



Rafael Eduardo Schmidt

**PROJETO E ANÁLISE COMPUTACIONAL DE UM BLOCO DE VÁLVULA
DIGITAL ACIONADA POR VÁLVULAS SOLENOIDES ON/OFF**

Horizontina-RS

2021

Rafael Eduardo Schmidt

**PROJETO E ANÁLISE COMPUTACIONAL DE UM BLOCO DE VÁLVULA
DIGITAL ACIONADA POR VÁLVULAS SOLENOIDES ON/OFF**

Projeto do Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para o Trabalho Final de Curso na Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina, sob orientação do Prof. Luís Carlos Wachholz, Me.

Horizontina-RS

2021

FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

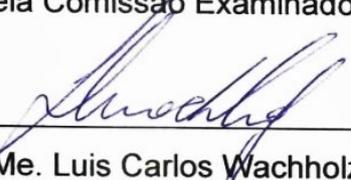
A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

**“PROJETO E ANÁLISE COMPUTACIONAL DE UM BLOCO DE VÁLVULA
DIGITAL ACIONADA POR VÁLVULAS SOLENOIDES ON/OFF”**

Elaborada por:
Rafael Eduardo Schmidt

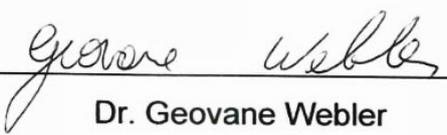
Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 06/12/2021
Pela Comissão Examinadora



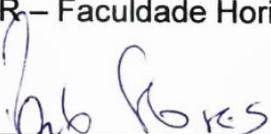
Me. Luis Carlos Wachholz

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



Dr. Geovane Webler

FAHOR – Faculdade Horizontalina



Me. Paulo Marcos Flores

FAHOR – Faculdade Horizontalina

Horizontalina - RS

2021

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele não estaria onde estou hoje.

Aos meus pais, irmã, namorada e sogros por terem me apoiado nesta trajetória acadêmica, o incentivo de vocês foi essencial para eu chegar até aqui.

Ao meu professor orientador Mestre Luís Carlos Wachholz pelo seu tempo e dedicação em me auxiliar na realização deste trabalho
E a todos que de alguma forma contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

RESUMO

Dentro do contexto da hidráulica moderna, onde cita-se os sistemas de controles eletrônicos de atuadores, surge este projeto de pesquisa, onde tem-se como objetivo, o desenvolvimento de uma válvula hidráulica digital em alumínio, para controle de um motor hidráulico, sendo possível variar sua rotação a partir da variação da vazão. Com ela temos uma maior facilidade de introduzir em um ambiente estudantil, um sistema de controle de rotação para motores hidráulicos. Buscou-se base na metodologia de Valdiero e Thesing (2016) para o desenvolvimento bem como um fluxograma para uma sequência de trabalho. De início, definiu-se os requisitos mínimo da unidade de potência e condicionamento hidráulico para esta válvula. Após a definição e o desenvolvimento do esquema hidráulico de todo o conjunto detalhando cada componente. Em seguida desenvolveu-se o dimensionamento do sistema hidráulico e dos seus componentes, bem como a modelagem em 3D e a respectiva simulação em *software*, verificando a resistência dos corpos em alumínio. Ao final chegou-se à conclusão de que o projeto atinge a vazão definida e suporta a pressão aplicada.

Palavras-chave: Hidráulica. Válvula digital. Análise computacional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipo de escoamento.	18
Figura 2 – Esquema de um sistema hidráulico.....	21
Figura 3 – Bomba hidráulica de engrenagem em vista explodida.	23
Figura 4 – Reservatório de fluido hidráulico.	24
Figura 5 – Filtro com <i>bypass</i>	25
Figura 6 – Filtro de sucção.....	26
Figura 7 – Filtro de pressão.	26
Figura 8 – Filtro de retorno.....	27
Figura 9 – Válvula de alívio e segurança	28
Figura 10 – Esquematização de uma válvula reguladora de vazão.....	29
Figura 11 – Válvula direcional com carretel deslizante.....	29
Figura 12 – Esquema do solenoide.....	30
Figura 13 – “Sanduíche” de válvulas direcionais.....	31
Figura 14 – Vantagens comprovadas da hidráulica digital em relação à hidráulica convencional.	32
Figura 15 – Cilindro de dupla ação.	33
Figura 16 – Comparação entre bomba (A) e motor de engrenagem (B).....	34
Figura 17 – Oscilador de palheta simples (A) e dupla (B).	34
Figura 18 – Manômetro.....	35
Figura 19 – Pressostatos.	36
Figura 20 – Tacômetro.....	38
Figura 21 – Sensor indutivo.	38
Figura 22 – Forma de manufatura.....	39
Figura 23 – Diagrama de um torno mecânico indicando seus principais componentes.....	40
Figura 24 – Dois tipos básicos de fresamento: (a) fresamento periférico e (b) fresamento frontal.....	41
Figura 25 – Fresadora ferramenteira e indicação dos seus componentes.	41
Figura 26 – Furadeira de coluna.	42
Figura 27 – Máquina de serrar alternativa (a), máquina de serra fita vertical (b), máquinas de serras circulares (c).....	43
Figura 28 – Metodologia de projeto de máquinas inteligentes.....	45
Figura 29 – Fluxo de trabalho.	47
Figura 30 – Esquema hidráulico da válvula.....	51
Figura 31 – Conjunto completo modelado.....	52
Figura 32 – Tampa de entrada.....	53
Figura 33 – Tampa de entrada em corte.....	54
Figura 34 – Carretel pressão de trabalho.....	55
Figura 35 – Carretel pressão de piloto	56
Figura 36 – Conjunto bloco de válvula direcional com controle de vazão.....	58
Figura 37 – Bloco de válvula direcional em corte fechada.	59
Figura 38 – Bloco de válvula direcional em corte aberta.	60
Figura 39 – Carretel blocos centrais	60
Figura 40 – Chapas com furos calibrados.....	64
Figura 41 – Gráfico vazão x combinação.....	65
Figura 42 – Parafuso vazamento controlado.....	66
Figura 43 – Tampa de saída.	68
Figura 44 – Gabaritos de furação dos blocos centrais	70
Figura 45 – Ferramentas especiais de furação.	71
Figura 46 – Matéria prima da tampa de saída.....	72
Figura 47 – Fresadora utilizada no processo de fabricação.	72
Figura 48 – Usinagem das dimensões da tampa de saída.....	73

Figura 49 – Gabarito de furação fixado na tampa de saída.....	73
Figura 50 – Tampa de saída com furos de centro.....	74
Figura 51 – Detalhe da re-furação.	74
Figura 52 – Detalhe do uso de uma ferramenta especial, antes (a) e depois (b).....	75
Figura 53 – Rosqueamento.....	75
Figura 54 – Malha da tampa de entrada.	76
Figura 55 – Resultado simulação tampa de entrada.	76
Figura 56 – Resultado simulação bloco central.....	77
Figura 57 – Resultado simulação tampa de saída.	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação ISO de viscosidades cinemáticas em várias temperaturas.	17
Quadro 2 – Limites de escoamento para Reynolds.....	18
Quadro 3 – Velocidades recomendadas	19
Quadro 4 – Vazão por válvula.....	62
Quadro 5 – Configurações dos furos calibrados.	64
Quadro 6 – Vazão por válvula ajustada.	65

QUADRO DE EQUAÇÕES

#	Equação	Descrição
1	$Re = \frac{V_{eloc} * di}{\nu}$	Equação para determinar o número de Reynolds
2	$V_{eloc} = \sqrt{\frac{2 * (P1 - P2)}{\rho}}$	Equação para determinar a velocidade do fluido na passagem de um orifício
3	$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015 * \Pi * V_{eloc}}}$	Equação utilizada para determinar o diâmetro mínimo de tubulações
4	$Q = \frac{5}{8} * A * \sqrt{\frac{2 * (P1 - P2)}{\rho}}$	Equação para determinar a vazão volumétrica em orifícios
5	$A = \frac{Q}{V_{eloc}}$	Equação para determinar a área de seção
6	$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\Pi}}$	Equação para determinar o diâmetro
7	$P_{ot} = \frac{P * Q}{600 * \eta_{vol} * \eta_{mh}}$	Equação para determinar a potência do motor elétrico
8	$Q = \frac{(Vg * n * \eta_{vol})}{1000}$	Equação para determinar a vazão da bomba hidráulica
9	$Vg = \frac{Q * 1000}{n * \eta_{vol}}$	Equação para determinar o deslocamento geométrico da bomba hidráulica
10	$V_{reservatório} = 3 * Q$	Equação para determinar o volume total do reservatório
11	$F = P * A$	Equação para determinar a força de pressão
12	$F = k * x$	Equação para determinar a força de mola

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

CAD – Computer Aided Design

DIN – Deutsches Institut für Normung

ISO – International Organization for Standardization

SAE – Society of Automotive Engineers

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	12
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.4	HIPÓTESES	13
1.5	OBJETIVOS	14
1.5.1	Objetivo geral	14
1.5.2	Objetivos específicos	14
1.6	JUSTIFICATIVA	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	HIDRÁULICA	16
2.2	FLUIDOS	16
2.2.1	Viscosidade	16
2.2.2	Regime de escoamento e número de Reynolds	17
2.2.3	Velocidades recomendadas	19
2.2.4	Vazão, área e diâmetro de seção para tubulações	20
2.3	ESQUEMA GERAL DE UM SISTEMA HIDRÁULICO	21
2.3.1	Sistema gerador	22
2.3.1.1	<i>Bomba hidráulica</i>	22
2.3.1.2	<i>Reservatório do fluido hidráulico</i>	23
2.3.1.3	<i>Filtros hidráulicos</i>	25
2.3.1.3.1	Filtro na linha de sucção	26
2.3.1.3.2	Filtro na linha de pressão	26
2.3.1.3.3	Filtro na linha de retorno	27
2.3.2	Sistema de controle	27
2.3.2.1	<i>Válvulas reguladoras de pressão</i>	27
2.3.2.2	<i>Válvula de alívio de segurança</i>	28
2.3.2.3	<i>Válvulas reguladora de vazão</i>	28
2.3.2.4	<i>Válvula direcional</i>	29
2.3.2.5	<i>Válvula direcional acionada por solenoide</i>	30
2.3.2.6	<i>Solenoides para válvulas maiores</i>	30
2.3.2.7	<i>Válvula digital</i>	31
2.3.3	Atuadores	32
2.3.3.1	<i>Atuadores lineares</i>	33
2.3.3.2	<i>Atuadores rotativos</i>	33
2.3.3.2.1	Motores hidráulicos	33
2.3.3.2.2	Osciladores hidráulicos	34
2.4	INSTRUMENTOS PARA CONTROLE E VERIFICAÇÃO	35
2.4.1	Manômetro	35
2.4.1.1	<i>Pressostato</i>	36
2.4.1.2	<i>Pressão manométrica</i>	36
2.4.1.3	<i>Força elástica</i>	37
2.4.2	Medidores de rotação	37
2.4.2.1	<i>Tacômetro</i>	37
2.4.2.2	<i>Sensor indutivo</i>	38
2.5	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO OU MANUFATURA	39
2.5.1	Usinagem	39
2.5.1.1	<i>Torneamento</i>	40
2.5.1.2	<i>Fresamento</i>	40

2.5.1.3	<i>Furação</i>	42
2.5.1.4	<i>Serramento</i>	42
3	METODOLOGIA	44
3.1	TIPO DE PESQUISA.....	44
3.2	PROJETO CONCEITUAL.....	45
3.3	PROJETO PRELIMINAR.....	46
3.4	PROJETO DETALHADO.....	46
3.5	FLUXO DE DESENVOLVIMENTO.....	46
3.6	RECURSOS NECESSÁRIOS.....	47
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
4.1	DADOS DE ENTRADA.....	48
4.2	FLUIDO HIDRÁULICO.....	48
4.3	UPCH-UNIDADE DE POTÊNCIA E CONDICIONAMENTO HIDRÁULICO.....	48
4.3.1	Dimensionamento da potência do motor elétrico	48
4.3.2	Dimensionamento do deslocamento volumétrico da bomba	49
4.3.3	Seleção do filtro de sucção	50
4.3.4	Dimensionamento do reservatório	50
4.4	ESQUEMA HIDRÁULICO.....	50
4.5	DETALHAMENTO.....	52
4.5.1	Material de construção	52
4.5.2	Conjunto montado	52
4.5.3	Tampa de entrada	53
4.5.3.1	<i>Carretel da pressão de trabalho</i>	55
4.5.3.2	<i>Carretel da pressão piloto</i>	56
4.5.3.3	<i>Dimensionamento do diâmetro da tubulação de entrada</i>	57
4.5.3.4	<i>Processo de fabricação da tampa de entrada</i>	57
4.5.4	Blocos de válvula direcional com controle de vazão	58
4.5.4.1	<i>Carretel do bloco direcional</i>	60
4.5.4.2	<i>Dimensionamento furos calibrados</i>	61
4.5.4.3	<i>Dimensionamento do vazamento controlado</i>	66
4.5.4.4	<i>Processo de fabricação dos blocos centrais</i>	67
4.5.5	Tampa de saída	68
4.5.5.1	<i>Dimensionamento do diâmetro tubulação de retorno</i>	69
4.5.5.2	<i>Processo de fabricação da tampa de saída</i>	70
4.5.5.3	<i>Teste prático fabricação da tampa de saída</i>	70
4.6	DETALHAMENTO.....	75
4.7	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	76
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
	REFERÊNCIAS	79
	APÊNDICE A – Cálculo para descobrir P1 no Excel	82
	APÊNDICE B – Combinações de abertura de válvula	83
	APÊNDICE C – Gráfico vazão x combinação	84
	APÊNDICE D – Detalhamento válvula digital	85
	APÊNDICE E – Detalhamento tampa de entrada	86
	APÊNDICE F – Detalhamento blocos centrais	87
	APÊNDICE G – Detalhamento tampa de saída	88
	ANEXO A – Classificação do fluido hidráulico	89
	ANEXO B – Quadro de classificação de motores hidráulicos	90
	ANEXO C – Quadro de classificação de motores elétricos de 6 polos	91
	ANEXO D – Quadro de classificação de bombas hidráulicas	92

ANEXO E – Classificação de filtros de sucção.....	93
ANEXO F – Características alumínio 6351-T6.....	94
ANEXO G – Classificação de mangueiras hidráulicas	95
ANEXO H – Classificações brocas HSS	96

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a demanda da produtividade das máquinas vem aumentando, visto isso, conseqüentemente a modernização e a tecnologia das mesmas vem crescendo, gerando a necessidade da formação de bons profissionais. Um exemplo que pode ser usado, é a hidráulica, que hoje está presente em muitas máquinas industriais e agrícolas, sua principal aplicação é a transmissão de movimento, transmitindo-o em diferentes eixos e rotações. Este sistema substitui facilmente mecanismos como caixas de transmissão, polias com correias e eixos cardan, e ainda possuindo várias vantagens, tornado o projeto muito mais simples, redução de custos, as mangueiras hidráulicas são flexíveis, menor nível de ruídos, redução do peso da máquina, se comparado com uso de sistemas mecânicos, entre outras.

Tem-se em nossos meios, máquinas que realizam movimento de rotação, podendo ser para mover apenas um determinado mecanismo ou a própria máquina, utilizando motores hidráulicos, que recebem o óleo sob pressão e realizam o movimento de rotação de um eixo. Para um funcionamento perfeito e de acordo com as necessidades do momento, estes devem possuir um sistema de variação de rotação, e este ajuste é feito através da alteração de fluxo do fluido. Em grande maioria dos casos, este controle é feito a partir de válvula reguladora de fluxo, que é controlada manualmente, possui o mesmo conceito de uma torneira, quanto mais aberta, maior o fluxo, e vice-versa. Porém também existem válvulas controladas de forma elétrica, estas possuem um ajuste fino e perfeito, controladas eletronicamente.

Neste contexto, um sistema de controle mais simples para motores hidráulicos, para o uso educacional, se justifica. Já existem estudos sobre válvulas digitais, onde o conceito é ter várias válvulas direcionais, onde as mesmas possuem vazões diferente entre si, com o mesmo caminho de saída, assim, variando a abertura das válvulas, gera-se diferentes vazões, o que conseqüentemente altera a rotação do motor hidráulico.

1.1 TEMA

Desenvolver um bloco de válvulas hidráulico digital em alumínio com válvulas solenoides *ON/OFF*.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente estudo se delimita em apenas dimensionar o conjunto do bloco, além de oferecer oportunidades de melhorias e continuação do projeto futuramente. Não será dada ênfase no dimensionamento de bancada, automação e construção prática do conjunto.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Com o passar do tempo, a tecnologia está cada vez mais integrada com a mecânica, o sistema continua mecânico, mas o controle é eletrônico, e isto contribui para a construção de novos equipamentos e acessórios, conforme é possível ver em nossa volta todos os dias.

A construção de um bloco de válvulas hidráulico digital, com válvulas *ON/OFF*, vem para facilitar o controle de equipamento ou sistemas que possuem algum motor hidráulico, e que este necessite que sua velocidade de rotação seja ajustável conforme a necessidade, com uma maior facilidade de aquisição de um tal sistema. Percebe-se também que a precisão dos equipamentos está melhorando, justamente pela demanda que se precisa. Uma válvula, por exemplo, em que no passado possuía apenas posição de aberto ou fechado, e era o suficiente para a necessidade, hoje já não serve mais, atualmente há a necessidade de um ajuste mais fino, com mais posições além do aberto e fechado. As válvulas *ON/OFF* também possuem apenas duas posições, mas quando se junta mais de uma, e cada uma com vazão diferente, pode-se formar várias combinações gerando diferentes vazões. Porém, um bloco de válvulas como este, em alumínio, é capaz de gerar estas variações de vazões e suportar a pressão desejada?

1.4 HIPÓTESES

Esta seção consiste em descrever as possíveis soluções, que deverão ser declaradas verdadeiras ou falsas até o final deste trabalho. Conforme Gil (2002), pode-se dizer que a hipótese ou as hipóteses, podem ser a solução do problema.

- a) É possível desenvolver uma válvula digital utilizando várias direcionais com solenoide;

- b) O alumínio é capaz de suportar a pressão hidráulica dimensionada para o projeto.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo geral

Dimensionar um bloco de válvulas digital em alumínio utilizando válvulas solenoides *ON/OFF*, sendo possível variar o fluxo do fluido hidráulico, ajustando a velocidade de um motor hidráulico conforme a necessidade.

1.5.2 Objetivos específicos

Os objetivos consistem em dimensionar o bloco de válvulas obtendo:

- a) Variação de 64 diferentes vazões;
- b) Vazões entre 0 e 20 litros por minuto;
- c) Rotação do motor entre 0 a 400 RPM.

1.6 JUSTIFICATIVA

Tem-se hoje, muitos profissionais se formando apenas com conhecimento teórico, às vezes sem nunca ter oportunidade de obter contato prático no que se tem estudado em sala de aula. E para isso, é muito importante as aulas práticas em uma instituição de ensino. A falta delas pode ser dada por variados motivos, como a falta de infraestrutura e falta dos equipamentos, para uma determinada disciplina se tornar prática, principalmente pelos altos custos ou dificuldade de aquisição.

Equipamentos e acessórios para hidráulica possuem um custo muito mais elevado se comparado com sistemas mecânicos, o que muitas vezes vem a não ser viável o investimento para uso educacional. Um exemplo de acessório deste tipo, é um controlador de fluxo controlado eletronicamente. Sabe-se que existe uma válvula mecânica, onde o controle é feito por uma espécie de registro, que faz a mesma função e possui valor muito menor, mas sabe-se que hoje está-se na era da automação, e equipamentos e máquinas estão cada vez mais compostos por estas tecnologias. Então pode-se e deve-se trabalhar sempre pensando nas tendências

futuras. Para este exemplo de acessório, válvula eletrônica de controle de vazão, criou-se um projeto de um bloco de válvulas digital, que a partir de válvulas solenoides se faz o controle da vazão. Estas válvulas solenoides são muito comuns em máquinas hidráulicas hoje, e são bem simples, possuem apenas duas posições, “*ON* ou *OFF*”, ou “aberto” e “fechado”. Como estas válvulas são simples e de um custo menor, fica fácil e barato montar um conjunto delas que possa regular a vazão em um sistema hidráulico.

Um projeto como este, pode ser aplicado de forma educacional em muitos sistemas, se somado com um projeto de automação, o fluxo pode ser controlado de forma totalmente eletrônica de maneira simples e educacional, podendo até mesmo ser desmontada e montada tranquilamente pelos estudantes, adquirindo novas visões e novos conhecimentos aos mesmos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HIDRÁULICA

O presente estudo trata sobre óleo hidráulico, ramo da hidráulica que utiliza o óleo como fluido. Conforme Palmieri (1997), a hidráulica é a ciência que estuda líquidos em escoamento e sob pressão.

2.2 FLUIDOS

Conforme o SENAI (2004), fluido é o elemento que flui dentro do sistema hidráulico, e também o mais importante na durabilidade dos sistemas, pois ele circula por todo o sistema, e atinge todos os pontos do mesmo. Um bom fluido hidráulico, contribui diretamente na vida útil dos componentes, da mesma forma, se este estiver contaminado ou com propriedades fora do especificado, ele estará contaminado todo o sistema podendo comprometê-lo.

Conforme SENAI (2004), o fluido hidráulico possui três funções principais:

Transmissão da energia: a bomba transforma energia mecânica em energia hidráulica, que é transmitida pelo fluido, até novamente ser transformada em energia mecânica através da realização de trabalho.

Lubrificação e vedação de partes móveis: os componentes dinâmicos do sistema devem ser lubrificados durante o funcionamento, e esta lubrificação é feita pelo fluido hidráulico.

Dissipação de calor: o calor gerado no sistema, é conduzido através do fluido, para as paredes do reservatório e destas, para a atmosfera.

2.2.1 Viscosidade

A medida de resistência que um fluido qualquer oferece ao escoamento, a sua capacidade de formar uma película protetora entre materiais e efetuar uma boa lubrificação, é a viscosidade. Pode-se dizer que, exemplificando, a viscosidade é a “grossura” do fluido. Quanto maior a viscosidade, maior a resistência ao escoamento (RACINE, 1981).

Quadro 1 – Classificação ISO de viscosidades cinemáticas em várias temperaturas.

Graus ISO	Faixa de Viscosidade de Cinemática CSt a 40°C	Viscosidade cinemática em outras temperaturas e para diferentes índices de viscosidade					
		Índice de viscosidade = 50			Índice de viscosidade = 95		
		cSt a 20°C	cSt a 37,8°C	cSt a 50°C	cSt a 20°C	cSt a 37,8°C	cSt a 50°C
ISO VG 2	1,98 - 2,42	(2,07-3,69)	(2,05-2,52)	(1,69-2,03)	(2,92-3,71)	(2,06-2,52)	(1,69-2,03)
ISO VG 3	2,8 - 3,52	(4,59-5,92)	(3,02-3,70)	(2,38-2,84)	(4,58-5,83)	(3,01-3,69)	(2,39-2,86)
ISO VG 5	4,1 - 5,06	(7,28-9,35)	(4,37-5,37)	(3,29-3,95)	(7,09-9,03)	(4,36-5,35)	(3,32-3,99)
ISO VG 7	6,12-7,48	(11,9-15,3)	(6,52-8,01)	(4,68-5,61)	(11,4-14,4)	(6,50-7,98)	(4,76-5,72)
ISO VG 10	9,00-11,0	19,1-24,5	9,68-11,9	6,65-7,99	18,1-23,1	9,64-11,8	6,78-8,14
ISO VG 15	13,5-16,5	31,6-40,6	14,7-18,0	9,62-11,5	29,8-38,3	14,6-17,9	9,80-11,8
ISO VG 22	19,8-24,2	51,0-65,8	21,7-26,6	13,6-16,3	48,0-61,7	21,6-26,5	13,9-16,6
ISO VG 32	28,8-35,2	82,6-108	31,9-39,2	19,0-22,6	76,9-98,7	31,7-38,9	19,4-23,3
ISO VG 46	41,4-50,6	133-172	46,3-56,9	26,1-31,3	120-153	45,9-56,3	27,0-32,5
ISO VG 68	61,2-74,8	219-238	62,2-85,0	37,1-44,1	193-244	68,4-83,9	38,7-46,6
ISO VG 100	61,2-74,8	219-238	69,2-85,0	37,1-44,4	193-244	68,4-83,9	38,7-46,6
ISO VG 150	135-165	583-743	155-195	75,9-91,2	486-614	153-188	80,6-97,1
ISO VG 220	198-242	927-1180	230-282	108-129	761-964	226-227	115-138
ISO VG 320	288-352	1460-1870	337-414	151-182	1180-1500	331-406	163-196
ISO VG 460	414-506	2290-2930	488-599	210-252	1810-2300	478-587	228-274
ISO VG 680	612-748	3700-4740	728-894	300-360	2880-3650	712-874	326-393
ISO VG 1000	900-1100	5960-7640	1080-1330	425-509	4550-5780	1050-1290	468-560
ISO VG 1500	1350-1650	9850-12600	1640-2010	613-734	7390-9400	1590-1960	676-812

Fonte: FIALHO, 2011.

Conforme Fialho (2011), foi elaborado em 1976, conforme a Quadro 1, um sistema de classificação para os lubrificantes líquidos de uso industrial, pela ISO (*International Organization for Standardization*), integrado na DIN (*Deutsches Institut für Normung*) 51519, adotada internacionalmente, classificada em 18 categorias de viscosidade entre 2 e 1500mm²/s ou cSt (*centistokes*).

2.2.2 Regime de escoamento e número de Reynolds

Uma característica dos fluidos, é sempre percorrer o caminho mais fácil, e nesse caminho que ele percorre, pode-se estudar dois tipos de escoamento, o escoamento laminar e o escoamento turbulento. O tipo de escoamento depende de vários fatores, como rugosidade interna, diâmetro do tubo, viscosidade, velocidade, entre outros (RACINE, 1981).

Segundo Fialho (2011), para determinar o tipo de escoamento, deve-se definir o “número de Reynolds”, que é dada pela razão da velocidade do fluido com o diâmetro do duto, dividido pela viscosidade, conforme a Equação 1:

$$Re = \frac{V_{eloc} * di}{\nu} \quad (1)$$

Onde:

Re = número de Reynolds (adimensional)

V_{eloc} = velocidade do fluido (cm/s)

d_i = diâmetro da tubulação (cm)

ν = viscosidade do fluido em Stokes (St)

A partir do valor de “Re” obtido, verificando na Quadro 2, em qual faixa o resultado se encontra, é determinado o tipo de escoamento.

Quadro 2 – Limites de escoamento para Reynolds.

Limites de Escoamento	
Escoamento Laminar	$Re \leq 2000$
Escoamento Indeterminado	$2000 < Re < 2300$
Escoamento Turbulento	$Re \geq 2300$

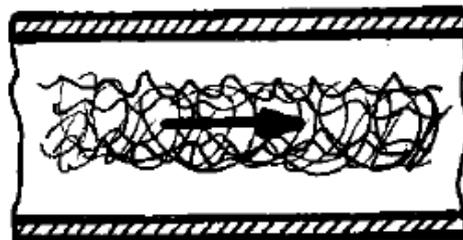
Fonte: FIALHO, 2011.

Entre a faixa de 2000 e 3000, não se pode dizer com razão o tipo de escoamento, pois ora pode ser um, ora outro, então é definido como regime indeterminado (RACINE, 1981). A Figura 1 simboliza a forma do escoamento no fluido conforme o tipo de escoamento. Observa-se que no laminar, tem-se linhas retas contínuas, já no turbulento são linhas totalmente deformadas, simbolizando uma turbulência no fluido.

Figura 1 – Tipo de escoamento.



(a) escoamento laminar



(b) escoamento turbulento

Fonte: Adaptado de RACINE, 1981.

Racine (1981) comenta também que, o tipo de escoamento considerado ideal, é o laminar, pois no regime turbulento podem ocorrer muitas perdas de cargas e aquecimento das tubulações. Devem-se evitar curvas abruptas ou restrições, pois estas características são também ocasionadoras de turbulência no fluido.

2.2.3 Velocidades recomendadas

Segundo Fialho (2011), utilizando os métodos empíricos para dimensionamento das tubulações, consegue-se reduzir as perdas de carga e garantir um escoamento laminar do fluido. Referente à velocidade, pode-se considerar as velocidades indicadas na Quadro 3.

Quadro 3 – Velocidades recomendadas

Tubulação	Pressão (bar)				Velocidade (cm/s)
	20	50	100	>200	
Tubulação de Pressão	300	400	500	600	
Tubulação de Retorno	300				
Tubulação de Sucção	100				

Fonte: FIALHO, 2011.

Stringer (1976) sugere a Equação 2 para determinar a velocidade do fluido, onde $(P1 - P2)$ é a queda de pressão na passagem por um orifício.

$$V_{eloc} = \sqrt{\frac{2 * (P1 - P2)}{\rho}} \quad (2)$$

Onde:

- Veloc = velocidade recomendada (m/s)
- P1 = pressão de entrada no orifício (Pa)
- P2 = pressão de saída do orifício (Pa)
- ρ = massa específica do fluido (kg/m^3)

A linha de sucção, ainda conforme Fialho (2011), é a linha onde o fluido é succionado do tanque para a bomba, já a linha de pressão é os caminhos pressurizados logo após a saída da bomba até a entrada de diversos componentes. A linha de retorno é a linha onde o fluido retorna para tanque, consiste desde a saída dos componentes até o reservatório. Utilizando a Equação 3, determina-se o diâmetro mínimo das tubulações.

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot V_{eloc}}} \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão máxima do sistema (l/min);
 V_{eloc} = velocidade recomendada (cm/s);
 di = diâmetro interno do tubo (cm);
 0,015 = fator de conversão

O diâmetro obtido (di) é apenas para referência, deve-se compará-lo com uma tabela de fabricante comercial, e utilizar um valor igual ou maior que o obtido pela equação.

2.2.4 Vazão, área e diâmetro de seção para tubulações

Para determinar o valor da vazão volumétrica em orifícios, Stringer (1976), sugere a Equação 4.

$$Q = \frac{5}{8} * A * \sqrt{\frac{2 * (P1 - P2)}{\rho}} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão (cm³/s);
 A = área da seção (cm²);
 P1 = pressão de entrada no orifício (Pa);
 P2 = pressão de saída do orifício (Pa);
 ρ = massa específica do fluido (kg/m³).

Também pode-se trabalhar com a Equação 5 para determinar a área quando se tem a vazão e velocidade (RACINE, 1981):

$$A = \frac{Q}{V_{eloc}} \quad (5)$$

Onde:

Q = vazão (cm³/s);
 A = área da seção (cm²);
 V_{eloc} = velocidade recomendada (cm/s).

Para determinar o diâmetro interno das tubulações, Racine (1981) cita que pode ser utilizar a Equação 6.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (6)$$

Onde:

D = diâmetro interno (cm)

A = área (cm²)

2.3 ESQUEMA GERAL DE UM SISTEMA HIDRÁULICO

Pode-se considerar que todos sistemas hidráulicos são divididos em três partes, conforme citado na Figura 2, porém podem ter muitos tipos de circuitos de acordo com a aplicação (PALMIERI, 1997).

Figura 2 – Esquema de um sistema hidráulico.



Fonte: Palmieri, 1997.

Sistema de geração: Formado pelo reservatório, filtros, bombas, motores, acumuladores, intensificadores de pressão entre outros acessórios.

Sistema de distribuição e controle: Formado por válvulas controladoras de vazão, pressão e direcionais

Sistema de aplicação de energia: Formado por atuadores, que podem ser cilindros, motores hidráulicos e osciladores (PALMIERI, 1997).

Para determinar a potência requerida do sistema gerador, Exner (2003) sugere a Equação 7:

$$P_{ot} = \frac{P * Q}{600 * \eta_{vol} * \eta_{mh}} \quad (7)$$

Onde:

Pot = potência (kW)

P = pressão (bar)

Q = vazão (l/min)

η_{vol} = rendimento volumétrico (0,9 - 0,95)

η_{mh} = rendimento mecânico hidráulico (0,9 - 0,95)

2.3.1 Sistema gerador

Formado pelo reservatório, filtros, bombas, motores, acumuladores, intensificadores de pressão entre outros acessórios (PALMIERI, 1997).

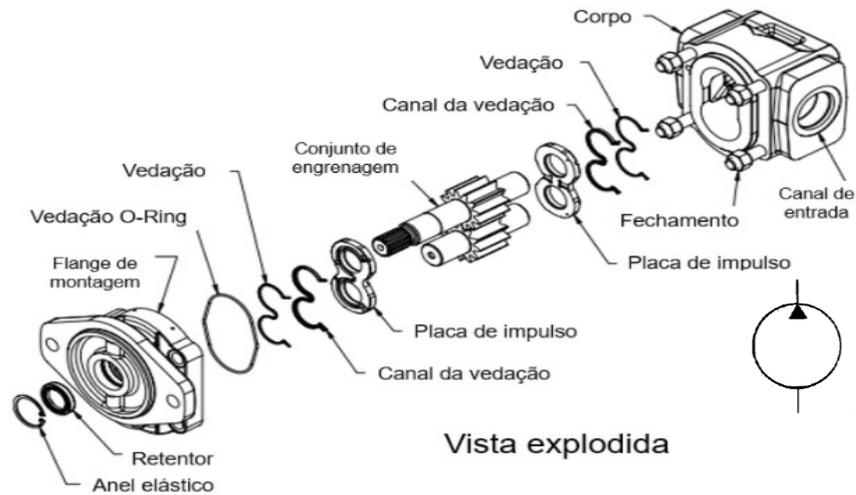
2.3.1.1 Bomba hidráulica

Conforme Palmieri (1997), o componente responsável por gerar vazão dentro do sistema hidráulico, é a bomba, que conseqüentemente é a responsável pelo acionamento dos atuadores. As bombas são utilizadas, então, para converter energia mecânica em hidráulica.

Racine (1981) subdivide as bombas em dois grupos: bombas de deslocamento positivo e não positivo.

- a) Deslocamento não positivo: Este tipo de bomba não é indicado para pressões mais altas, pois sua vazão se torna muito baixa. São normalmente utilizadas para apenas transferência de líquidos, em que a única resistência encontrada é a do próprio peso do líquido ou do atrito gerado nas tubulações ou singularidades como curvas, cotovelos e registros. Este tipo de bomba, não possui uma vedação entre sucção e a descarga, já que não existe um contato direto entre rotor e carcaça, o que causa uma grande quantidade de vazamentos internos e baixa eficiência volumétrica (RACINE, 1981).
- b) Deslocamento positivo: Este tipo de bomba é denominado também de bombas hidrostáticas e pode gerar grandes pressões. A entrada e a saída, são separadas por uma vedação mecânica, assim o volume do fluido que entra, é transferido para a saída e fornecido ao sistema. Proporcionam uma vazão uniforme independente do aumento da pressão, porém podem variar de acordo com as características construtivas da bomba. Essas bombas são aplicadas em circuitos óleo-hidráulicos, já que permitem a transmissão de potência (RACINE, 1981).

Figura 3 – Bomba hidráulica de engrenagem em vista explodida.



Fonte: Adaptado de PARKER, 1999.

Racine (1981) ainda diz que a bomba de engrenagem, Figura 3, é um exemplo de bomba de deslocamento positivo, as duas engrenagens, responsáveis por fazer o bombeamento, são alojadas em uma carcaça sendo que uma delas, a engrenagem motriz, tem um eixo passante, onde é acoplado o motor que gera a rotação na bomba. A outra engrenagem que gera o engrenamento é chamada de conduzida ou movida.

Para determinar a vazão da bomba, Exner (2003), sugere a Equação 8 a partir do deslocamento geométrico:

$$Q = \frac{(V_g * n * \eta_{vol})}{1000} \quad (8)$$

Porém deduzindo-a pode-se chegar até a Equação 9, onde pode-se descobrir o deslocamento geométrico a partir da vazão.

$$V_g = \frac{Q * 1000}{n * \eta_{vol}} \quad (9)$$

Onde:

V_g = deslocamento geométrico ($\text{cm}^3/\text{rotação}$)

Q = vazão em (l/min)

n = rotação de acionamento (RPM)

η_{vol} = rendimento volumétrico (0,9 - 0,95)

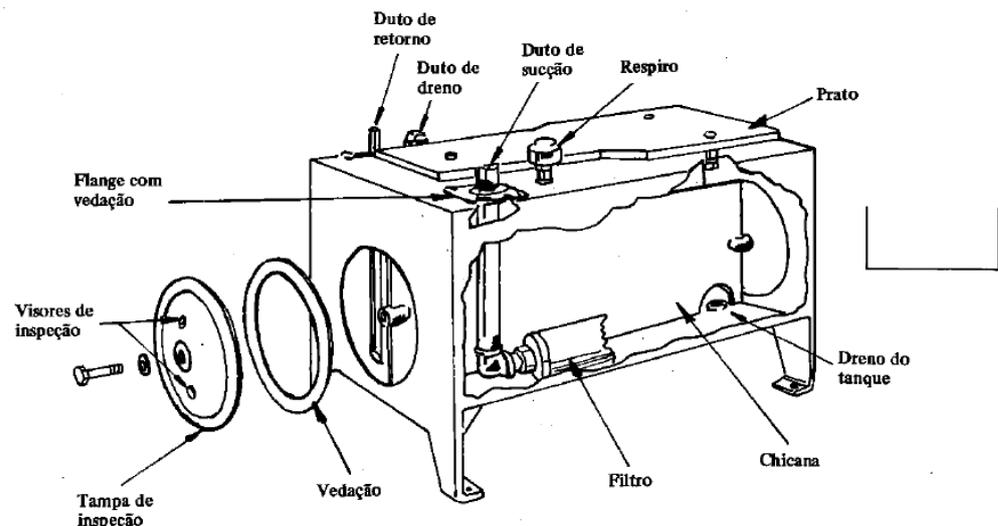
2.3.1.2 Reservatório do fluido hidráulico

O fluido hidráulico, utilizado no sistema, deve ser armazenado de forma que nunca seja insuficiente ou excessivo. Assim, esta necessidade deve ser suprida, tanto

nas necessidades mínimas como máximas, pelo reservatório. Quando se tem o uso máximo do fluido, o nível do reservatório ficará baixo, mas não deve faltar, e o filtro de sucção deverá permanecer mergulhado no óleo, caso contrário ocorrerá a injeção de ar no sistema, já quando se tem o uso mínimo do fluido, o nível estará alto, mas não pode transbordar (RACINE, 1981).

Normalmente o reservatório, representado na Figura 4, é constituído de quatro paredes, linhas de sucção, retorno e drenos, respiro, indicador de nível de óleo, tampa para limpeza e placa defletora (chicana). A chicana ou placa defletora, é uma forma de impedir que o fluido vá direto do retorno para a sucção, criando uma zona de repouso onde as impurezas maiores sedimentam, o as suba até a superfície, e uma melhor condição para que o calor, contido no fluido, seja dissipado para as paredes, fazendo uma troca de calor. As linhas de retorno devem estar abaixo do nível do óleo e ao lado do defletor oposto do duto de sucção (PARKER, 1999).

Figura 4 – Reservatório de fluido hidráulico.



Fonte: RACINE, 1981.

Fialho (2011) comenta sobre uma regra prática para o dimensionamento do reservatório, que é de considerar que o volume do mesmo deve ser igual ou maior a três vezes a vazão que alimenta o sistema, por exemplo, um sistema hidráulico qualquer que possua uma bomba de vazão igual a 20 litros por minuto, o volume mínimo deste reservatório terá que ser 60 litros, então tem-se a Equação 10:

$$V_{\text{reservatório}} = 3 * Q \quad (10)$$

Onde:

$V_{\text{reservatório}}$ = volume (l)

Q = Vazão máxima do sistema (l/min)

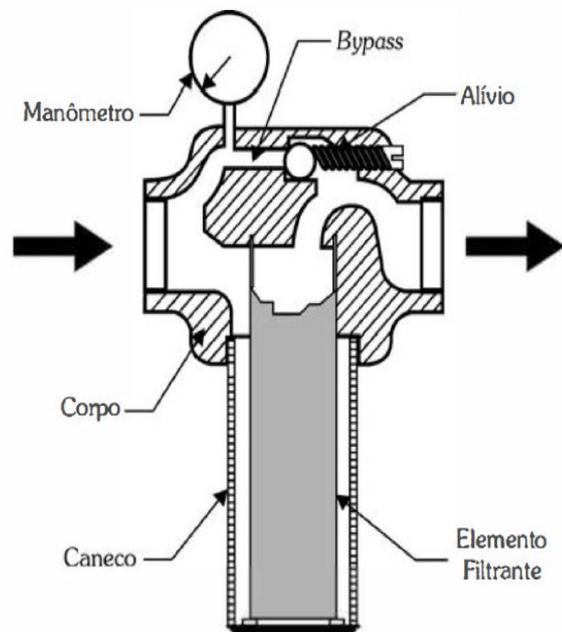
2.3.1.3 Filtros hidráulicos

Segundo Racine (1981), a função do filtro é assegurar o bom funcionamento do circuito mantendo-o livre de impurezas, caso contrário encurta-se sua vida útil.

Basicamente existem dois tipos de filtros, os filtros químicos e os mecânicos. O filtro químico é utilizado em raras situações, quando se deseja uma limpeza absoluta do fluido. Ele nada mais é do que um reator, que gera uma reação química, transformando as substâncias nocivas em água e cloreto de sódio, em seguida fazendo a separação destes, e deixando apenas passar o óleo mineral puro (FIALHO, 2011).

O filtro mecânico é indispensável em todo sistema hidráulico, pois este é diretamente responsável pela sua vida útil. Ele é constituído por uma série de malhas ou poros, que variam de acordo com a sua classificação, se a partícula contaminante for maior que a malha ou poro, ela não consegue passar e fica “presa” no filtro (FIALHO, 2011).

Figura 5 – Filtro com *bypass*.



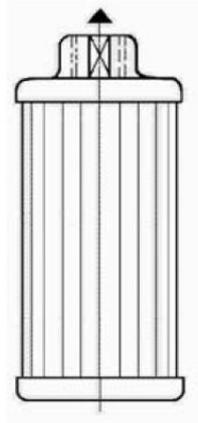
Fonte: FIALHO, 2011.

É comum encontrar incorporado nos filtros, válvula do tipo *bypass*, representado na Figura 5. Uma vez que a pressão é atingida no filtro, esta válvula abre uma passagem livre para o fluido. Ela basicamente serve como segurança para o sistema não entrar em colapso, uma vez que o filtro pode estar bastante sujo restringindo a passagem do fluido (RACINE, 1981).

2.3.1.3.1 Filtro na linha de sucção

Representado na Figura 6, o filtro de sucção se encontra no reservatório, abaixo do nível do fluido, e tem por objetivo impedir de particular indesejáveis sejam sugadas para o sistema. A maior vantagem é que impede que elas atinjam o órgão mais importante do circuito, a bomba (RACINE, 1981).

Figura 6 – Filtro de sucção.

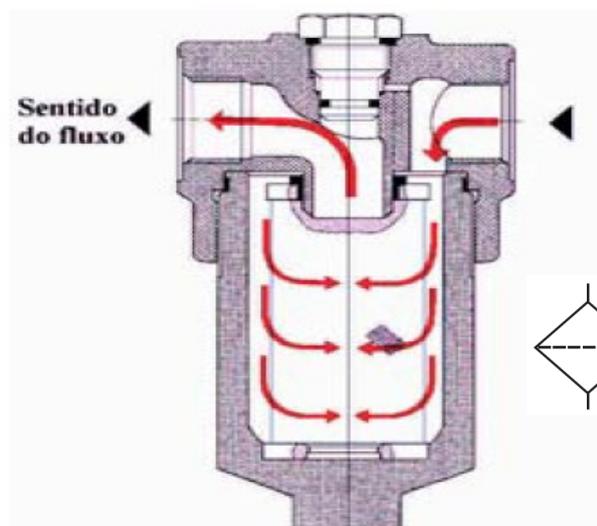


Fonte: SENAI, 2004.

2.3.1.3.2 Filtro na linha de pressão

Como o nome já diz, é instalado na linha de pressão do sistema, utilizado normalmente quando se necessita uma limpeza perfeita do fluido a ser introduzido em um componente importante, apresentado na Figura 7 (RACINE, 1981).

Figura 7 – Filtro de pressão.

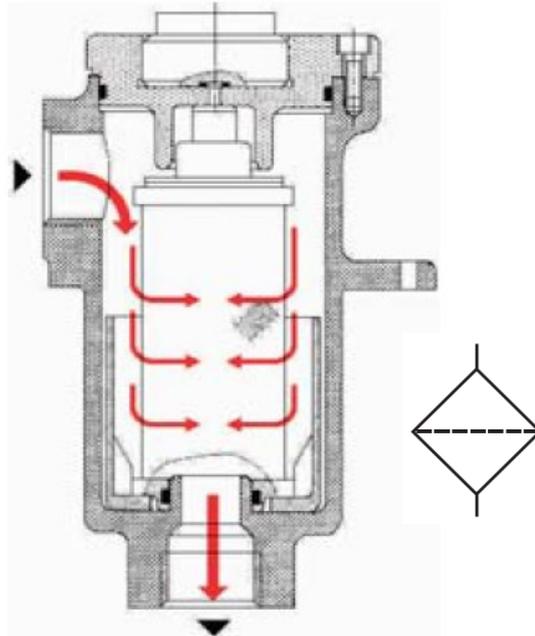


Fonte: SENAI, 2004.

2.3.1.3.3 Filtro na linha de retorno

Responsável por todo o fluido que retorna ao tanque (reservatório), o filtro de retorno, Figura 8, é carregado com as impurezas absorvidas no ciclo do sistema (FIALHO, 2011).

Figura 8 – Filtro de retorno



Fonte: SENAI, 2004.

2.3.2 Sistema de controle

Formado por válvulas controladoras de vazão, pressão e direcionais (PALMIERI, 1997).

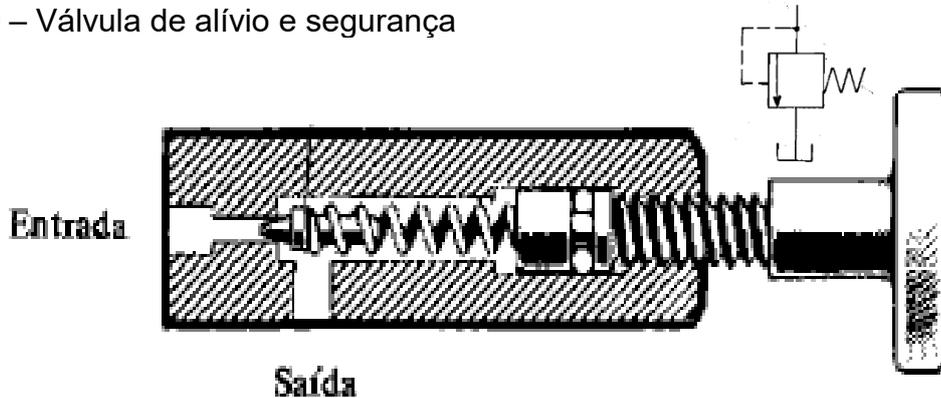
2.3.2.1 Válvulas reguladoras de pressão

A função destas válvulas, é limitar ou determinar a pressão do sistema hidráulico, para um correto funcionamento do equipamento que receberá o fluido. Esta válvula é necessária em qualquer sistema que possuir uma bomba de deslocamento fixo. Por exemplo, quando se tem um cilindro sendo usado, e este chega ao fim de curso, a pressão vai subir até ocorrer alguma quebra no sistema caso tenha a ausência desta válvula. Assim, vê-se que uma reguladora de pressão é decisiva para limitação de pressão neste tipo de circuito (RACINE, 1981).

2.3.2.2 Válvula de alívio de segurança

Conforme Racine (1981), as válvulas de alívio e segurança, Figura 9, possuem basicamente duas funções: proteger o sistema contra sobrecargas, e limitar a pressão no circuito ou parte dele, a uma pré-selecionada.

Figura 9 – Válvula de alívio e segurança



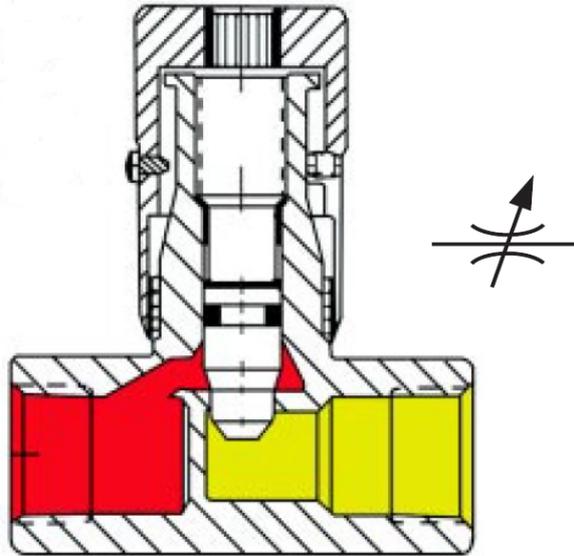
Fonte: RACINE, 1981.

Seu princípio de funcionamento pode ser considerado simples. Conforme a imagem, o fluido chega sob pressão na entrada que está fechada devido a ação da mola, e o fluido continua pelo circuito. Se a pressão subir, o fluido começa a fazer pressão sobre a agulha que está interrompendo a passagem, até um momento que a mola é empurrada e ocorre a passagem do fluido até a saída, voltando para o reservatório, a pressão no qual a válvula começa a abrir, chama-se de “pressão de abertura”. Vê-se assim que quanto maior a pressão, mais comprimida estará a mola e maior será a abertura para passagem do fluido. Observa-se que, mesmo tendo o desvio do fluido, a pressão do sistema permanece constante, pois se ela decrescer até um ponto que a força da mola for maior, imediatamente a agulha será empurrada até fazer o fechamento da passagem (PALMIERI, 1997).

2.3.2.3 Válvulas reguladora de vazão

Racine (1981) diz, que a partir do atuador que está sendo usado no sistema hidráulico, deve-se ajustar o fluxo conforme a necessidade, de forma a se obter o melhor rendimento do sistema. Este ajuste é feito pela válvula reguladora de fluxo ou reguladora de vazão, representada conforme Figura 10. Este tipo de válvula, nos permite uma regulagem simples e rápida da velocidade dos atuadores, através da limitação de vazão de fluido, modificando a velocidade ou rotação do atuador.

Figura 10 – Esquematização de uma válvula reguladora de vazão.



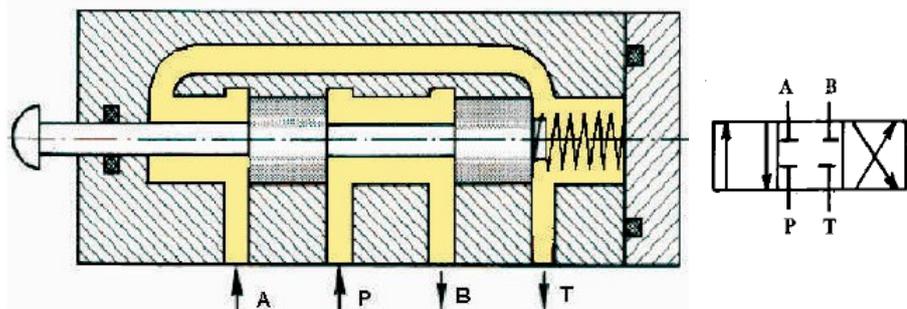
Fonte: PARKER, 1999.

Observa-se que para a mesma área de seção transversal do orifício, quanto maior o diferencial de pressão, maior será a vazão. Nas válvulas reguladoras de fluxo, a área do orifício é o elemento controlável, quanto maior o orifício, maior será a vazão, para um determinado diferencial de pressão. O fluxo também é inversamente proporcional à viscosidade do fluido, ou seja, quanto menor a viscosidade, maior a vazão (RACINE, 1981).

2.3.2.4 Válvula direcional

Parker (1999) diz que as válvulas de controle direcional são compostas por um corpo com passagens internas, que são abertas e fechadas por um componente móvel, as mais comuns são do tipo fabricadas com carretel, conforme Figura 11.

Figura 11 – Válvula direcional com carretel deslizante



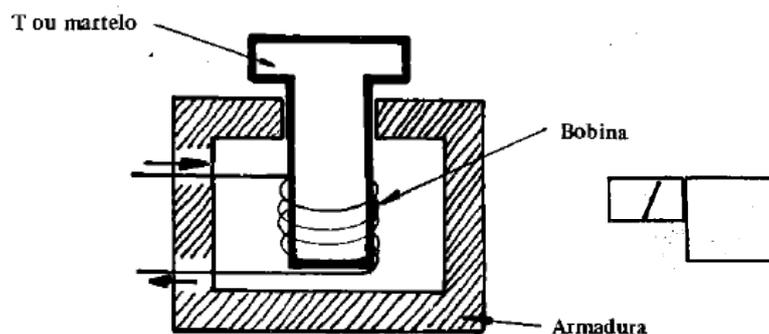
Fonte: SENAI, 2004.

São responsáveis por direcionar o fluido pelo sistema hidráulico, por isso também podem ser chamados de “distribuidores”, possibilitando o acionamento ou inversão de atuadores rotativos, extensão ou retração de atuadores lineares, ou para qualquer outra função em que o fluido deve ser direcionado para algum caminho (FIALHO, 2011).

2.3.2.5 Válvula direcional acionada por solenoide

Um induzido, uma carcaça e uma bobina formam um dispositivo elétrico denominado solenoide, Figura 12. Dentro da carcaça é enrolada a bobina. O carretel fica livre para se movimentar dentro da bobina (PARKER, 1999).

Figura 12 – Esquema do solenoide.



Fonte: RACINE, 1981.

Conforme Parker (1999), é gerado um campo magnético quando passa uma corrente elétrica pela bobina. O magnetismo gerado, atrai o induzido que é empurrado para dentro da bobina. Com este movimento, linear, ele fica em contato com um pino acionador, o que desloca o carretel da válvula solenoide para outra posição, este tipo de conjunto também é denominado de válvula *on/off*.

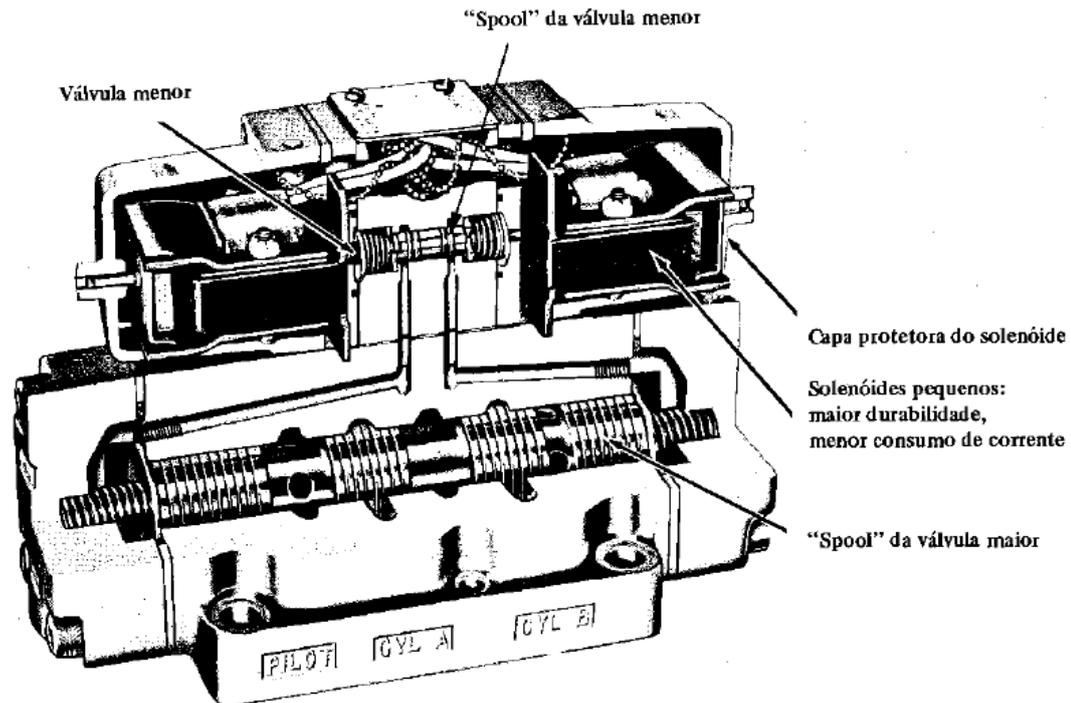
Os solenoides possuem algumas restrições segundo o CEFET-BA (2008), por exemplo, os normais não podem ser usados em ambientes explosivos ou úmidos. Talvez a maior delas seja a de que eles possuem uma força limitada, que muitas vezes não são capazes de desenvolver movimento em carretéis maiores.

2.3.2.6 Solenoides para válvulas maiores

O solenoide, por se tratar de um comando elétrico, facilita muito a automação de circuitos hidráulicos, porém, ela é limitada ao tamanho de válvulas e a força

necessária para a movimentação do carretel, pois até certo ponto isto acaba sendo inviável economicamente, em um caso deste ele não pode ser aplicado diretamente sobre a válvula. Como solução deste problema, Racine (1981) comenta sobre o "sanduíche de válvulas", vista na Figura 13, que nada mais é do que uma válvula solenoide acoplada a outra maior.

Figura 13 – “Sanduíche” de válvulas direcionais



Fonte: RACINE, 1981.

Quando é acionada a válvula menor, que é o próprio solenoide, é liberada uma pressão "piloto" que é transmitida até a válvula maior, assim, o fluido sob essa pressão, acaba causando o acionamento e movimentação do carretel (*spool*) maior (RACINE, 1981).

2.3.2.7 Válvula digital

Válvula digital é o nome usado para definir as válvulas direcionais que usam várias válvulas on/off acionadas por solenoide baratas e robustas, ao contrário das proporcionais que utilizam válvulas frágeis e caras. Conforme Valmet (2016) a hidráulica digital é formada por um conjunto paralelo de válvulas binárias, simples liga/desliga e de ação rápida, cada um de vazão diferente, onde utilizando uma tabela binária, as válvulas são ligadas e desligadas seletivamente, e por fim, as vazões das

válvulas “abertas”, são unidas e combinadas para formar um determinado fluxo. A válvula digital tem inúmeras vantagens em relação à convencional, na Figura 14 pode-se ver algumas.

Figura 14 – Vantagens comprovadas da hidráulica digital em relação à hidráulica convencional.



Fonte: Adaptado de Valmet, 2016.

Em um bloco digital, quanto maior o número de válvulas, maior será a precisão do conjunto, pois tem-se mais opções de variação de vazão. Para o controle das válvulas, a programação binária é feita em um controlador lógico programável. A abertura ou fechamento das mesmas, devem ser rápidas, a mudança de estado deve se dar em fração de segundos (VALMET, 2016).

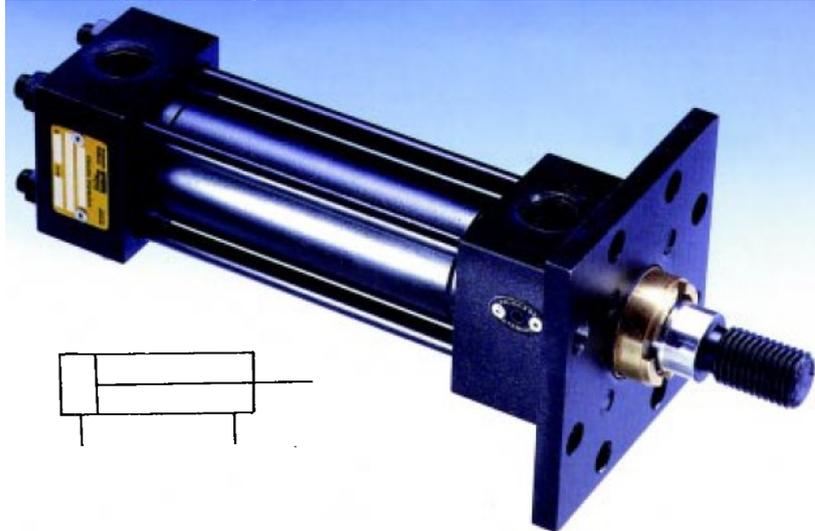
2.3.3 Atuadores

Pode-se chamar de sistema de aplicação de energia, atuadores podem ser os cilindros, motores hidráulicos e osciladores, são eles que recebem a energia hidráulica e transforma-a em mecânica (PALMIERI, 1997).

2.3.3.1 Atuadores lineares

Também conhecido como cilindro hidráulico, sua função é transformar trabalho hidráulico em energia mecânica linear. Representado na Figura 15, basicamente é constituído de uma camisa de cilindro, um pistão móvel de uma haste ligada ao pistão (RACINE, 1981).

Figura 15 – Cilindro de dupla ação.



Fonte: PARKER, 1999.

Durante o movimento, para fora ou para dentro, as guarnições guiam a haste. O lado útil do cilindro, o lado que opera a haste, é denominado de lado dianteiro ou “cabeça do cilindro”, o lado oposto, é o lado traseiro (PARKER, 1999).

2.3.3.2 Atuadores rotativos

A função básica dos atuadores rotativos, é transformar a potência, força ou energia hidráulica, novamente em energia mecânica, neste caso, rotativa, os motores hidráulicos são um exemplo deste tipo de atuador (RACINE, 1981).

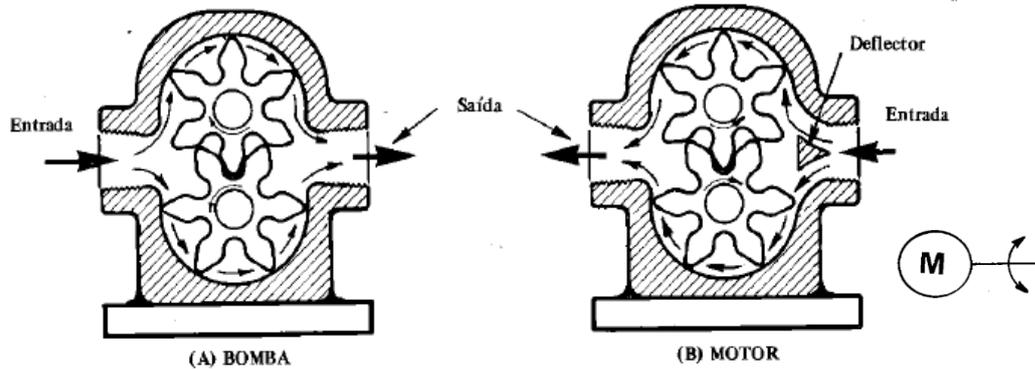
2.3.3.2.1 Motores hidráulicos

Nos motores hidráulicos, a energia hidráulica fornecida é convertida em mecânica, gerando torque e rotação.

Se comparada uma bomba de engrenagem com um motor de engrenagens, pode-se observar na Figura 16, que o princípio de ambos possui as mesmas

características, sendo que a aplicação de uma é o inverso de outra. Existem casos em que o equipamento pode exercer as duas funções, ora operando como bomba e ora como motor (PALMIERI, 1997).

Figura 16 – Comparação entre bomba (A) e motor de engrenagem (B).



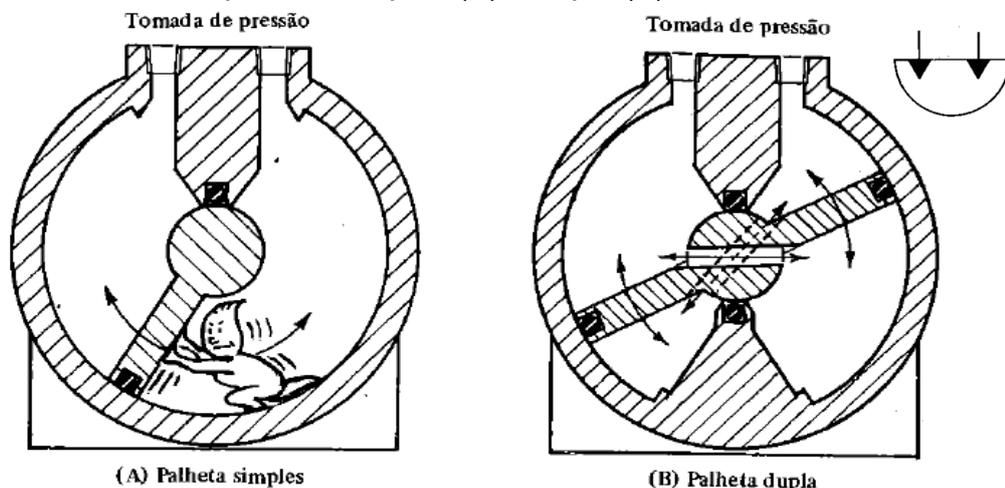
Fonte: RACINE, 1981.

Alguns motores possuem defletores para melhor direcionar o fluido e evitando algum possível torque inicial contrário ao desejado (RACINE, 1981).

2.3.3.2 Osciladores hidráulicos

Os osciladores hidráulicos, mostrado na Figura 17, transformam a energia hidráulica fornecida em rotativa em determinado número de graus. Sua forma construtiva necessita de uma válvula de controle com 4 vias, possuem baixa rotação e alto torque. Pode-se encontrar inúmeros tipos de osciladores, o tipo mais comum são os osciladores de palhetas (RACINE, 1981).

Figura 17 – Oscilador de palheta simples (A) e dupla (B).



Fonte: RACINE, 1981.

Segundo Racine (1981), geralmente os osciladores de palheta simples tem um giro máximo de 280° devido ao espaço utilizado pela tomada de pressão e o separador. Já no de palheta dupla, o giro não passa de 110°.

2.4 INSTRUMENTOS PARA CONTROLE E VERIFICAÇÃO

2.4.1 Manômetro

Para se fazer a medição da pressão do sistema em determinado ponto, utiliza-se o aparelho chamado manômetro, visto na Figura 18, recebe este nome pois a pressão chama-se de pressão manométrica, que é a diferença entre a pressão absoluta ou real e a pressão atmosférica. Aplicado aos casos em que a pressão é superior à pressão atmosférica. Os manômetros são instalados fixamente em um ponto do sistema hidráulico, sempre apresentando a pressão momentânea (FIALHO, 2011).

Figura 18 – Manômetro.



Fonte: WIKA, 2021.

Conforme Racine (1981), a pressão é destinada à parte interna do manômetro e é indicada em termos de unidade de pressão, normalmente em *bar*, *psi* ou *kgf/cm²*. Existem vários modelos no mercado, porém os mais comuns e mais utilizados, são analógicos, com mostrador circular e ponteiro.

2.4.1.1 Pressostato

O pressostato é um componente que limita a pressão máxima e/ou mínima de um sistema (SENAI 2004).

Trata-se de um componente eletro-hidráulico que, quando submetido a uma dada pressão (pressão máxima de regulagem), pode operar de três maneiras distintas:

- a) envia um sinal elétrico para algum ponto do sistema que recebe esse sinal transformando essa energia elétrica em acionamento mecânico (liga);
- b) deixa de enviar um sinal elétrico que antes vinha sendo feito (desliga);
- c) deixa de enviar um sinal elétrico e envia um sinal elétrico para outro ponto (desliga-liga).

Uma vez que isso ocorre, o pressostato permanece nessa posição até que aquela pressão que o acionou caia para um valor menor (pressão mínima de regulagem), quando, então, o pressostato retornará à posição original, até que o ciclo se repita RACINE (1981).

Figura 19 – Pressostatos.



Fonte: DANFOSS, 2021.

Os pressostatos, Figura 19, podem ser ligados em controladoras eletrônicas, enviando sinal de medições para um programa de controle e armazenamento de dados.

2.4.1.2 Pressão manométrica

Pressão manométrica, para Fialho (2011), é a diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica. Normalmente são utilizados aparelhos chamados

de manômetros para fazer a medição da pressão. Como o fluido está confinado em uma galeria, exercendo pressão contra as paredes, é possível se calcular a força para manter o equilíbrio do sistema, ou então a força que é exercida contra as paredes. Para o cálculo existe a Equação 11.

$$F = P * A \quad (11)$$

Onde:

F = força (N)
 P = pressão (MPa)
 A = área (mm²)

2.4.1.3 Força elástica

Conforme Halliday (2008), conhecida também como a “Lei de Hooke”, a força elástica ou força restauradora de uma mola, é dada pela Equação 12.

$$F = k * x \quad (12)$$

Onde:

F = força (N)
 k = constante elástica da mola (N/mm)
 x = deslocamento (mm)

A constante (k) chamada de constante elástica é uma medida de rigidez da mola, quanto maior o valor de “k” mais rígida é a mola, ou seja, maior é a força exercida pela mola em um dado deslocamento.

2.4.2 Medidores de rotação

2.4.2.1 Tacômetro

É um instrumento de medição, utilizado para medir rotações ou quantidade de voltas de um determinado eixo, normalmente indicando em revoluções por minuto. São compostos por um sistema de leitura, que pode ser por contato ou óptico, e um mostrador (SALCAS, 2015).

Figura 20 – Tacômetro.



Fonte: MINIPA, 2021.

O tacômetro, Figura 20, é um instrumento manual, não é fixo no sistema, é utilizado em momentos que se deseja medir alguma rotação. O instrumento também pode receber outros nomes como taquímetro, conta-rotações, conta voltas ou conta-giros (INSTRUSUL, 2018).

2.4.2.2 Sensor indutivo

Pensando em um sistema com mais automação, pode-se encaixar os sensores indutivos, mostrado na Figura 21, para medir rotações, estes possuem uma capacidade de detectar objetos metálicos por aproximação (CITISYSTEMS, 2021).

Figura 21 – Sensor indutivo.



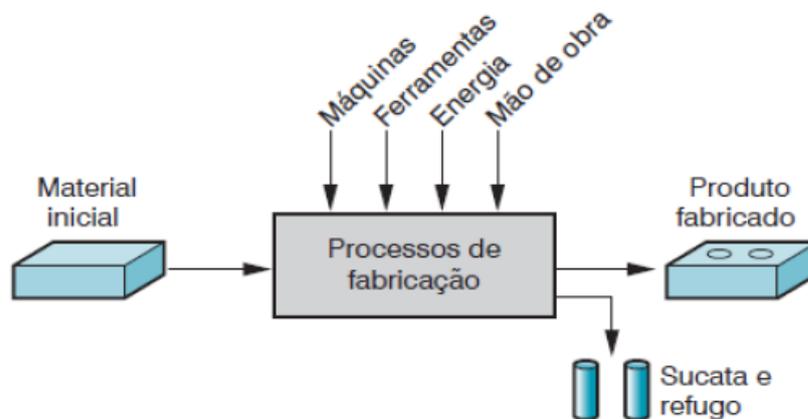
Fonte: FESTO, 2021.

Seu princípio de funcionamento se dá a partir de um campo eletromagnético criado a partir da aproximação de um objeto metálico, este campo gera mudanças no sistema elétrico do sensor, enviando um sinal para o controlador do sistema (CITISYSTEMS, 2021).

2.5 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO OU MANUFATURA

Conforme Groover (2014), desde a pré-história, a construção de objetos é essencial para a civilização humana. Esta fabricação pode-se chamar de manufatura. Manufatura é a aplicação de processos físicos e químicos que modificam a geometria, aparência e/ou propriedades de um material, com a finalidade de produzir peças ou produtos. Envolve-se no processo de fabricação, uma combinação de máquinas, ferramentas, mão de obra e energia, conforme apresenta a Figura 22.

Figura 22 – Forma de manufatura.



Fonte: Adaptado de GROOVER, 2014.

O processo de fabricação é quase sempre ligado como uma sequência de operações. O material é conduzido conforme cada operação é realizada, até chegar ao objeto final. Falando em termos econômicos, pode-se definir manufatura pela transformação da matéria-prima em itens de maior valor agregado, devido aos processos que a ela foram aplicados (GROOVER, 2014).

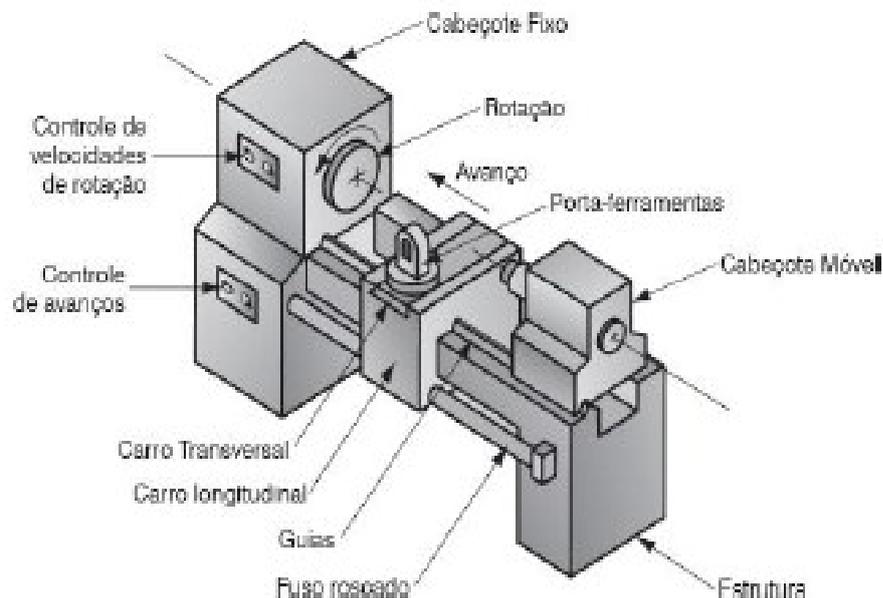
2.5.1 Usinagem

Segundo Groover (2014), pode-se definir usinagem, como processo que possui remoção de material, causando mudança de forma, obtendo-se a geometria final desejada pela remoção do excesso de material de uma peça inicial. A usinagem convencional é o ramo mais importante dessa família, no qual utiliza-se uma ferramenta afiada de corte para retirar mecanicamente o material e se obter a geometria desejada. Os principais processos de usinagem são o torneamento, furação e fresamento.

2.5.1.1 Torneamento

No processo de usinagem por torneamento, uma ferramenta monocortante remove material da superfície da peça que gira. O avanço linear da ferramenta, em uma direção paralela ao eixo de rotação, gera uma geometria cilíndrica. Para este processo, é utilizada uma máquina-ferramenta, denominada torno, que permite torner a peça a uma determinada velocidade de rotação, também avançar a ferramenta na velocidade e profundidade de corte especificadas (GROOVER, 2014).

Figura 23 – Diagrama de um torno mecânico indicando seus principais componentes.



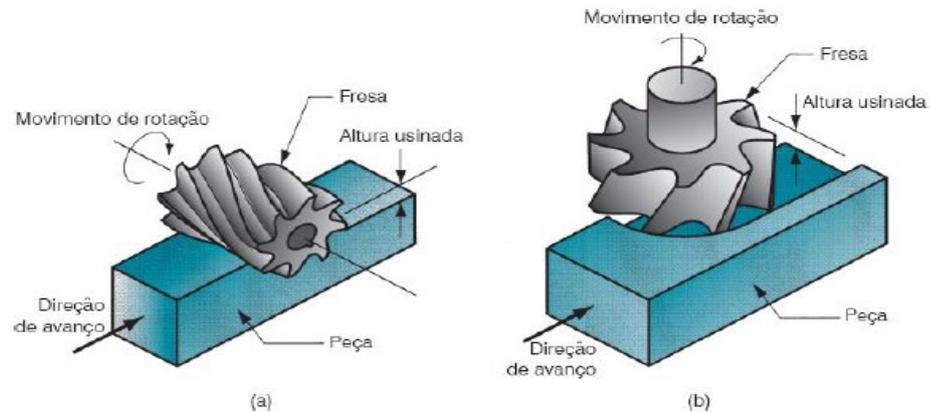
Fonte: Groover, 2014.

O torno mecânico, Figura 23, é o equipamento básico utilizado para torneamento e operações similares. Máquina-ferramenta operada manualmente, versátil e muito utilizado em produções de pequena e média escala (GROOVER, 2014).

2.5.1.2 Fresamento

Operação de usinagem onde o material é removido por uma ferramenta giratória denominada “fresa”, de várias arestas de corte, representada na Figura 24. Cada aresta remove uma pequena parcela de material em cada revolução do eixo onde a ferramenta está fixada (CHIAVERINI, 1986).

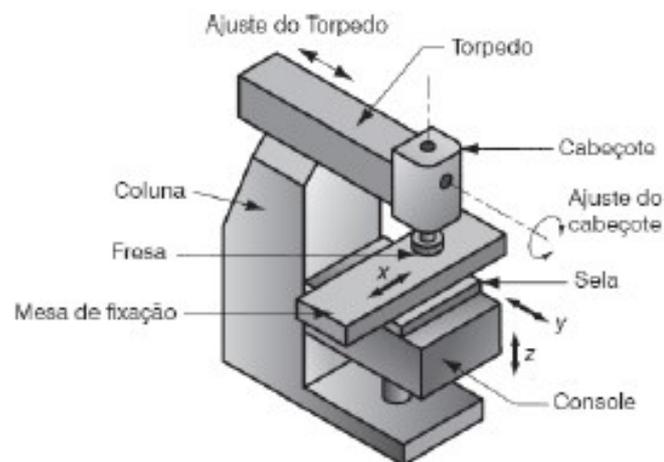
Figura 24 – Dois tipos básicos de fresamento: (a) fresamento periférico e (b) fresamento frontal.



Fonte: Groover, 2014.

A direção de avanço é perpendicular ao eixo de rotação da ferramenta. Esta diferença de orientação entre os eixos é o que distingue o fresamento da furação, pois na furação, a ferramenta de corte avança na direção paralela ao seu eixo de rotação. A máquina-ferramenta convencional que realiza a operação de fresamento é uma fresadora, representada na Figura 25 (GROOVER, 2014).

Figura 25 – Fresadora ferramenta e indicação dos seus componentes.



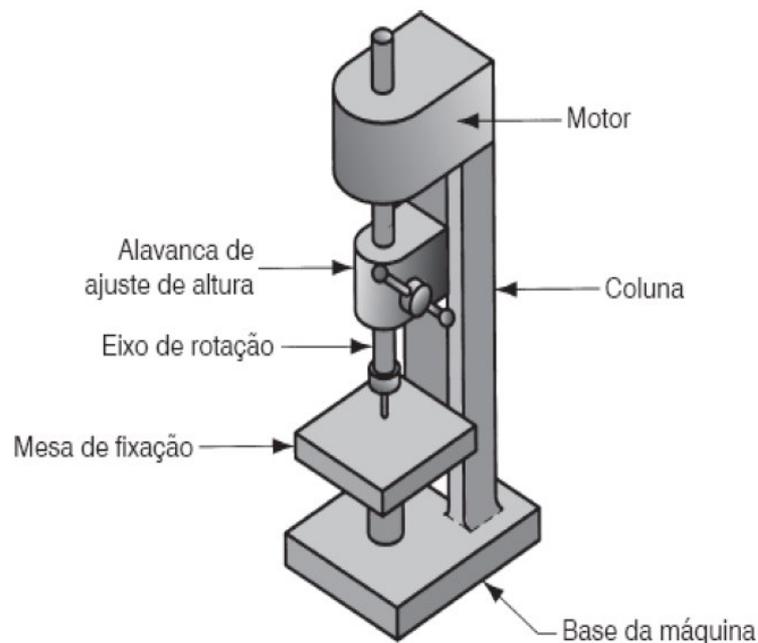
Fonte: Groover, 2014.

Ainda segundo Groover (2014), várias formas geométricas podem ser criadas pela trajetória da ferramenta pela geometria da ferramenta de corte. Porém a forma geométrica mais criada pelo fresamento é a superfície plana. O fresamento é uma das operações de usinagem mais versáteis e mais utilizadas devido à grande variedade de formas possíveis e às suas altas taxas de produção.

2.5.1.3 Furação

Para Groover (2014), o processo de usinagem realizado para criar um furo circular em uma peça é a furação. A ferramenta utilizada para o processo é a broca, uma ferramenta cilíndrica, rotativa, normalmente helicoidal, que possui duas arestas cortantes na extremidade oposta à que é fixada na máquina. A broca gira e avança em direção à peça, que está parada, a fim de realizar um orifício que será igual ao diâmetro da broca. Habitualmente o processo é realizado em uma máquina denominada furadeira, Figura 26, mas também pode ser realizada em outras máquinas, como por exemplo, no torno mecânico.

Figura 26 – Furadeira de coluna.



Fonte: Groover, 2014.

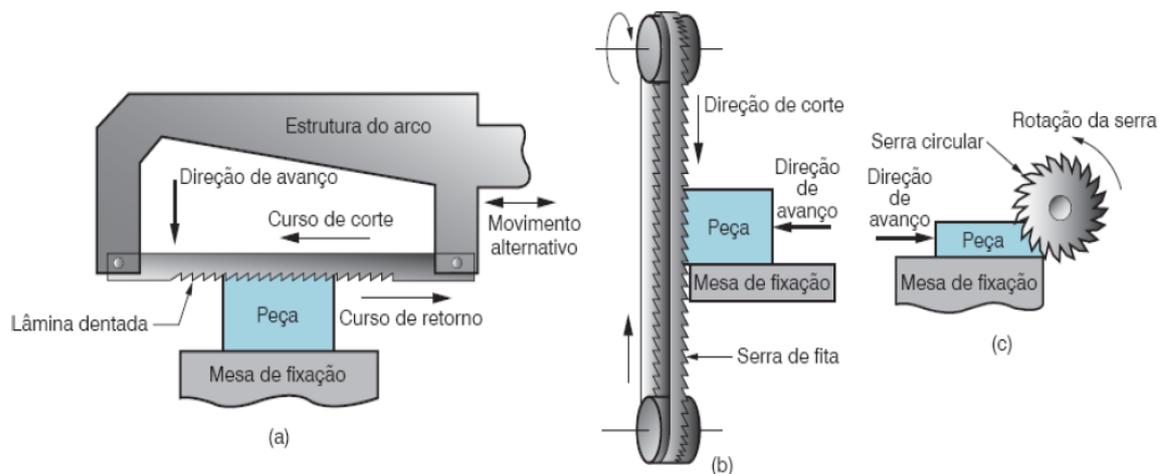
Existem vários tipos de furadeiras, na indústria, os mais básicos são a furadeira de coluna e a furadeira de bancada. A de coluna é fixada diretamente no piso e é maior, enquanto a de bancada é fixa em uma bancada. Elas possuem uma mesa, para fixação das peças, coluna de apoio, base e um cabeçote onde é fixada a broca e é fornecida a rotação (GROOVER, 2014).

2.5.1.4 Serramento

Normalmente, em um processo de fabricação, a matéria-prima é recebida em tamanhos maiores do que a necessidade da peça a se fabricar, em barras, por

exemplo, e uma das funções preliminares a serem realizadas é o corte no tamanho da necessidade. Na maioria dos casos, desconsideram aços planos (chapas), este corte é realizado pelas denominadas máquinas de serrar e as ferramentas correspondentes são as serras. Pode-se assimilar as serras com as fresas, por possuírem uma sucessão ordenadas de dentes (CHIAVERINI, 1986).

Figura 27 – Máquina de serrar alternativa (a), máquina de serra fita vertical (b), máquinas de serras circulares (c).



Fonte: Groover, 2014.

Ainda conforme Chiaverini (1986), de modo geral, o corte é realizado a frio, existem vários tipos de máquinas de serrar, conforme Figura 27, basicamente podem ser classificadas em:

- Máquina de serrar alternativa: são as mais comuns, as serras são em forma de lâminas, e possuem o movimento de vai e vem da ferramenta;
- Máquinas de serrar circulares (disco): as ferramentas são em forma de disco, podendo serem consideradas como fresas de pequena espessura, se comparada com o diâmetro;
- Máquina de serrar de fita: a ferramenta, a serra, é em forma de uma fita ou lâmina de pequena espessura, normalmente variam de 0,8 a 1mm, elas são contínuas e de circuito fechado. A fita gira em cima de duas rodas, volantes, sob tensão e guiada por roldanas, podendo ser na vertical ou horizontal. A velocidade de corte deste tipo é muito superior aos outros dois tipos e é o modelo mais usado nas indústrias do ramo metalomecânico.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tratará dos métodos e técnicas utilizadas na elaboração do estudo para o desenvolvimento do bloco hidráulico digital em alumínio. Todo projeto ou estudo é baseado em algum método. Segundo Gil (2002), o método científico é formado por vários elementos intelectuais e técnicos que são utilizados para que seja possível gerar conhecimento. Mas, para que o conhecimento seja caracterizado como científico, é preciso definir o método que possibilitou chegar ao conhecimento.

Serão apresentados, o tipo de pesquisa, materiais e métodos, projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, fluxo de desenvolvimento e os recursos necessários.

3.1 TIPO DE PESQUISA

De acordo com Lakatos e Marconi (1987), a definição de pesquisa, pode ser considerada como, “procedimento formal com método de pensamento reflexivo que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para se conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais”. As principais etapas que uma pesquisa possui, são: definição de um tema, definição do problema de pesquisa, especificações dos objetivos gerais e específicos, justificativa do fator de motivação que originou determinada pesquisa, pesquisas, definição da metodologia, coleta de dados, análise, comparação e discussão dos dados, resultados e conclusões.

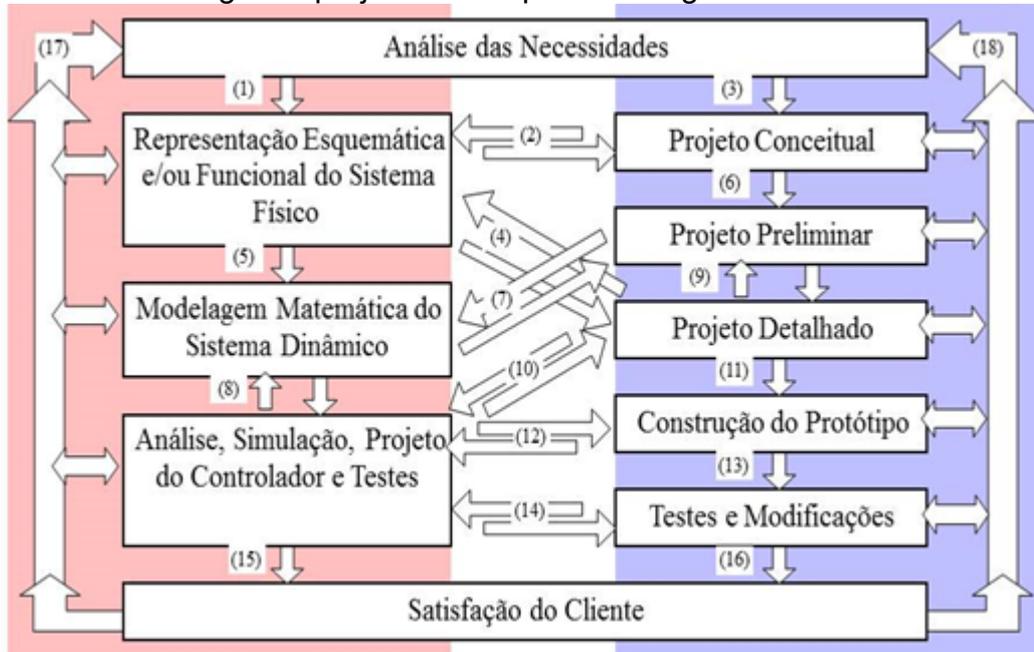
Segundo Gil (2017) as pesquisas podem ser classificadas em três tipos quanto aos seus objetivos, que são: descritiva, explicativa e exploratória. A pesquisa utilizada neste projeto classifica-se como bibliográfica e exploratória, que, de acordo com Gil (2002), “tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema”, buscando resultados e respostas por meio de pesquisas em livros, dissertações, teses, entre outros.

A forma de abordagem de pesquisa do trabalho, classifica-se em: qualitativa, pois é analisado o desenvolvimento de uma válvula digital constituída por válvulas direcionais, onde o mesmo não necessita de pesquisa por quantidade, o que define a pesquisa como sendo qualitativa.

Portanto, através dos tipos de pesquisa apresentados, denomina-se como sendo de característica qualitativa, de caráter bibliográfico e exploratório.

Para a elaboração do presente trabalho, seguindo as teses de Valdiero e Thesing (2016), foi desenvolvida a metodologia de projeto do produto, conciliando as fases do projeto de acordo com as fases da Figura 28.

Figura 28 – Metodologia de projeto de máquinas inteligentes.



Fonte: Valdiero e Thesing, 2016.

A pesquisa foi trabalhada com foco no projeto conceitual, preliminar e detalhado.

3.2 PROJETO CONCEITUAL

Segundo Amaral (2006), o projeto conceitual relaciona-se com a busca, criação, representação e seleção de informações para a resolução da problemática levantada.

O projeto pode ser considerado um bloco digital, composta por várias válvulas direcionais todas interligadas e acionada por solenoides. O sistema possui três partes principais, onde cita-se a tampa de entrada, os blocos centrais e a tampa de saída.

Na tampa de entrada tem-se a entrada do fluido, a regulagem da pressão piloto e da pressão de entrada no orifício, assim como, os pontos para medição de algumas das pressões. Nos blocos, tem-se os orifícios calibrados que permitirão a vazão diferente entre cada um dos blocos e a solenoide de acionamento do carretel através da pressão piloto. Na tampa de saída tem-se as conexões de retorno e de

entrada para o motor hidráulico, assim como algumas conexões para medição das pressões.

3.3 PROJETO PRELIMINAR

Dá-se destaque no desenvolvimento e apresentação do esquema hidráulico do sistema, bem como a descrição do seu funcionamento. Também se trabalha no dimensionamento e modelagem das partes e conjunto. Explica-se o funcionamento das tampas de entrada e saída, e dos blocos centrais, que possuem os componentes com furos calibrados e que também tem seus diâmetros dimensionados, com suas devidas vazões. Apresenta-se ainda o memorial de cálculos para as tubulações necessárias, os carretéis e as forças das molas. Também como parte da validação das partes, considera-se uma simulação computacional, simulando a pressão nas galerias, onde chega-se até as tensões resultantes.

3.4 PROJETO DETALHADO

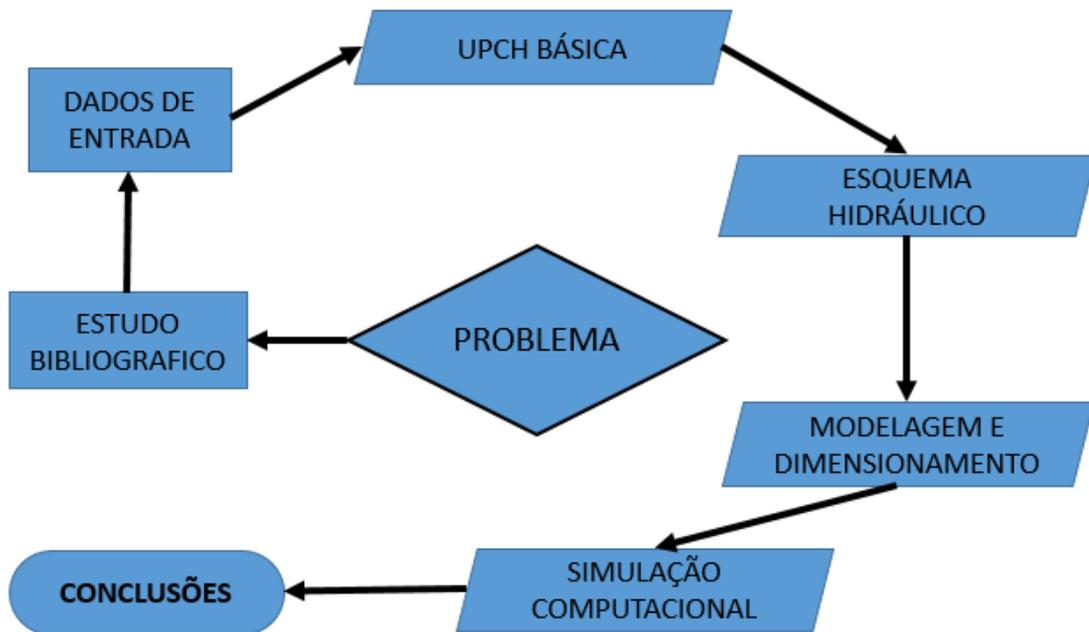
O projeto detalhado tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto, para que possa então ser encaminhada para outras fases de desenvolvimento e à manufatura (AMARAL, 2006).

Apresenta-se os processos de fabricação das partes, onde foca-se em utilizar apenas os processos convencionais de usinagem, o que facilita a manufatura dos mesmos, os detalhes do projeto dão-se descritos durante o desenvolvimento do mesmo, com os desenhos 2D apresentados junto aos apêndices.

3.5 FLUXO DE DESENVOLVIMENTO

Criou-se um fluxo de trabalho, apresentado na Figura 29, que será seguido durante o desenvolvimento do projeto. O objetivo do mesmo é ter uma linha de raciocínio, facilitando a chegada até os resultados.

Figura 29 – Fluxo de trabalho.



Fonte: O Autor, 2021.

Partindo do problema inicial, inicia-se um estudo bibliográfico, para se identificar o que já foi abordado sobre o assunto por outros autores. A partir disto define-se nossos dados de entrada, que são os nossos requisitos de projeto. Após fez-se o dimensionamento básico da UPCH necessária para suportar os requisitos da nossa válvula. É desenhado o esquema hidráulico conforme as necessidades. Baseado no esquema hidráulico, inicia-se a modelagem do conjunto juntamente com o dimensionamento das partes. Com a modelagem finalizada, simula-se as pressões nos corpos principais, ou seja, na tampa de entrada, bloco centrais e tampa de saída. Realizando-se todas as atividades descritas, pode-se tirar as conclusões sobre o tal projeto.

3.6 RECURSOS NECESSÁRIOS

Esta seção do presente trabalho busca informar todos os recursos físicos que foram essenciais para realização deste trabalho, onde pode-se citar os livros físicos e digitais, e também documentações e publicações técnicas no meio eletrônico. Também foi necessário a utilização de softwares, onde se encaixa o Pacote Office da Microsoft e o CAD *Solidworks*.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 DADOS DE ENTRADA

Como dados de entrada foi considerado que a vazão máxima na saída da válvula deve ser de 20l/min, também deve-se ter uma entrada com regulagem de pressões, a válvula trabalhará com duas pressões, uma pressão piloto de 6 bar e a pressão de trabalho de 70bar.

4.2 FLUIDO HIDRÁULICO

É necessário definir o tipo de fluido hidráulico que será utilizado no projeto, pois o mesmo possui algumas especificações que diferenciam os variados tipos existentes. O selecionado foi o LUBRAX HYDRA 68 da fabricante PETROBRAS. De acordo com a própria Petrobras (2021), este óleo é fabricado com óleos básicos parafínicos e aditivos especiais que evitam corrosão e a formação de espuma. Indicado também para sistemas que operam em condições severas de pressão e temperatura. Também está disponível, além do 68, nos graus ISO 32, 46, 100, 150 e 320. O Lubrax Hydra 68 possui uma viscosidade em temperatura de 40°C de 64,5 cSt e uma densidade de 883 kg/m³, conforme Anexo A.

4.3 UPCH-UNIDADE DE POTÊNCIA E CONDICIONAMENTO HIDRÁULICO

Nesta fase de dimensionamento, buscou-se determinar os componentes básicos da UPCH para ela suportar o bloco de válvulas a ser utilizado.

4.3.1 Dimensionamento da potência do motor elétrico

Tem-se como objetivo da válvula digital, um controle de rotação de um motor hidráulico, selecionado o motor OMM 50 da DANFOSS, que possui as características contidas no Anexo B. Conforme a nossa válvula possui vazão máxima de 20l/min, também precisa-se de uma bomba hidráulica que forneça esta vazão, foi-se considerado 30% a mais de vazão para o dimensionamento, então tem-se uma necessidade de vazão de 26l/min. Utilizando a Equação (7) pode-se determinar a potência requerida para o motor elétrico da unidade de potência hidráulica.

$$P_{ot} = \frac{P * Q}{600 * \eta_{vol} * \eta_{mh}}$$

$$P_{ot} = \frac{170 * 26}{600 * 0,9 * 0,9}$$

$$P_{ot} = 9,09kW (12,19 HP)$$

Conforme motores da fabricante WEG, apresentados no Anexo C, seleciona-se o motor W22 IR3 Premium de 9 polos, com potência de 12,5 HP (9,2kW), carcaça 160M e rotação de 1170 RPM. Como a potência foi alterado para mais, tem-se um aumento da vazão, adequando a Equação (7), pode-se descobrir a nova vazão:

$$P_{ot} = \frac{P * Q}{600 * \eta_{vol} * \eta_{mh}}$$

$$Q = \frac{P_{ot} * 600 * \eta_{vol} * \eta_{mh}}{P}$$

$$Q = \frac{9,2 * 600 * 0,9 * 0,9}{170}$$

$$Q = 26,3 l/min$$

Assim este motor foi aprovado e aceito para este sistema hidráulico, com capacidade para uma vazão de 26,3 l/min.

4.3.2 Dimensionamento do deslocamento volumétrico da bomba

Possuindo a vazão gerada e a rotação do motor elétrico, pode-se definir a bomba hidráulica, apenas precisa-se descobrir o deslocamento geométrico necessário, para isto utiliza-se a Equação (9):

$$V_g = \frac{Q * 1000}{n * \eta_{vol}}$$

$$V_g = \frac{26,3 * 1000}{1170 * 0,9}$$

$$V_g = 24,98 cm^3/rot$$

Conforme calculado, chega-se em um deslocamento de 24,98cm³/rotação. Verificando o Anexo D da fabricante DANFOSS, encontra-se a bomba hidráulica SNP2NN tamanho de “025”, que possui um deslocamento volumétrico de 25,2cm³/rev,

em rotação de 1170 RPM gera a vazão de 29484cm³/min (29,484l/min), e pico de pressão de 175 bar, o que nos valida esta bomba para o projeto.

4.3.3 Seleção do filtro de sucção

Como o sistema é relativamente curto, optou-se por utilizar apenas filtro de sucção. O filtro selecionado foi da marca HDA, modelo FTS080 com vazão máxima de 90l/min, conforme especificações no Anexo E.

4.3.4 Dimensionamento do reservatório

Para determinar o volume do reservatório utiliza-se a Equação (10). Possui-se uma vazão máxima de 29,484 l/min, substituindo na equação:

$$V_{reservatório} = 3 * Q$$

$$V_{reservatório} = 3 * 29,484$$

$$V_{reservatório} = 88,452 \text{ litros}$$

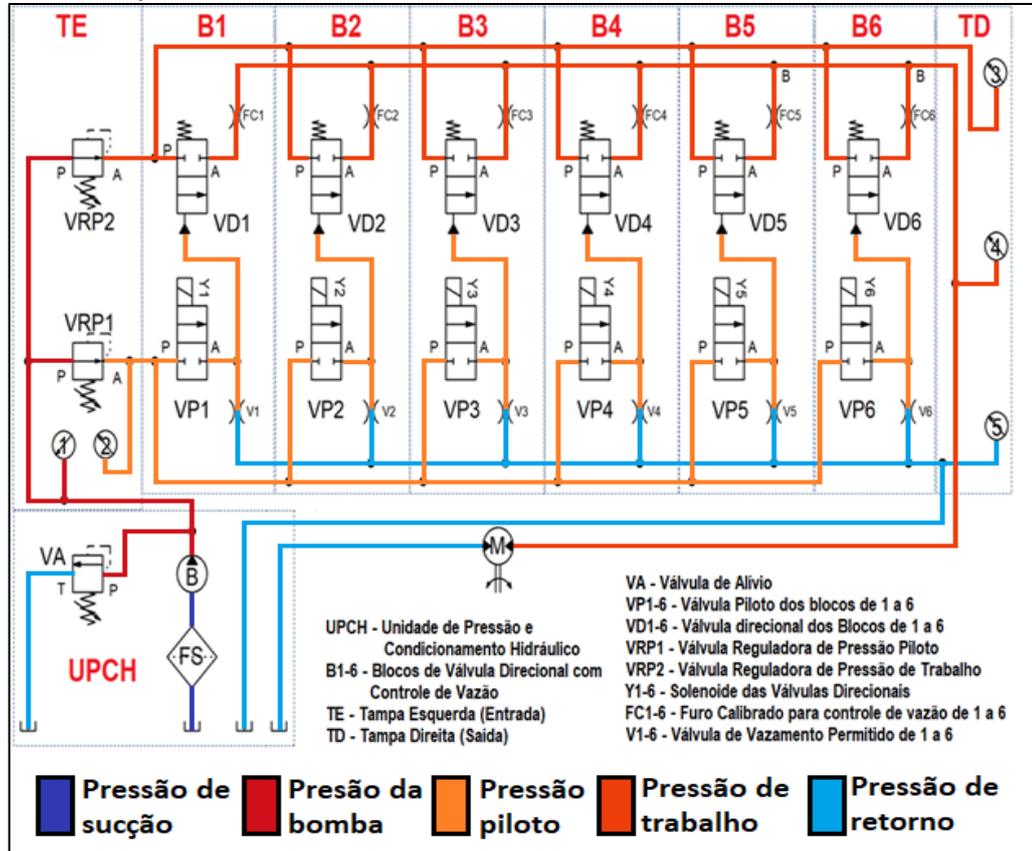
Conforme calculado, o reservatório da UPCH deve possuir no mínimo um volume interno de 88,452 litros.

4.4 ESQUEMA HIDRÁULICO

A Figura 30 demonstra o esquema hidráulico desenvolvido. O fluido hidráulico é succionado do reservatório pela bomba hidráulica (B) da Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico (UPCH) através do filtro de sucção (FS). A bomba envia o óleo para a válvula de alívio (VA) que somente irá abrir deixando a passagem do fluido para o reservatório quando a pressão do sistema atingir a pressão máxima estabelecida no sistema. Estando a (VA) fechada, o fluido é direcionado para as válvulas reguladoras de pressão do piloto (VRP1) e de trabalho (VRP2) regulando a pressão após as válvulas em 6 bar e 70 bar respectivamente. Quando as solenoides (Y1-6) dos blocos são acionadas, a força eletromagnética irá puxar o carretel (VP1-6) e haverá a passagem liberada da pressão piloto de 6 bar para empurrar o carretel

(VD1-6) em cada bloco onde a solenoide foi acionada, liberando a pressão de trabalho (70 bar) para os furos calibrados (FC1-6) de cada bloco, permitindo que cada bloco na sequência tenha uma vazão o dobro da anterior, permitindo a combinação de 64 regulagens de vazão diferentes entre 0 l/min (todas as solenoides desligadas) até 20 l/min (todas as solenoides ligadas). Estas vazões, de cada uma das válvulas (VD1-6), irão movimentar o motor hidráulico (M) permitindo uma variação de rotação entre 0 e 400 rpm. Cada bloco de válvula possui um vazamento controlado (V1-6) com a finalidade de proporcionar o retorno, acionado por mola, do carretel das válvulas (VD1-6) quando os solenoides são desligados. O manômetro (1) registra a pressão do sistema da UPCH de até 170 bar regulada pela válvula de alívio do sistema (VA), enquanto o manômetro (2) registra a pressão piloto (6bar) que estará acionando os carretéis (VD1-6), ambos instalados na tampa esquerda. O manômetro (3) estará registrando a pressão de trabalho após a (VRP2) em torno de 70 bar, o manômetro (4) registra a pressão localizada na saída dos blocos na direção do motor hidráulico e o manômetro (5) registra a pressão de retorno do óleo ao reservatório.

Figura 30 – Esquema hidráulico da válvula.



Fonte: O Autor, 2021.

O componente (TE) identifica a tampa esquerda, ou tampa de entrada, dos itens (B1) até o (B6) tem-se os blocos centrais, e de fechamento a (TD) que simboliza a tampa direita ou tampa de saída.

4.5 DETALHAMENTO

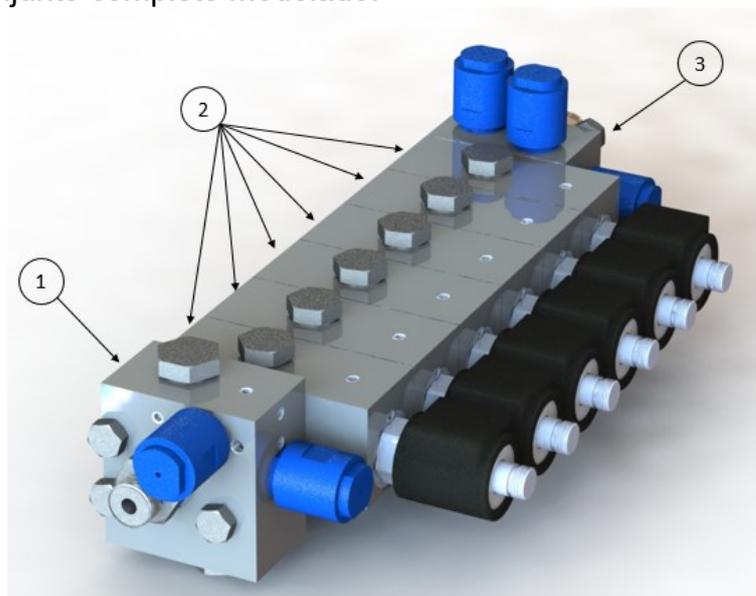
4.5.1 Material de construção

Definiu-se a utilização do alumínio para construção, mais específico o alumínio 6351-T6, que possui silício e magnésio em sua composição, devido ter alta resistência à corrosão e sua fácil usinabilidade, e mesmo assim ainda possuindo uma boa resistência mecânica conforme Anexo F, além de ser um metal leve e bonito. O alumínio vem amplamente sendo utilizado em construções mecânicas, segundo a AÇOS NOBRES (2021) é um dos metais mais utilizados no mundo.

4.5.2 Conjunto montado

A Figura 31 apresenta a solução modelada em 3D, o conjunto completo montado com todos os componentes. Toda a modelagem foi feita utilizando o software de CAD *Solidworks*.

Figura 31 – Conjunto completo modelado.



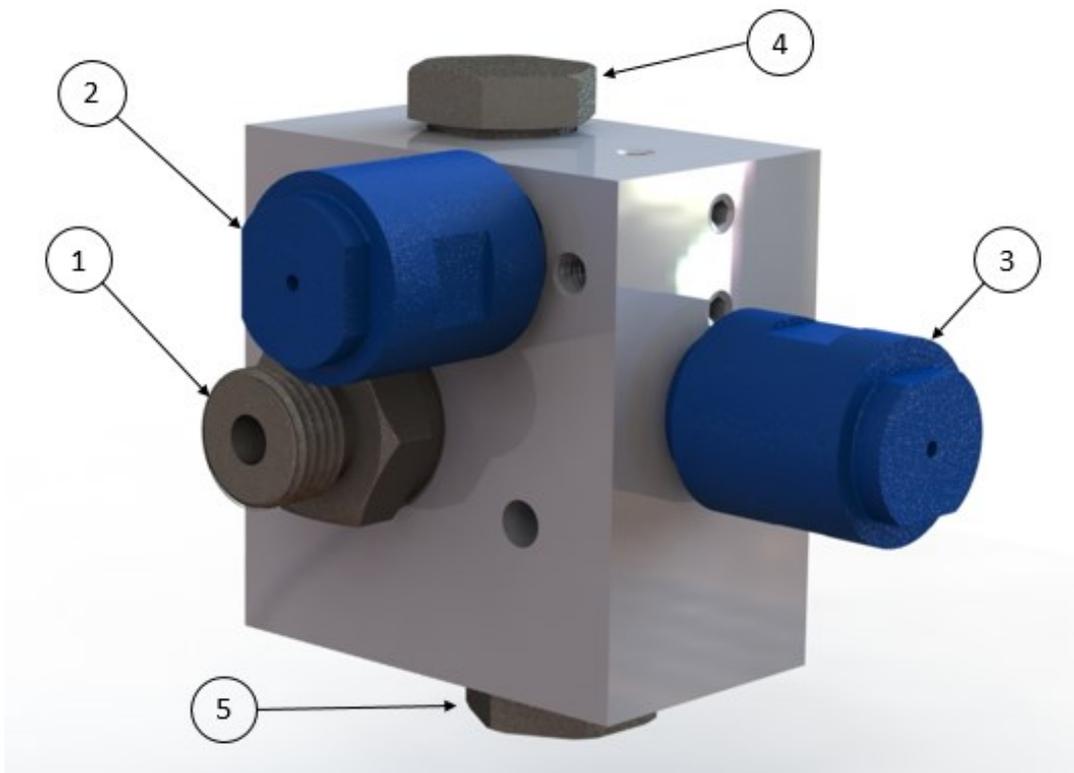
Fonte: O Autor, 2021

Apontado na imagem tem-se a tampa de entrada (TE) indicada pelo (1), no item (2) tem-se os 06 blocos (B1-6) montados e como fechamento a tampa de saída (TD) indicado no item (3).

4.5.3 Tampa de entrada

A tampa de entrada é o componente inicial do conjunto completo da válvula, ela que receberá o fluido da unidade hidráulica conforme a pressão regulada pela válvula de alívio.

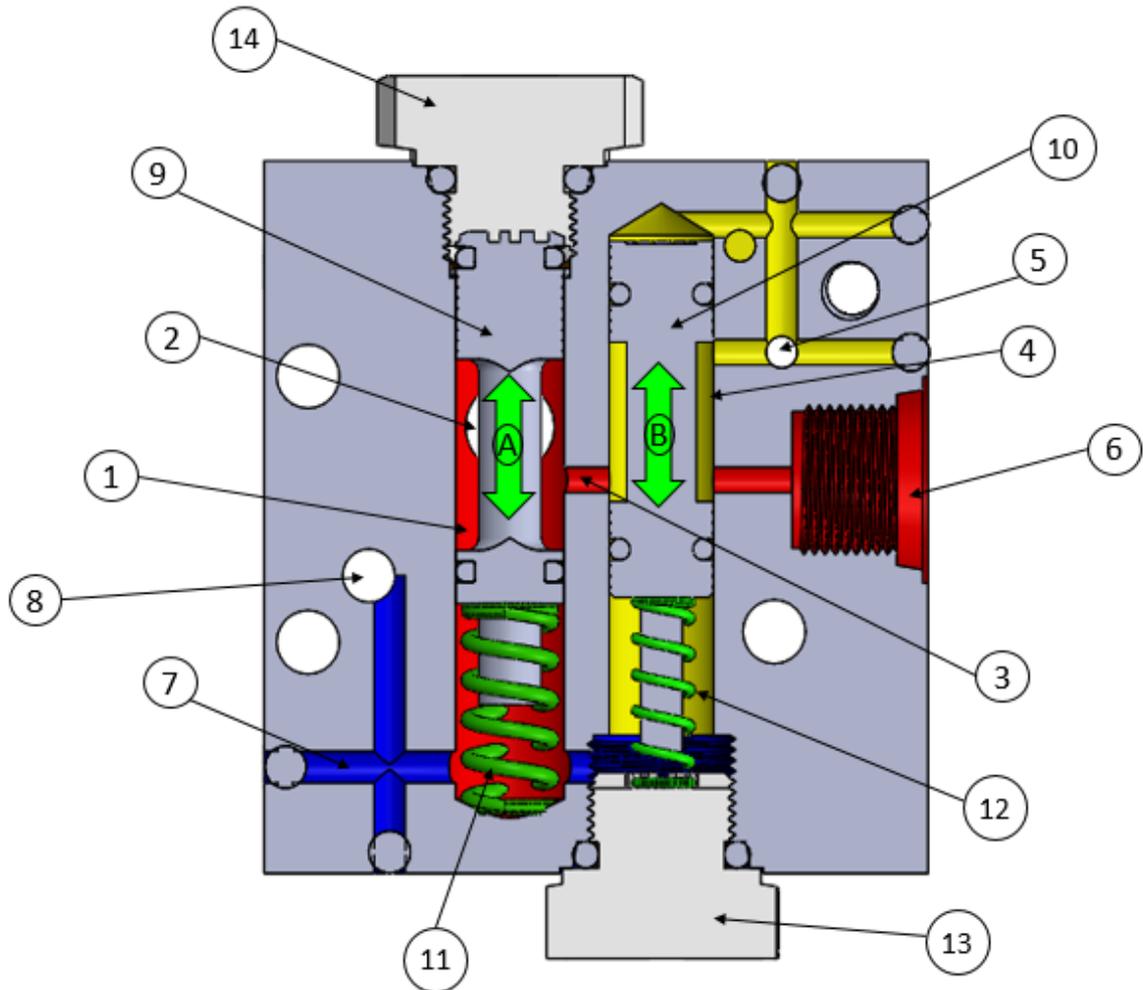
Figura 32 – Tampa de entrada.



Fonte: O Autor, 2021

Basicamente a função da mesma é receber a pressão da bomba hidráulica, conforme mostrado na Figura 32, através do item (1), e encaminhá-la para dois caminhos distintos, uma para a linha de pressão piloto (VRP1), em torno de 6 bar, direcionada desde a (VP1) até a (VP6), e a outra para a linha de pressão de trabalho (VRP2), por volta de 70 bar, que vai desde a (VD1) à (VD6). Tem-se um sensor de pressão piloto no item (2) e de pressão de entrada no item (3), que é regulado pela válvula de alívio (VA). O item (4) e (5) indicam tampões para os carretéis de regulagem de pressão das pressões.

Figura 33 – Tampa de entrada em corte.



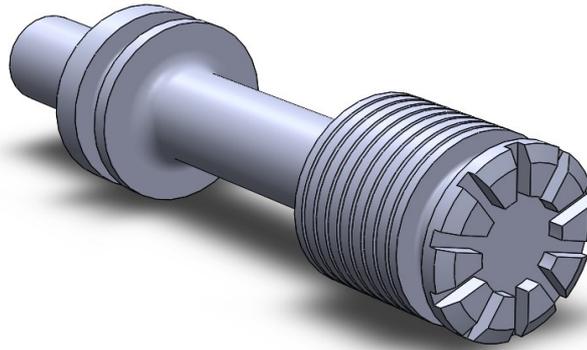
Fonte: O Autor, 2021

Conforme a Figura 33, a pressão da unidade de potência hidráulica chega diretamente até a galeria (1), onde existe o carretel (9), trabalhando no sentido da seta (A), regulando a pressão para trabalho conforme dimensionamento da mola (11), em torno de 70 bar (VRP2), passando pelo furo (2) até os blocos centrais. Existe a passagem (3) por onde o fluido escoar até a galeria (4) e ao terminal (6), no item (6) tem-se uma conexão para sensor de pressão. Na galeria (4) existe o carretel (10) que regula a pressão, trabalhando no sentido da seta (B), conforme dimensionamento da mola (12), para a pressão piloto de 6 bar (VRP1), onde após flui para o furo (5), e é direcionado para os solenoides. As galerias (7) são de retorno para evitar o calço hidráulico nos carretéis (9) e (10), o mesmo dá acesso ao furo (8) que conecta até a linha de retorno. Os itens (13) e (14) são tampões que fazem o fechamento dos conjuntos de carretéis e molas.

4.5.3.1 Carretel da pressão de trabalho

O carretel que regula a pressão de trabalho, Figura 34, é responsável por receber o fluido sob pressão da unidade hidráulica, e deixar passar para o conjunto da válvula digital, apenas a pressão desejada, que é 70 bar (7 MPa).

Figura 34 – Carretel pressão de trabalho.



Fonte: O Autor, 2021

Este carretel possui um curso de 8mm, que varia entre a vazão totalmente aberta e totalmente fechada, e sua área onde a pressão é aplicada é de 113,1 mm². Utilizando Equação 11, pode-se descobrir a força exercida nesta pressão.

$$F = P * A$$

$$F = 7 * 113,1$$

$$F = 791,7 \text{ N}$$

Após conhecer a força, pode-se encontrar a constante da mola, utilizando a Equação (12). Apenas precisa-se adequá-la conforme nossa necessidade, como quer-se encontrar a constante elástica (k), deve-se isolá-la.

$$F = k * x$$

Adequando-a:

$$k = \frac{F}{x}$$

Agora substitui-se os valores:

$$k = \frac{791,7}{8}$$

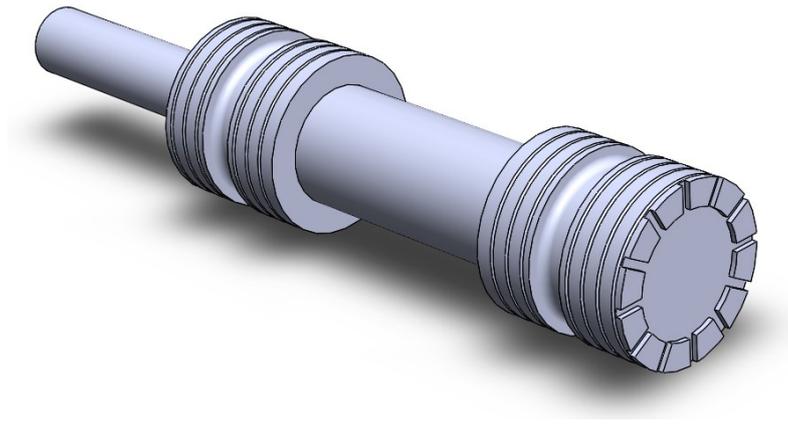
$$k = 98,9625 \text{ N/mm}$$

Para o carretel de pressão e trabalho precisa-se de uma mola de constante 98,9625 N/mm.

4.5.3.2 Carretel da pressão piloto

O carretel que regula a pressão piloto, Figura 35, é responsável por receber o fluido sob pressão da unidade hidráulica, e deixar passar para o conjunto da válvula digital, apenas a pressão piloto desejada, que são 6 bar (0,6 MPa).

Figura 35 – Carretel pressão de piloto



Fonte: O Autor, 2021

Este carretel possui um curso de 5mm, que varia entre a vazão totalmente aberto e totalmente fechado, e sua área onde a pressão é aplicada é de 78,54 mm². Utilizando Equação (11), pode-se descobrir a força exercida nesta pressão.

$$F = P * A$$

$$F = 0,6 * 78,54$$

$$F = 47,124 \text{ N}$$

Após conhecer a força, pode-se encontrar a constante da mola, utilizando a Equação (12). Apenas precisa-se adequá-la conforme nossa necessidade, como quer-se encontrar a constante elástica (k), deve-se isolá-la.

$$F = k * x$$

Adequando-a:

$$k = \frac{F}{x}$$

Substituindo-se os valores:

$$k = \frac{47,124}{5}$$

$$k = 9,4248 \text{ N/mm}$$

Para o carretel de pressão piloto precisa-se de uma mola com constante 9,4248 N/mm.

4.5.3.3 Dimensionamento do diâmetro da tubulação de entrada

Para determinar o diâmetro das tubulações de pressão, considera-se a velocidade de 600 cm/s e uma vazão de 29,484 l/min, utiliza-se a Equação (3):

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \Pi \cdot V_{eloc}}}$$

$$di = \sqrt{\frac{29,484}{0,015 \cdot \Pi \cdot 600}}$$

$$di = 1,02 \text{ cm (10,2 mm)}$$

Chegando em um diâmetro de 10,2mm, verifica-se no Anexo G o diâmetro comercial, e encontra-se o item (1C0021SN08), com diâmetro interno de 12,7mm (1,27 cm) e com uma pressão de ruptura de 639,8 bar.

Como o diâmetro foi alterado para 1,27cm, deve-se recalcular para descobrir a nova velocidade de fluido, adaptando a Equação 3:

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \Pi \cdot V_{eloc}}}$$

$$V_{eloc} = \frac{Q}{di^2 \cdot 0,015 \cdot \Pi}$$

$$V_{eloc} = \frac{29,484}{1,27^2 \cdot 0,015 \cdot \Pi}$$

$$V_{eloc} = 387,9 \text{ cm/s}$$

Obtendo o valor do número de Reynolds de 387,9, consulta-se o Quadro 2 e tem-se que o tipo de escoamento é laminar para a linha de pressão.

4.5.3.4 Processo de fabricação da tampa de entrada

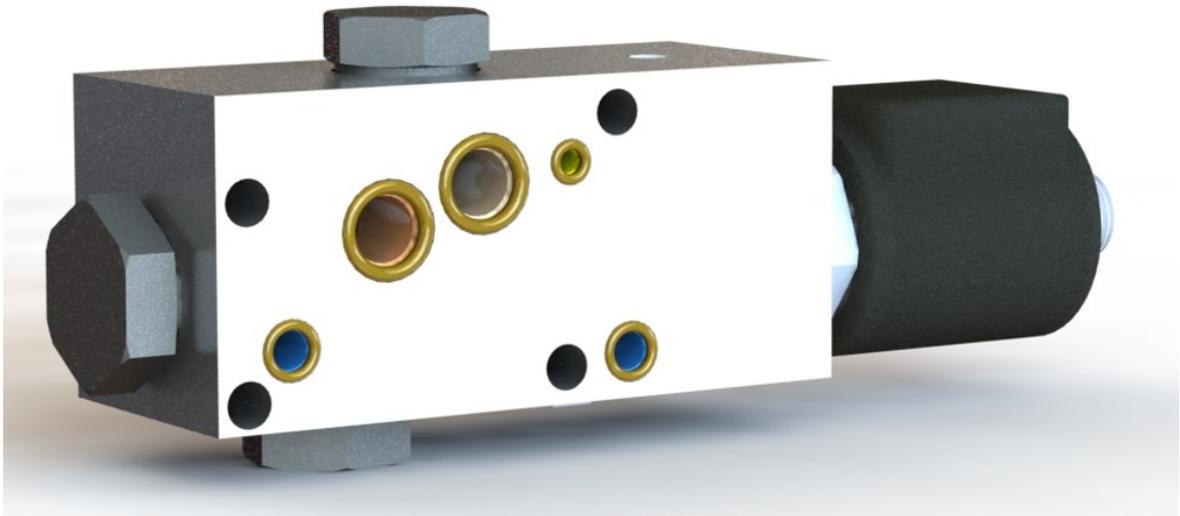
Quanto ao processo de fabricação da tampa de entrada, comparada aos outros componentes, tampa de saída e blocos centrais, pode-se considerar esta peça a mais crítica. Pois além de possuir dois carretéis, possui duas pressões para regular, além de receber pressão alta da UPCH. Assim é necessário seguir rigorosamente as especificações do projeto.

Considerando que a matéria-prima viesse maior que o especificado, o material seria cortado no processo de serramento e acabamento fino na fresadora, até ficar com as medidas básicas corretas. Após se realizaria as furações na furadeira de bancada e os rebaixos se utilizaria a fresadora. O rosqueamento seria feito manualmente utilizando macho de roscar.

4.5.4 Blocos de válvula direcional com controle de vazão

Os blocos centrais, Figura 36, são montados entre a tampa de entrada e a tampa de saída e totalizam 06 unidades. São responsáveis pela abertura e fechamento da passagem do fluido. Cada um deles possui uma vazão diferente, que é regulada pelos orifícios calibrados. Assim é possível haver as 64 variações de vazão. O corpo principal do bloco é igual nos 06 conjuntos, a diferença está no componente que possui os furos calibrados.

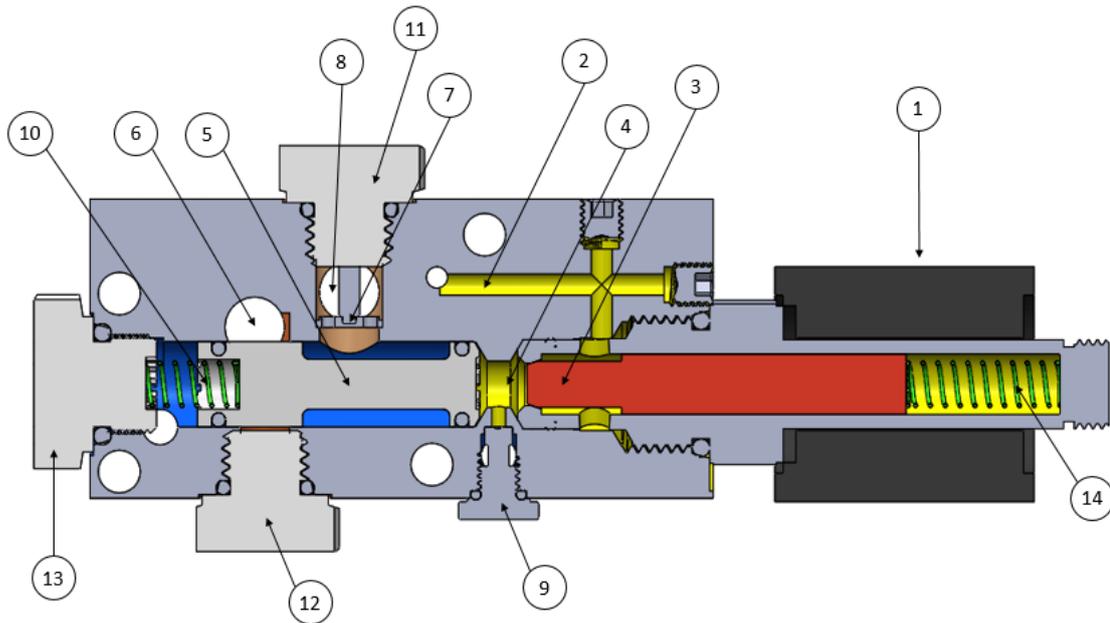
Figura 36 – Conjunto bloco de válvula direcional com controle de vazão.



Fonte: O Autor, 2021.

Nestes componentes são montadas as válvulas solenoides, que fazem a abertura e fechamento da pressão piloto.

Figura 37 – Bloco de válvula direcional em corte fechada.

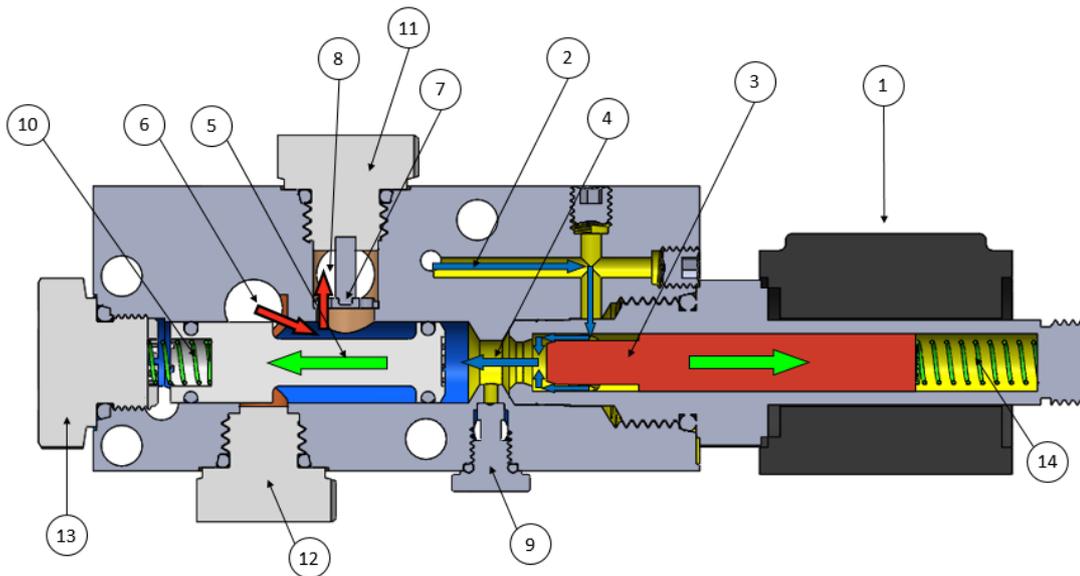


Fonte: O Autor, 2021.

Conforme mostrado na Figura 37, quando a bobina (1) recebe uma tensão de 12 volts, ela gera um campo magnético atraindo o eixo (3) e liberando a pressão piloto, 6 bar, vinda da galeria (2), para chegar até a galeria (4), gerando uma pressão suficiente para superar a força da mola (10) e mover o carretel (5) para a esquerda. Após a movimentação do carretel (5), a pressão de trabalho de 70 bar, vinda do orifício (6), ganha passagem para o orifício (8), porém entre o caminho de (6) a (8), encontra-se o limitador de vazão com furo calibrado (7), este é o ponto que diferencia as vazões entre os 06 blocos de válvulas.

Cada bloco possui o item (7) com diferentes furações, assim é possível alterar a vazão de saída com as diferentes combinações de abertura. No item (9) tem-se um vazamento controlado, que evita um calço hidráulico no carretel (5) e possibilitando o retorno para posição de fechado quando a solenoide for desligada, este fluxo vai direto para uma linha de retorno à tanque. Quando a bobina (1) for desmagnetizada, a mola (14) empurra o miolo (3) para posição inicial, cortando a passagem da pressão piloto, assim a mola (10) empurra o carretel (5) também para a posição inicial, com o fluido confinado “vazando” pelo item (9), fechando a passagem da pressão de trabalho. Os itens (11), (12) e (13) são tampões de fechamento e evitam vazamento externo. No caso da imagem, a bobina (1) não está acionando, então a válvula está totalmente fechada.

Figura 38 – Bloco de válvula direcional em corte aberta.



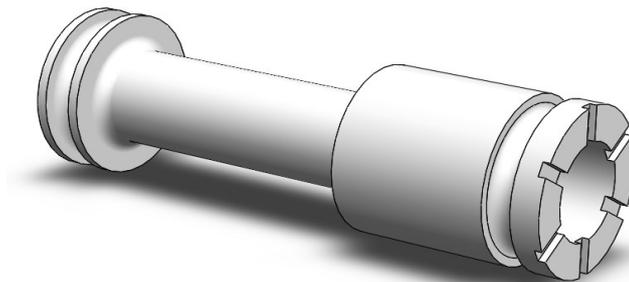
Fonte: O Autor, 2021.

Na Figura 38, pode-se ver quando o carretel (5) é acionado. Com a bobina (1) energizada e magnetizada, ela puxa o miolo (3) para a direita conforme o sentido de sua seta, assim o fluido da galeria (2), que é de pressão piloto, ganha passagem até chegar ao ponto (4). Neste ponto a pressão piloto encontra o carretel (5), e a mesma empurra-o para a esquerda conforme o sentido de sua seta. Assim é liberado a saída do fluido da galeria (6), que chega e passa pelo orifício calibrado (7), até o canal (8), que segue até o motor.

4.5.4.1 Carretel do bloco direcional

Quando um solenoide for magnetizado e aberto, libera a pressão piloto direto para o carretel do seu mesmo bloco, onde esta pressão de 6 bar (0,6 MPa) empurra-o liberando a passagem do fluido para o caminho do motor.

Figura 39 – Carretel blocos centrais



Fonte: O Autor, 2021.

Os carretéis, Figura 39, que são um total de 06, possuem um curso de 9mm e área de 113,1mm². Utilizando Equação (11), pode-se descobrir a força exercida nesta pressão. Considera-se que a mola deve suportar até no máximo 5 bar (0,5 MPa) sem deformação, mais que isso ela deve ser comprimida, pois como a pressão piloto máxima é de 6 bar, haverá pressão suficiente para deformá-la, mas ela também terá força para empurrar o carretel de volta para a posição de fechado.

$$F = P * A$$

$$F = 0,5 * 113,1$$

$$F = 56,55 N$$

Após conhecer a força, pode-se encontrar a constante da mola, utilizando a Equação (12). Apenas precisa-se adequá-la conforme nossa necessidade, como quer-se encontrar a constante elástica (k), deve-se isolá-la.

$$F = k * x$$

Adequando-a:

$$k = \frac{F}{x}$$

Substituindo os valores:

$$k = \frac{56,55}{9}$$

$$k = 6,28 N/mm$$

Para os carretéis dos blocos centrais, precisa-se de uma mola de constante 6,28 N/mm.

4.5.4.2 Dimensionamento furos calibrados

O conjunto consiste em um conjunto de 06 válvulas, onde juntas, com vazão máxima totalizam uma vazão de 20 l/min. Cada válvula possui duas posições, *on* e *off*, então pode-se escrever 2⁶, ou seja, 64 posições diferentes de variadas vazões.

Foi considerado que cada válvula possui o dobro da vazão da anterior, na ordem crescente, iniciando na válvula 01 (VD1) e terminando na 06 (VD6), onde chegou-se até o resultado mostrado no Quadro 4, onde a soma das vazões de todas as válvulas somam 20l/min.

Quadro 4 – Vazão por válvula

Válvula	Vazão (l/min)
1	0,3170
2	0,6350
3	1,2700
4	2,5400
5	5,0790
6	10,1590
Total	20,0000

Fonte: O Autor, 2021.

Todas as 06 válvulas são exatamente iguais em sua construção, são montadas da mesma forma, a única diferença está em um componente que limita a vazão através de furos calibrados. Deve-se dimensionar estes furos conforme a vazão para cada válvula. A pressão definida como pressão de trabalho da válvula foi de 70 bar. Para iniciar o dimensionamento precisa-se da velocidade do fluido conforme a pressão definida, para descobrir a mesma, ire-se utilizar a Equação 2 nos dá a velocidade de saída do orifício.

$$V_{eloc} = \sqrt{\frac{2 * (P1 - P2)}{\rho}}$$

Aplicando esta fórmula no Excel, conforme Apêndice A, com todas as equações feitas, pode-se alterar um valor, e os resultados se atualizam. Assim, a partir da tentativa e erro, tenta-se descobrir o valor de P1, que é a pressão de entrada, sabe-se que P2, que é a pressão de saída, deve ser 70 bar, então joga-se o valor de P1 até fechar o valor de vazão total em 20 l/min. Fazendo isto, descobre-se que a pressão de entrada deve ser de 78,21 bar e a velocidade do fluido é de 4312 cm/seg.

Como já se sabe a velocidade do fluido, pode-se utilizar a Equação (5) para determinar a área da seção transversal conforme a vazão necessária para a determinada válvula, para a válvula 1 tem-se uma vazão de 5,2833 cm³/s, então:

$$A = \frac{Q}{V_{eloc}}$$

$$A = \frac{5,2833}{4312}$$

$$A = 0,001225 \text{ cm}^2$$

A partir da área da seção transversal, consegue-se descobrir o diâmetro do furo utilizando a equação (6):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,001225}{\pi}}$$

$$D = 0,039 \text{ cm (0,395 mm)}$$

Descobre-se o diâmetro do furo calibrado da válvula 1 que irá liberar uma vazão de 0,317 l/min a uma pressão de 70 bar, porém, deve-se consultar se para o diâmetro descoberto, encontra-se brocas comerciais para realização da furação. Consultando o catálogo da marca IRWIN, conforme Anexo H, encontra-se uma broca de diâmetro 0,5mm (Broca para Metal DIN 338 2141). Assim, como o diâmetro será alterado, deve-se recalculer a vazão, adequando a Equação 6 descobre-se a área:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

Quer-se descobrir o valor de "A" então a equação fica:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

Substituindo os valores:

$$A = \frac{0,5^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = 0,19635 \text{ mm}^2 (0,00000019635 \text{ m}^2)$$

Tendo a área da seção, pode-se calcular a vazão que se tem com o novo diâmetro conforme ajuste para broca comercial, utilizando a Equação (4):

$$Q = \frac{5}{8} \cdot A \cdot \sqrt{(P1 - P2)} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}}$$

$$Q = \frac{5}{8} \cdot 0,00000019635 \cdot \sqrt{(7821000 - 7000000)} \cdot \sqrt{\frac{2}{883}}$$

$$Q = 0,000005292 \text{ m}^3/\text{s} (0,31752 \text{ l/min})$$

A nova da vazão da válvula 1 é de 0,31752 l/min.

Conforme conceito tomado de que cada válvula possui a vazão com o dobro da anterior, tendo o valor para a primeira válvula, pode-se definir diretamente o diâmetro dos demais furos calibrados, sempre dobrando o valor da área da seção. Usando o Excel chegou-se até o resultado conforme Quadro 5:

Quadro 5 – Configurações dos furos calibrados.

Válvula	Ø furo	Quantidade de furos	Área (mm ²)
1	0,50	1	0,1963
2	0,50	2	0,3927
3	1,00	1	0,7854
4	1,00	2	1,5708
5	2,00	1	3,1416
6	2,00	2	6,2832

Fonte: O Autor, 2021.

Observando o Quadro 5, vê-se que se precisa de 3 diâmetros diferentes de broca. Já foi verificado que tem-se broca de Ø0,5mm comercialmente, e verificando novamente o Anexo H, vê-se que a broca de Ø1mm e Ø2mm também se encontra comercialmente da fabricante IRWIN, (DIN 338 1182 e 1202) respectivamente. Assim tem-se por definidos os orifícios calibrados, Figura 40, e sabe-se suas as determinadas vazões.

Figura 40 – Chapas com furos calibrados.



Fonte: O Autor, 2021.

Tem-se agora também o quadro das vazões atualizadas, Quadro 6, vê-se que teve uma pequena diferença na vazão total, com um valor maior que o anterior, porém este valor pode ser considerado insignificante, aumento de aproximadamente 0,019%, então segue-se com o dimensionamento com estas novas vazões.

Quadro 6 – Vazão por válvula ajustada.

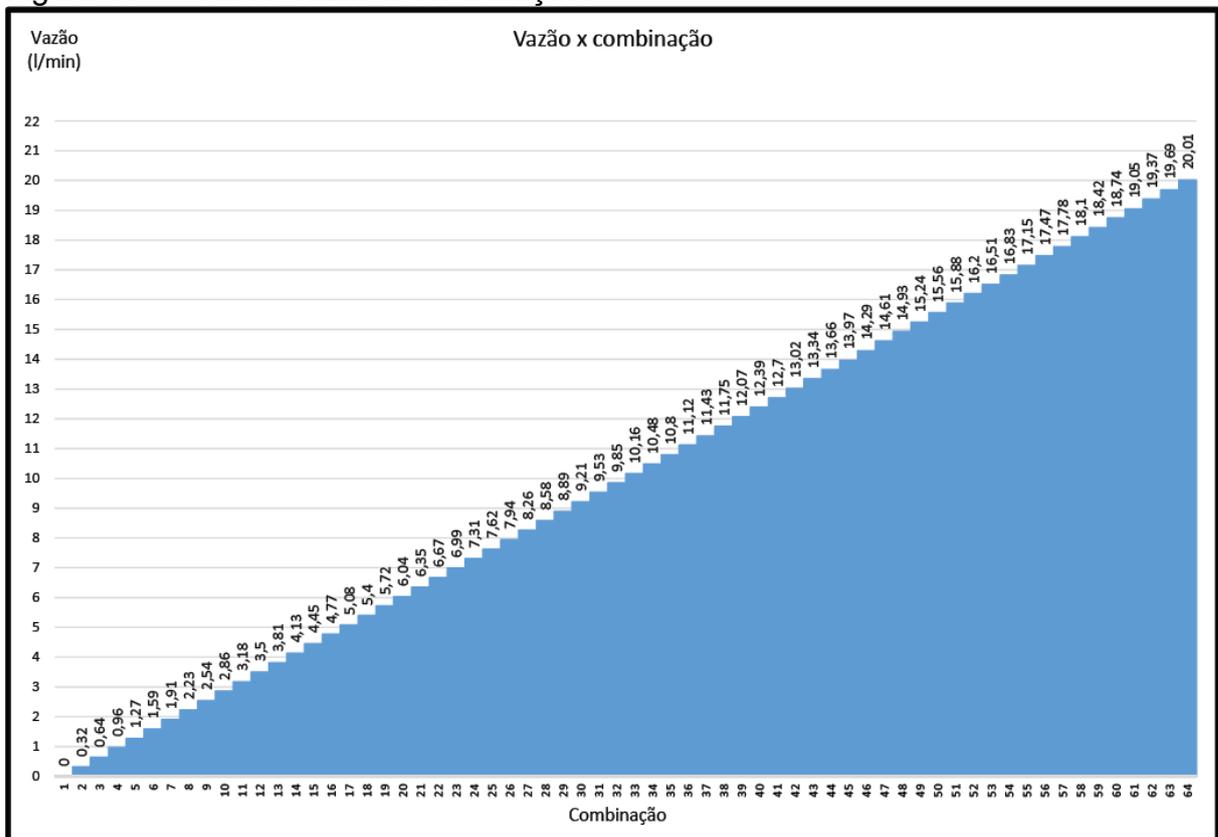
Vazões ajustadas	
Válvula	Vazão (l/min)
1	0,3175
2	0,6350
3	1,2701
4	2,5402
5	5,0803
6	10,1606
Total	20,0038

Fonte: O Autor, 2021.

Utilizando o Excel, foram definidas e filtradas todas as combinações possíveis e diferentes, todas as combinações estão apresentadas no Apêndice B, quando o valor de uma válvula for “0”, significa que ela está fechada.

Na Figura 41, também apresentado no Apêndice C, pode-se ver o gráfico gerado também no Excel, mostrando no eixo “X” (horizontal), cada uma das 64 combinações de aberturas das válvulas, e no eixo “Y” (vertical) o valor da vazão (l/min) correspondente a cada combinação.

Figura 41 – Gráfico vazão x combinação.



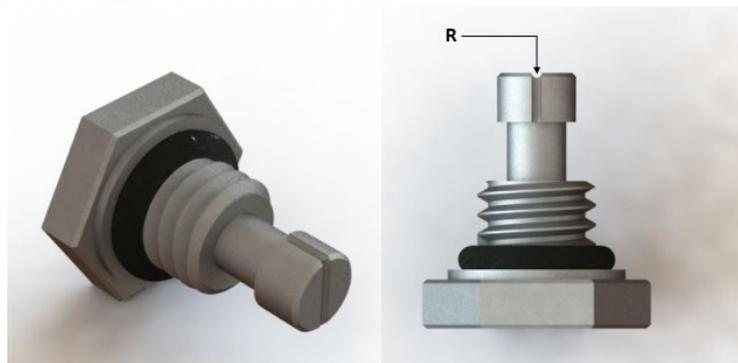
Fonte: O Autor, 2021.

Pode-se observar que o sistema gera um aumento linear no aumento da vazão conforme as aberturas das combinações, assim também se tem um aumento constante e linear na rotação do motor alimentado pela válvula digital.

4.5.4.3 Dimensionamento do vazamento controlado

Durante o projeto foi-se deparado com um calço hidráulico, onde o fluido ficava confinado e não tinha para onde escoar, o que acaba gerando um grande problema comprometendo o objetivo do conjunto. Quando o carretel de uma válvula fosse movido pelo piloto, após o solenoide acionado, e após o solenoide desligado, o carretel não voltava para a posição inicial. Assim a válvula ficaria aberta continuamente. Então decidiu-se criar um vazamento controlado. Onde ocorre um pequeno vazamento para a linha de retorno, enquanto a piloto está acionada, porém não impede o acionamento do carretel, e também quando a pressão piloto é interrompida pelo solenoide. Então, como o carretel possui uma mola empurrando-o para a posição inicial/fechado, o fluido que antes causava um calço hidráulico, agora escoava para a linha de retorno pelo raio (R), conforme Figura 42, de vazamento controlado, liberando a volta do carretel.

Figura 42 – Parafuso vazamento controlado



Fonte: O Autor, 2021.

Verificando o desenho 3D, verifica-se que o volume do espaço que o carretel anda para fazer a abertura, que é 9mm, é de $1,017\text{cm}^3$, e foi considerado que no momento que o solenoide for desligado, o carretel deve voltar para a posição em 0,2 segundos, assim tem-se uma vazão de $5,085\text{cm}^3/\text{seg}$. Utilizando a Equação 2 pode-se descobrir a velocidade do fluido, tem-se uma pressão da mola de 5 bar (500000Pa), como a pressão é relativamente baixa, para ($P1-P2$) foi considerado o valor total da pressão, sem perda.

$$V_{eloc} = \sqrt{\frac{2 * (P1 - P2)}{\rho}}$$

$$V_{eloc} = \sqrt{\frac{2 * (500000)}{883}}$$

$$V_{eloc} = 33,65 \text{ m/s (3365cm/s)}$$

Fazendo a divisão da vazão (cm³/s) pela velocidade (cm/s) resultados em (cm²), que é a área, conforme Equação 5. Então:

$$A = \frac{Q}{V_{eloc}}$$

$$A = \frac{5,085}{3365}$$

$$A = 0,00151 \text{ cm}^2 (0,151 \text{ mm}^2)$$

Como agora sabe-se a área da seção de vazamento, pode-se descobrir o diâmetro do rasgo de vazamento. Como nosso projeto consiste em um rasgo de meia seção circular, conforme visualiza-se na Figura 42, considera-se o dobro da área para descobrir o diâmetro, então considera-se a área de 0,302mm². Para descobri-lo aplica-se a Equação 6.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,302}{\pi}}$$

$$D = 0,62 \text{ mm}$$

Assim sabe-se que deve ter o rasgo (R) de raio 0,31mm para se ter o retorno do carretel conforme dimensionado.

4.5.4.4 Processo de fabricação dos blocos centrais

Como tem-se seis unidades de bloco central, o processo deve ser repetido para 06 peças, como já foi visto anteriormente, os blocos são todos iguais, o que possui diferença é apenas os furos calibrados.

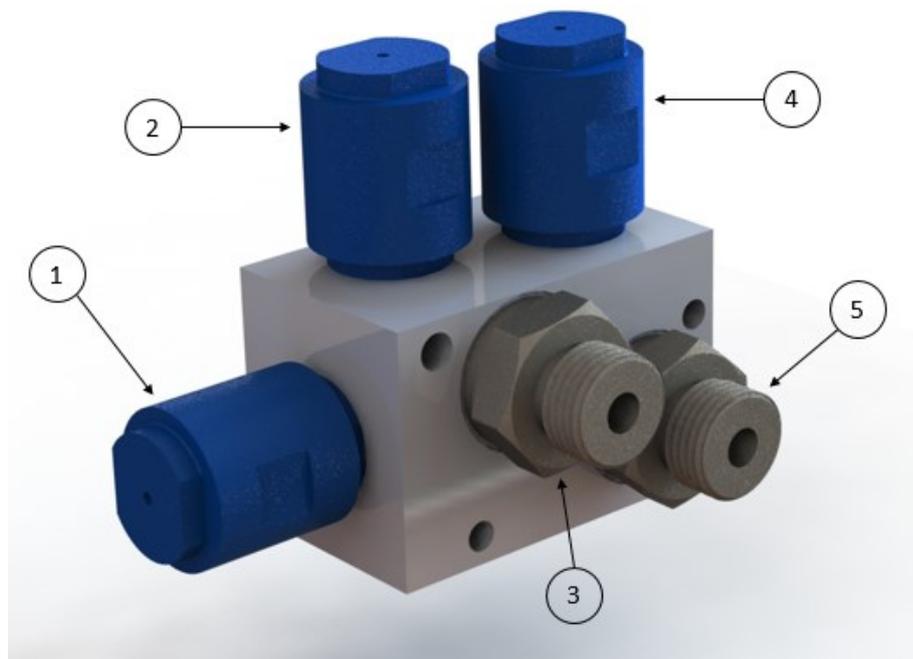
Considerando que a matéria prima viesse maior que o especificado, o material seria cortado no processo de serramento e acabamento fino na fresadora, até ficar

com as medidas básicas corretas. Após se realizaria as furações na furadeira de bancada e os rebaixos se utilizaria a fresadora. O rosqueamento seria feito utilizando macho de roscar.

4.5.5 Tampa de saída

A tampa de saída, Figura 43, é responsável pelo fechamento do bloco de válvulas. Ela que conduz e une as galerias de fluxos do fluido para seus devidos destinos. Possui 03 conexões para medição de pressão por sensores, e 02 conexões para mangueiras. Quando a sua construção, pode-se considerá-la como o componente mais simples do conjunto.

Figura 43 – Tampa de saída.



Fonte: O Autor, 2021.

No item (1), tem-se um sensor de pressão de trabalho, que são 70 bar, é a pressão que a (VRP2) da tampa esquerda está mandando para as válvulas. Nos itens (2) e (3), tem-se a pressão que passará para o motor hidráulico conforme a abertura dos solenoides, o item (2) é um sensor da pressão, e no item (3) é o local para a conexão da mangueira que conduz o fluido ao motor. Já nos itens (4) e (5) tem-se o retorno do fluido, no item (5) a conexão da mangueira de retorno para tanque, e no item (4) um sensor para medição desta pressão.

4.5.5.1 Dimensionamento do diâmetro tubulação de retorno

Para a linha de retorno, têm-se uma velocidade recomendada de 300 cm/s conforme indicado na Quadro 3, e uma vazão de 29,484 l/min conforme calculado. Utilizando a Equação 3 pode-se dimensionar o diâmetro interno da tubulação:

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot V_{eloc}}}$$

$$di = \sqrt{\frac{29,484}{0,015 \cdot \pi \cdot 300}}$$

$$di = 1,444\text{cm} (14,44\text{ mm})$$

Deve-se verificar se existe diâmetro comercial para esta medida, para isto utiliza-se como referência produtos do Anexo G, seleciona-se a mangueira (1C0021SN12) que possui diâmetro interno de 19,1 mm (1,91cm).

Como o diâmetro foi alterado, deve-se recalcular para descobrir a nova velocidade de fluido, adaptando a Equação 3:

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot V_{eloc}}}$$

$$V_{eloc} = \frac{Q}{di^2 \cdot 0,015 \cdot \pi}$$

$$V_{eloc} = \frac{29,484}{1,91^2 \cdot 0,015 \cdot \pi}$$

$$V_{eloc} = 171,5\text{ cm/s}$$

Neste momento pode-se verificar o tipo de escoamento que o fluido terá nesta mangueira utilizando a Equação (1).

$$Re = \frac{V_{eloc} \cdot di}{\nu}$$

$$Re = \frac{171,5 \cdot 1,91}{0,645}$$

$$Re = 507,85$$

Obtendo o valor do número de Reynolds de 507,85, consulta-se a Quadro 2 e vê-se que o tipo de escoamento é laminar para a tubulação de retorno.

4.5.5.2 Processo de fabricação da tampa de saída

Em relação ao processo de fabricação da tampa de saída, pode-se considerar como o componente, que tem como matéria prima um bloco de alumínio, o item mais simples e com menos condições de erros se comparado com a tampa de entrada e os blocos centrais, devido não possuir nenhum carretel ou componente móvel dentro do mesmo.

Considerando que a matéria prima viesse maior que o especificado, o material seria cortado no processo de serramento e acabamento fino na fresadora, até ficar com as medidas básicas corretas. Após se realizaria as furações na furadeira de bancada e os rebaixos se utilizaria a fresadora. O rosqueamento seria feito utilizando macho de roscar.

4.5.5.3 Teste prático fabricação da tampa de saída

Antes de iniciar a fabricação em si do componente, partiu-se para a fabricação de ferramentas especiais de fabricação. O objetivo desta etapa foi facilitar e agilizar a manufatura dos mesmos, além de garantir uma igualdade entre as peças caso fossem fabricadas mais unidades.

Como o projeto possui muitas furações, e as posições entre elas devem ter uma precisão de décimos de milímetros, foram produzidos e cortados a laser, gabaritos de furação, Figura 44, onde os mesmos possuem as dimensões do bloco a ser usinado. Eles são posicionados sobre a face a ser furada, fixado, e feito uma furação na mesma posição dos furos do gabarito, criando assim um furo de centro na peça, que servirá de posição para realizar a furação conforme diâmetro necessário.

Figura 44 – Gabaritos de furação dos blocos centrais



Desta forma, consegue-se manter uma repetitividade e igualdade entre as peças, além de facilitar e agilizar a fabricação das mesmas, garantindo uma posição e montagem quase que perfeita do conjunto final. Um detalhe que se pode observar, são os entalhes feitos em dois lados de cada gabarito, para utilizar como referência para encosto sempre do mesmo lado, assim se o bloco tiver alguma pequena variação de tamanho, dois lados, no mínimo, sempre terão faces paralelas na montagem.

Para furações escalonadas e angulares, e que será inserida rosca, foram fabricadas também ferramentas especiais para a furação, Figura 45, gerando um encaixe perfeito dos componentes e evitando vazamentos, além de facilitar e agilizar a fabricação.

Figura 45 – Ferramentas especiais de furação.

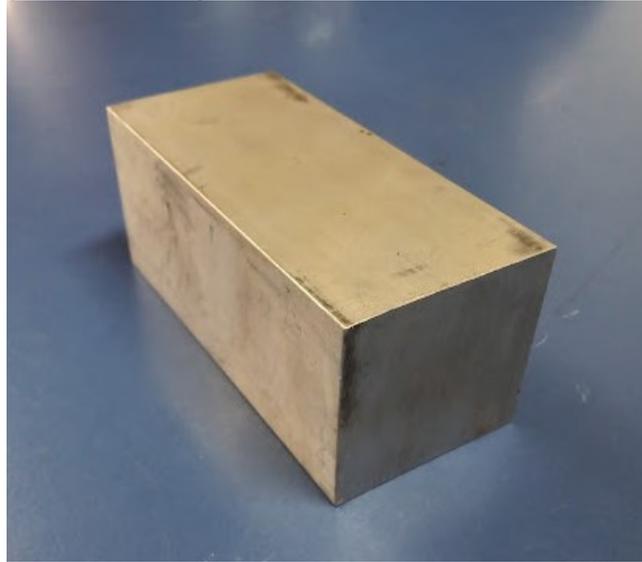


Fonte: O Autor, 2021.

Para a fabricação desta ferramenta, foi utilizado aço SAE 1045, como a dureza do mesmo é maior que do alumínio, tem-se facilidade na usinagem e boa durabilidade da ferramenta. O objetivo é fazer uma pré-furação com as brocas convencionais, removendo a maior parte do material, e após concluir com a ferramenta específica do tipo do furo, garantindo as medidas necessárias. As ferramentas foram desenhadas utilizando o software de CAD Solidworks e fabricadas utilizando torno mecânico e fresadora.

A manufatura da tampa de saída deu-se a partir de um bloco retangular de alumínio, Figura 46, que foi adquirido em uma dimensão maior que a necessária. A desvantagem disso, é que se tem muito desperdício de material pela usinagem, porém, como vantagem tem-se uma margem maior para trabalho.

Figura 46 – Matéria prima da tampa de saída.



Fonte: O Autor, 2021.

A matéria prima continha as dimensões de 50x50x100mm, nossa tampa de saída possui dimensões de 38,1x42x63,5mm, assim, na serra fita horizontal, foi-se cortado o material deixando 3mm maior que a nominal, e este material foi removido e dado acabamento na fresadora apresentada na Figura 47.

Figura 47 – Fresadora utilizada no processo de fabricação.



Fonte: O Autor, 2021.

Uma grande vantagem da utilização do alumínio como base, é a fácil usinabilidade, além de conter uma boa resistência sobre a pressão hidráulica e ser um material de pouca massa específica, tornando o projeto mais leve.

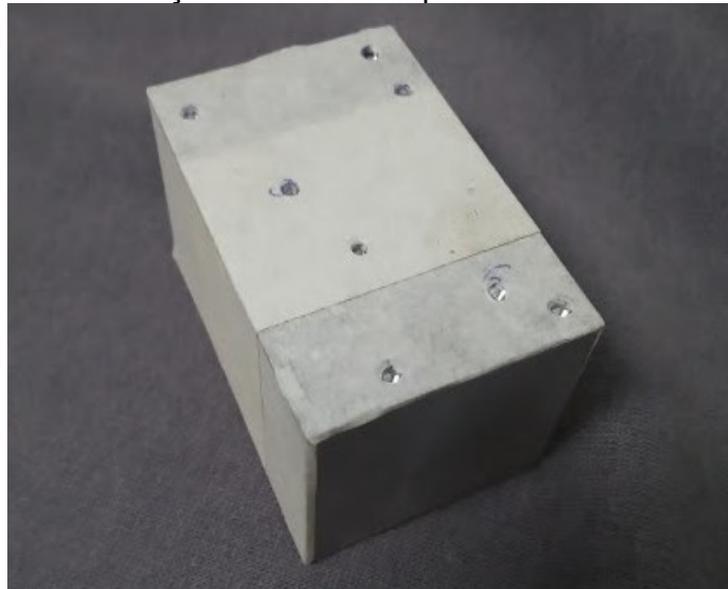
Figura 48 – Usinagem das dimensões da tampa de saída.



Fonte: O Autor, 2021.

Após chegar-se às dimensões básicas com o processo de fresamento, Figura 48, foi o momento de utilizar os gabaritos de furação, que foram essenciais para garantir a posição dos canais entre eles. Para a fixação dos mesmos na peça, foi utilizado fita crepe, garantindo que não se ocorra a mudança de posição durante o processo de furação, conforme mostrado na Figura 49.

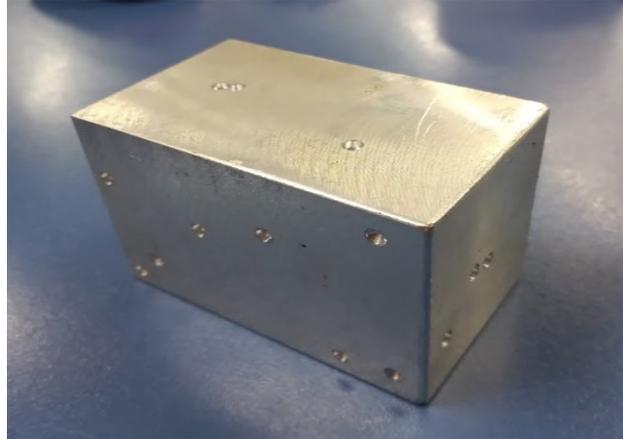
Figura 49 – Gabarito de furação fixado na tampa de saída.



Fonte: O Autor, 2021.

Como o objetivo dos dispositivos era garantir a posição dos furos, de acordo com a Figura 50, foi realizado apenas a marcação como furo de centro com profundidade de 3mm, o diâmetro da broca utilizada também possuía 3mm.

Figura 50 – Tampa de saída com furos de centro.



Fonte: O Autor, 2021.

Logo após a marcação dos furos de centros, partiu-se para a furação conforme diâmetros do desenho, todas foram primeiramente furadas com diâmetro 3mm, e depois alargadas, Figura 51, até o diâmetro necessário.

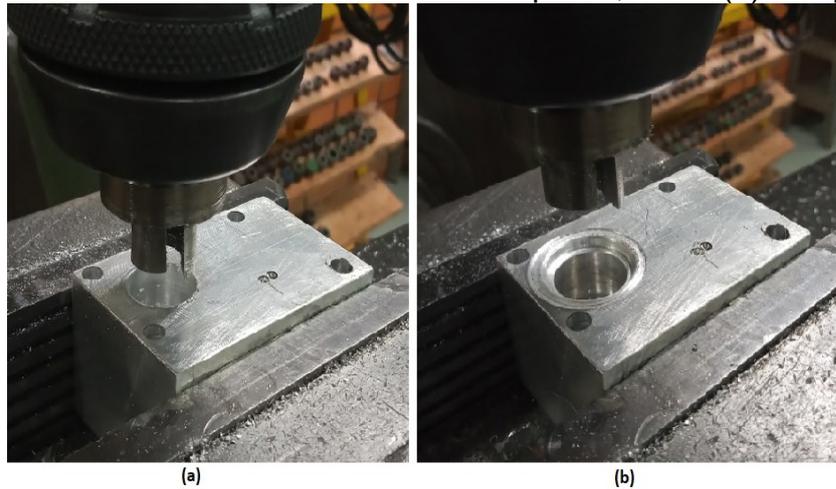
Figura 51 – Detalhe da re-furação.



Fonte: O Autor, 2021.

No momento de realizar as furações de encaixes de conexões e sensores, que possuem rosca, utilizou-se as ferramentas especiais fabricadas para furação, mostrado na Figura 52. Obteve-se um ótimo resultado e um bom desempenho a respeito das mesmas, ganhando muito em tempo e garantia das medidas, facilitando de grande forma o trabalho de usinagem dos mesmos.

Figura 52 – Detalhe do uso de uma ferramenta especial, antes (a) e depois (b).



Fonte: O Autor, 2021.

Após a furação realizada com as ferramentas especiais, foram feitas as roscas conforme necessidade, utilizando macho reto para rosqueamento manual, Figura 53.

Figura 53 – Rosqueamento.



Fonte: O Autor, 2021.

Com a fabricação das roscas em seus devidos locais, a tampa de saída está concluída.

4.6 DETALHAMENTO

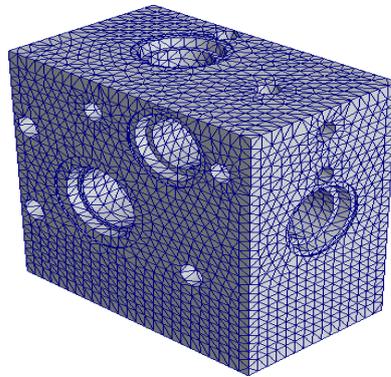
Quanto a fase de detalhamento tem-se apresentado nos Apêndice D, E, F e G, desenhos melhores detalhados dos componentes principais, onde se mostra os componentes aplicados a cada subconjunto, também as medidas máximas para melhor percepção das dimensões da válvula.

4.7 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O critério utilizado para validação estrutural dos componentes, foi através de simulação computacional, utilizando estrutura da instituição, onde aplicou-se o uso do software Solidworks Education Edition 2017-2018, hardware utilizado foi um computador OptiPlex 7040 com processador i7-6700 CPU @ 3,40 GHz, memória RAM 8GB, sistema operacional Windows 10 Pro.

A malha foi criada utilizando o maior refinamento possível do software, conforme Figura 54, garantindo um resultado mais confiável e próximo da realidade.

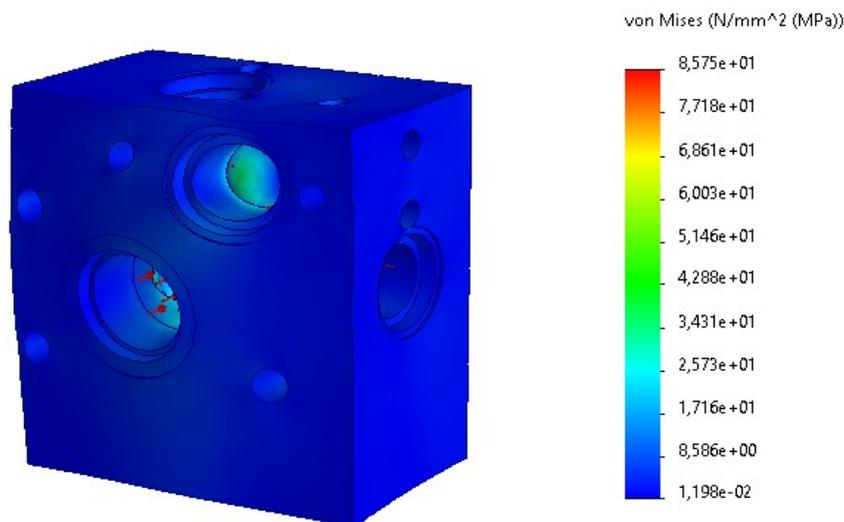
Figura 54 – Malha da tampa de entrada.



Fonte: O Autor, 2021.

O software utiliza o critério de falha de Von Mises, e gera uma legenda desde o valor mínimo até o valor máximo de tensão, resultado gerado conforme os dados de entrada informadas.

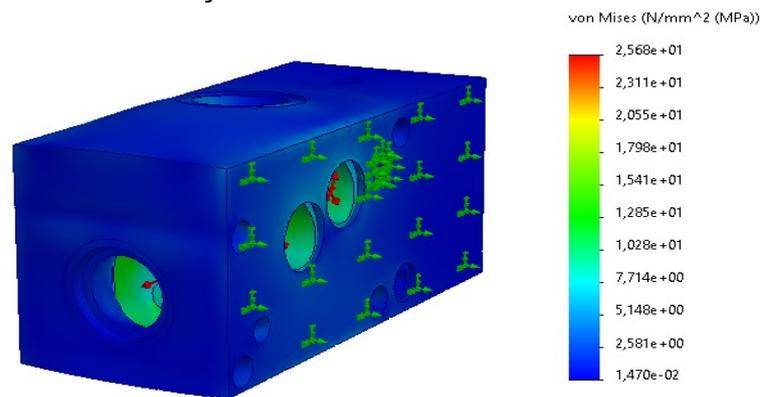
Figura 55 – Resultado simulação tampa de entrada.



Fonte: O Autor, 2021.

Para a tampa de entrada resultou um valor máximo de tensão de 85,75 MPa, Figura 55, sendo que o alumínio 6351-T6 possui uma tensão de escoamento de 260 MPa. Fazendo a divisão da tensão de escoamento pelo valor encontrado, tem-se um coeficiente de segurança de aproximadamente de 3.

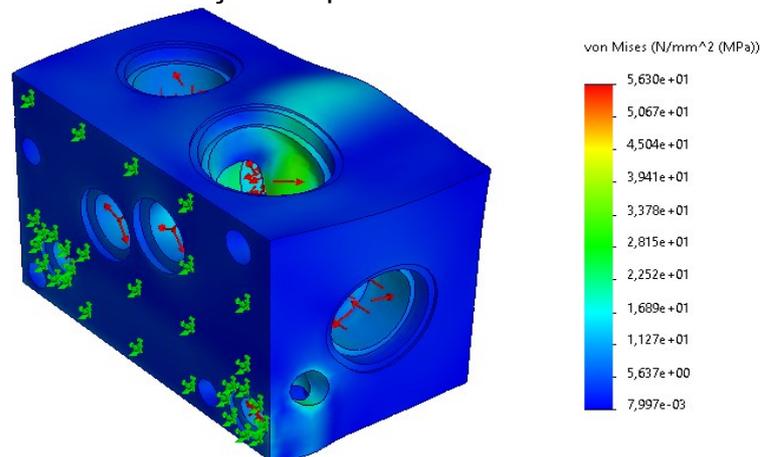
Figura 56 – Resultado simulação bloco central.



Fonte: O Autor, 2021.

Para o bloco central chega-se a um valor máximo de tensão de 25,68MPa, Figura 56, como o alumínio 6351-T6 possui tensão de escoamento de 260MPa, tem-se aproximadamente um coeficiente de segurança de valor 10.

Figura 57 – Resultado simulação tampa de saída.



Fonte: O Autor, 2021.

Para a tampa de saída, o resultado foi de uma tensão máxima de 56,30 MPa, Figura 57, comparando com o alumínio 6351-T6 com limite de escoamento de 260 MPa tem-se um coeficiente de segurança igual a 4,61.

Conforme visto, todos os itens possuem um coeficiente de segurança de 3 ou acima, o que foi aceito, então os componentes suportam a pressão máxima de 70 bar, aprovando o material e desenho dos itens.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto teve como tema desenvolver e simular em software a resistência de uma válvula hidráulica digital em alumínio, onde o objetivo da mesma vem para ter um controle de variação de rotação de um motor elétrico de forma simples. Durante o desenvolvimento, abrangeu-se de forma básica o dimensionamento da UPOCH, até a modelagem do conjunto da válvula e simulação da resistência de seus componentes.

O projeto deveria ser constituído de várias, válvulas direcionais acionadas por solenoide, e o requisito foi atendido, pois o conjunto possui 06 válvulas direcionais que possuem vazões diferentes, gerando um fluxo variado na saída conforme a combinação de válvulas abertas, e as mesmas são acionadas por solenoide. Não foi possível realizar a fabricação para teste prático.

A válvula deveria ser projetada em alumínio suportando as cargas resultantes, conforme simulações computacionais realizadas, o requisito foi atendido, pois a tensão resultante ficou menor que a tensão suportada pela matéria prima.

Considerando o objetivo do trabalho, o resultado foi positivo, pois os objetivos foram atingidos.

Para trabalho futuros, fica a sugestão de realizar o dimensionamento de um sistema de automação para abertura e fechamento das válvulas solenoides, possuindo um controle eletrônico da rotação do motor, e também de realizar a fabricação e testes práticos dos componentes e conjunto.

REFERÊNCIAS

AÇOS NOBRES. **Ligas de Alumínio: As propriedades do Alumínio 6351 T6.** Disponível em: <<https://acosnobre.com.br/blog/ligas-de-aluminio-6351t6-propriedades/>>. Acesso em: 16 de out. 2021.

AMARAL, D. C. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006.

CEFET-BA Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia Unidade de ensino de Santo Amaro. **APOSTILA DE HIDRÁULICA.** Disponível em: <<https://www.movicontrol.com.br/pdf/artigos-tecnicos1/APOSTILA%20HIDRAULICA%20B%C3%81SICA.pdf>>. Acesso em: 21 de set. 2021.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica.** 2ª. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

CISER. **Mangueiras e conexões.** Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/downloads/catalogo-mangueiras-e-conexoes-ciser-web.pdf>>. Acesso em: 16 de out. 2021.

CITISYSTEMS. **Sensor indutivo: o que é e como funciona.** Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensor-indutivo>>. Acesso em: 23 de out. 2021.

DANFOSS. **Bombas de engrenagem de alumínio.** Disponível em: <<https://www.danfoss.com/pt-br/products/dps/pumps/gear-pumps/aluminum-gear-pumps/#tab-product-range>>. Acesso em: 04 de nov. 2021.

DANFOSS. **OMM Technical Information.** Disponível em: <<http://danfoss.cohimar.com/pdf/omm.pdf>>. Acesso em: 14 de out. 2021

DANFOSS. **Pressostatos industriais.** Disponível em: <<https://www.danfoss.com/pt-br/products/sen/switches/industrial-pressure-switches/#tab-overview>>. Acesso em: 23 de out. 2021.

EXNER, H. et al. **Hidráulica básica: princípios básicos e componentes da tecnologia dos fluidos.** Atibaia: Bosch Rexroth AG, 2013

FIALHO, A.B. **Automação Hidráulica.** 6ª. ed. São Paulo: Érica, 2011.

GGD. **Alumínio 6351-T6.** Disponível em: <<https://www.ggdmetals.com.br/wp-content/uploads/2020/07/GGD-6351-t6-Alum%C3%ADnio.pdf>>. Acesso em: 16 de out. 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª. ed. São Paulo: Atlas S.A. 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6ª. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GROOVER, M. P. **Introdução aos Processos de Fabricação.** 1ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HALLIDAY, D., **Fundamentos de física**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HDA. **FILTROS DE SUCCÃO**. Disponível em: <<https://www.tecnoflexpe.com.br/wp-content/uploads/2017/02/Filtros-de-Succao-HDA.pdf>>. Acesso em: 08 de nov. 2021.

INSTRUSUL. **Para que serve o tacômetro? Entenda!** Disponível em: <<https://blog.instrusul.com.br/para-que-serve-o-tacometro-entenda/>>. Acesso em: 16 de set. 2021.

LAKATOS, E. M.; MARCOVANI, M. D. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MINIPA. **MDT-2238B**. Disponível em: <https://minipa.com.br/component/djcatalog2/item/169-mdt-2238b#especifica___es_t_cnicas>. Acesso em: 16 de set. 2021.

PALMIERI, A. C. **Manual de Hidráulica Básica**. 10ª. ed. Porto Alegre, 1997. 316p.

PARKER. **Tecnologia Hidráulica Industrial**. Jacareí: Parker Hannifin Ind. Com. Ltda, 1999.

PETROBRAS. **LUBRAX HYDRA**. Disponível em: <<https://dev-lubrux.br.com.br/sites/lubrux/files/2021-06/ft-lub-auto-Hydra.pdf>>. Acesso em: 16 de out. 2021

PETROBRAS. **Lubrux Hydra 68**. Disponível em: <<https://petrobras.pefil.com.br/produto/lubrux-hydra-68/>>. Acesso em: 16 de out. 2021.

RACINE, **Manual de Hidráulica Básica**. 3ª. ed. Porto Alegre, 1981. 323p.

SALCAS. **TACÔMETRO**. Disponível em: <<https://www.salcas.com.br/instrumentos-de-medicao-diversos/tacometro>>. Acesso em: 16 de set. 2021.

SENAI, SC. **Hidráulica e Técnicas de Comando**. Florianópolis: SENAI/SC, 2004, 102p.

STRINGER, J. D. **Hydraulic Systems Analysis**. 1ª. ed. THE MACMILLAN PRESS LTD, 1976

VALDIERO A. C., THESING. N. J. **Desafios em engenharia industrial**. Ijuí: Unijuí, 2016.

VALMET. **Hidráulica digital**. Disponível em: <<https://www.valmet.com/mexico/papel-y-carton/preparando-el-camino-hacia-el-futuro/hidraulica-digital/>>. Acesso em: 10 de ago. 2021.

WEG. **Seleção de Motores Elétricos**. Disponível em: <https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_sel_web.asp?cd_produto=1631&CD_CATEGORIA_PRODUTO=6&cd_mercado=000B&cd_idioma_cat=PT&cd_empresa=110#>. Acesso em: 05 de nov. 2021.

WIKA. **Manômetro padrão, liga de cobre.** Disponível em:
<https://www.wika.com.br/312_20_pt_br.WIKA>. Acesso em: 13 de set. 2021.

APÊNDICE A – Cálculo para descobrir P1 no Excel

VELOCIDADE DO FLUIDO				
P_1	=	78,21 bar	=	7.821.000 Pa
P_2	=	70 bar	=	7.000.000 Pa
ρ	=	883 kg/m ³		
v	=	$2 * \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\rho}}$	=	$2 * \sqrt{\frac{7.821.000 - 7.000.000}{883}}$
			=	43,12 m/s

VAZÃO				
Δp	=	8,21 bar	=	821.000 Pa
d	=	0,5 mm	=	0,0005 m
ρ	=	883 kg/m ³		
q	=	$\frac{5}{8} * 3,141592654 * \frac{\Delta p}{\rho}$	=	$\frac{5}{8} * \left(\frac{821.000}{883} \right)$
			=	0,00005292 m ³ /s
			=	0,318 l/min

1,4142						
	20,4	diametr	Área	velocidade	Qtyd	furos
	l/min	cm ³ /s	cm ²	cm/s		
1	0,32	0,32	5,29	0,05000	0,00196	4312
2	0,64	0,95	10,58	0,07071	0,00393	4312
3	1,27	2,22	21,17	0,10000	0,00785	4312
4	2,54	4,76	42,34	0,14142	0,01571	4312
5	5,08	9,84	84,67	0,20000	0,03142	4312
6	10,16	20,00	169,34	0,28284	0,06283	4312
Total	20,00					

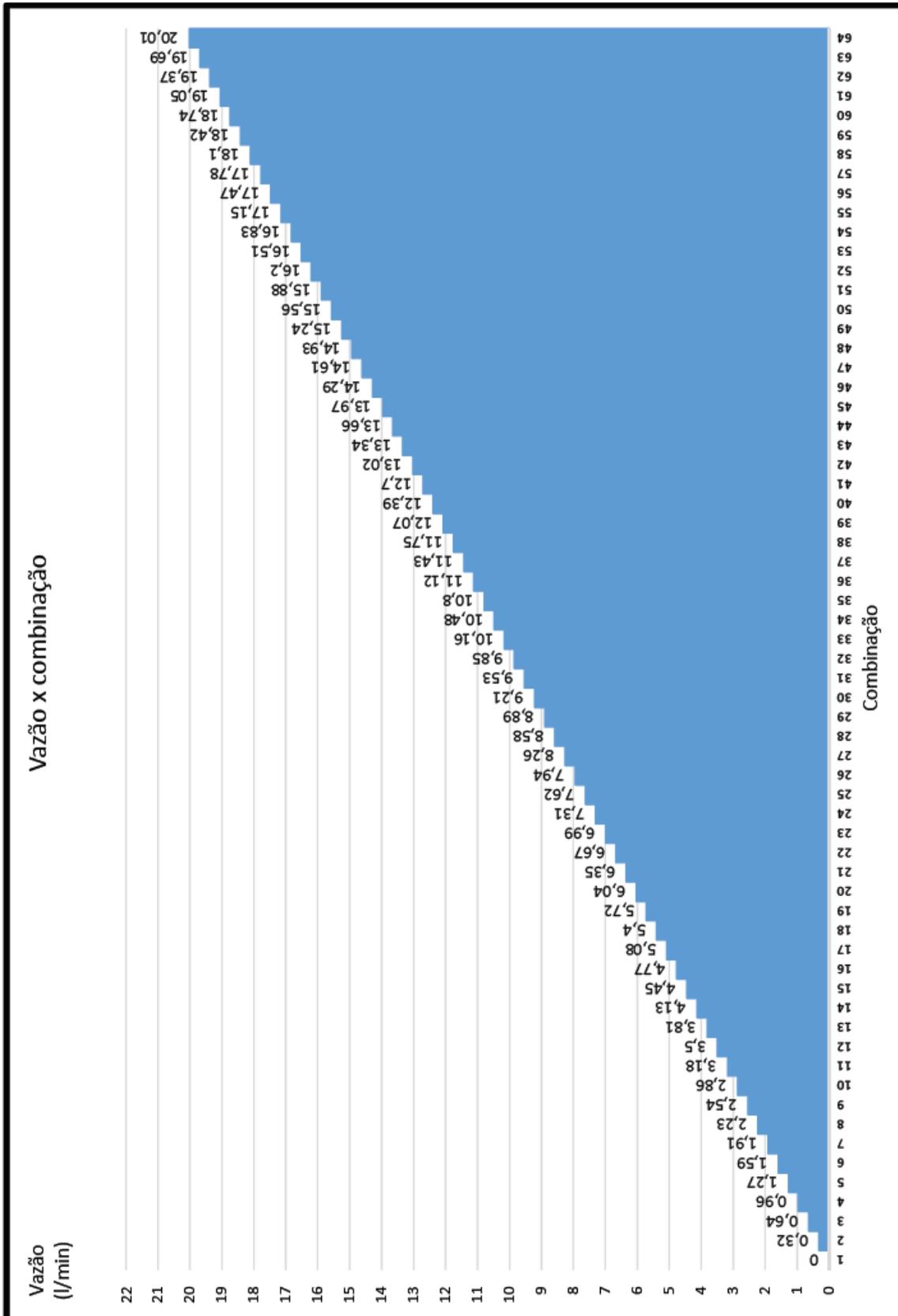
Fonte: O Autor, 2021.

APÊNDICE B – Combinações de abertura de válvula

Combinação	Válvula						Vazão (l/min)
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
3	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64
4	0,32	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96
5	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	1,27
6	0,32	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	1,59
7	0,00	0,64	1,27	0,00	0,00	0,00	1,91
8	0,32	0,64	1,27	0,00	0,00	0,00	2,23
9	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	2,54
10	0,32	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	2,86
11	0,00	0,64	0,00	2,54	0,00	0,00	3,18
12	0,32	0,64	0,00	2,54	0,00	0,00	3,50
13	0,00	0,00	1,27	2,54	0,00	0,00	3,81
14	0,32	0,00	1,27	2,54	0,00	0,00	4,13
15	0,00	0,64	1,27	2,54	0,00	0,00	4,45
16	0,32	0,64	1,27	2,54	0,00	0,00	4,77
17	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00	5,08
18	0,32	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00	5,40
19	0,00	0,64	0,00	0,00	5,08	0,00	5,72
20	0,32	0,64	0,00	0,00	5,08	0,00	6,04
21	0,00	0,00	1,27	0,00	5,08	0,00	6,35
22	0,32	0,00	1,27	0,00	5,08	0,00	6,67
23	0,00	0,64	1,27	0,00	5,08	0,00	6,99
24	0,32	0,64	1,27	0,00	5,08	0,00	7,31
25	0,00	0,00	0,00	2,54	5,08	0,00	7,62
26	0,32	0,00	0,00	2,54	5,08	0,00	7,94
27	0,00	0,64	0,00	2,54	5,08	0,00	8,26
28	0,32	0,64	0,00	2,54	5,08	0,00	8,58
29	0,00	0,00	1,27	2,54	5,08	0,00	8,89
30	0,32	0,00	1,27	2,54	5,08	0,00	9,21
31	0,00	0,64	1,27	2,54	5,08	0,00	9,53
32	0,32	0,64	1,27	2,54	5,08	0,00	9,85
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,16	10,16
34	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	10,16	10,48
35	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	10,16	10,80
36	0,32	0,64	0,00	0,00	0,00	10,16	11,12
37	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	10,16	11,43
38	0,32	0,00	1,27	0,00	0,00	10,16	11,75
39	0,00	0,64	1,27	0,00	0,00	10,16	12,07
40	0,32	0,64	1,27	0,00	0,00	10,16	12,39
41	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00	10,16	12,70
42	0,32	0,00	0,00	2,54	0,00	10,16	13,02
43	0,00	0,64	0,00	2,54	0,00	10,16	13,34
44	0,32	0,64	0,00	2,54	0,00	10,16	13,66
45	0,00	0,00	1,27	2,54	0,00	10,16	13,97
46	0,32	0,00	1,27	2,54	0,00	10,16	14,29
47	0,00	0,64	1,27	2,54	0,00	10,16	14,61
48	0,32	0,64	1,27	2,54	0,00	10,16	14,93
49	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	10,16	15,24
50	0,32	0,00	0,00	0,00	5,08	10,16	15,56
51	0,00	0,64	0,00	0,00	5,08	10,16	15,88
52	0,32	0,64	0,00	0,00	5,08	10,16	16,20
53	0,00	0,00	1,27	0,00	5,08	10,16	16,51
54	0,32	0,00	1,27	0,00	5,08	10,16	16,83
55	0,00	0,64	1,27	0,00	5,08	10,16	17,15
56	0,32	0,64	1,27	0,00	5,08	10,16	17,47
57	0,00	0,00	0,00	2,54	5,08	10,16	17,78
58	0,32	0,00	0,00	2,54	5,08	10,16	18,10
59	0,00	0,64	0,00	2,54	5,08	10,16	18,42
60	0,32	0,64	0,00	2,54	5,08	10,16	18,74
61	0,00	0,00	1,27	2,54	5,08	10,16	19,05
62	0,32	0,00	1,27	2,54	5,08	10,16	19,37
63	0,00	0,64	1,27	2,54	5,08	10,16	19,69
64	0,32	0,64	1,27	2,54	5,08	10,16	20,01

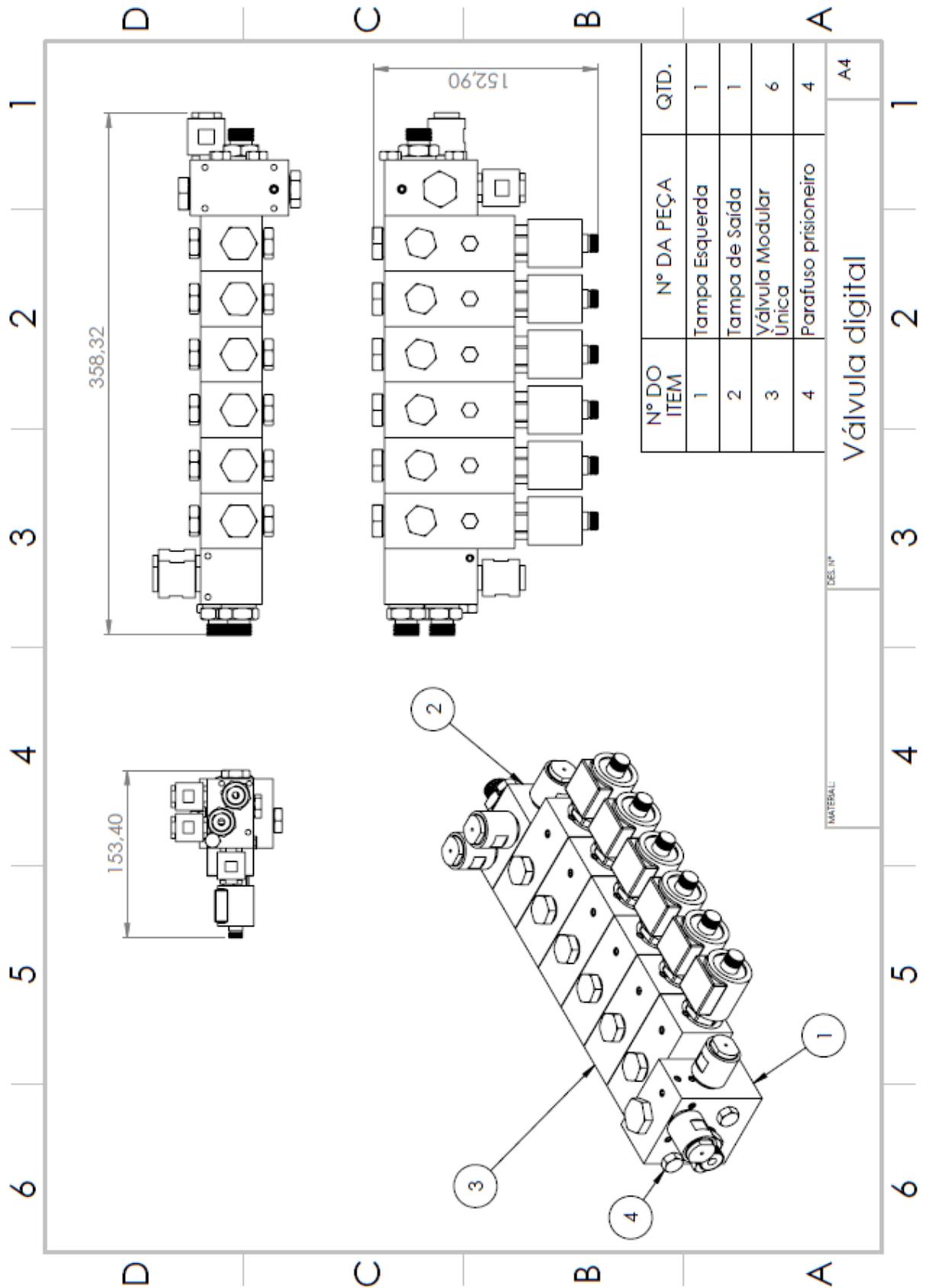
Fonte: O Autor, 2021.

APÊNDICE C – Gráfico vazão x combinação



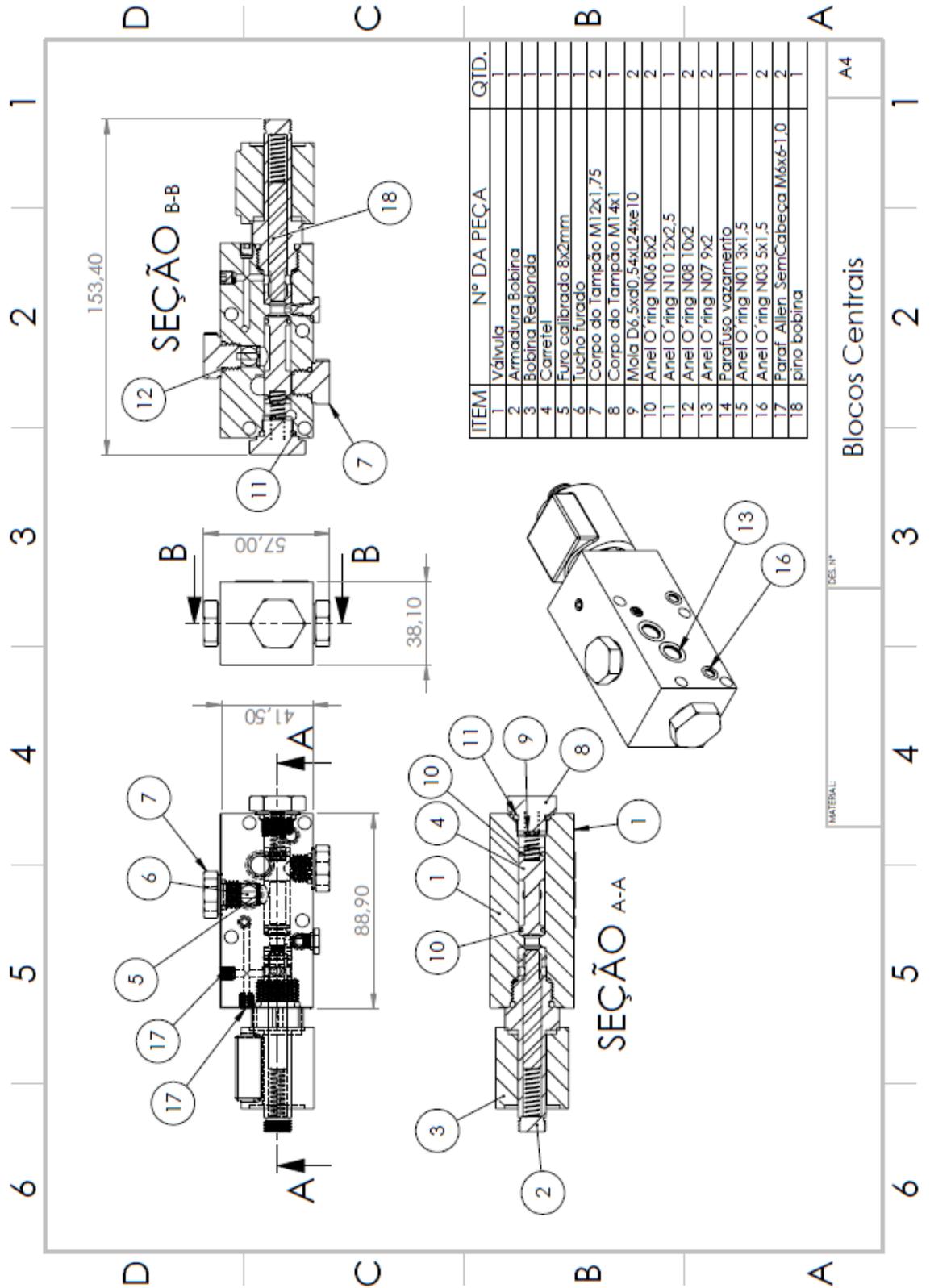
Fonte: O Autor, 2021.

APÊNDICE D – Detalhamento válvula digital



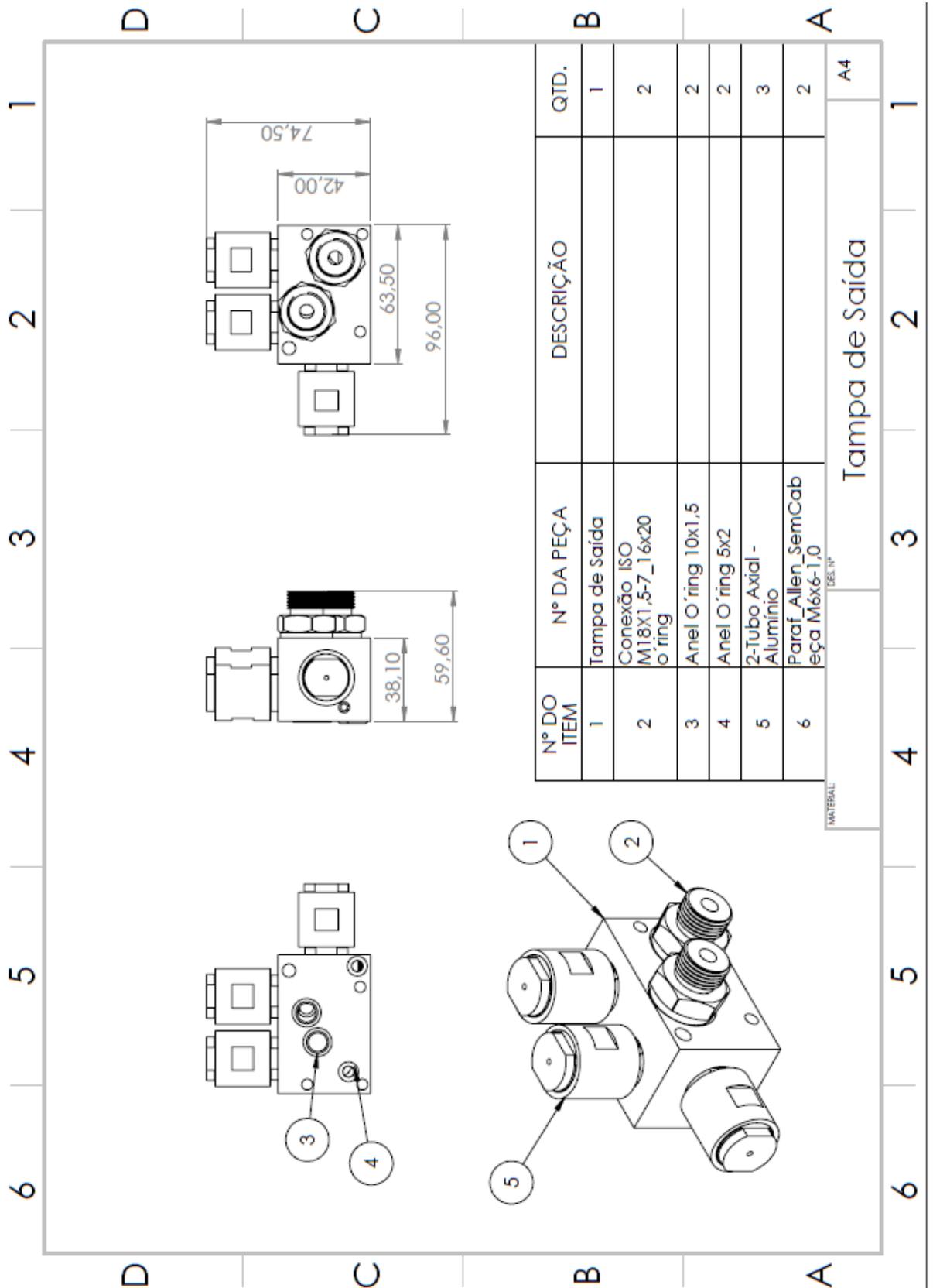
Fonte: O Autor, 2021.

APÊNDICE F – Detalhamento blocos centrais



Fonte: O Autor, 2021.

APÊNDICE G – Detalhamento tampa de saída



Fonte: O Autor, 2021.

ANEXO A – Classificação do fluido hidráulico

INFORMAÇÕES TÉCNICAS

LUBRAX HYDRA

Óleo para sistema hidráulicos que operem em condições severas de pressão e temperatura. Disponível nos graus ISO 32, 46, 68, 100, 150 e 320.

LUBRAX HYDRA é formulado com óleos básicos parafínicos e aditivos especiais que evitam o desgaste e a corrosão das peças lubrificadas. Sua aditivação lhe garante resistência à oxidação e à formação de espuma.

LUBRAX HYDRA é recomendado para uso em sistemas hidráulicos de alta pressão, tais como elevadores, equipamentos de mineração, máquinas de moldagem e injeção de plásticos, prensas e máquinas operatrizes.

LUBRAX HYDRA atende às especificações da norma DIN 51524 parte 2 (HLP)⁽¹⁾.

LUBRAX HYDRA 68 também pode ser usado em sistemas hidráulicos automotivos, como os de máquinas agrícolas, tratores e escavadeiras.

O nome **LUBRAX HYDRA** é a nova denominação do antigo **LUBRAX INDUSTRIAL SH-...-AD**.

Aditivos - anticorrosivo, antidesgaste, antiespumante, antiferrugem, antioxidante e abaixador do ponto de fluidez

ANÁLISES TÍPICAS⁽²⁾

GRAU ISO		32	46	68	100	150	320
Densidade a 20/4°C		0,871	0,879	0,883	0,887	0,891	0,899
Ponto de Fulgor (VA)	°C	230	240	250	264	276	300
Ponto de Fluidez	°C	-18	-18	-15	-15	-12	-6
Viscosidade a 40°C	cSt	31,7	44,0	64,5	96,4	146,7	316
Viscosidade a 100°C	cSt	5,42	6,60	8,43	11,03	14,52	24,0
Índice de Viscosidade		105	101	100	99	97	96
Índice de Acidez Total	mgKOH/g	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Demulsibilidade (tempo de separação)	minutos						
a 54°C:		20	23	30	–	–	–
a 82°C:		–	–	–	23	20	25

(1) O enquadramento no requisito do teste ISO 4406 é feito sob demanda, implicando em custos adicionais de filtragem.

(2) As Análises Típicas representam os valores modais da produção, não constituindo especificações. Para informações mais detalhadas primeiramente consulte nossa assistência técnica.

Janeiro/2011

LUBRAX  **PETROBRAS**

Fonte: PETROBRAS, 2021.

ANEXO B – Quadro de classificação de motores hidráulicos

Type		OMM	OMM	OMM	OMM	OMM	OMM
Motor size		8	12.5	20	32	40	50
Geometric displacement	cm ³ [in ³]	8.2 [0.50]	12.9 [0.79]	19.9 [1.22]	31.6 [1.93]	39.8 [2.43]	50.3 [3.08]
Max. speed	min ⁻¹ [rpm]	cont.	1950	1550	1000	630	500
		int. ¹⁾	2450	1940	1250	800	630
Max. torque	Nm [lbf-in]	cont.	11 [95]	16 [140]	25 [220]	40 [350]	45 [400]
		int. ¹⁾	15 [135]	23 [200]	35 [310]	57 [500]	70 [620]
		peak ²⁾	21 [185]	33 [290]	51 [450]	64 [570]	82 [725]
			100 [890]	140 [1250]	210 [1850]	250 [2150]	300 [2650]
Max. output	kW [hp]	cont.	1.8 [2.4]	2.4 [3.2]	2.4 [3.2]	2.4 [3.2]	2.2 [3.0]
		int. ¹⁾	2.6 [3.5]	3.2 [4.3]	3.2 [4.3]	3.2 [4.3]	3.2 [4.3]
Max. pressure drop	bar [psi]	cont.	100 [1450]	100 [1450]	100 [1450]	100 [1450]	90 [1310]
		int. ¹⁾	140 [2030]	140 [2030]	140 [2030]	140 [2030]	140 [2030]
		peak ²⁾	200 [2900]	200 [2900]	200 [2900]	160 [2320]	160 [2320]
Max. oil flow	l/min [gpm]	cont.	16 [4.2]	20 [5.3]	20 [5.3]	20 [5.3]	20 [5.3]
		int. ¹⁾	20 [5.3]	25 [6.6]	25 [6.6]	25 [6.6]	25 [6.6]
Max. starting pressure with unloaded shaft	bar [psi]	4 [60]	4 [60]	4 [60]	4 [60]	4 [60]	4 [60]
Min. starting torque	at max. press. drop cont.	7 [60]	12 [105]	21 [185]	34 [300]	38 [335]	41 [365]
	at max. press. drop int. ¹⁾	10 [90]	17 [150]	29 [255]	48 [425]	62 [550]	79 [700]
Min. speed ³⁾	min ⁻¹ [rpm]	50	40	30	30	30	30

Fonte: DANFOSS, 2021.

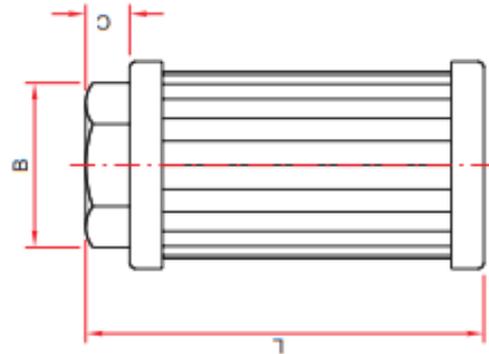
ANEXO D – Quadro de classificação de bombas hidráulicas

Frame size		4,0	6,0	8,0	011	014	017	019	022	025
Displacement	cm ³ /rev [in ³ /rev]	3.9 [0.24]	6.0 [0.37]	8.4 [0.51]	10.8 [0.66]	14.4 [0.88]	16.8 [1.02]	19.2 [1.17]	22.8 [1.39]	25.2 [1.54]
SNP2NN										
Peak pressure	bar [psi]	280 [4060]	280 [4060]	280 [4060]	280 [4060]	280 [4060]	280 [4060]	230 [3335]	200 [2900]	175 [2638]
Rated pressure		250 [3625]	250 [3625]	250 [3625]	250 [3625]	250 [3625]	250 [3625]	210 [3045]	180 [2610]	160 [2320]
Minimum speed at 0-100 bar	min ⁻¹ (rpm)	600	600	600	500	500	500	500	500	500
Minimum speed at 100-180 bar		1200	1200	1000	800	750	750	700	700	700
Min. speed at 180 bar to rated pressure		1400	1400	1400	1200	1000	1000	1000	800	–
Maximum speed		4000	4000	4000	4000	3500	3000	3000	3000	3000

Fonte: DANFOSS, 2021.

ANEXO E – Classificação de filtros de sucção

Modelo	A	B	C	L	Tomada (NPT)	Vazão Máxima
FTS006	44	30	13	75	1/2"	8
FTS012	44	30	13	107	1/2"	12
FTS020	64	44	13	122	3/4"	25
FTS045	64	44	13	153	1"	45
FTS080	98	68	14	169	1 1/2"	90
FTS110	98	68	14	214	1 1/2"	110
FTS160	98	68	14	294	2"	170
FTS200	172	105	18	170	2"	200
FTS300	172	105	18	233	2 1/2"	300
FTS400	172	105	18	298	3"	400
FTS500	172	105	18	363	3"	500



ATENÇÃO: A vazão máxima indicada na tabela acima é expressa em l/min para uma perda de carga inicial de 0,07bar com um fluido com densidade de 0,86kg/dm³, e viscosidade de 32 cSt a 40°C.

ANEXO F – Características alumínio 6351-T6

GGD 6351 _{T6}						
COMPOSIÇÃO QUÍMICA						
Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Outros	
1,00	0,60	0,40	0,10	0,45	0,10	
CONDIÇÕES DE FORNECIMENTO						
Redondo de 12,7mm a 390mm						
CORES DE IDENTIFICAÇÃO						
Sem cor						
Características						
<ul style="list-style-type: none"> • Ótima usinabilidade; • Alta resistência mecânica; • Boa conformabilidade; • Alta resistência à corrosão; • Adequada para anodização. 						
Aplicações						
<ul style="list-style-type: none"> • Componentes diversos para construção mecânica: engrenagens, buchas, coroas, mancais, etc. 						
Propriedades Mecânicas						
Limite de escoamento	Mpa	~260				
Limite de resistência à tração	Mpa	~300				
Alongamento	%	~10				
Dureza	HB	~95				
Propriedades Físicas						
Densidade	g/cm ³	2,75				
Módulo de elasticidade	Gpa	68,7				
Calor específico (0-100°C)	(cal/g.°C)	0,21				
Coefficiente de expansão linear	(L / °C)	24,0x10 ⁻⁴				
Condutividade térmica (0,25°C)	(cal/cm.s.°C)	0,42				
Condutividade elétrica	(IACS)%	~40				

Fonte: GGD, s/a.

ANEXO G – Classificação de mangueiras hidráulicas

1C002/ MANGUEIRA HIDRÁULICA - 1SN / R1AT



Descrição:

Mangueira hidráulica confeccionada em borracha sintética enfaixada com um trançado de aço de alta resistência. Utilizada para linhas de retorno e/ou aplicações de baixa e média pressão.

Características:

Tubo: Borracha sintética resistente ao óleo;
 Reforço: Um trançado de aço de alta resistência;
 Superfície: Borracha sintética resistente a abrasão e a intempérie.

Tipo de fluido:

Óleo hidráulico.



Faixa de Temperatura
 -40°C a 100°C.



Normas
 EN 853 1SN
 SAE 100 R1AT



Aplicações
 Uso geral: utilizada para linhas de retorno, com baixas e médias pressões;
 Transmissores hidrostáticos;
 Agrícola;
 Máquinas e equipamentos.

Informações técnicas:

Código	Diâmetro Interno			Diâmetro Externo	Pressão de trabalho máx.		Pressão de ruptura mín.		Raio mín. de curvatura	Peso
	DN	mm	Polegada		MPa	psi	MPa	psi		
1C0021SN04	6	6,4	1/4"	12,7	22,5	3263	90	13050	100	0,22
1C0021SN06	10	9,5	3/8"	16,5	18	2610	72	10440	130	0,34
1C0021SN08	12	12,7	1/2"	19,5	16	2320	64	9280	180	0,41
1C0021SN12	19	19,1	3/4"	26,7	10,5	1523	42	6090	240	0,64
1C0021SN16	25	25,4	1"	34,5	8,7	1262	35	5046	300	0,95
1C0021SN20	32	31,8	1.1/4"	42,2	6,3	914	25	3654	420	1,24
1C0021SN24	38	38,1	1.1/2"	48,9	5	725	20	2900	500	1,45
1C0021SN32	51	50,8	2"	61,9	4	580	16	2320	630	1,9

Fonte: CISER, 2021.

ANEXO H – Classificações brocas HSS



Brocas para Metal DIN 338

Embalagem grande

Cód.	- Ø - (mm)	- L - (mm)	- W - (mm)	Peso (g)	Cód.	- Ø - (mm)	- L - (mm)	- W - (mm)	Peso (g)
2141	0,50	22	6	1,0	1223	3,10	65	36	3,1
2143	0,70	28	9	1,0	1224	3,20	65	36	3,2
1175	0,80	30	10	1,0	1225	3,25	65	36	3,3
1178	0,90	32	11	1,1	1226	3,30	65	36	3,4
1182	1,00	34	12	1,2	1227	3,40	70	38	3,9
1186	1,20	38	16	1,3	1228	3,50	70	38	4,1
1188	1,30	38	16	1,3	1229	3,60	73	38	4,5
1192	1,50	45	18	0,6	1232	3,80	73	43	5,0
1198	1,80	46	22	0,8	1234	4,00	75	43	5,7
1202	2,00	49	24	1,1	1235	4,10	75	43	6,0
1206	2,20	53	27	1,4	1236	4,20	75	43	6,2
1208	2,30	53	27	1,4	1237	4,25	77	43	6,3
1212	2,50	57	30	1,7	1238	4,30	77	47	6,5
1214	2,60	57	30	1,9	1240	4,50	80	47	7,2
1216	2,70	59	33	2,1	1244	4,80	86	52	9,4
1218	2,80	61	33	2,3	1246	5,00	86	52	10,0
1222	3,00	61	33	2,7	1247	5,10	86	52	10,0

Fonte: IRWIN, 2021.