possuírem aplicações domésticas, como em chuveiros e pias.

O movimento de translação gerado pela rosca quando se gira o volante fixo permite que o obturador atue na sede localizada no corpo da válvula, regulando o fluxo. Esta válvula permite o controle parcial do fluxo. No entanto são unidirecionais e aplicam grande perda de carga no sistema. Podem ser utilizadas em uma ampla gama de temperaturas e pressões.



**Figura 37 – Válvula Globo– Esquema**  
(ZATTONI, 2008)

### 7.3.6 Válvulas Borboleta

A válvula borboleta recebe esse nome em função da aparência do seu obturador, sendo capaz de regular o fluxo em uma tubulação. O fechamento da válvula é feito pela rotação de uma peça circular, chamada disco, em torno de um eixo perpendicular à direção de escoamento do fluido.

Quase todas as válvulas de borboleta têm anéis de sede em elastômeros, com os quais se consegue uma excelente vedação. Inicialmente eram aplicadas apenas como reguladores, no entanto a evolução na vedação permitiu que fossem utilizadas também como válvulas de bloqueio. Por essas características, possui ampla aplicação na indústria e nas redes de saneamento e distribuição de água.

São utilizadas em tubulações contendo líquidos, gases, inclusive líquidos sujos ou contendo sólidos em suspensão, bem como em serviços de alta corrosão pois existem válvulas com revestimento anticorrosivo tanto no corpo como na haste e no disco de fechamento.

As vantagens de uma válvula borboleta são muitas, como a facilidade de montagem, construção compacta, robusta e leve ocupando pequeno espaço,

excelentes características de escoamento com alta capacidade de vazão, baixo custo e bom desempenho como válvula de regulagem e de controle. Em contrapartida, esse tipo de válvula tende a exigir trocas mais frequentes devido a desgaste no sistema de vedação.



**Figura 38 – Válvula Borboleta – Componentes**

(ZATTONI, 2008)

### 7.3.7 Válvulas Diafragma

O diafragma é uma peça moldada e prensada feita de borracha ou plástico. São de fácil manutenção e normalmente dimensionadas para trabalho contínuo por longos períodos, com uma condição mínima de manutenção.

A geometria de seu corpo representa um perfil angular permitindo receber vários tipos de revestimentos, tais como: borracha, ebonite, vidro, teflon, etc. Além disso, o mecanismo de acionamento é completamente isolado do fluido que passa em seu corpo, evitando assim elementos como juntas e gaxetas.

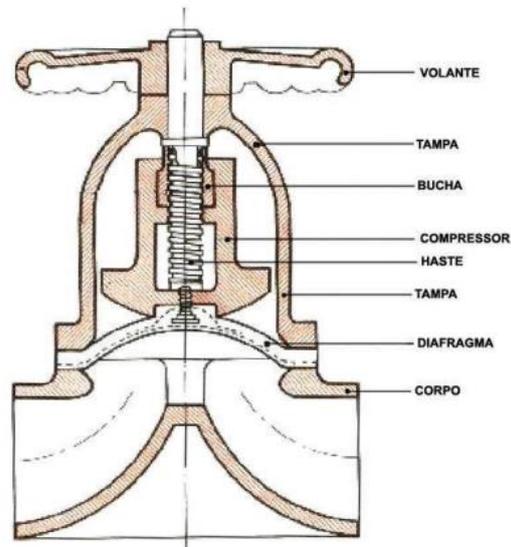
A válvula diafragma suporta fluidos corrosivos, abrasivos, erosivos e podem também ser aplicadas para controle de gases industriais e processamento de fluidos com partículas sólidas, como pastas e lamas.

Possibilitam respostas rápidas e regulagens e/ou bloqueio de fluidos em sistemas de controle nas indústrias químicas e petroquímicas, de mineração, farmacêuticas, alimentícias, bebidas, usinas de açúcar e álcool, saneamento básico,

tratamento de efluentes, siderúrgicas, cimento, tintas e vernizes, papel e celulose, fertilizantes, etc.

Apesar da temperatura e pressão de operação ser diretamente limitadas pelas propriedades do elastômero utilizado, as válvulas de diafragma apresentam uma série de vantagens:

- Estanqueidade absoluta, mesmo com materiais sólidos no interior da válvula;
- O acionamento pode ser manual ou por atuadores;
- Isolamento total do mecanismo em relação ao fluido, o que proporciona vida prolongada;
- Fluxo contínuo e nos dois sentidos;
- Baixa perda de carga devido às pequenas obstruções internas;
- Instalação em qualquer posição;
- Limitação automática de fechamento evitando torque demasiado no diafragma;
- Ausência de engaxetamento na haste, de extrema importância no transporte de gases;
- Versatilidade e facilidade para o revestimento do corpo;
- Longa vida útil;
- Manutenção simples, sem a necessidade de retirada da válvula da linha. Basta retirar os quatro parafusos superiores do corpo e remover o castelo. O diafragma poder ser facilmente retirado e assim, substituído.



**Figura 39 – Válvula de Diafragma – Componentes**

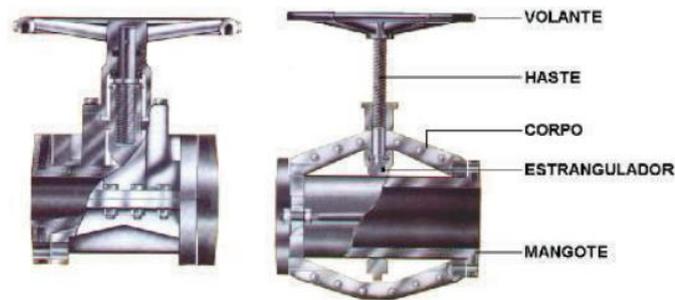
(ZATTONI, 2008)

### 7.3.8 Válvulas de Mangote

Mecanismo simples, composto por um tubo de borracha (mangote) em que o fluxo é regulado por um mecanismo de estrangulamento. Somente o mangote está em contato com o fluido de trabalho, permitindo sólidos em suspensão. Por isso, geralmente são utilizadas em aplicações não comuns, como meios corrosivos ou abrasivos, ou com grande quantidade de partículas sólidas, como na indústria alimentícia, mineração, esgotos e até mesmo pó secos.

Possui manutenção simples e fácil, durabilidade longa, opera nos dois sentidos, com excelente estanqueidade mesmo nas condições descritas anteriormente. Causa perda de carga extremamente baixa quando totalmente aberta.

As condições de operação são limitadas pelo material do mangote, e geralmente não podem operar em altas pressões ou temperaturas. Não é possível ajustar precisamente a vazão, e a instalação deve garantir bom alinhamento com a linha, além de suportar o peso relativamente maior, devido às carcaças robustas que geralmente são utilizadas.

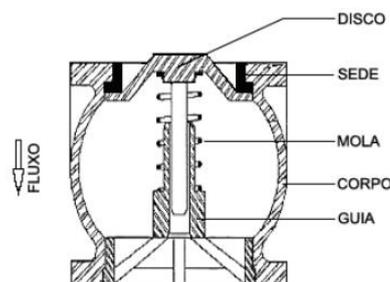


**Figura 40 – Válvula de Mangote – Componentes**  
(ZATTONI, 2008)

### 7.3.9 Válvula De Retenção

As válvulas de retenção são instaladas onde se faz necessária impedir a inversão do sentido de fluxo. Quando há uma interrupção no escoamento, a válvula de retenção se fecha, impede o refluxo e que oscilações de pressão, como Golpes de Aríete, cheguem até as bombas. Esse tipo de válvula opera automaticamente, baseando-se na diferença de pressão na entrada e na saída da mesma.

As válvulas com disco integral são as mais comuns, por oferecerem baixo custo, baixa perda de carga, e poderem ser utilizadas com gases e líquidos.

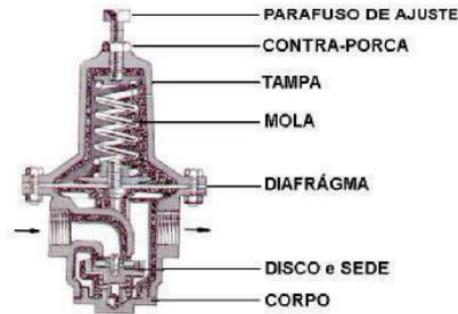


**Figura 41 – Válvula de Retenção – Componentes**  
(ZATTONI, 2008)

### 7.3.10 Válvula Redutora De Pressão

São válvulas destinadas a manter constante a pressão do fluido de trabalho após o ponto de instalação, menor que a pressão na entrada da válvula. São utilizadas quando se deseja controlar pressão, vazão, nível de reservatórios, em sistemas de abastecimento, condução e distribuição.

Porém, a válvula redutora de pressão requer a instalação de uma estação redutora de pressão, e exige manutenção frequente, implicando em altos custos operacionais.



**Figura 42 – Válvula Redutora de Pressão– Componentes**  
(ZATTONI, 2008)

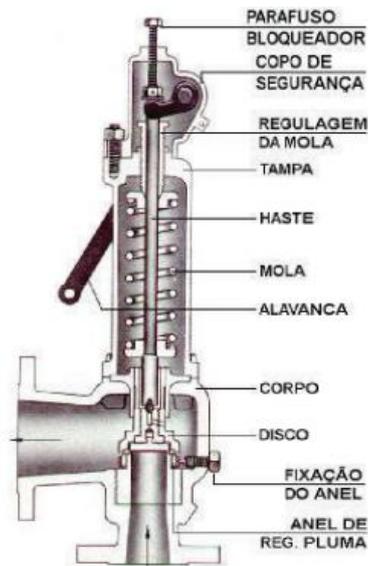
### 7.3.11 Válvula De Segurança E Alívio

São válvulas auto operadas destinadas a garantir a segurança e funcionamento adequado de uma instalação, evitando que a pressão do sistema atinja valores acima do permitido. De acordo com a aplicação, utilizam-se as seguintes denominações:

- Válvula de Segurança: utilizada para vapores ou gases, com abertura instantânea assim que a pressão estática na entrada da válvula atinge o valor determinado;
- Válvula de Alívio: utilizada para líquidos, com abertura gradual a medida que a pressão aumenta na entrada da válvula;
- Válvula de Segurança e Alívio: assim denominada as válvulas que trabalham tanto com líquidos ou gases.

A instalação a ser protegida não deve possuir nada que possa obstruir o fluxo, por exemplo uma válvula de bloqueio para manutenção, até o ponto em que as válvulas de segurança estão presentes.

A saída de alívio da válvula pode estar direcionada para a atmosfera no caso de gases inertes, para o recipiente de armazenamento ou outros específicos no caso de líquidos ou outros tipos de gases.



**Figura 43 – Válvula de Segurança / Alívio – Componentes**  
 (ZATTONI, 2008)

#### 7.4 Bombas

Denominam-se bombas hidráulicas os dispositivos mecânicos capazes de fornecer energia sob a forma de pressão para um fluido incompressível. Em qualquer sistema, a bomba deve ser capaz de aumentar a velocidade e a pressão de um fluido de modo que ele seja capaz de atingir uma determinada altura e vencer as perdas de carga da tubulação e outros eventuais dispositivos, com a vazão necessária.

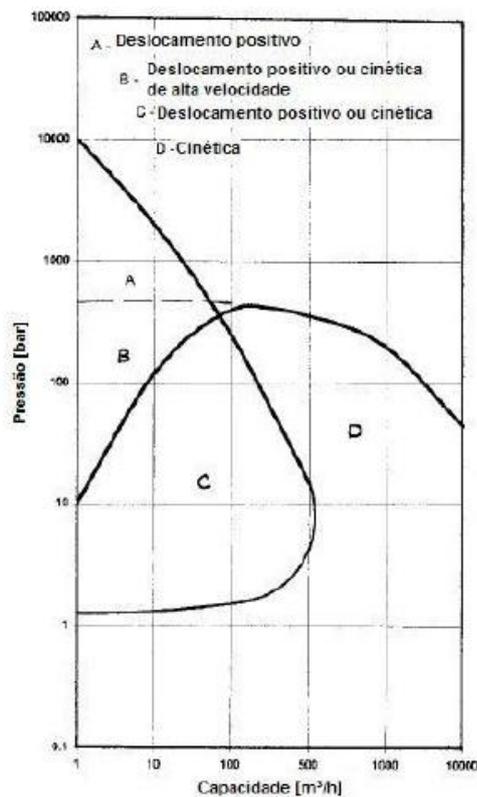
Bem como os compressores, bombas hidráulicas podem ser categorizadas em bombas de deslocamento positivo, que operam em ciclos, ou bombas centrífugas, com escoamento contínuo.

As bombas de deslocamento positivo podem ser do tipo alternativo, quando o deslocamento do fluido é proporcionado por um êmbolo, pistão ou membrana, que se movimenta de forma alternada, ou do tipo rotativo, quando um rotor excêntrico e palhetas com movimento radial impelem o fluido, ou essa ação é executada por engrenagens ou parafusos.

No caso do tipo alternativo, o movimento do pistão para baixo provoca uma queda de pressão na câmara da bomba, sugando o fluido a ser bombeado pela

válvula de admissão. Durante o movimento de subida, o fluido é comprimido e a pressão aumenta até que a válvula de exaustão se abre e o fluido é propelido para fora da bomba. Deve-se considerar a intermitência do bombeamento no projeto, sendo essas bombas adequadas para grandes ganhos de pressão com vazões relativamente baixas. As bombas rotativas também comprimem o fluido através da variação de volume da câmara, mas utiliza um rotor excêntrico e palhetas capazes de se deslocar radialmente definindo câmaras ao redor do rotor. Conforme este gira, a câmara admite o fluido enquanto seu volume está aumentando e posteriormente o comprime até o ponto de saída. Este tipo de bomba apresenta oscilações menores de pressão na linha de descarga em relação às bombas alternativas, e são muito eficientes com fluidos de alta viscosidade. Outras bombas rotativas possuem larga aplicabilidade: bombas de engrenagem para escoamento de óleos; lobulares; de parafusos helicoidais, que permitem as maiores pressões de trabalho.

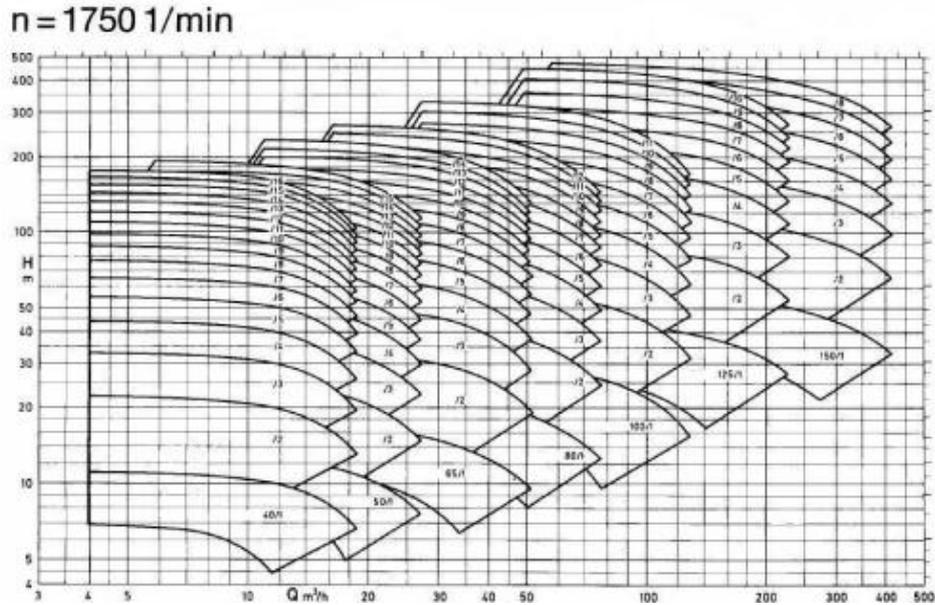
Em contrapartida, as bombas centrífugas baseiam-se na transformação dinâmica de energia e apresentam fluxo contínuo, sendo mais adequadas para sistemas que necessitam de grandes vazões. Também são comumente divididas em dois tipos: com rotor radial ou axial, baseado na direção de escoamento dentro da bomba. De acordo com suas características, existem faixas de operação mais adequadas para cada tipo de bomba, o que é ilustrado na Figura 44.



**Figura 44 - Intervalos recomendados de Operação**

Fonte: KARASSIK et al., 2007

A seleção de uma bomba deverá baseada na análise das curvas características do equipamento. Geralmente, as curvas que apresentam a altura manométrica, rendimento e a potência requerida em função da vazão são as mais utilizadas. A escolha geralmente é auxiliada por uma carta de seleção fornecida pelos fabricantes, onde as cada região corresponde a um conjunto carcaça-rotor e os parâmetros de entrada são a vazão e a altura desejadas, como na Figura 45.



**Figura 45 - Carta de Seleção de Bombas**

Fonte: [www.worldpumps.com](http://www.worldpumps.com)

Entretanto, a mera determinação da bomba mais adequada não define o ponto de operação do equipamento. Para tanto, é necessário determinar a curva característica do sistema. O ponto de trabalho será o encontro entre a curva característica do sistema e da bomba. É preciso verificar se esse ponto não está muito afastado do ponto de rendimento máximo da bomba.

Outro fator determinante no dimensionamento das bombas hidráulicas é o NPSH (*Net Positive Suction Head*), fator crítico para evitar a cavitação. Este parâmetro exprime a energia disponível na linha de sucção da bomba. A carga líquida disponível na entrada da bomba sempre deve ser maior que a necessária especificada em catálogo para que a pressão do líquido jamais diminua ultrapassando a pressão de vapor do líquido, o que geraria bolhas de vapor que, ao colapsarem, causam sérios danos à estrutura da bomba. O NPSH disponível é determinado pela equação (11).

$$NPSH_d = H_{atm} - (\pm H_s - H_v + \Delta H_s) \quad (11)$$

onde  $NPSH_d$  é a energia disponível na instalação para sucção;  $H_{atm}$  refere-se à pressão atmosférica local;  $H_s$  é a altura de sucção (negativa para bombas afogadas, ou seja, abaixo no nível de entrada);  $H_v$  refere-se à pressão de vapor do fluido e é função da temperatura; e  $\Delta H_s$  é a perda de carga total na linha de sucção.

Além da pressão e vazão necessárias no sistema, fatores como custo, manutenção, possibilidade de oscilação de pressão no sistema e espaço disponível podem ser determinantes na escolha da bomba mais adequada. Em geral, como já foi citado, bombas de deslocamento positivo atendem a pressões maiores enquanto bombas centrífugas são recomendadas para vazões maiores.

## 7.5 Compressores

Os compressores são estruturas mecânicas destinadas a elevar a energia utilizável de fluidos no estado gasoso pelo aumento de sua pressão (COSTA, 1978). Eles podem ser classificados como de deslocamento positivo ou dinâmicos.

Os compressores de deslocamento positivo podem ser alternativos ou rotativos. Nos compressores alternativos, o aumento de pressão do gás é conseguido pelo movimento de um pistão que reduz o espaço ocupado pela massa de gás presente na câmara até o momento em que a válvula de exaustão se abre liberando o gás. Propiciam pressões mais elevadas, podendo atingir 275 MPa, com vazões relativamente baixas e alto custo de manutenção.

Os compressores rotativos apresentam câmaras separadas por palhetas, ou formadas entre engrenagens ou parafusos helicoidais. Varia-se o volume disponível para o fluido admitido conforme o movimento de rotação empurra o fluido entre as palhetas, dentes das engrenagens ou roscas dos parafusos.

Em oposição ao funcionamento intermitente dos compressores de deslocamento positivo, os compressores dinâmicos operam continuamente. A energia fornecida por um motor ao impelidor provoca um escoamento. A energia cinética desse escoamento é transformada em energia de pressão no difusor. Também existem dois tipos principais: centrífugos ou axiais.

Os compressores centrífugos são adequados para aplicações de grande vazão e elevações de pressão não tão altas. O fluido entra no rotor paralelo ao eixo e sai perpendicularmente ao mesmo. Nos compressores axiais, a energia é transferida aos gases por meio de pás ligadas a rotores com diâmetro decrescente na direção do aumento de pressão. Geralmente, trata-se de compressores de alta velocidade e

vazão com um corpo mais compacto que os centrífugos, cuja vazão de saída está entre 15 m<sup>3</sup>/s e 470 m<sup>3</sup>/s.

## 7.6 Vasos de Pressão

O termo “vaso de pressão” engloba uma vasta gama de equipamentos. São definidos por TELLES (2007) como qualquer recipiente estanque capaz de conter fluido pressurizado. Segundo a NR-13, vasos de pressão são todos os equipamentos que contém fluidos sob pressão interna ou externa. Essas pressões atuam sempre simultaneamente, ainda que muitas vezes uma ou a outra condição é mais severa. Por essas definições, vasos de pressão englobam desde a panela de pressão comum nas residências até grandes reatores nucleares. Na indústria, são comumente utilizados nas linhas de distribuição e armazenagem de fluidos. No projeto do sistema para simulação de escoamentos multifásicos, além dessas funções eles serão úteis por evitar oscilações de pressão no sistema.

Por suas aplicações características, vasos de pressão são equipamentos de grande responsabilidade e exigem um projeto de alta confiabilidade e, portanto, é comum que eles representem parcela significativa do custo em uma instalação.

Os vasos de pressão podem ser projetados e construídos nos mais variados formatos e materiais, sempre orientados ao tipo de utilização a que se destinam. Portanto, existem vasos esféricos, cônicos, cilíndricos, construídos de alumínio, aço inoxidável, aço carbono e outros materiais. A finalidade dos vasos de pressão podem ser as mais diferentes: armazenamento final ou intermediário, amortecimento de pulsação da linha, trocas térmicas, contenção de reações, filtração, destilação, separação de fluidos, criogenia, dentre outros. Os fluidos de trabalho podem ser líquidos, gases ou então mistura dentre esses.

O formato esférico é o ideal para os vasos de pressão por exigir espessuras menores de parede. O formato cilíndrico, no entanto, é o mais comum pela facilidade de instalação e transporte. Além destes, os cascos podem possuir formatos cônicos ou toroidais, e podem em posição horizontal, vertical ou inclinado, sendo importante considerar o modo de funcionamento, além das restrições de projeto (TELLES, 2012).

Os vasos de formato cilíndricos são fechados por tampos, cujos formatos mais comuns são: o elíptico, hemisférico (mais resistente), toriesférico, cônico, plano e a calota esférica. Seu dimensionamento leva em conta principalmente fatores econômicos, além dos parâmetros de projeto.

O projeto dos vasos de pressão costuma seguir as normas de projeto, desenvolvidas para que os cálculos sejam padronizados, simplificados e que possam garantir a segurança de sua operação. Neste projeto, optou-se por seguir a formulação publicada em TELLES, 2012, seguindo as normas da ASTM.

Para cascos cilindros de grande espessura, a espessura é determinada a partir da fórmula (12).

$$e = R \left[ \sqrt{\frac{SE + P}{SE - P}} - 1 \right] + C \quad (12)$$

Já para cascos de pequena espessura, o cálculo está expresso em (13).

$$e = \frac{PR}{SE - 0,6P} + C \quad (13)$$

Os cascos de grande espessura são aqueles onde as restrições (14) e (15) são respeitadas.

$$e > \frac{1}{2}R \quad (14)$$

$$P > 0,385SE \quad (15)$$

Sendo:

e: espessura da parede do vaso;

R: raio do vaso;

S: tensão admissível pelo material;

E: coeficiente de confiabilidade da solda;

P: pressão de trabalho;

C: margem para corrosão, erosão ou usinagem;

Sendo escolhido o tempo torresférico para os componentes do sistema, a formulação necessária para determinar a espessura mínima, expressa em (16):

$$e = \frac{0,885PL}{SE - 0,1P} + C \quad (16)$$

Sendo L o raio da coroa central, coincidindo com o valor do diâmetro do vaso, nas condições em que está sendo projetado.

## 7.7 Instrumentação

Uma introdução sobre os tipos de medidores de temperatura, pressão e vazão será apresentada. Estes elementos deverão ser selecionados de forma a suportar as condições do escoamento multifásico pressurizado e serem capazes de fornecer valores com frequência e precisão aceitáveis.

### 7.7.1 Temperatura

A temperatura é uma propriedade intensiva que corresponde à agitação térmica dos átomos de uma substância, e está associada à quantidade de energia da mesma. É um dos principais parâmetros para caracterização do estado de um sistema e para determinação de outras propriedades.

A aquisição da temperatura geralmente é baseada na mudança de propriedades físicas dos materiais em função da temperatura. Dispositivos comumente utilizados são os elementos bimetálicos, termômetro de líquido em vidro, termômetro de pressão, termômetro de resistência elétrica e termopares. No entanto, para a aplicação proposta, sabe-se pela experiência que os termômetros de resistência elétrica e os termopares são os que possuem as características necessárias, e, portanto seu funcionamento será detalhado a seguir.

#### 7.7.1.1 Termômetro de Resistência Elétrica

Os termômetros por resistência elétrica utilizam a variação da resistência elétrica dos metais em função da temperatura para mensurá-la. Um circuito com uma ponte de Wheatstone é a maneira padrão de se medir a variação da resistência.

### 7.7.1.2 Termopares

Os termopares baseiam-se no princípio demonstrado por Thomas Seebeck em 1821, de que a junção de metais distintos expostos a temperaturas diferentes gera uma força eletromotriz (f.e.m.) térmica, induzindo uma corrente. Estando um lado da junta em uma temperatura de referência, determina-se a temperatura a ser mensurada.

Existem diversas classes de termopares, e a escolha é baseada na precisão, confiabilidade e intervalo de temperatura em operação. O Quadro 10 apresenta as principais características dos termopares comercialmente disponíveis.

**Quadro 10 - Tipos de Termopares**

<b>Tipos</b>	<b>Faixa de utilização</b>	<b>Característica</b>
Tipo K (Cromel / Alumel)	-200 °C a 1200 °C	Genérico, baixo custo.
Tipo E (Cromel / Constantan)	Baixas temperaturas	Alta sensibilidade
Tipo J (Ferro / Constantan)	-40 °C a 750 °C	Equipamentos antigos.
Tipo N (Nicrosil / Nisil)	Altas temperaturas	Maior resistência à oxidação do que Tipo K.
Tipo B (Platina / Ródio-Platina)	Até 1800 °C	
Tipo R (Platina / Ródio – Platina)	Até 1600 °C	Sensibilidade reduzida e custo elevado.
Tipos S (Platina / Ródio – Platina)	Até 1600 °C	Sensibilidade reduzida e custo elevado, mas alta estabilidade.
Tipo T (Cobre / Constantan)	-270 °C e 400 °C	Mais indicado em sua faixa de utilização.

### 7.7.2 Pressão

A pressão também é considerada uma propriedade intensiva, e é fundamental para determinação do estado termodinâmico principalmente de líquidos e gases. A pressão é sempre definida em relação a uma referência. Quando essa referência é o vácuo, denomina-se pressão absoluta. Se o nível de referência for diferente do vácuo, geralmente a pressão atmosférica, chama-se pressão relativa.

Quando tratamos de escoamento de um fluido em um duto, outras definições são importantes: pressão estática, dinâmica ou cinética, e de estagnação. A pressão estática refere-se à medida que seria obtida por um instrumento que se movesse junto com o escoamento. Por outro lado, a pressão dinâmica considera o efeito da velocidade do fluido. A pressão de estagnação é obtida quando o fluido é desacelerado em um processo sem atrito até uma velocidade nula. Esta é a soma das pressões estática e dinâmica.

Manômetros são os instrumentos utilizados comumente na medição da pressão e podem ser baseados em princípios diversos. Os instrumentos mecânicos comparam uma força conhecida com a exercida pelo fluido. Os instrumentos eletrônicos utilizam alterações físicas passíveis de serem detectadas, como a capacitância de um capacitor, sendo este o que melhor se aplica as necessidades de coleta de dados para uma bancada de simulação experimental.

Capacitores de placas paralelas são definidos por três parâmetros principais: a propriedade do material entre as placas denominada constante dielétrica, a área das placas e a distância entre elas. Dessas grandezas construtivas, a distância entre as placas pode ser facilmente variada pela ação da pressão que se deseja medir, e este é o princípio de funcionamento. Este tipo de manômetro eletrônico possui boa resolução, linearidade e frequência de medição.

### 7.7.3 Vazão

A vazão é o terceiro parâmetro crítico para os experimentos que se pretende realizar na instalação que será projetada. Existem medidores de vazão volumétrica ou vazão mássica.

O Quadro 11 apresenta uma comparação entre diversos tipos de instrumentos utilizados para determinar a vazão de líquidos em escoamentos internos. Destes, os mais comuns na aplicação pretendida são: rotâmetro, Venturi e Coriolis.

**Quadro 11 - Comparação entre diversos medidores de vazão para fluidos.**

Fonte: <http://www.mspc.eng.br>

<b>Tipo</b>	<b>Utilização</b>	<b>Perda de pressão</b>	<b>Precisão aproximada</b>	<b>Sensibilidade à viscosidade</b>
Bocal	Líquidos comuns.	Média	$\pm 1/\pm 2$ da escala	Alta
Coriolis	Líquidos comuns, viscosos, pouca suspensão.	Baixa	$\pm 0,4$ da proporção	Não há
Deslocamento positivo	Líquidos viscosos sem suspensões.	Alta	$\pm 0,5$ da proporção	Baixa
Eletromagnético	Líquidos condutivos com suspensões	Não há	$\pm 0,5$ da proporção	Não há
Joelho	Líquidos comuns. Alguma suspensão.	Baixa	$\pm 5/\pm 10$ da escala	Baixa
Placa de orifício	Líquidos comuns. Alguma suspensão.	Média	$\pm 2/\pm 4$ da escala	Alta
Rotâmetro	Líquidos comuns.	Média	$\pm 1/\pm 10$ da escala	Média
Tubo de Pitot	Líquidos sem impurezas.	Muito baixa	$\pm 3/\pm 5$ da escala	Baixa
Tubo de Venturi	Líquidos comuns. Alguma suspensão.	Baixa	$\pm 1$ da escala	Alta
Turbina	Líquidos comuns. Pouca suspensão.	Alta	$\pm 0,25$ da proporção	Alta
Ultra-sônico (Doppler)	Líquidos viscosos com suspensões.	Não há	$\pm 5$ da escala	Não há

Os rotâmetros consistem basicamente em um tubo cônico disposto na vertical que contém um flutuador. Na presença de um escoamento, a pressão do fluido irá elevar a posição do flutuador. No tubo é inscrita uma escala que apresenta a vazão

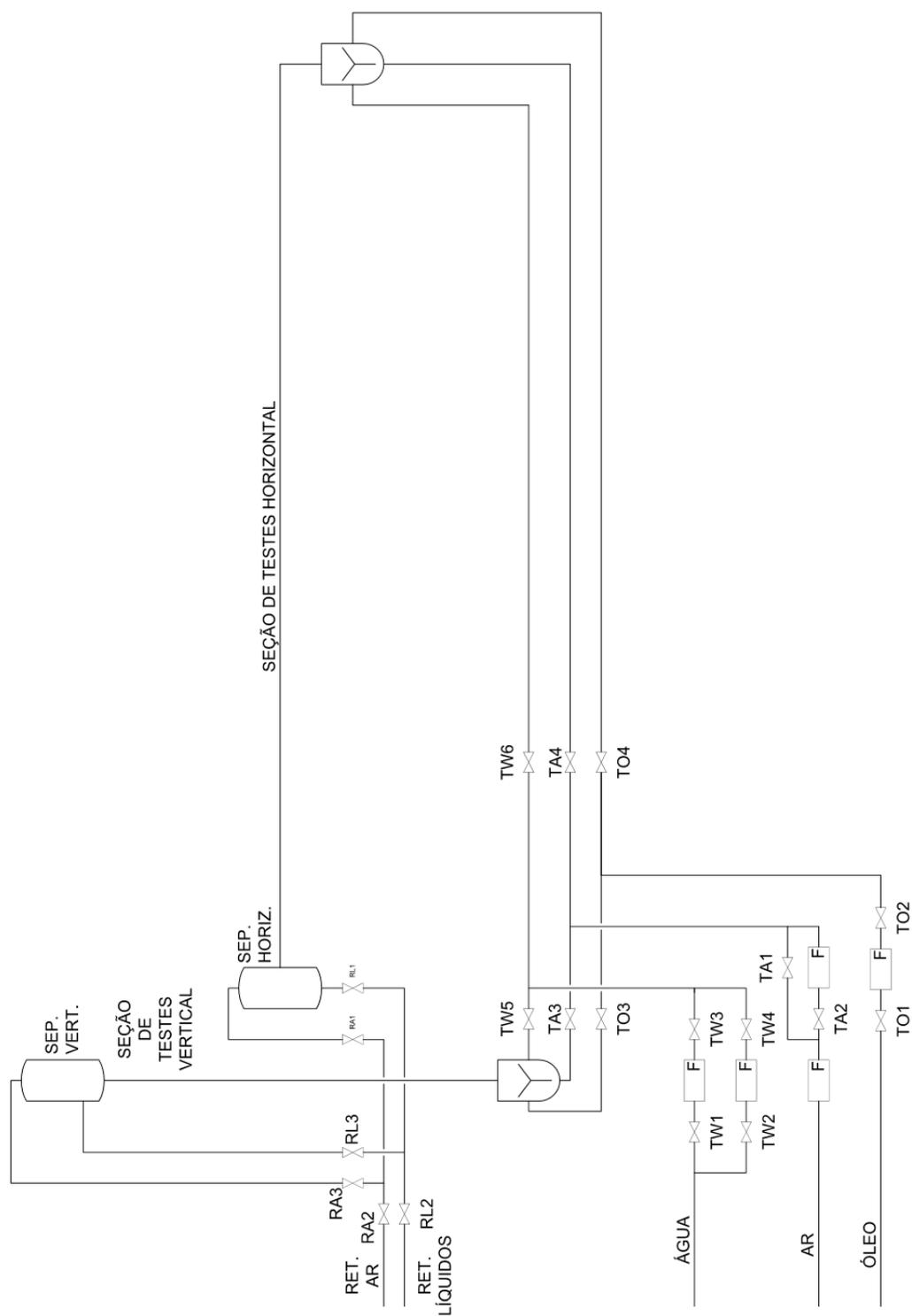
em função da posição do flutuador. Quanto maior esta for, maior será a pressão e mais alta será a posição do flutuador.

O medidor Venturi baseia-se na variação de pressão do fluido ao ser forçado por um trecho de seção variável. A diferença de pressão é obtida e, conhecendo-se os parâmetros geométricos do Venturi, consegue se determinar a vazão.

O medidor de Coriolis apresenta uma vantagem em relação aos demais, por ser um medidor de vazão mássica, e não volumétrica, não sendo impactado por mudanças de temperatura e pressão como a maioria dos demais. O fluxo é levado a percorrer um tubo em U que oscila devido a uma excitação magnética. Como o fluido está percorrendo direções opostas dentro do U, surge uma deformação que pode ser mensurada e, esta é função da vazão mássica.

Para medição de vazão para escoamentos gasosos, são mais comuns os medidores de vazão de turbina, onde o fluido escoando faz o rotor girar. A rotação do rotor é captada por um sensor indutivo e relacionada com a vazão volumétrica pelo conhecimento da área transversal da turbina. Este dispositivo possui alta precisão para uma ampla faixa de temperatura e pressão.





**Figura 47 - Desenho esquemático da seção de testes.**

Para a correta operação do circuito, existem combinações corretas entre as válvulas que permanecerão abertas e aquelas que devem ser fechadas. Nesta

seção estão apresentados todos os estados necessários para cada tipo de ação. A Figura 46 apresenta a posição e identificação das válvulas dentro da casa de máquinas, enquanto a Figura 47 apresenta aquelas que estão na área de testes.

## 8.1 Linha de Ar

### 8.1.1 Pressurização do sistema

Válvulas fechadas: A2, A3, A4, TA2, TA3<sup>H</sup>, TA4<sup>V</sup>, RA3<sup>H</sup>, RA1<sup>V</sup>, W3, W2, O6, O7, RL2

Válvulas abertas: A1, A5, A6, TA1, TA3<sup>V</sup>, TA4<sup>H</sup>, RA3<sup>V</sup>, RA1<sup>h</sup>, RA2

### 8.1.2 Circulação de ar

Válvulas fechadas: A1, A3, A4, A6, TA3<sup>H</sup>, TA4<sup>V</sup>, RA3<sup>H</sup>, RA1<sup>V</sup>

Válvulas abertas: A2, A5, TA1<sup>AV</sup>, TA2<sup>BV</sup>, TA3<sup>V</sup>, TA4<sup>h</sup>, RA3<sup>V</sup>, RA1<sup>H</sup>, RA2

### 8.1.3 Purgo do acúmulo de líquidos no reservatório amortecedor:

Válvulas abertas: A3

### 8.1.4 Retorno do ar ao reservatório de armazenamento

Válvulas fechadas: A3, A6, A5

Válvulas abertas: A2, A4, A1

## 8.2 Linha de Água:

### 8.2.1 Alimentação do sistema

Válvulas fechadas: W3, W4, RL2, RL3

Válvulas abertas: W1, W2

### 8.2.2 Circulação de Água

Válvulas fechadas: W1, W4<sup>SB</sup>, TW1<sup>AV</sup>, TW2<sup>BV</sup>, TW3<sup>AV</sup>, TW4<sup>BV</sup>, TW5<sup>H</sup>, TW6<sup>V</sup>, RL1<sup>V</sup>, RL3<sup>H</sup>

Válvulas abertas: W3, W6, W4<sup>CB</sup>, TW1<sup>BV</sup>, TW2<sup>AV</sup>, TW3<sup>BV</sup>, TW4<sup>AV</sup>, TW5<sup>V</sup>, TW6<sup>H</sup>, RL1<sup>H</sup>, RL3<sup>V</sup>, RL2

Válvula de controle (recirculação): W5

### 8.2.3 Retorno da água para o reservatório:

Válvulas fechadas: W2, W6

Válvulas abertas: W3, W5, W4, W1

### 8.3 Linha de Óleo:

#### 8.3.1 Alimentação do sistema

Válvulas fechadas: O1<sup>BD</sup>, O2<sup>AD</sup>, O3<sup>BD</sup>, O4<sup>AD</sup>, O5, RL2, RL3

Válvulas abertas: O1<sup>AD</sup>, O2<sup>BD</sup>, O3<sup>AD</sup>, O4<sup>BD</sup>, O7

#### 8.3.2 Circulação de Óleo:

Válvulas fechadas: O1, O2, O9, O10, O3<sup>BD</sup>, O4<sup>AD</sup>, O7<sup>SD</sup>, TO3<sup>H</sup>, TO4<sup>V</sup>, RL1<sup>V</sup>, RL3<sup>H</sup>

Válvulas abertas: O5, O3<sup>AD</sup>, O4<sup>BD</sup>, O7<sup>CB</sup>, O11, O12, TO1, TO2, TO3<sup>V</sup>, TO4<sup>H</sup>, RL1<sup>H</sup>, RL3<sup>V</sup>, RL2

Válvula de controle: O6

#### 8.3.3 Retorno do óleo para o reservatório:

Válvulas fechadas: O1, O7, O12

Válvulas abertas: O5, O3<sup>AD</sup>, O4<sup>BD</sup>, O11, O9<sup>AD</sup>, O10<sup>BD</sup>

<sup>V</sup>: Se operando no circuito vertical

<sup>H</sup>: Se operando no circuito horizontal

<sup>AV</sup>: Se operando em alta vazão

<sup>BV</sup>: Se operando em baixa vazão

<sup>SB</sup>: Sem by-pass na bomba

<sup>CB</sup>: Com by-pass na bomba

## 9 APÊNDICE C – MEMORIAL DE CÁLCULO - CURVAS DO SISTEMA

### 9.1 Perda de carga Água horizontal

Água

Dados

$$P := 50\text{bar}$$

$$T_p := 300\text{K}$$

$$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\rho_{\text{Ag}} := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$V_{\text{Ag}} := \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \\ 50 \\ 60 \\ 70 \\ 80 \\ 90 \\ 100 \end{pmatrix} \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} =$		0	
	0	$1.389 \cdot 10^{-3}$	
	1	$2.778 \cdot 10^{-3}$	
	2	$5.556 \cdot 10^{-3}$	
	3	$8.333 \cdot 10^{-3}$	
	4	0.011	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
	5	0.014	
	6	0.017	
	7	0.019	
	8	0.022	
	9	0.025	
10	0.028		

$$D_{\text{Ag\_suc}} := 0.10236\text{m}$$

(4in)

$$D_{\text{Ag\_des}} := 0.07792\text{m}$$

(3in)

$$D_{\text{Ag\_ret}} := 0.15408\text{m}$$

(6in)

$$\mu_{\text{Ag}} := 0.001 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$A_{\text{Ag\_suc}} := D_{\text{Ag\_suc}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 8.229 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{\text{Ag\_des}} := D_{\text{Ag\_des}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4.769 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{\text{Ag\_ret}} := D_{\text{Ag\_ret}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0.019 \text{m}^2$$

$$\text{Vel\_Ag\_suc} := \frac{V\_Ag}{A\_Ag\_suc} =$$

	0
0	0.169
1	0.338
2	0.675
3	1.013
4	1.35
5	1.688
6	2.025
7	2.363
8	2.7
9	3.038
10	3.376

 $\frac{m}{s}$ 

$$\text{Vel\_Ag\_des} := \frac{V\_Ag}{A\_Ag\_des} =$$

	0
0	0.291
1	0.583
2	1.165
3	1.748
4	2.33
5	2.913
6	3.495
7	4.078
8	4.66
9	5.243
10	5.825

 $\frac{m}{s}$ 

$$\text{Vel\_Ag\_ret} := \frac{V\_Ag}{A\_Ag\_ret} =$$

	0
0	0.074
1	0.149
2	0.298
3	0.447
4	0.596
5	0.745
6	0.894
7	1.043
8	1.192
9	1.341
10	1.49

 $\frac{m}{s}$

$$Re_{Ag\_suc} := \frac{(\rho_{Ag} \cdot Vel_{Ag\_suc} \cdot D_{Ag\_suc})}{\mu_{Ag}} =$$

	0
0	$1.728 \cdot 10^4$
1	$3.455 \cdot 10^4$
2	$6.91 \cdot 10^4$
3	$1.037 \cdot 10^5$
4	$1.382 \cdot 10^5$
5	$1.728 \cdot 10^5$
6	$2.073 \cdot 10^5$
7	$2.419 \cdot 10^5$
8	$2.764 \cdot 10^5$
9	$3.11 \cdot 10^5$
10	$3.455 \cdot 10^5$

$$Re_{Ag\_des} := \frac{(\rho_{Ag} \cdot Vel_{Ag\_des} \cdot D_{Ag\_des})}{\mu_{Ag}} =$$

	0
0	$2.269 \cdot 10^4$
1	$4.539 \cdot 10^4$
2	$9.078 \cdot 10^4$
3	$1.362 \cdot 10^5$
4	$1.816 \cdot 10^5$
5	$2.269 \cdot 10^5$
6	$2.723 \cdot 10^5$
7	$3.177 \cdot 10^5$
8	$3.631 \cdot 10^5$
9	$4.085 \cdot 10^5$
10	$4.539 \cdot 10^5$

$$Re_{Ag\_ret} := \frac{(\rho_{Ag} \cdot Vel_{Ag\_ret} \cdot D_{Ag\_ret})}{\mu_{Ag}} =$$

	0
0	$1.148 \cdot 10^4$
1	$2.295 \cdot 10^4$
2	$4.591 \cdot 10^4$
3	$6.886 \cdot 10^4$
4	$9.182 \cdot 10^4$
5	$1.148 \cdot 10^5$
6	$1.377 \cdot 10^5$
7	$1.607 \cdot 10^5$
8	$1.836 \cdot 10^5$
9	$2.066 \cdot 10^5$
10	$2.295 \cdot 10^5$

$$e_r := 0.046 \text{ mm} = 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\varepsilon_{Ag\_suc} := \frac{e_r}{D_{Ag\_suc}} = 4.494 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{Ag\_des} := \frac{e_r}{D_{Ag\_des}} = 5.903 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{Ag\_ret} := \frac{e_r}{D_{Ag\_ret}} = 2.985 \times 10^{-4}$$

Compr\_Ag\_suc := 2.10m

Compr\_Ag\_des := 78.46m

Compr\_Ag\_ret := 10.99m

$$f_{\text{moody\_Ag\_suc}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\epsilon_{\text{Ag\_suc}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Ag\_suc}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.022
1	0.02
2	0.018
3	0.018
4	0.017
5	0.017
6	0.017
7	0.017
8	0.017
9	0.017
10	0.017

$$f_{\text{moody\_Ag\_des}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\epsilon_{\text{Ag\_des}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Ag\_des}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.022
1	0.02
2	0.019
3	0.018
4	0.018
5	0.018
6	0.018
7	0.018
8	0.018
9	0.018
10	0.018

$$f_{\text{moody\_Ag\_ret}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\epsilon_{\text{Ag\_ret}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Ag\_ret}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.024
1	0.021
2	0.018
3	0.017
4	0.017
5	0.017
6	0.016
7	0.016
8	0.016
9	0.016
10	0.016

## 9.1.1 Perdas Distribuidas

$$Hl_{des} := \left[ \begin{array}{l}
 f_{moody\_Ag\_des_0} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_0)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_1} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_1)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_2} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_2)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_3} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_3)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_4} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_4)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_5} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_5)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_6} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_6)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_7} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_7)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_8} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_8)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_9} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_9)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_{10}} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & 0 \\
 \hline
 0 & 0.095 \\
 \hline
 1 & 0.347 \\
 \hline
 2 & 1.306 \\
 \hline
 3 & 2.87 \\
 \hline
 4 & 5.039 \\
 \hline
 5 & 7.812 \\
 \hline
 6 & 11.19 \\
 \hline
 7 & 15.171 \\
 \hline
 8 & 19.757 \\
 \hline
 9 & 24.947 \\
 \hline
 10 & 30.741 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$

$$\text{Hl\_suc} := \left[ \begin{array}{l}
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_0 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_0)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_1 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_1)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_2 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_2)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_3 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_3)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_4 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_4)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_5 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_5)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_6 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_6)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_7 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_7)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_8 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_8)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_9 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_9)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_{10} \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & 0 \\
 \hline
 0 & 6.665 \cdot 10^{-4} \\
 \hline
 1 & 2.376 \cdot 10^{-3} \\
 \hline
 2 & 8.757 \cdot 10^{-3} \\
 \hline
 3 & 0.019 \\
 \hline
 4 & 0.033 \\
 \hline
 5 & 0.051 \\
 \hline
 6 & 0.073 \\
 \hline
 7 & 0.099 \\
 \hline
 8 & 0.129 \\
 \hline
 9 & 0.162 \\
 \hline
 10 & 0.2 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$

$$Hl_{ret} := \left[ \begin{array}{l} fmoody\_Ag\_ret_0 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_0)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_1 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_1)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_2 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_2)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_3 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_3)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_4 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_4)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_5 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_5)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_6 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_6)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_7 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_7)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_8 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_8)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_9 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_9)^2}{2 \cdot g} \\ fmoody\_Ag\_ret_{10} \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_{10})^2}{2 \cdot g} \end{array} \right] = \begin{array}{l} 0 \\ 4.817 \cdot 10^{-4} \\ 1.666 \cdot 10^{-3} \\ 5.938 \cdot 10^{-3} \\ 0.013 \\ 0.022 \\ 0.033 \\ 0.047 \\ 0.064 \\ 0.083 \\ 0.104 \\ 0.128 \end{array} m$$

$$Hl := Hl_{des} + Hl_{suc} + Hl_{ret} = \begin{array}{l} 0 \\ 0.096 \\ 0.351 \\ 1.321 \\ 2.902 \\ 5.094 \\ 7.897 \\ 11.311 \\ 15.334 \\ 19.969 \\ 25.213 \\ 31.069 \end{array} m$$

### 9.1.2 Perdas Localizadas

C_Componente1_Coef := 0.3	C_Componente1_N_Ag_suc := 2	C_Componente1_N_Ag_des := 11	C_Componente1_N_Ag_ret := 5	Cotovelos 90°
C_Componente2_Coef := 0.2	C_Componente2_N_Ag_suc := 0	C_Componente2_N_Ag_des := 1	C_Componente2_N_Ag_ret := 1	T - Escoamento alinhado
C_Componente3_Coef := 0.9	C_Componente3_N_Ag_suc := 0	C_Componente3_N_Ag_des := 2	C_Componente3_N_Ag_ret := 0	T - Escoamento derivado
C_Componente4_Coef := 0.15	C_Componente4_N_Ag_suc := 0	C_Componente4_N_Ag_des := 2	C_Componente4_N_Ag_ret := 2	Válvula Gaveta Aberta
C_Componente5_Coef := 10	C_Componente5_N_Ag_suc := 0	C_Componente5_N_Ag_des := 1	C_Componente5_N_Ag_ret := 0	Válvula Globo Aberta
C_Componente6_Coef := 1	C_Componente6_N_Ag_suc := 0	C_Componente6_N_Ag_des := 1	C_Componente6_N_Ag_ret := 1	Entrada do Reservatório
C_Componente7_Coef := 0.2	C_Componente7_N_Ag_suc := 1	C_Componente7_N_Ag_des := 0	C_Componente7_N_Ag_ret := 1	Saída do Reservatório - Ligeiramento arredondado
C_Componente8_Coef := 2	C_Componente8_N_Ag_suc := 1	C_Componente8_N_Ag_des := 4	C_Componente8_N_Ag_ret := 0	
C_Componente9_Coef := 0.08	C_Componente9_N_Ag_suc := 2	C_Componente9_N_Ag_des := 38	C_Componente9_N_Ag_ret := 5	Válvula de Retenção - Escoamento a favor

$$\begin{aligned}
 Prod_{suc} &= \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN} \\
 Prod_{des} &= \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN} \\
 Prod_{ret} &= \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN}
 \end{aligned}$$

$$Hml_{des} := Prod_{des} \cdot \frac{Vel_{Ag_{des}}^2}{2 \cdot g} = \quad m$$

	0
0	0.12
1	0.478
2	1.913
3	4.304
4	7.651
5	11.955
6	17.215
7	23.432
8	30.605
9	38.734
10	47.82

$$Hml_{suc} := Prod_{suc} \cdot \frac{Vel_{Ag_{suc}}^2}{2 \cdot g} = \quad m$$

	0
0	4.299 · 10 <sup>-3</sup>
1	0.017
2	0.069
3	0.155
4	0.275
5	0.43
6	0.619
7	0.843
8	1.101
9	1.393
10	1.72

$$H_{ml\_ret} := \text{Prod\_ret} \cdot \frac{\text{Vel\_Ag\_ret}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	1.018·10 <sup>-3</sup>
1	4.074·10 <sup>-3</sup>
2	0.016
3	0.037
4	0.065
5	0.102
6	0.147
7	0.2
8	0.261
9	0.33
10	0.407

m

$$h_{medidor} :=$$

0.002818
0.010218
0.035938
0.075432
0.128253
0.194466
0.27527
0.369094
0.478775
0.603809
0.743679

m

$$H_{ml} := H_{ml\_des} + H_{ml\_suc} + H_{ml\_ret} + h_{medidor} =$$

	0
0	0.128
1	0.51
2	2.034
3	4.571
4	8.12
5	12.681
6	18.256
7	24.843
8	32.445
9	41.061
10	50.69

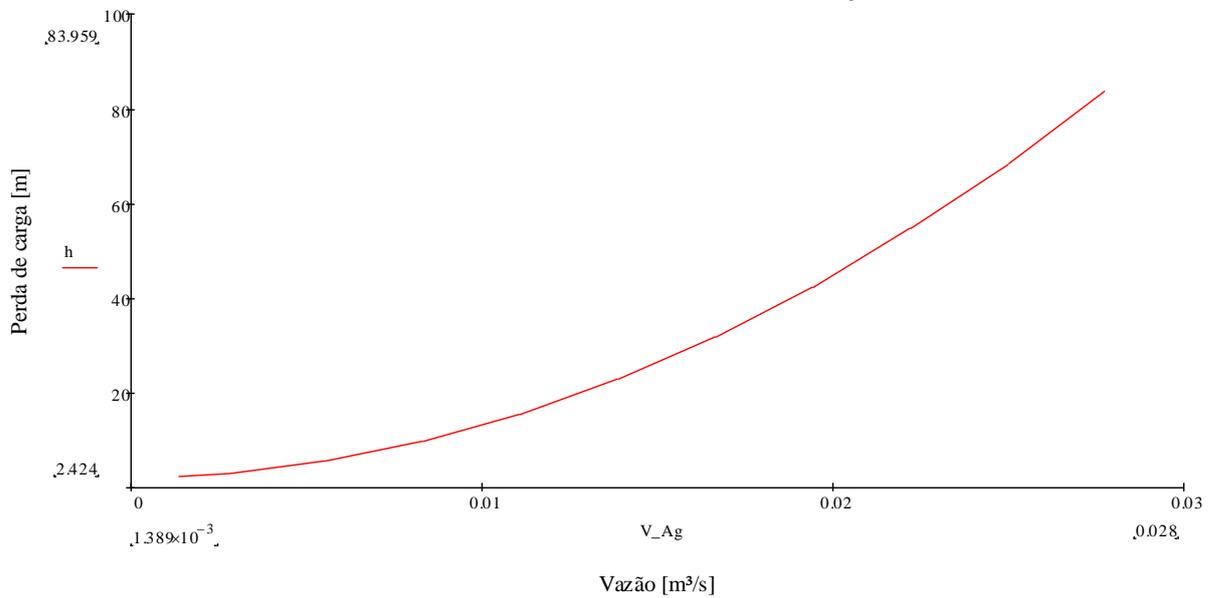
m

$$z := 2.2\text{m}$$

	0
0	2.424
1	3.061
2	5.555
3	9.673
4	15.414
5	22.778
6	31.767
7	42.377
8	54.613
9	68.474
10	83.959

$h := Hl + Hml + z =$  m

Curva característica do sistema - Circuito de Água Horizontal



## 9.2 Perda de Carga Água Vertical

Água

Dados

$P := 50\text{bar}$

$Tp := 300\text{K}$

$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$\rho_{Ag} := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$V_{Ag} := \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \\ 50 \\ 60 \\ 70 \\ 80 \\ 90 \\ 100 \end{pmatrix} \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 1.389 \cdot 10^{-3} \\ \hline 1 & 2.778 \cdot 10^{-3} \\ \hline 2 & 5.556 \cdot 10^{-3} \\ \hline 3 & 8.333 \cdot 10^{-3} \\ \hline 4 & 0.011 \\ \hline 5 & 0.014 \\ \hline 6 & 0.017 \\ \hline 7 & 0.019 \\ \hline 8 & 0.022 \\ \hline 9 & 0.025 \\ \hline 10 & 0.028 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$D_{Ag\_suc} := 0.10236\text{m}$$

(4in)

$$D_{Ag\_des} := 0.07792\text{m}$$

(3in)

$$D_{Ag\_ret} := 0.15408\text{m}$$

(6in)

$$\mu_{Ag} := 0.001 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$A_{Ag\_suc} := D_{Ag\_suc}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 8.229 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{Ag\_des} := D_{Ag\_des}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4.769 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{Ag\_ret} := D_{Ag\_ret}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0.019 \text{m}^2$$

$$Vel_{Ag\_suc} := \frac{V_{Ag}}{A_{Ag\_suc}} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 0.169 \\ \hline 1 & 0.338 \\ \hline 2 & 0.675 \\ \hline 3 & 1.013 \\ \hline 4 & 1.35 \\ \hline 5 & 1.688 \\ \hline 6 & 2.025 \\ \hline 7 & 2.363 \\ \hline 8 & 2.7 \\ \hline 9 & 3.038 \\ \hline 10 & 3.376 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Vel\_Ag\_des} := \frac{V\_Ag}{A\_Ag\_des} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 0.291 \\ \hline 1 & 0.583 \\ \hline 2 & 1.165 \\ \hline 3 & 1.748 \\ \hline 4 & 2.33 \\ \hline 5 & 2.913 \\ \hline 6 & 3.495 \\ \hline 7 & 4.078 \\ \hline 8 & 4.66 \\ \hline 9 & 5.243 \\ \hline 10 & 5.825 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Vel\_Ag\_ret} := \frac{V\_Ag}{A\_Ag\_ret} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 0.074 \\ \hline 1 & 0.149 \\ \hline 2 & 0.298 \\ \hline 3 & 0.447 \\ \hline 4 & 0.596 \\ \hline 5 & 0.745 \\ \hline 6 & 0.894 \\ \hline 7 & 1.043 \\ \hline 8 & 1.192 \\ \hline 9 & 1.341 \\ \hline 10 & 1.49 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Re\_Ag\_suc} := \frac{(\rho\_Ag \cdot \text{Vel\_Ag\_suc} \cdot D\_Ag\_suc)}{\mu\_Ag} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 1.728 \cdot 10^4 \\ \hline 1 & 3.455 \cdot 10^4 \\ \hline 2 & 6.91 \cdot 10^4 \\ \hline 3 & 1.037 \cdot 10^5 \\ \hline 4 & 1.382 \cdot 10^5 \\ \hline 5 & 1.728 \cdot 10^5 \\ \hline 6 & 2.073 \cdot 10^5 \\ \hline 7 & 2.419 \cdot 10^5 \\ \hline 8 & 2.764 \cdot 10^5 \\ \hline 9 & 3.11 \cdot 10^5 \\ \hline 10 & 3.455 \cdot 10^5 \\ \hline \end{array}$$

$$Re_{Ag\_des} := \frac{(\rho_{Ag} \cdot Vel_{Ag\_des} \cdot D_{Ag\_des})}{\mu_{Ag}} =$$

	0
0	$2.269 \cdot 10^4$
1	$4.539 \cdot 10^4$
2	$9.078 \cdot 10^4$
3	$1.362 \cdot 10^5$
4	$1.816 \cdot 10^5$
5	$2.269 \cdot 10^5$
6	$2.723 \cdot 10^5$
7	$3.177 \cdot 10^5$
8	$3.631 \cdot 10^5$
9	$4.085 \cdot 10^5$
10	$4.539 \cdot 10^5$

$$Re_{Ag\_ret} := \frac{(\rho_{Ag} \cdot Vel_{Ag\_ret} \cdot D_{Ag\_ret})}{\mu_{Ag}} =$$

	0
0	$1.148 \cdot 10^4$
1	$2.295 \cdot 10^4$
2	$4.591 \cdot 10^4$
3	$6.886 \cdot 10^4$
4	$9.182 \cdot 10^4$
5	$1.148 \cdot 10^5$
6	$1.377 \cdot 10^5$
7	$1.607 \cdot 10^5$
8	$1.836 \cdot 10^5$
9	$2.066 \cdot 10^5$
10	$2.295 \cdot 10^5$

$$e_r := 0.046 \text{ mm} = 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\epsilon_{Ag\_suc} := \frac{e_r}{D_{Ag\_suc}} = 4.494 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon_{Ag\_des} := \frac{e_r}{D_{Ag\_des}} = 5.903 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon_{Ag\_ret} := \frac{e_r}{D_{Ag\_ret}} = 2.985 \times 10^{-4}$$

$$Compr_{Ag\_suc} := 2.10 \text{ m}$$

$$Compr_{Ag\_des} := 40.71 \text{ m}$$

$$Compr_{Ag\_ret} := 26.49 \text{ m}$$

$$f_{\text{moody\_Ag\_suc}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Ag\_suc}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Ag\_suc}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.022
1	0.02
2	0.018
3	0.018
4	0.017
5	0.017
6	0.017
7	0.017
8	0.017
9	0.017
10	0.017

$$f_{\text{moody\_Ag\_des}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Ag\_des}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Ag\_des}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.022
1	0.02
2	0.019
3	0.018
4	0.018
5	0.018
6	0.018
7	0.018
8	0.018
9	0.018
10	0.018

$$f_{\text{moody\_Ag\_ret}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Ag\_ret}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Ag\_ret}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.024
1	0.021
2	0.018
3	0.017
4	0.017
5	0.017
6	0.016
7	0.016
8	0.016
9	0.016
10	0.016

### 9.2.1 Perdas Distribuidas

$$Hl_{des} := \left[ \begin{array}{l}
 f_{moody\_Ag\_des_0} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_0)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_1} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_1)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_2} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_2)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_3} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_3)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_4} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_4)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_5} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_5)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_6} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_6)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_7} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_7)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_8} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_8)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_9} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_9)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Ag\_des_{10}} \cdot \frac{Compr\_Ag\_des}{D\_Ag\_des} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_des_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & 0 \\
 \hline
 0 & 0.049 \\
 \hline
 1 & 0.18 \\
 \hline
 2 & 0.678 \\
 \hline
 3 & 1.489 \\
 \hline
 4 & 2.615 \\
 \hline
 5 & 4.054 \\
 \hline
 6 & 5.806 \\
 \hline
 7 & 7.872 \\
 \hline
 8 & 10.251 \\
 \hline
 9 & 12.944 \\
 \hline
 10 & 15.95 \\
 \hline
 \end{array} m$$

$$\text{Hl\_suc} := \left[ \begin{array}{l}
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_0 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_0)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_1 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_1)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_2 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_2)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_3 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_3)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_4 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_4)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_5 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_5)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_6 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_6)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_7 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_7)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_8 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_8)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_9 \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_9)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ag\_suc}_{10} \cdot \frac{\text{Compr\_Ag\_suc}}{\text{D\_Ag\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ag\_suc}_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & 0 \\
 \hline
 0 & 6.665 \cdot 10^{-4} \\
 \hline
 1 & 2.376 \cdot 10^{-3} \\
 \hline
 2 & 8.757 \cdot 10^{-3} \\
 \hline
 3 & 0.019 \\
 \hline
 4 & 0.033 \\
 \hline
 5 & 0.051 \\
 \hline
 6 & 0.073 \\
 \hline
 7 & 0.099 \\
 \hline
 8 & 0.129 \\
 \hline
 9 & 0.162 \\
 \hline
 10 & 0.2 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$

$$Hl_{ret} := \left[ \begin{array}{l}
 fmoody\_Ag\_ret_0 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_0)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_1 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_1)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_2 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_2)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_3 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_3)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_4 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_4)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_5 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_5)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_6 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_6)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_7 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_7)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_8 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_8)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_9 \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_9)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Ag\_ret_{10} \cdot \frac{Compr\_Ag\_ret}{D\_Ag\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Ag\_ret_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{l}
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \end{array} m$$

	0
0	1.161·10 <sup>-3</sup>
1	4.015·10 <sup>-3</sup>
2	0.014
3	0.031
4	0.053
5	0.081
6	0.114
7	0.154
8	0.199
9	0.251
10	0.308

$$Hl := Hl_{des} + Hl_{suc} + Hl_{ret} = \begin{array}{l}
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \end{array} m$$

	0
0	0.051
1	0.186
2	0.701
3	1.539
4	2.701
5	4.186
6	5.994
7	8.125
8	10.579
9	13.357
10	16.458

### 9.2.2 Perdas Localizadas

C_Componente1_Coef := 0.3	C_Componente1_N_Ag_suc := 2	C_Componente1_N_Ag_des := 13	C_Componente1_N_Ag_ret := 5	Cotovelos 90°
C_Componente2_Coef := 0.2	C_Componente2_N_Ag_suc := 0	C_Componente2_N_Ag_des := 1	C_Componente2_N_Ag_ret := 0	T - Escoamento alinhado
C_Componente3_Coef := 0.9	C_Componente3_N_Ag_suc := 0	C_Componente3_N_Ag_des := 2	C_Componente3_N_Ag_ret := 1	T - Escoamento derivado
C_Componente4_Coef := 0.15	C_Componente4_N_Ag_suc := 0	C_Componente4_N_Ag_des := 2	C_Componente4_N_Ag_ret := 2	Válvula Gaveta Aberta
C_Componente5_Coef := 10	C_Componente5_N_Ag_suc := 0	C_Componente5_N_Ag_des := 1	C_Componente5_N_Ag_ret := 0	Válvula Globo Aberta
C_Componente6_Coef := 1	C_Componente6_N_Ag_suc := 0	C_Componente6_N_Ag_des := 1	C_Componente6_N_Ag_ret := 1	Entrada do Reservatório
C_Componente7_Coef := 0.2	C_Componente7_N_Ag_suc := 1	C_Componente7_N_Ag_des := 0	C_Componente7_N_Ag_ret := 1	Saída do Reservatório - Ligeiramente arredondado
C_Componente8_Coef := 2	C_Componente8_N_Ag_suc := 1	C_Componente8_N_Ag_des := 4	C_Componente8_N_Ag_ret := 0	
C_Componente9_Coef := 0.08	C_Componente9_N_Ag_suc := 2	C_Componente9_N_Ag_des := 38	C_Componente9_N_Ag_ret := 5	Válvula de Retenção - Escoamento a favor

$$\begin{aligned}
 Prod_{suc} &= \sum C_{ComponenteN} \cdot C_{Coef} \cdot C_{ComponenteN} \\
 Prod_{des} &= \sum C_{ComponenteN} \cdot C_{Coef} \cdot C_{ComponenteN} \\
 Prod_{ret} &= \sum C_{ComponenteN} \cdot C_{Coef} \cdot C_{ComponenteN}
 \end{aligned}$$

$$Hml_{des} := Prod_{des} \cdot \frac{Vel_{Ag_{des}}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	0.122
1	0.489
2	1.954
3	4.397
4	7.817
5	12.214
6	17.589
7	23.94
8	31.269
9	39.575
10	48.858

m

$$Hml_{suc} := Prod_{suc} \cdot \frac{Vel_{Ag_{suc}}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	4.299 · 10 <sup>-3</sup>
1	0.017
2	0.069
3	0.155
4	0.275
5	0.43
6	0.619
7	0.843
8	1.101
9	1.393
10	1.72

m

$$H_{ml\_ret} := \text{Prod\_ret} \cdot \frac{\text{Vel\_Ag\_ret}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	1.216·10 <sup>-3</sup>
1	4.866·10 <sup>-3</sup>
2	0.019
3	0.044
4	0.078
5	0.122
6	0.175
7	0.238
8	0.311
9	0.394
10	0.487

$$h_{medidor} :=$$

0.002818
0.010218
0.035938
0.075432
0.128253
0.194466
0.27527
0.369094
0.478775
0.603809
0.743679

$$H_{ml} := H_{ml\_des} + H_{ml\_suc} + H_{ml\_ret} + h_{medidor} =$$

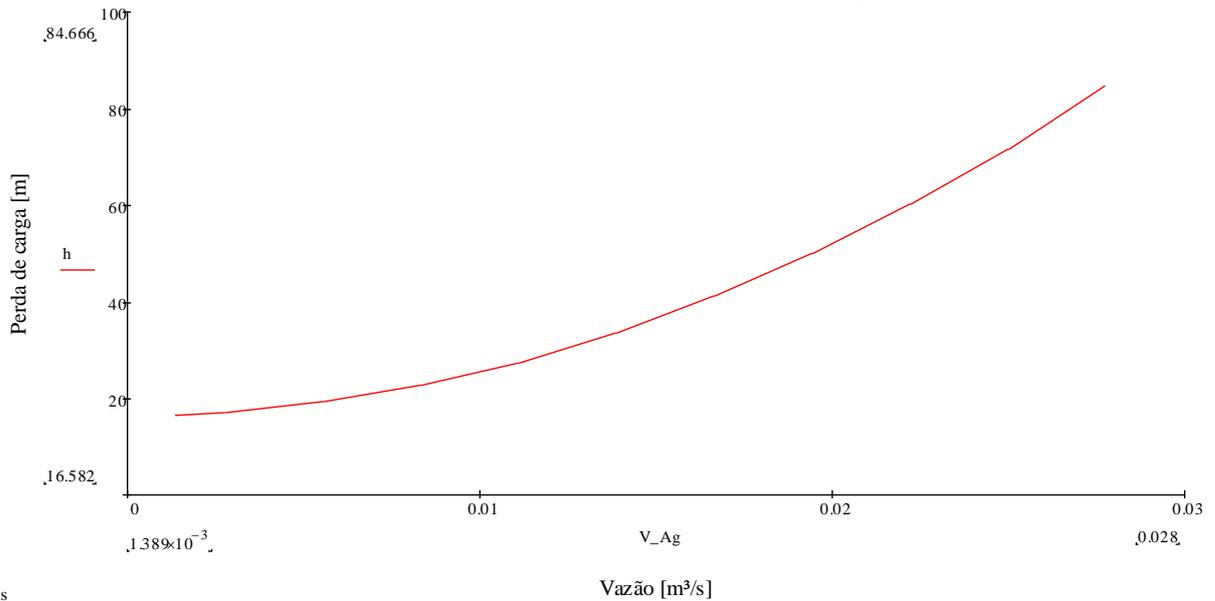
	0
0	0.13
1	0.521
2	2.078
3	4.671
4	8.298
5	12.96
6	18.658
7	25.39
8	33.16
9	41.966
10	51.808

$$z := 16.4\text{m}$$

	0
0	16.582
1	17.107
2	19.179
3	22.61
4	27.399
5	33.546
6	41.052
7	49.915
8	60.139
9	71.723
10	84.666

$h := Hl + Hml + z =$  m

Curva característica do sistema - Circuito de Água Vertical



### 9.3 Perda de carga Ar Horizontal

Ar

Dados

$$P := 50 \text{ bar}$$

$$T_p := 300 \text{ K}$$

$$R_t := 287.05 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\rho_{\text{Ar}} := \frac{P}{R_t \cdot T_p} = 58.062 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{Ar} := \begin{pmatrix} 10 \\ 28 \\ 56 \\ 84 \\ 112 \\ 140 \\ 168 \\ 196 \\ 224 \\ 252 \\ 280 \end{pmatrix} \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 2.778 \cdot 10^{-3} \\ \hline 1 & 7.778 \cdot 10^{-3} \\ \hline 2 & 0.016 \\ \hline 3 & 0.023 \\ \hline 4 & 0.031 \\ \hline 5 & 0.039 \\ \hline 6 & 0.047 \\ \hline 7 & 0.054 \\ \hline 8 & 0.062 \\ \hline 9 & 0.07 \\ \hline 10 & 0.078 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$D_{Ar\_2p} := 0.05248\text{m}$$

(2in)

$$D_{Ar\_teste} := 0.07792\text{m}$$

(3in)

$$b := 1.458 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^2}$$

$$S_ := 110.4\text{K}$$

$$\mu_{Ar} := \frac{b \cdot T_p^{\frac{1}{2}}}{1 + \frac{S_}{T_p}} = 1.846 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$A_{Ar\_2p} := D_{Ar\_2p}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 2.163 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{Ar\_teste} := D_{Ar\_teste}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4.769 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$Vel_{Ar\_2p} := \frac{V_{Ar}}{A_{Ar\_2p}} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 1.284 \\ \hline 1 & 3.596 \\ \hline 2 & 7.191 \\ \hline 3 & 10.787 \\ \hline 4 & 14.383 \\ \hline 5 & 17.978 \\ \hline 6 & 21.574 \\ \hline 7 & 25.17 \\ \hline 8 & 28.765 \\ \hline 9 & 32.361 \\ \hline 10 & 35.957 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Vel\_Ar\_teste := \frac{V\_Ar}{A\_Ar\_teste} =$$

	0
0	0.583
1	1.631
2	3.262
3	4.893
4	6.524
5	8.155
6	9.786
7	11.417
8	13.048
9	14.679
10	16.311

$\frac{m}{s}$

$$Re\_Ar\_2p := \frac{(\rho\_Ar \cdot Vel\_Ar\_2p \cdot D\_Ar\_2p)}{\mu\_Ar} =$$

	0
0	$2.12 \cdot 10^5$
1	$5.935 \cdot 10^5$
2	$1.187 \cdot 10^6$
3	$1.781 \cdot 10^6$
4	$2.374 \cdot 10^6$
5	$2.968 \cdot 10^6$
6	$3.561 \cdot 10^6$
7	$4.155 \cdot 10^6$
8	$4.748 \cdot 10^6$
9	$5.342 \cdot 10^6$
10	$5.935 \cdot 10^6$

$$Re\_Ar\_teste := \frac{(\rho\_Ar \cdot Vel\_Ar\_teste \cdot D\_Ar\_teste)}{\mu\_Ar} =$$

	0
0	$1.428 \cdot 10^5$
1	$3.997 \cdot 10^5$
2	$7.995 \cdot 10^5$
3	$1.199 \cdot 10^6$
4	$1.599 \cdot 10^6$
5	$1.999 \cdot 10^6$
6	$2.398 \cdot 10^6$
7	$2.798 \cdot 10^6$
8	$3.198 \cdot 10^6$
9	$3.598 \cdot 10^6$
10	$3.997 \cdot 10^6$

$$e\_r := 0.046 \text{ mm} = 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\epsilon\_Ar\_2p := \frac{e\_r}{D\_Ar\_2p} = 8.765 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon\_Ar\_teste := \frac{e\_r}{D\_Ar\_teste} = 5.903 \times 10^{-4}$$

$$Compr\_Ar\_2p := 85.315 \text{ m}$$

$$Compr\_Ar\_teste := 32 \text{ m}$$

$$f_{\text{moody\_Ar\_2p}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Ar\_2p}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re\_Ar\_2p}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.02
1	0.019
2	0.019
3	0.019
4	0.019
5	0.019
6	0.019
7	0.019
8	0.019
9	0.019
10	0.019

$$f_{\text{moody\_Ar\_teste}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Ar\_teste}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re\_Ar\_teste}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.018
1	0.018
2	0.018
3	0.017
4	0.017
5	0.017
6	0.017
7	0.017
8	0.017
9	0.017
10	0.017

### 9.3.1 Perdas Distribuidas

$$Hl_{\text{teste}} := \left[ \begin{array}{l}
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_0} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_0)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_1} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_1)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_2} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_2)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_3} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_3)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_4} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_4)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_5} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_5)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_6} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_6)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_7} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_7)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_8} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_8)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_9} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_9)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_{10}} \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & 0 \\
 \hline
 0 & 0.13 \\
 \hline
 1 & 0.985 \\
 \hline
 2 & 3.903 \\
 \hline
 3 & 8.752 \\
 \hline
 4 & 15.533 \\
 \hline
 5 & 24.246 \\
 \hline
 6 & 34.89 \\
 \hline
 7 & 47.467 \\
 \hline
 8 & 61.975 \\
 \hline
 9 & 78.415 \\
 \hline
 10 & 96.786 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$

$$\text{Hl}_{2p} := \left[ \begin{array}{l}
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_0 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_0)^2}{2 \cdot g} \\
 (\text{fmoody\_Ar\_2p})_1 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_1)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_2 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_2)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_3 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_3)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_4 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_4)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_5 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_5)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_6 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_6)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_7 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_7)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_8 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_8)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_9 \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_9)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Ar\_2p}_{10} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{\text{D\_Ar\_teste}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_2p}_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{l}
 \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & 0 \\
 \hline
 0 & 0.674 \\
 1 & 5.199 \\
 2 & 20.696 \\
 3 & 46.492 \\
 4 & 82.585 \\
 5 & 128.977 \\
 6 & 185.667 \\
 7 & 252.654 \\
 8 & 329.94 \\
 9 & 417.524 \\
 10 & 515.406 \\
 \hline
 \end{array} \\
 m
 \end{array}$$

$$\text{Hl} := \text{Hl\_teste} + \text{Hl}_{2p} = \begin{array}{l}
 \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & 0 \\
 \hline
 0 & 0.804 \\
 1 & 6.184 \\
 2 & 24.599 \\
 3 & 55.244 \\
 4 & 98.118 \\
 5 & 153.223 \\
 6 & 220.557 \\
 7 & 300.121 \\
 8 & 391.915 \\
 9 & 495.939 \\
 10 & 612.192 \\
 \hline
 \end{array} \\
 m
 \end{array}$$

### 9.3.2 Perdas Localizadas

C_Componente1_Coef := 0.3	C_Componente1_N_Ar_2p := 19	C_Componente1_N_Ar_teste := 2	Cotovelos 90°
C_Componente2_Coef := 0.2	C_Componente2_N_Ar_2p := 2	C_Componente2_N_Ar_teste := 0	T - Escoamento alinhado
C_Componente3_Coef := 0.9	C_Componente3_N_Ar_2p := 4	C_Componente3_N_Ar_teste := 2	T - Escoamento derivado
C_Componente4_Coef := 0.05	C_Componente4_N_Ar_2p := 5	C_Componente4_N_Ar_teste := 0	Válvula Esfera Aberta
C_Componente5_Coef := 10	C_Componente5_N_Ar_2p := 1	C_Componente5_N_Ar_teste := 0	Válvula Agulha Aberta
C_Componente6_Coef := 1	C_Componente6_N_Ar_2p := 3	C_Componente6_N_Ar_teste := 0	Entrada do Reservatório
C_Componente7_Coef := 0.2	C_Componente7_N_Ar_2p := 3	C_Componente7_N_Ar_teste := 0	Saída do Reservatório - Ligeiramente arredondado
C_Componente8_Coef := 0.08	C_Componente8_N_Ar_2p := 42	C_Componente8_N_Ar_teste := 16	Conexão por Flange

$$Prod_{2p} = \sum C_{ComponenteN_{coef}} \cdot C_{ComponenteN}$$

$$Prod_{teste} = \sum C_{ComponenteN_{coef}} \cdot C_{ComponenteN}$$

$$Hml_{teste} := Prod_{teste} \cdot \frac{Vel_{Ar_{teste}}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	0.064
1	0.499
2	1.997
3	4.492
4	7.986
5	12.479
6	17.969
7	24.458
8	31.946
9	40.431
10	49.915

m

$$Hml_{2p} := Prod_{2p} \cdot \frac{Vel_{Ar_{2p}}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	2.263
1	17.739
2	70.954
3	159.647
4	283.817
5	443.465
6	638.589
7	869.191
8	1.135·10 <sup>3</sup>
9	1.437·10 <sup>3</sup>
10	1.774·10 <sup>3</sup>

m

$$h_{\text{medidor}} := \begin{pmatrix} 0.0002 \\ 0.002612 \\ 0.010228 \\ 0.022548 \\ 0.039572 \\ 0.0613 \\ 0.087732 \\ 0.118868 \\ 0.154708 \\ 0.195252 \\ 0.23496 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$H_{\text{ml}} := H_{\text{ml\_teste}} + H_{\text{ml\_2p}} + h_{\text{medidor}} =$$

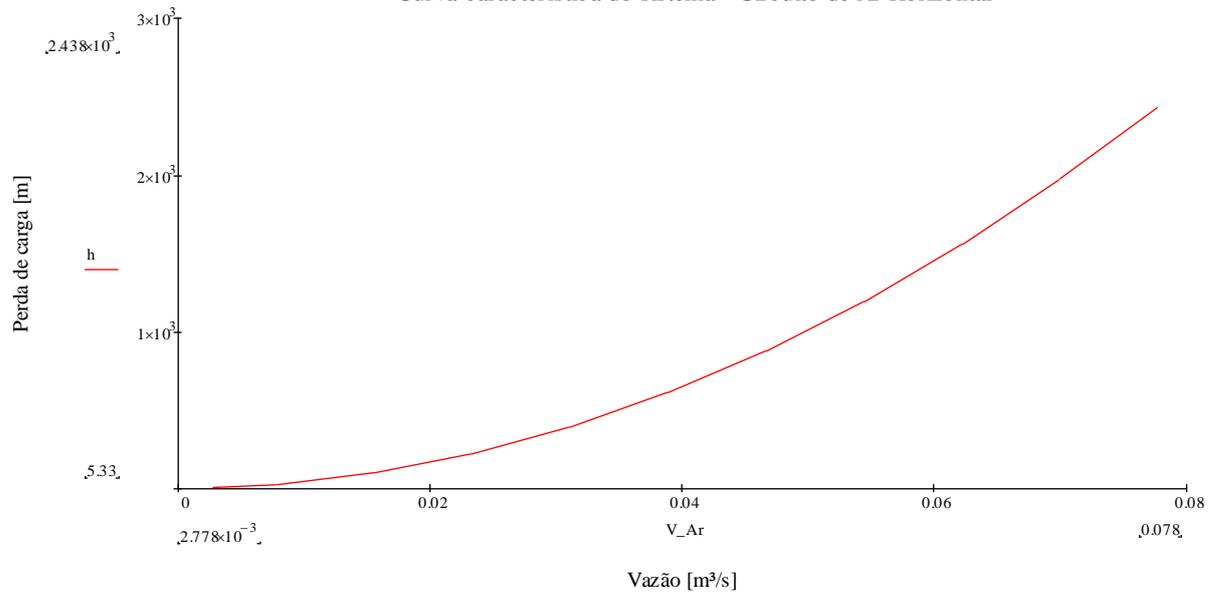
	0
0	2.326
1	18.24
2	72.961
3	164.162
4	291.843
5	456.005
6	656.646
7	893.768
8	$1.167 \cdot 10^3$
9	$1.477 \cdot 10^3$
10	$1.824 \cdot 10^3$

$$z := 2.2\text{m}$$

$$h := H_{\text{l}} + H_{\text{ml}} + z =$$

	0
0	5.33
1	26.624
2	99.76
3	221.606
4	392.162
5	611.428
6	879.403
7	$1.196 \cdot 10^3$
8	$1.561 \cdot 10^3$
9	$1.976 \cdot 10^3$
10	$2.438 \cdot 10^3$

Curva característica do sistema - Circuito de Ar Horizontal



### 9.4 Perda de carga ar vertical

Ar

Dados

$P := 50\text{bar}$

$T_p := 300\text{K}$

$R_t := 287.05 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$\rho_{\text{Ar}} := \frac{P}{R_t \cdot T_p} = 58.062 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$V_{\text{Ar}} :=$	$\left( \begin{array}{c} 10 \\ 28 \\ 56 \\ 84 \\ 112 \\ 140 \\ 168 \\ 196 \\ 224 \\ 252 \\ 280 \end{array} \right) \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$	$=$	0	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	
			0		$2.778 \cdot 10^{-3}$
			1		$7.778 \cdot 10^{-3}$
			2		0.016
			3		0.023
			4		0.031
			5		0.039
			6		0.047
			7		0.054
			8		0.062
			9		0.07
10	0.078				

$D_{\text{Ar}_2p} := 0.05248\text{m}$

(2in)

$$D_{Ar\_teste} := 0.07792m$$

(3in)

$$b := 1.458 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{m \cdot s \cdot K^2}$$

$$S_- := 110.4K$$

$$\mu_{Ar} := \frac{b \cdot T_p^{\frac{1}{2}}}{1 + \frac{S_-}{T_p}} = 1.846 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$A_{Ar\_2p} := D_{Ar\_2p}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 2.163 \times 10^{-3} m^2$$

$$A_{Ar\_teste} := D_{Ar\_teste}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4.769 \times 10^{-3} m^2$$

$$Vel_{Ar\_2p} := \frac{V_{Ar}}{A_{Ar\_2p}} = \frac{m}{s}$$

	0
0	1.284
1	3.596
2	7.191
3	10.787
4	14.383
5	17.978
6	21.574
7	25.17
8	28.765
9	32.361
10	35.957

$$Vel_{Ar\_teste} := \frac{V_{Ar}}{A_{Ar\_teste}} = \frac{m}{s}$$

	0
0	0.583
1	1.631
2	3.262
3	4.893
4	6.524
5	8.155
6	9.786
7	11.417
8	13.048
9	14.679
10	16.311

$$Re_{Ar\_2p} := \frac{(\rho_{Ar} \cdot Vel_{Ar\_2p} \cdot D_{Ar\_2p})}{\mu_{Ar}} =$$

	0
0	$2.12 \cdot 10^5$
1	$5.935 \cdot 10^5$
2	$1.187 \cdot 10^6$
3	$1.781 \cdot 10^6$
4	$2.374 \cdot 10^6$
5	$2.968 \cdot 10^6$
6	$3.561 \cdot 10^6$
7	$4.155 \cdot 10^6$
8	$4.748 \cdot 10^6$
9	$5.342 \cdot 10^6$
10	$5.935 \cdot 10^6$

$$Re_{Ar\_teste} := \frac{(\rho_{Ar} \cdot Vel_{Ar\_teste} \cdot D_{Ar\_teste})}{\mu_{Ar}} =$$

	0
0	$1.428 \cdot 10^5$
1	$3.997 \cdot 10^5$
2	$7.995 \cdot 10^5$
3	$1.199 \cdot 10^6$
4	$1.599 \cdot 10^6$
5	$1.999 \cdot 10^6$
6	$2.398 \cdot 10^6$
7	$2.798 \cdot 10^6$
8	$3.198 \cdot 10^6$
9	$3.598 \cdot 10^6$
10	$3.997 \cdot 10^6$

$$e_r := 0.046 \text{ mm} = 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\varepsilon_{Ar\_2p} := \frac{e_r}{D_{Ar\_2p}} = 8.765 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{Ar\_teste} := \frac{e_r}{D_{Ar\_teste}} = 5.903 \times 10^{-4}$$

$$Compr_{Ar\_2p} := 77.52 \text{ m}$$

$$Compr_{Ar\_teste} := 14.35 \text{ m}$$

$$f_{moody\_Ar\_2p} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{Ar\_2p}}{3.7} + \frac{5.74}{Re_{Ar\_2p}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.02
1	0.019
2	0.019
3	0.019
4	0.019
5	0.019
6	0.019
7	0.019
8	0.019
9	0.019
10	0.019

$$f_{\text{moody\_Ar\_teste}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Ar\_teste}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Ar\_teste}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.018
1	0.018
2	0.018
3	0.017
4	0.017
5	0.017
6	0.017
7	0.017
8	0.017
9	0.017
10	0.017

### 9.4.1 Perdas Distribuidas

$$Hl_{\text{teste}} := \left[ \begin{array}{l}
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_0} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_0)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_1} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_1)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_2} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_2)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_3} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_3)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_4} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_4)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_5} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_5)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_6} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_6)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_7} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_7)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_8} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_8)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_9} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_9)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{\text{moody\_Ar\_teste}_{10}} \cdot \frac{\text{Compr\_Ar\_teste}}{D_{\text{Ar\_teste}}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Ar\_teste}_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & 0 \\
 \hline
 0 & 0.058 \\
 \hline
 1 & 0.442 \\
 \hline
 2 & 1.75 \\
 \hline
 3 & 3.925 \\
 \hline
 4 & 6.966 \\
 \hline
 5 & 10.873 \\
 \hline
 6 & 15.646 \\
 \hline
 7 & 21.286 \\
 \hline
 8 & 27.792 \\
 \hline
 9 & 35.164 \\
 \hline
 10 & 43.403 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$



### 9.4.2 Perdas Localizadas

C_Componente1_Coef := 0.3	C_Componente1_N_Ar_2p := 19	C_Componente1_N_Ar_teste := 6	Cotovelos 90°
C_Componente2_Coef := 0.2	C_Componente2_N_Ar_2p := 2	C_Componente2_N_Ar_teste := 1	T - Escoamento alinhado
C_Componente3_Coef := 0.9	C_Componente3_N_Ar_2p := 4	C_Componente3_N_Ar_teste := 0	T - Escoamento derivado
C_Componente4_Coef := 0.05	C_Componente4_N_Ar_2p := 5	C_Componente4_N_Ar_teste := 0	Válvula Esfera Aberta
C_Componente5_Coef := 10	C_Componente5_N_Ar_2p := 1	C_Componente5_N_Ar_teste := 0	Válvula Agulha Aberta
C_Componente6_Coef := 1	C_Componente6_N_Ar_2p := 3	C_Componente6_N_Ar_teste := 0	Entrada do Reservatório
C_Componente7_Coef := 0.2	C_Componente7_N_Ar_2p := 3	C_Componente7_N_Ar_teste := 0	Saída do Reservatório - Ligeiramente arredondado
C_Componente8_Coef := 0.08	C_Componente8_N_Ar_2p := 42	C_Componente8_N_Ar_teste := 16	Conexão por Flange

$$Prod_{2p} = \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN}$$

$$Prod_{teste} = \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN}$$

$$H_{ml\_teste} := Prod\_teste \cdot \frac{Vel\_Ar\_teste^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	0.057
1	0.445
2	1.78
3	4.004
4	7.118
5	11.122
6	16.016
7	21.8
8	28.473
9	36.037
10	44.49

m

$$H_{ml\_2p} := Prod\_2p \cdot \frac{Vel\_Ar\_2p^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	2.263
1	17.739
2	70.954
3	159.647
4	283.817
5	443.465
6	638.589
7	869.191
8	1.135·10 <sup>3</sup>
9	1.437·10 <sup>3</sup>
10	1.774·10 <sup>3</sup>

m

$$h_{\text{medidor}} := \begin{pmatrix} 0.0002 \\ 0.002612 \\ 0.010228 \\ 0.022548 \\ 0.039572 \\ 0.0613 \\ 0.087732 \\ 0.118868 \\ 0.154708 \\ 0.195252 \\ 0.23496 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$H_{\text{ml}} := H_{\text{ml\_teste}} + H_{\text{ml\_2p}} + h_{\text{medidor}} =$$

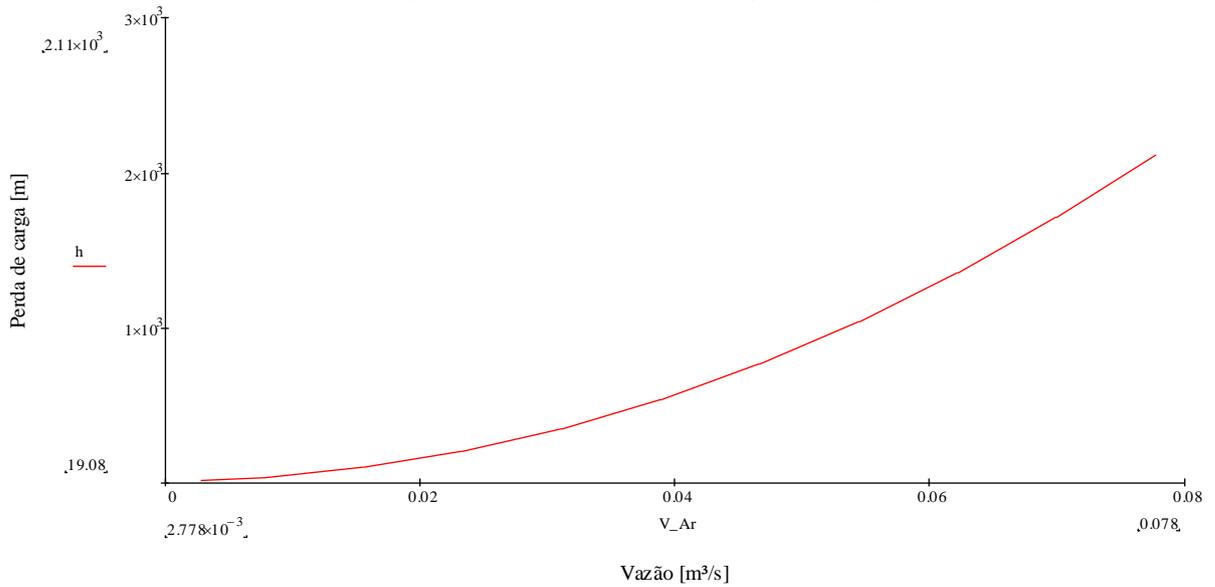
	0
0	2.32
1	18.186
2	72.744
3	163.674
4	290.975
5	454.648
6	654.693
7	891.11
8	$1.164 \cdot 10^3$
9	$1.473 \cdot 10^3$
10	$1.819 \cdot 10^3$

$$z := 16.4 \text{ m}$$

$$h := H_{\text{l}} + H_{\text{ml}} + z =$$

	0
0	19.08
1	37.359
2	100.175
3	204.847
4	351.375
5	539.759
6	769.999
7	$1.042 \cdot 10^3$
8	$1.356 \cdot 10^3$
9	$1.712 \cdot 10^3$
10	$2.11 \cdot 10^3$

Curva característica do sistema - Circuito de Ar Vertical



### 9.5 Perda de carga Óleo Horizontal

Óleo

Dados

$P := 50\text{bar}$

$T_p := 300\text{K}$

$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$\rho_{\text{Oil}} := 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$V_{\text{Oil}} :=$	$\left( \begin{array}{c} 5 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \\ 50 \\ 60 \\ 70 \\ 80 \\ 90 \\ 100 \end{array} \right) \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} =$	0	
		0	$1.389 \cdot 10^{-3}$
		1	$2.778 \cdot 10^{-3}$
		2	$5.556 \cdot 10^{-3}$
		3	$8.333 \cdot 10^{-3}$
		4	0.011
		5	0.014
		6	0.017
		7	0.019
		8	0.022
		9	0.025
10	0.028		

$D_{\text{Oil\_suc}} := 0.07792\text{m}$

(3in)

$D_{\text{Oil\_des}} := 0.07792\text{m}$

(3in)

$$D_{\text{Oil\_ret}} := 0.15408\text{m}$$

(6in)

$$\mu_{\text{Oil}} := 0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$$

$$A_{\text{Oil\_suc}} := D_{\text{Oil\_suc}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4.769 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{\text{Oil\_des}} := D_{\text{Oil\_des}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4.769 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{\text{Oil\_ret}} := D_{\text{Oil\_ret}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0.019 \text{m}^2$$

$$\text{Vel\_Oil\_suc} := \frac{V_{\text{Oil}}}{A_{\text{Oil\_suc}}} = \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

	0
0	0.291
1	0.583
2	1.165
3	1.748
4	2.33
5	2.913
6	3.495
7	4.078
8	4.66
9	5.243
10	5.825

$$\text{Vel\_Oil\_des} := \frac{V_{\text{Oil}}}{A_{\text{Oil\_des}}} = \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

	0
0	0.291
1	0.583
2	1.165
3	1.748
4	2.33
5	2.913
6	3.495
7	4.078
8	4.66
9	5.243
10	5.825

$$Vel\_Oil\_ret := \frac{V\_Oil}{A\_Oil\_ret} = \frac{m}{s}$$

	0
0	0.074
1	0.149
2	0.298
3	0.447
4	0.596
5	0.745
6	0.894
7	1.043
8	1.192
9	1.341
10	1.49

$$Re\_Oil\_suc := \frac{(\rho\_Oil \cdot Vel\_Oil\_suc \cdot D\_Oil\_suc)}{\mu\_Oil} =$$

	0
0	204.254
1	408.509
2	817.017
3	1.226·10 <sup>3</sup>
4	1.634·10 <sup>3</sup>
5	2.043·10 <sup>3</sup>
6	2.451·10 <sup>3</sup>
7	2.86·10 <sup>3</sup>
8	3.268·10 <sup>3</sup>
9	3.677·10 <sup>3</sup>
10	4.085·10 <sup>3</sup>

$$Re\_Oil\_des := \frac{(\rho\_Oil \cdot Vel\_Oil\_des \cdot D\_Oil\_des)}{\mu\_Oil} =$$

	0
0	204.254
1	408.509
2	817.017
3	1.226·10 <sup>3</sup>
4	1.634·10 <sup>3</sup>
5	2.043·10 <sup>3</sup>
6	2.451·10 <sup>3</sup>
7	2.86·10 <sup>3</sup>
8	3.268·10 <sup>3</sup>
9	3.677·10 <sup>3</sup>
10	4.085·10 <sup>3</sup>

$$Re_{Oil\_ret} := \frac{(\rho_{Oil} \cdot Vel_{Oil\_ret} \cdot D_{Oil\_ret})}{\mu_{Oil}} =$$

	0
0	103.294
1	206.587
2	413.175
3	619.762
4	826.35
5	$1.033 \cdot 10^3$
6	$1.24 \cdot 10^3$
7	$1.446 \cdot 10^3$
8	$1.653 \cdot 10^3$
9	$1.859 \cdot 10^3$
10	$2.066 \cdot 10^3$

$$e_r := 0.046 \text{ mm} = 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\varepsilon_{Oil\_suc} := \frac{e_r}{D_{Oil\_suc}} = 5.903 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{Oil\_des} := \frac{e_r}{D_{Oil\_des}} = 5.903 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{Oil\_ret} := \frac{e_r}{D_{Oil\_ret}} = 2.985 \times 10^{-4}$$

$$Compr_{Oil\_suc} := 6 \text{ m}$$

$$Compr_{Oil\_des} := 78.89 \text{ m}$$

$$Compr_{Oil\_ret} := 10.99 \text{ m}$$

$$f_{moody\_Oil\_suc} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{Oil\_suc}}{3.7} + \frac{5.74}{Re_{Oil\_suc}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.104
1	0.073
2	0.054
3	0.047
4	0.042
5	0.039
6	0.037
7	0.035
8	0.034
9	0.033
10	0.032

$$f_{\text{moody\_Oil\_des}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Oil\_des}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Oil\_des}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.104
1	0.073
2	0.054
3	0.047
4	0.042
5	0.039
6	0.037
7	0.035
8	0.034
9	0.033
10	0.032

$$f_{\text{moody\_Oil\_ret}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Oil\_ret}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Oil\_ret}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.159
1	0.103
2	0.073
3	0.061
4	0.054
5	0.049
6	0.046
7	0.044
8	0.042
9	0.04
10	0.039

### 9.5.1 Perdas Distribuidas

$$Hl_{des} := \left[ \begin{array}{l}
 f_{moody\_Oil\_des_0} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_0)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_1} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_1)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_2} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_2)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_3} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_3)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_4} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_4)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_5} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_5)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_6} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_6)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_7} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_7)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_8} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_8)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_9} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_9)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_{10}} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 & 0 \\
 \hline
 0 & 0.456 \\
 \hline
 1 & 1.283 \\
 \hline
 2 & 3.812 \\
 \hline
 3 & 7.355 \\
 \hline
 4 & 11.816 \\
 \hline
 5 & 17.14 \\
 \hline
 6 & 23.288 \\
 \hline
 7 & 30.231 \\
 \hline
 8 & 37.948 \\
 \hline
 9 & 46.42 \\
 \hline
 10 & 55.634 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$

$$\text{Hl\_suc} := \left[ \begin{array}{l}
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_0 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_0)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_1 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_1)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_2 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_2)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_3 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_3)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_4 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_4)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_5 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_5)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_6 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_6)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_7 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_7)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_8 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_8)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_9 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_9)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_{10} \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline & 0 \\
 \hline 0 & 0.035 \\
 \hline 1 & 0.098 \\
 \hline 2 & 0.29 \\
 \hline 3 & 0.559 \\
 \hline 4 & 0.899 \\
 \hline 5 & 1.304 \\
 \hline 6 & 1.771 \\
 \hline 7 & 2.299 \\
 \hline 8 & 2.886 \\
 \hline 9 & 3.53 \\
 \hline 10 & 4.231 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$

$$Hl_{ret} := \left[ \begin{array}{l}
 fmoody\_Oil\_ret_0 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_0)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_1 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_1)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_2 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_2)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_3 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_3)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_4 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_4)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_5 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_5)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_6 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_6)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_7 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_7)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_8 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_8)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_9 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_9)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_{10} \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline & 0 \\
 \hline 0 & 3.205 \cdot 10^{-3} \\
 \hline 1 & 8.345 \cdot 10^{-3} \\
 \hline 2 & 0.023 \\
 \hline 3 & 0.044 \\
 \hline 4 & 0.07 \\
 \hline 5 & 0.1 \\
 \hline 6 & 0.134 \\
 \hline 7 & 0.173 \\
 \hline 8 & 0.215 \\
 \hline 9 & 0.262 \\
 \hline 10 & 0.312 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$

$$Hl := Hl_{des} + Hl_{suc} + Hl_{ret} = \begin{array}{|c|c|}
 \hline & 0 \\
 \hline 0 & 0.494 \\
 \hline 1 & 1.389 \\
 \hline 2 & 4.126 \\
 \hline 3 & 7.958 \\
 \hline 4 & 12.785 \\
 \hline 5 & 18.544 \\
 \hline 6 & 25.193 \\
 \hline 7 & 32.703 \\
 \hline 8 & 41.049 \\
 \hline 9 & 50.212 \\
 \hline 10 & 60.177 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$

### 9.5.2 Perdas Localizadas

C_Componente1_Coef := 0.3	C_Componente1_N_Oil_suc := 2	C_Componente1_N_Oil_des := 12	C_Componente1_N_Oil_ret := 5	Cotovelos 90°
C_Componente2_Coef := 0.2	C_Componente2_N_Oil_suc := 0	C_Componente2_N_Oil_des := 1	C_Componente2_N_Oil_ret := 1	T - Escoamento alinhado
C_Componente3_Coef := 0.9	C_Componente3_N_Oil_suc := 3	C_Componente3_N_Oil_des := 2	C_Componente3_N_Oil_ret := 0	T - Escoamento derivado
C_Componente4_Coef := 0.15	C_Componente4_N_Oil_suc := 2	C_Componente4_N_Oil_des := 3	C_Componente4_N_Oil_ret := 2	Válvula Gaveta Aberta
C_Componente5_Coef := 10	C_Componente5_N_Oil_suc := 0	C_Componente5_N_Oil_des := 1	C_Componente5_N_Oil_ret := 0	Válvula Globo Aberta
C_Componente6_Coef := 1	C_Componente6_N_Oil_suc := 0	C_Componente6_N_Oil_des := 1	C_Componente6_N_Oil_ret := 1	Entrada do Reservatório
C_Componente7_Coef := 0.2	C_Componente7_N_Oil_suc := 1	C_Componente7_N_Oil_des := 0	C_Componente7_N_Oil_ret := 1	Saída do Reservatório - Ligeiramente arredondado
C_Componente8_Coef := 2	C_Componente8_N_Oil_suc := 0	C_Componente8_N_Oil_des := 4	C_Componente8_N_Oil_ret := 0	Válvula de Retenção - Escoamento a favor
C_Componente9_Coef := 0.08	C_Componente9_N_Oil_suc := 3	C_Componente9_N_Oil_des := 38	C_Componente9_N_Oil_ret := 5	

$$\begin{aligned}
 Prod_{suc} &= \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN} \\
 Prod_{des} &= \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN} \\
 Prod_{ret} &= \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN}
 \end{aligned}$$

$$Hml_{des} := Prod_{des} \cdot \frac{Vel_{Oil}_{des}^2}{2 \cdot g} = \text{m}$$

	0
0	0.121
1	0.486
2	1.944
3	4.374
4	7.776
5	12.15
6	17.495
7	23.813
8	31.103
9	39.365
10	48.598

$$Hml_{suc} := Prod_{suc} \cdot \frac{Vel_{Oil}_{suc}^2}{2 \cdot g} = \text{m}$$

	0
0	0.03
1	0.118
2	0.473
3	1.065
4	1.893
5	2.958
6	4.26
7	5.799
8	7.574
9	9.585
10	11.834

$$H_{ml\_ret} := \text{Prod\_ret} \cdot \frac{\text{Vel\_Oil\_ret}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	$1.018 \cdot 10^{-3}$
1	$4.074 \cdot 10^{-3}$
2	0.016
3	0.037
4	0.065
5	0.102
6	0.147
7	0.2
8	0.261
9	0.33
10	0.407

$$h_{medidor} :=$$

0.002818
0.010218
0.035938
0.075432
0.128253
0.194466
0.27527
0.369094
0.478775
0.603809
0.743679

$$H_{ml} := H_{ml\_des} + H_{ml\_suc} + H_{ml\_ret} + h_{medidor} =$$

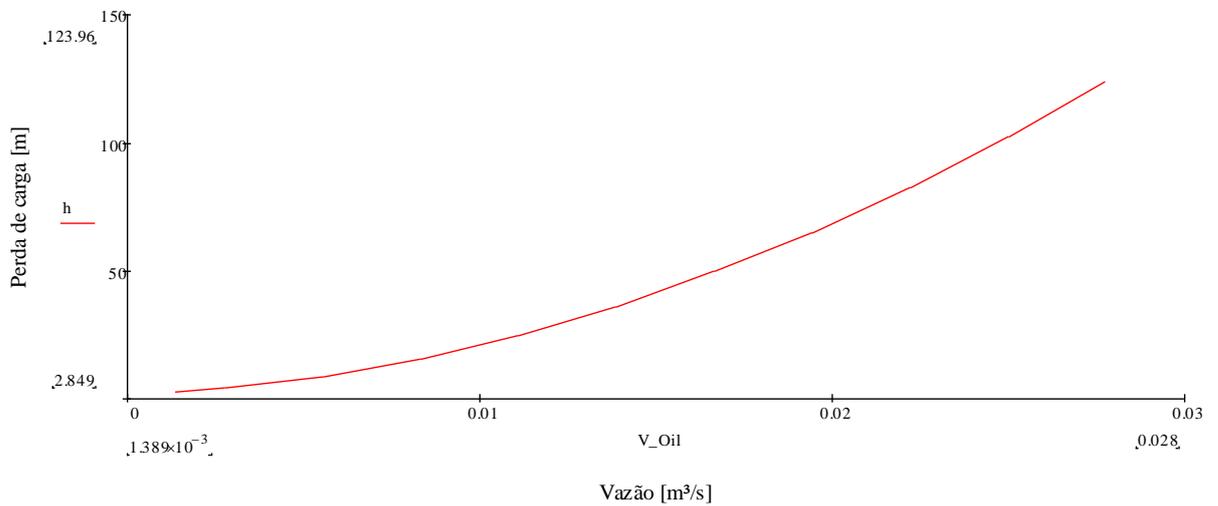
	0
0	0.155
1	0.619
2	2.47
3	5.551
4	9.863
5	15.404
6	22.177
7	30.18
8	39.416
9	49.884
10	61.583

$$z := 2.2\text{m}$$

	0
0	2.849
1	4.208
2	8.795
3	15.709
4	24.847
5	36.148
6	49.571
7	65.083
8	82.665
9	102.296
10	123.96

$h := Hl + Hml + z =$  m

Curva característica do sistema - Circuito de Óleo Horizontal



## 9.6 Perda de Carga Óleo Vertical

Óleo

Dados

$P := 50\text{bar}$

$T_p := 300\text{K}$

$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$\rho_{\text{Oil}} := 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$V_{\text{Oil}} := \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \\ 50 \\ 60 \\ 70 \\ 80 \\ 90 \\ 100 \end{pmatrix} \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 1.389 \cdot 10^{-3} \\ \hline 1 & 2.778 \cdot 10^{-3} \\ \hline 2 & 5.556 \cdot 10^{-3} \\ \hline 3 & 8.333 \cdot 10^{-3} \\ \hline 4 & 0.011 \\ \hline 5 & 0.014 \\ \hline 6 & 0.017 \\ \hline 7 & 0.019 \\ \hline 8 & 0.022 \\ \hline 9 & 0.025 \\ \hline 10 & 0.028 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$D_{\text{Oil\_suc}} := 0.07792\text{m}$$

(3in)

$$D_{\text{Oil\_des}} := 0.07792\text{m}$$

(3in)

$$D_{\text{Oil\_ret}} := 0.15408\text{m}$$

(6in)

$$\mu_{\text{Oil}} := 0.1 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$A_{\text{Oil\_suc}} := D_{\text{Oil\_suc}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4.769 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{\text{Oil\_des}} := D_{\text{Oil\_des}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4.769 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{\text{Oil\_ret}} := D_{\text{Oil\_ret}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0.019 \text{m}^2$$

$$Vel_{\text{Oil\_suc}} := \frac{V_{\text{Oil}}}{A_{\text{Oil\_suc}}} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 0.291 \\ \hline 1 & 0.583 \\ \hline 2 & 1.165 \\ \hline 3 & 1.748 \\ \hline 4 & 2.33 \\ \hline 5 & 2.913 \\ \hline 6 & 3.495 \\ \hline 7 & 4.078 \\ \hline 8 & 4.66 \\ \hline 9 & 5.243 \\ \hline 10 & 5.825 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Vel\_Oil\_des} := \frac{V\_Oil}{A\_Oil\_des} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 0.291 \\ \hline 1 & 0.583 \\ \hline 2 & 1.165 \\ \hline 3 & 1.748 \\ \hline 4 & 2.33 \\ \hline 5 & 2.913 \\ \hline 6 & 3.495 \\ \hline 7 & 4.078 \\ \hline 8 & 4.66 \\ \hline 9 & 5.243 \\ \hline 10 & 5.825 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Vel\_Oil\_ret} := \frac{V\_Oil}{A\_Oil\_ret} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 0.074 \\ \hline 1 & 0.149 \\ \hline 2 & 0.298 \\ \hline 3 & 0.447 \\ \hline 4 & 0.596 \\ \hline 5 & 0.745 \\ \hline 6 & 0.894 \\ \hline 7 & 1.043 \\ \hline 8 & 1.192 \\ \hline 9 & 1.341 \\ \hline 10 & 1.49 \\ \hline \end{array} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Re\_Oil\_suc} := \frac{(\rho\_Oil \cdot \text{Vel\_Oil\_suc} \cdot D\_Oil\_suc)}{\mu\_Oil} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 204.254 \\ \hline 1 & 408.509 \\ \hline 2 & 817.017 \\ \hline 3 & 1.226 \cdot 10^3 \\ \hline 4 & 1.634 \cdot 10^3 \\ \hline 5 & 2.043 \cdot 10^3 \\ \hline 6 & 2.451 \cdot 10^3 \\ \hline 7 & 2.86 \cdot 10^3 \\ \hline 8 & 3.268 \cdot 10^3 \\ \hline 9 & 3.677 \cdot 10^3 \\ \hline 10 & 4.085 \cdot 10^3 \\ \hline \end{array}$$

$$Re_{Oil\_des} := \frac{(\rho_{Oil} \cdot Vel_{Oil\_des} \cdot D_{Oil\_des})}{\mu_{Oil}} =$$

	0
0	204.254
1	408.509
2	817.017
3	$1.226 \cdot 10^3$
4	$1.634 \cdot 10^3$
5	$2.043 \cdot 10^3$
6	$2.451 \cdot 10^3$
7	$2.86 \cdot 10^3$
8	$3.268 \cdot 10^3$
9	$3.677 \cdot 10^3$
10	$4.085 \cdot 10^3$

$$Re_{Oil\_ret} := \frac{(\rho_{Oil} \cdot Vel_{Oil\_ret} \cdot D_{Oil\_ret})}{\mu_{Oil}} =$$

	0
0	103.294
1	206.587
2	413.175
3	619.762
4	826.35
5	$1.033 \cdot 10^3$
6	$1.24 \cdot 10^3$
7	$1.446 \cdot 10^3$
8	$1.653 \cdot 10^3$
9	$1.859 \cdot 10^3$
10	$2.066 \cdot 10^3$

$$e_r := 0.046 \text{ mm} = 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\varepsilon_{Oil\_suc} := \frac{e_r}{D_{Oil\_suc}} = 5.903 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{Oil\_des} := \frac{e_r}{D_{Oil\_des}} = 5.903 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{Oil\_ret} := \frac{e_r}{D_{Oil\_ret}} = 2.985 \times 10^{-4}$$

$$Compr_{Oil\_suc} := 6 \text{ m}$$

$$Compr_{Oil\_des} := 41.34 \text{ m}$$

$$Compr_{Oil\_ret} := 26.49 \text{ m}$$

$$f_{\text{moody\_Oil\_suc}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Oil\_suc}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Oil\_suc}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.104
1	0.073
2	0.054
3	0.047
4	0.042
5	0.039
6	0.037
7	0.035
8	0.034
9	0.033
10	0.032

$$f_{\text{moody\_Oil\_des}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Oil\_des}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Oil\_des}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.104
1	0.073
2	0.054
3	0.047
4	0.042
5	0.039
6	0.037
7	0.035
8	0.034
9	0.033
10	0.032

$$f_{\text{moody\_Oil\_ret}} := 0.25 \left( \log \left( \frac{\varepsilon_{\text{Oil\_ret}}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}_{\text{Oil\_ret}}} \right) \right)^{-2} =$$

	0
0	0.159
1	0.103
2	0.073
3	0.061
4	0.054
5	0.049
6	0.046
7	0.044
8	0.042
9	0.04
10	0.039

### 9.6.1 Perdas Distribuidas

$$Hl_{des} := \left[ \begin{array}{l}
 f_{moody\_Oil\_des_0} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_0)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_1} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_1)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_2} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_2)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_3} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_3)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_4} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_4)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_5} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_5)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_6} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_6)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_7} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_7)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_8} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_8)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_9} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_9)^2}{2 \cdot g} \\
 f_{moody\_Oil\_des_{10}} \cdot \frac{Compr\_Oil\_des}{D\_Oil\_des} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_des_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{l}
 0 \\
 0.239 \\
 0.672 \\
 1.998 \\
 3.854 \\
 6.192 \\
 8.982 \\
 12.203 \\
 15.842 \\
 19.885 \\
 24.325 \\
 29.153
 \end{array} \text{ m}$$

$$\text{Hl\_suc} := \left[ \begin{array}{l}
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_0 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_0)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_1 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_1)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_2 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_2)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_3 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_3)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_4 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_4)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_5 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_5)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_6 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_6)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_7 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_7)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_8 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_8)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_9 \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_9)^2}{2 \cdot g} \\
 \text{fmoody\_Oil\_suc}_{10} \cdot \frac{\text{Compr\_Oil\_suc}}{\text{D\_Oil\_suc}} \cdot \frac{(\text{Vel\_Oil\_suc}_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] = \begin{array}{|c|c|}
 \hline & 0 \\
 \hline 0 & 0.035 \\
 \hline 1 & 0.098 \\
 \hline 2 & 0.29 \\
 \hline 3 & 0.559 \\
 \hline 4 & 0.899 \\
 \hline 5 & 1.304 \\
 \hline 6 & 1.771 \\
 \hline 7 & 2.299 \\
 \hline 8 & 2.886 \\
 \hline 9 & 3.53 \\
 \hline 10 & 4.231 \\
 \hline
 \end{array} \text{ m}$$

$$Hl_{ret} := \left[ \begin{array}{l}
 fmoody\_Oil\_ret_0 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_0)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_1 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_1)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_2 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_2)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_3 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_3)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_4 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_4)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_5 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_5)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_6 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_6)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_7 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_7)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_8 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_8)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_9 \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_9)^2}{2 \cdot g} \\
 fmoody\_Oil\_ret_{10} \cdot \frac{Compr\_Oil\_ret}{D\_Oil\_ret} \cdot \frac{(Vel\_Oil\_ret_{10})^2}{2 \cdot g}
 \end{array} \right] =$$

	0
0	7.726·10 <sup>-3</sup>
1	0.02
2	0.057
3	0.106
4	0.168
5	0.24
6	0.323
7	0.416
8	0.519
9	0.631
10	0.752

$$Hl := Hl_{des} + Hl_{suc} + Hl_{ret} =$$

	0
0	0.282
1	0.79
2	2.344
3	4.52
4	7.259
5	10.526
6	14.298
7	18.557
8	23.29
9	28.486
10	34.136

### 9.6.2 Perdas Localizadas

C_Componente1_Coef := 0.3	C_Componente1_N_Oil_suc := 2	C_Componente1_N_Oil_des := 14	C_Componente1_N_Oil_ret := 5	Cotovelos 90°
C_Componente2_Coef := 0.2	C_Componente2_N_Oil_suc := 0	C_Componente2_N_Oil_des := 1	C_Componente2_N_Oil_ret := 0	T - Escoamento alinhado
C_Componente3_Coef := 0.9	C_Componente3_N_Oil_suc := 3	C_Componente3_N_Oil_des := 2	C_Componente3_N_Oil_ret := 1	T - Escoamento derivado
C_Componente4_Coef := 0.15	C_Componente4_N_Oil_suc := 2	C_Componente4_N_Oil_des := 3	C_Componente4_N_Oil_ret := 2	Válvula Gaveta Aberta
C_Componente5_Coef := 10	C_Componente5_N_Oil_suc := 0	C_Componente5_N_Oil_des := 1	C_Componente5_N_Oil_ret := 0	Válvula Globo Aberta
C_Componente6_Coef := 1	C_Componente6_N_Oil_suc := 0	C_Componente6_N_Oil_des := 1	C_Componente6_N_Oil_ret := 1	Entrada do Reservatório
C_Componente7_Coef := 0.2	C_Componente7_N_Oil_suc := 1	C_Componente7_N_Oil_des := 0	C_Componente7_N_Oil_ret := 1	Saída do Reservatório - Ligeiramente arredondado
C_Componente8_Coef := 2	C_Componente8_N_Oil_suc := 0	C_Componente8_N_Oil_des := 4	C_Componente8_N_Oil_ret := 0	Válvula de Retenção - Escoamento a favor
C_Componente9_Coef := 0.08	C_Componente9_N_Oil_suc := 3	C_Componente9_N_Oil_des := 38	C_Componente9_N_Oil_ret := 5	

$$Prod_{suc} = \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN}$$

$$Prod_{des} = \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN}$$

$$Prod_{ret} = \sum C_{ComponenteN_{Coef}} \cdot C_{ComponenteN}$$

$$Hml_{des} := Prod_{des} \cdot \frac{Vel_{Oil_{des}}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	0.124
1	0.496
2	1.985
3	4.467
4	7.942
5	12.409
6	17.869
7	24.322
8	31.767
9	40.205
10	49.636

$$Hml_{suc} := Prod_{suc} \cdot \frac{Vel_{Oil_{suc}}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	0.03
1	0.118
2	0.473
3	1.065
4	1.893
5	2.958
6	4.26
7	5.799
8	7.574
9	9.585
10	11.834

$$H_{ml\_ret} := \text{Prod\_ret} \cdot \frac{\text{Vel\_Oil\_ret}^2}{2 \cdot g} =$$

	0
0	1.216·10 <sup>-3</sup>
1	4.866·10 <sup>-3</sup>
2	0.019
3	0.044
4	0.078
5	0.122
6	0.175
7	0.238
8	0.311
9	0.394
10	0.487

$$h_{medidor} :=$$

0.002818
0.010218
0.035938
0.075432
0.128253
0.194466
0.27527
0.369094
0.478775
0.603809
0.743679

$$H_{ml} := H_{ml\_des} + H_{ml\_suc} + H_{ml\_ret} + h_{medidor} =$$

	0
0	0.158
1	0.63
2	2.514
3	5.652
4	10.041
5	15.684
6	22.58
7	30.728
8	40.131
9	50.789
10	62.7

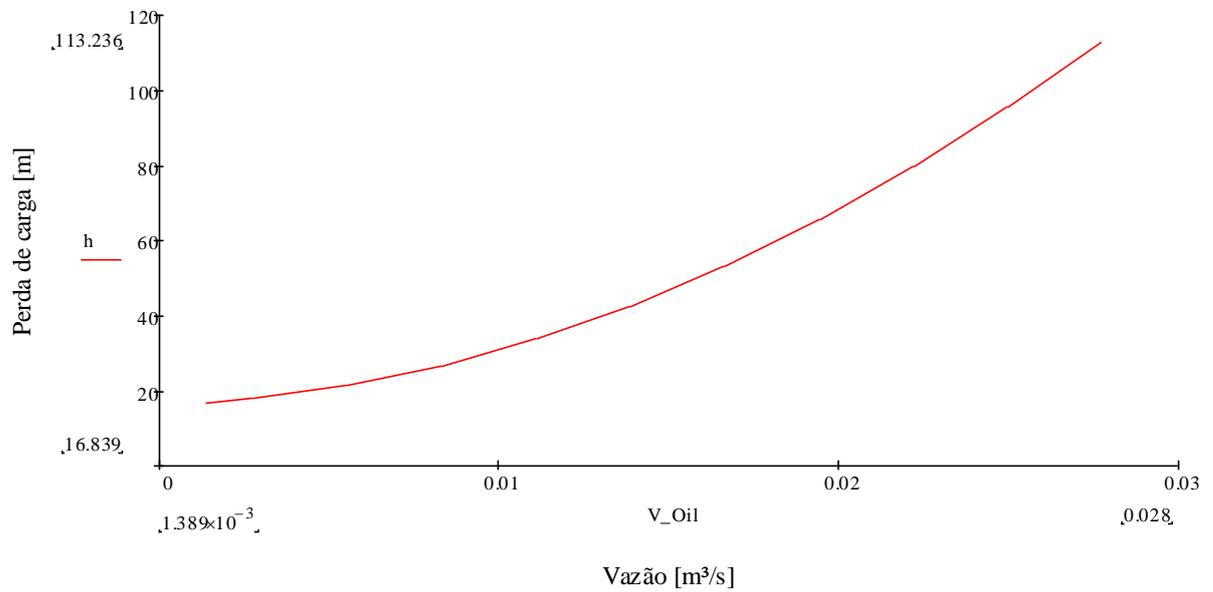
$$z := 16.4\text{m}$$

$$h := Hl + Hml + z =$$

	0
0	16.839
1	17.82
2	21.258
3	26.571
4	33.7
5	42.609
6	53.278
7	65.685
8	79.821
9	95.675
10	113.236

m

Curva característica do sistema - Circuito de Óleo Vertical



## ANEXO A – TENSÃO ADMISSÍVEL PARA TUBOS DE AÇO INOX

TUBULAÇÃO REFINARIAS E INSTALAÇÕES DE PETRÓLEO																	
TUBOS SEM COSTURA																	
TENSÃO ADMISSÍVEL (kgf/cm <sup>2</sup> ) - DE ACORDO COM A NORMA ASME / ANSI B31.3																	
NORMA	GRAU	TEMPERATURA (°C)															
		AMB.	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
ASTM A312	TP304	1400	1400	1400	1300	1230	1150	1130	1090	1050	1000	900	680	425	260	160	100
ASTM A312	TP304H	1400	1400	1400	1300	1230	1150	1130	1090	1050	1000	900	680	425	260	160	100
ASTM A312	TP304L	1170	1170	1170	1100	1030	990	960	930	900	700	500	350	175	50	25	15
ASTM A312	TP310	1400	1400	1400	1400	1400	1360	1320	1270	1030	880	590	350	175	50	25	15
ASTM A312	TP316	1400	1400	1400	1350	1250	1180	1170	1130	1100	1080	1050	870	520	290	160	90
ASTM A312	TP316L	1160	1160	1160	1090	1020	960	930	890	850	820	770	720	450	250	140	80
ASTM A312	TP321	1400	1400	1400	1310	1220	1170	1130	1100	1080	1070	970	480	250	120	60	25
ASTM A312	TP347	1400	1400	1400	1400	1400	1350	1330	1300	1080	1050	900	640	310	160	90	60
ASTM A268	TP405	1400	1350	1290	1250	1220	1190	1170	820	730	600	270	-	-	-	-	-
ASTM A268	TP410	1400	1350	1290	1250	1230	1190	1170	820	730	600	300	210	70	-	-	-
ASTM A268	TP430	1400	1350	1290	1250	1230	1190	1170	820	730	600	300	230	125	-	-	-
ASTM A268	TP446	1650	1640	1500	1430	1370	1300	1270	1190	1070	490	330	-	-	-	-	-

TUBULAÇÃO REFINARIAS E INSTALAÇÕES DE PETRÓLEO																	
TUBOS COM COSTURA																	
TENSÃO ADMISSÍVEL (kgf/cm <sup>2</sup> ) - DE ACORDO COM A NORMA ASME / ANSI B31.3																	
NORMA	GRAU	TEMPERATURA (°C)															
		AMB.	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
ASTM A312	TP304	1200	1200	1200	1120	1050	1000	975	925	900	860	700	600	360	220	130	100
ASTM A312	TP304H	1200	1200	1200	1120	1050	1000	975	925	900	860	700	600	360	220	130	100
ASTM A312	TP304L	1000	1000	1000	950	870	830	820	790	760	650	420	300	190	130	70	55
ASTM A312	TP310	1200	1200	1200	1200	1200	1180	1100	1075	870	770	480	300	150	50	20	15
ASTM A312	TP316	1200	1200	1200	1150	1080	1030	1000	960	940	930	900	690	440	250	100	75
ASTM A312	TP316H	1200	1200	1200	1150	1080	1030	1000	960	940	930	900	690	440	250	100	75
ASTM A312	TP316L	1000	1000	1000	1000	870	830	800	750	725	700	660	600	380	210	120	70
ASTM A312	TP321	1200	1200	1200	1100	1040	1000	960	935	920	910	700	410	210	100	50	25
ASTM A312	TP347	1200	1200	1200	1200	1200	1170	1130	1100	930	870	780	550	260	130	75	50

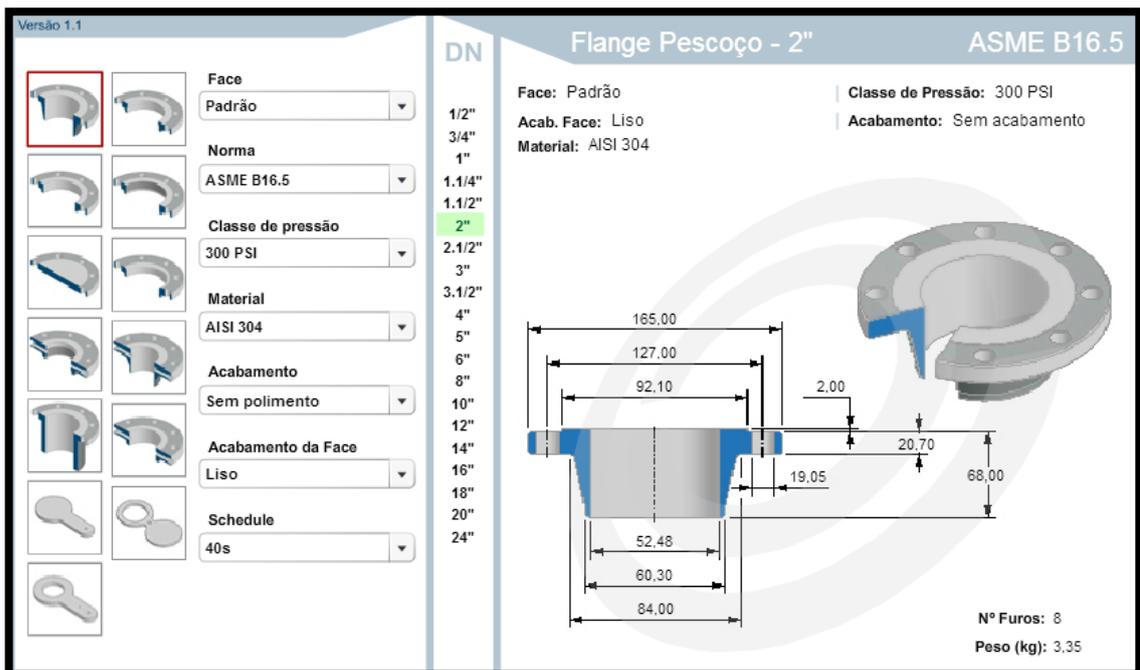
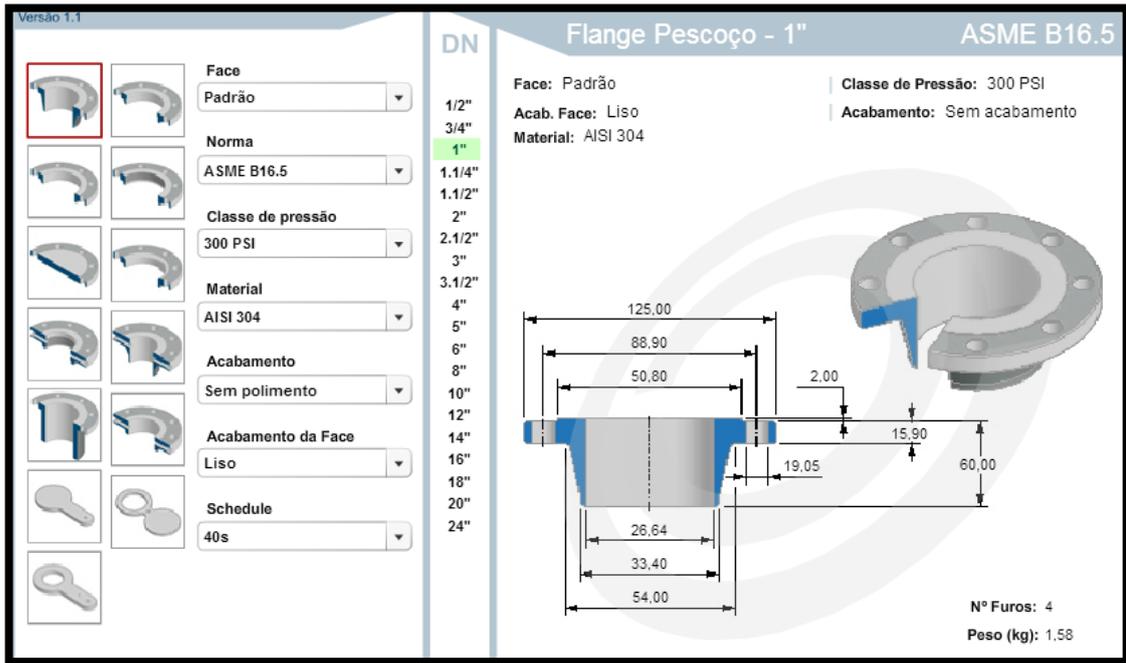
## ANEXO B – DIMENSÕES DOS TUBOS – ASME.B.36.19 – AÇO INOX

Diâmetro Nominal		Diâmetro Externo (mm)	Espessura da Parede (mm)	Massa (kg/m)	Identificação (Schedule)
(mm)	(pol.)				
15	½	21,3	1,65	0,816	5S
			2,11	1,020	10S
			2,77	1,270	40S
			3,73	1,620	80S
20	¾	26,7	1,65	1,030	5S
			2,11	1,300	10S
			2,87	1,680	40S
			3,91	2,190	80S
25	1	33,4	1,65	1,316	5S
			2,77	2,132	10S
			3,38	2,500	40S
			4,55	3,230	80S
32	1 ¼	42,2	1,65	1,670	5S
			2,77	2,730	10S
			3,56	3,380	40S
			4,85	4,460	80S
40	1 ½	48,3	1,65	1,930	5S
			2,77	3,160	10S
			3,68	4,040	40S
			5,08	5,400	80S
50	2	60,3	1,65	2,423	5S
			2,77	4,005	10S
			3,91	5,440	40S
			5,54	7,470	80S
65	2 ½	73,0	2,11	3,750	5S
			3,05	5,330	10S
			5,16	8,620	40S
			7,01	11,400	80S
80	3	88,9	2,11	4,580	5S
			3,05	6,440	10S
			5,49	11,280	40S
			7,62	15,250	80S
100	4	114,3	2,11	5,84	5S
			3,05	8,350	10S
			6,02	16,060	40S
			8,56	22,290	80S
125	5	141,3	2,77		5S
			3,40		10S
			6,55		40S
150	6	168,3	2,77	11,320	5S
			3,40	13,820	10S
			7,11	28,230	40S
			10,97	42,510	80S
200	8	219,1	2,77	14,790	5S
			3,76	19,930	10S
			8,18	42,480	40S
			12,7	64,560	80S
250	10	273,1	3,40	22,540	5S
			4,19	27,830	10S
			6,50	42,700	20S
			9,27	60,230	40S
			12,70	81,450	80S
300	12	323,9	3,96	31,690	5S

Diâmetro Nominal		Diâmetro Externo (mm)	Espessura da Parede (mm)	Massa (kg/m)	Identificação (Schedule)
(mm)	(pol.)				
300	12	323,9	4,57	36,000	10S
			6,50	50,900	20S
			9,53	73,740	40S
			12,70	97,340	80S
350	14	355,6	3,96	34,400	5S
			4,78	41,300	10S
400	16	406,4	4,19	41,500	5S
			4,78	47,300	10S

## ANEXO C – DIMENSÕES DE FLANGES

As dimensões para todos os flanges especificados neste projeto foram baseados no configurador online da empresa Conflange, disponível em <<http://www.odacat.com.br/conflange/conflange2009.html>>, acessado em 30 de Março de 2013.



Versão 1.1

**Face**  
Padrão

**Norma**  
ASME B16.5

**Classe de pressão**  
300 PSI

**Material**  
AISI 304

**Acabamento**  
Sem polimento

**Acabamento da Face**  
Liso

**Schedule**  
40s

**DN**

1/2"  
3/4"  
1"  
1.1/4"  
1.1/2"  
2"  
2.1/2"  
**3"**  
3.1/2"  
4"  
5"  
6"  
8"  
10"  
12"  
14"  
16"  
18"  
20"  
24"

**Flange Pescoço - 3"** ASME B16.5

Face: Padrão | Classe de Pressão: 300 PSI  
Acab. Face: Liso | Acabamento: Sem acabamento  
Material: AISI 304

210,00  
168,30  
127,00  
2,00  
27,00  
78,00  
77,92  
88,90  
117,00  
22,22

Nº Furos: 8  
Peso (kg): 6,88

Versão 1.1

**Face**  
Padrão

**Norma**  
ASME B16.5

**Classe de pressão**  
300 PSI

**Material**  
AISI 304

**Acabamento**  
Sem polimento

**Acabamento da Face**  
Liso

**Schedule**  
40s

**DN**

1/2"  
3/4"  
1"  
1.1/4"  
1.1/2"  
2"  
2.1/2"  
3"  
3.1/2"  
**4"**  
5"  
6"  
8"  
10"  
12"  
14"  
16"  
18"  
20"  
24"

**Flange Pescoço - 4"** ASME B16.5

Face: Padrão | Classe de Pressão: 300 PSI  
Acab. Face: Liso | Acabamento: Sem acabamento  
Material: AISI 304

255,00  
200,00  
157,20  
2,00  
30,20  
84,00  
102,26  
114,30  
146,00  
22,22

Nº Furos: 8  
Peso (kg): 11,24

Versão 1.1
Flange Pescoço - 6"
ASME B16.5

**Face**  
Padrão

**Norma**  
ASME B16.5

**Classe de pressão**  
300 PSI

**Material**  
AISI 304

**Acabamento**  
Sem polimento

**Acabamento da Face**  
Liso

**Schedule**  
40s

**DN**

1/2"

3/4"

1"

1.1/4"

1.1/2"

2"

2.1/2"

3"

3.1/2"

4"

5"

6"

8"

10"

12"

14"

16"

18"

20"

24"

**Face:** Padrão | **Classe de Pressão:** 300 PSI  
**Acab. Face:** Liso | **Acabamento:** Sem acabamento  
**Material:** AISI 304

**Nº Furos:** 12  
**Peso (kg):** 19,30

## ANEXO D – MEDIDORES DE VAZÃO



Folha de Dados	Cliente	<b>Lacit</b>	Orçamento	<b>J 97273 REV00 SD</b>
	S/Ref.	<b>Cotação</b>	Página	<b>2</b>

MEDIDOR DE VAZÃO MÁSSICO - EFEITO CORIÓLIS									
Geral	01	TAG				Favor informar			
	02	Serviço				Medição de vazão			
	03	Classificação da Área				Não Classificada			
	04	Diâmetro	Material da Linha			DN 1.1/2"			
Medidor / Sensor	05	Faixa de Vazão Calibrada				Favor informar			
	06	Temperatura Faixa Limite	Faixa Calibrada			-40 ~ +130 °C	Favor informar		
	07	Densidade Faixa Limite	Faixa Calibrada			400 ~ 2500 kg/m³	Favor informar		
	08	Diâmetro	Classe	Face	DN 1.1/2"	ASME B16.5 600# RF			
	09	Formato Sensor				2 Tubos Retos Paralelos			
	10	Material do Sensor				AISI 318L (1.4462)			
	11	Material da Conexão				AISI 316L (1.4435)			
	12	Material do Invólucro				AISI 304 (1.4301)			
	13	Jaqueta de Aquecimento							
	14	Perda de Carga				Vide cálculo de dimensionamento (memorial) em anexo			
Conversor Eletrônico	15	Classe de Proteção				IP 67			
	16	Pintura				Não Aplicável			
	17	Conexões Elétricas	Caixa de Bornes			Sem conexões (conversor Integral)	Sem (conversor Integral)		
	18	Tipo				Microprocessado			
	19	Invólucro				Alumínio Fundido / Epoxy			
	20	Indicação				Display LCD Iluminado			
	21	Montagem				Integral (compacta)			
	22	Alimentação				85 ~ 250 VAC / 50~60 Hz - Consumo 22 VA			
	23	Sinal de Saída (Módulo Base)				1x 4 - 20 mA / HART + 1x Pulsos + 2x Status			
	24	1º Sinal de Saída Adicional							
25	2º Sinal de Saída Adicional								
26	Interface para Comunicação								
27	Classe de Proteção				IP 67				
Acessórios	28	Exatidão Vazão	Densidade	Temperatura	-	-	-	-	
	29	Conexões Elétricas				2 x 1/2" NPT-F			
	30	Manual de Instruções				Sim			
	31	Etiqueta de Identificação				Em Aço Inox			
Dados de Processo	32	Comprimento do Cabo							
	33	Acessórios							
	34	Fluido	Estado Físico			Água			Líquido
	35	Vazão	Máxima	Normal	Mínima	m³/h	10	-	Vide cálculo
	36	Pressão	Máxima	Normal	Mínima	Bar	50	-	-
	37	Temperatura	Máxima	Normal	Mínima	°C	50	-	-
	38	Viscosidade				cP	1		
	39	Sólidos em Suspensão / Concentração				%	-		
	40	Densidade				g/cm³	1		
	41	Quantidade				01			
42	Modelo				<b>OPTIMASS MFM 1300 C - S25</b>				
Notas	1) O equipamento esta sendo ofertado somente para medição de vazão, lembrando que o medidor também pode efetuar medição de temperatura e densidade.								
	2) Vide cálculo dimensional range de vazão. Favor verificar se atende as vazões solicitadas.								
Revisão	0		A		B		C		D
Data	14/02/13								
Por	Diego Santana								
Aprovação									

MD:08/Ago-R.1



CONTROLES AUTOMÁTICOS LTDA.

KROHNE

Folha de Dados      Cliente **Lacit**      Orçamento **J 97273 REV00 SD**  
 S/Ref.      Cotação      Página **3**

**MEDIDOR DE VAZÃO MÁSSICO - EFEITO CORIÓLIS**

Geral	01	TAG			Favor informar			
	02	Serviço			Medição de vazão			
	03	Classificação da Área			Não Classificada			
	04	Diâmetro	Material da Linha		DN 3"	-		
Medidor / Sensor	05	Faixa de Vazão Calibrada			Favor informar			
	06	Temperatura Faixa Limite	Faixa Calibrada		-40 ~ +130 °C	Favor informar		
	07	Densidade Faixa Limite	Faixa Calibrada		400 ~ 2500 kg/m³	Favor informar		
	08	Diâmetro	Classe	Face	DN 3"	ASME B16.5 600#	RF	
	09	Formato Sensor			2 Tubos Retos Paralelos			
	10	Material do Sensor			AISI 318L (1.4462)			
	11	Material da Conexão			AISI 316L (1.4435)			
	12	Material do Invólucro			AISI 304 (1.4301)			
	13	Jaqueta de Aquecimento			-			
	14	Perda de Carga			Vide cálculo de dimensionamento (memorial) em anexo			
	15	Classe de Proteção			IP 67			
	16	Pintura			Não Aplicável			
	17	Conexões Elétricas	Caixa de Bornes		Sem conexões (conversor Integral)	Sem (conversor Integral)		
Conversor Eletrônico	18	Tipo			Microprocessado			
	19	Invólucro			Alumínio Fundido / Epoxy			
	20	Indicação			Display LCD Iluminado			
	21	Montagem			Integral (compacta)			
	22	Alimentação			85 ~ 250 VAC / 50~60 Hz - Consumo 22 VA			
	23	Sinal de Saída (Módulo Base)			1x 4 ~ 20 mA / HART + 1x Pulsos + 2x Status			
	24	1º Sinal de Saída Adicional			-			
	25	2º Sinal de Saída Adicional			-			
	26	Interface para Comunicação			-			
	27	Classe de Proteção			IP 67			
	28	Exatidão Vazão	Densidade	Temperatura	-	-	-	-
29	Conexões Elétricas			2 x 1/2" NPT-F				
Acessórios	30	Manual de Instruções			Sim			
	31	Etiqueta de Identificação			Em Aço Inox			
	32	Comprimento do Cabo			-			
	33	Acessórios			-			
Dados de Processo	34	Fluído	Estado Físico		Ar		Gás	
	35	Vazão	Máxima	Normal	Mínima	m³/h	280	Vide cálculo
	36	Pressão	Máxima	Normal	Mínima	Bar	50	-
	37	Temperatura	Máxima	Normal	Mínima	°C	50	-
	38	Viscosidade			cP	Vide cálculo		
	39	Sólidos em Suspensão / Concentração			%	-		
	40	Densidade			g/cm³	Vide cálculo		
	41	Quantidade			01			
	42	Modelo			OPTIMASS MFM 1300 C - \$50			
Notas	1) O equipamento esta sendo ofertado somente para medição de vazão, lembrando que o medidor também pode efetuar medição de temperatura e densidade.							
	2) Estamos considerando a vazão máxima para este medidor de 280 m³/h. Conforme solicitado.							
Revisão	0			A	B	C	D	
Data	14/02/13							
Por	Diego Santana							
Aprovação	-							

MD:08/Ago-R.1



CONTROLES AUTOMÁTICOS LTDA.

KROHNE

Folha de Dados	Cliente S/Ref.	<b>Lacit</b> <b>Cotação</b>	Orçamento	<b>J 97273 REV00 SD</b>
			Página	<b>4</b>

### MEDIDOR DE VAZÃO MÁSSICO - EFEITO CORIÓLIS

Geral	01	TAG			Favor informar				
	02	Serviço			Medição de vazão				
	03	Classificação da Área			Não Classificada				
	04	Diâmetro	Material da Linha		DN 1.1/2"	-			
Medidor / Sensor	05	Faixa de Vazão Calibrada			Favor informar				
	06	Temperatura Faixa Limite	Faixa Calibrada		-40 ~ +130 °C	Favor informar			
	07	Densidade Faixa Limite	Faixa Calibrada		400 ~ 2500 kg/m³	Favor informar			
	08	Diâmetro	Classe	Face	DN 1.1/2"	ASME B16.5 600#	RF		
	09	Formato Sensor			2 Tubos Retos Paralelos				
	10	Material do Sensor			AISI 318L (1.4462)				
	11	Material da Conexão			AISI 316L (1.4435)				
	12	Material do Invólucro			AISI 304 (1.4301)				
	13	Jaqueta de Aquecimento			-				
	14	Perda de Carga			Vide cálculo de dimensionamento (memorial) em anexo				
Conversor Eletrônico	15	Classe de Proteção			IP 67				
	16	Pintura			Não Aplicável				
	17	Conexões Elétricas	Caixa de Bornes		Sem conexões (conversor Integral)		Sem (conversor Integral)		
	18	Tipo			Microprocessado				
	19	Invólucro			Alumínio Fundido / Epoxy				
	20	Indicação			Display LCD Iluminado				
	21	Montagem			Integral (compacta)				
	22	Alimentação			85 ~ 250 VAC / 50~60 Hz - Consome 22 VA				
	23	Sinal de Saída (Módulo Base)			1x 4 ~ 20 mA / HART + 1x Pulsos + 2x Status				
	24	1º Sinal de Saída Adicional			-				
Dados de Processo	25	2º Sinal de Saída Adicional			-				
	26	Interface para Comunicação			-				
	27	Classe de Proteção			IP 67				
	28	Exatidão Vazão	Densidade	Temperatura	-	-	-	-	
	29	Conexões Elétricas			2 x 1/2" NPT-F				
	Acessórios	30	Manual de Instruções			Sim			
		31	Etiqueta de Identificação			Em Aço Inox			
		32	Comprimento do Cabo			-			
		33	Acessórios			-			
	Dados de Processo	34	Fluido	Estado Físico		Ar		Gás	
35		Vazão	Máxima	Normal	Mínima	m³/h	50	Vide cálculo	
36		Pressão	Máxima	Normal	Mínima	Bar	50	-	
37		Temperatura	Máxima	Normal	Mínima	°C	50	-	
38		Viscosidade			cP	Vide cálculo			
39		Sólidos em Suspensão / Concentração			%	-			
40		Densidade			g/cm³	Vide cálculo			
41		Quantidade			01				
42	Modelo			<b>OPTIMASS MFM 1300 C - \$25</b>					
Notas	1) O equipamento esta sendo ofertado somente para medição de vazão, lembrando que o medidor também pode efetuar medição de temperatura e densidade.								
	2) Vide cálculo dimensional range de vazão. Favor verificar se atende as vazões solicitadas.								
Revisão	0			A	B	C	D		
Data	14/02/13								
Por	Diego Santana								
Aprovação	-								

MD:08/Ago-R.1



Folha de Dados Cliente **Lacit** Orçamento **J 97273 REV00 SD**  
 S/Ref. **Colaço** Página **1**

### MEDIDOR DE VAZÃO MÁSSICO - EFEITO CORIÓLIS

Geral	01	TAG			Favor informar			
	02	Serviço			Medição de vazão			
	03	Classificação da Área			Não Classificada			
	04	Diâmetro	Material da Linha		DN 4"	Favor informar		
Medidor / Sensor	05	Faixa de Vazão Calibrada			Favor informar			
	06	Temperatura Faixa Limite	Faixa Calibrada		-40 ~ +150 °C	Favor informar		
	07	Densidade Faixa Limite	Faixa Calibrada		400 ~ 2500 kg/m³	Favor informar		
	08	Diâmetro	Classe	Face	DN 4"	ASME B16.5 600#	RF	
	09	Formato Sensor			Tubo Único e Reto			
	10	Material do Sensor			Titânio			
	11	Material da Conexão			AISI 316L (1.4435)			
	12	Material do Invólucro			AISI 304 (1.4301)			
	13	Jaqueta de Aquecimento			-			
	14	Perda de Carga			Vide cálculo de dimensionamento (memorial) em anexo			
Conversor Eletrônico	15	Classe de Proteção			IP 67			
	16	Pintura			Não Aplicável			
	17	Conexões Elétricas	Caixa de Bornes		Sem conexões (conversor Integral)	Sem (conversor Integral)		
	18	Tipo			Microprocessada			
	19	Invólucro			Alumínio Fundido / Epoxy			
	20	Indicação			Display LCD Iluminado			
	21	Montagem			Integral (compacta)			
	22	Alimentação			85 ~ 250 VAC / 50~60 Hz - Consumo 22 VA			
	23	Sinal de Saída (Módulo Base)			1x 4 ~ 20 mA / HART + 1x Pulsos + 2x Status			
	24	1º Sinal de Saída Adicional			-			
Dados de Processo	25	2º Sinal de Saída Adicional			-			
	26	Interface para Comunicação			-			
	27	Classe de Proteção			IP 67			
	28	Exatidão Vazão	Densidade	Temperatura	Vide cálculo anexo	-	-	
	29	Conexões Elétricas			2 x 1/2" NPT-F			
	Acessórios	30	Manual de Instruções			Sim		
		31	Etiqueta de Identificação			Em Aço Inox		
		32	Comprimento do Cabo			-		
		33	Acessórios			-		
Dados de Processo	34	Fluido	Estado Físico		Água		Líquido	
	35	Vazão	Máxima	Normal	Mínima	m³/h	100 (NOTA 2)	
	36	Pressão	Máxima	Normal	Mínima	Bar	50	
	37	Temperatura	Máxima	Normal	Mínima	°C	50	
	38	Viscosidade			cP			
	39	Sólidos em Suspensão / Concentração			%			
	40	Densidade			Kg/cm³			
	41	Quantidade			01			
42	Modelo			OPTIMASS MFM 7300 C - T80				
Notas	1) O equipamento esta sendo ofertado somente para medição de vazão, lembrando que o medidor também pode efetuar medição de temperatura e densidade.							
	2) Estamos considerando a vazão máxima para este medidor de 100 m³/h. Conforme solicitado.							
Revisão	0	A	B	C	D			
Data	14/02/13							
Por	Diego Santana							
Aprovação	-							

MD:08/Aqa-R.1



Folha de Dados Cliente **Lacit** Orçamento **J 97273 REV00 SD**  
 S/Ref. **Colaço** Página **5**

### MEDIDOR DE VAZÃO MÁSSICO - EFEITO CORIÓLIS

Geral	01	TAG			Favor informar					
	02	Serviço			Medição de vazão					
	03	Classificação da Área			Não Classificada					
	04	Diâmetro	Material da Linha		DN 4"	Favor informar				
Medidor / Sensor	05	Faixa de Vazão Calibrada			Favor informar					
	06	Temperatura Faixa Limite	Faixa Calibrada		-40 ~ +150 °C	Favor informar				
	07	Densidade Faixa Limite	Faixa Calibrada		400 ~ 2500 kg/m³	Favor informar				
	08	Diâmetro	Classe	Face	DN 4"	ASME B16.5 600#	RF			
	09	Formato Sensor			Tubo Único e Reto					
	10	Material do Sensor			Titânio					
	11	Material da Conexão			AISI 316L (1.4435)					
	12	Material do Invólucro			AISI 304 (1.4301)					
	13	Jaqueta de Aquecimento			-					
	14	Perda de Carga			Vide cálculo de dimensionamento (memorial) em anexo					
	15	Classe de Proteção			IP 67					
	16	Pintura			Não Aplicável					
	Conversor Eletrônico	17	Conexões Elétricas	Caixa de Bornes		Sem conexões (conversor Integral)	Sem (conversor Integral)			
18		Tipo			Microprocessado					
19		Invólucro			Alumínio Fundido / Epoxy					
20		Indicação			Display LCD Iluminado					
21		Montagem			Integral (compacta)					
22		Alimentação			85 ~ 250 VAC / 50~60 Hz - Consumo 22 VA					
23		Sinal de Saída (Módulo Base)			1x 4 ~ 20 mA / HART + 1x Pulsos + 2x Status					
24		1º Sinal de Saída Adicional			-					
25		2º Sinal de Saída Adicional			-					
26		Interface para Comunicação			-					
27		Classe de Proteção			IP 67					
Acessórios	28	Exatidão Vazão	Densidade	Temperatura	Vide cálculo anexo	-	-			
	29	Conexões Elétricas			2 x 1/2" NPT-F					
	30	Manual de Instruções			Sim					
Dados de Processo	31	Etiqueta de Identificação			Em Aço Inox					
	32	Comprimento do Cabo			-					
	33	Acessórios			-					
	34	Fluido	Estado Físico		Óleo / Glicerina	Líquido				
	35	Vazão	Máxima	Normal	Mínima	m³/h	100 (NOTA 2)	-	Vide cálculo anexo	
	36	Pressão	Máxima	Normal	Mínima	Bar	50	-	-	
	37	Temperatura	Máxima	Normal	Mínima	°C	50	-	-	
	38	Viscosidade			cP	1				
	39	Sólidos em Suspensão / Concentração			%	-				
	40	Densidade			Kg/cm³	1000				
41	Quantidade			01						
42	Modelo			OPTIMASS MFM 7300 C - T80						
Notas	1) O equipamento esta sendo ofertado somente para medição de vazão, lembrando que o medidor também pode efetuar medição de temperatura e densidade.									
	2) Estamos considerando a vazão máxima para este medidor de 100 m³/h. Conforme solicitado.									
Revisão	0		A		B		C		D	
Data	14/02/13									
Por	Diego Santana									
Aprovação	-									

MD:08/Aqq-R.1









