

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CAMPUS SÃO MATEUS  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**HUARLEY PRATTE LEMKE  
RYCK ANDRADE BOROTO**

**VÁLVULA DIRECIONAL DE FLUXO DE MÚLTIPLAS VIAS:  
ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE PROJETO**

São Mateus - ES  
2017

HUARLEY PRATTE LEMKE  
RYCK ANDRADE BOROTO

**VÁLVULA DIRECIONAL DE FLUXO DE MULTIPLAS VIAS:  
ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE PROJETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica  
do Instituto Federal do Espírito Santo, como  
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me Luiz Rafael Resende da Silva

São Mateus - ES  
2017

---

L554v Lemke, Huarley Pratte  
2017 Válvula direcional de fluxo de múltiplas vias: estudo e desenvolvimento de projeto / Huarley Pratte Lemke, Ryck Andrade Boroto.-- São Mateus, 2017.  
120 f. : il.col. ; 30 cm.

Orientador: Luiz Rafael Resende da Silva.

Monografia (graduação) - Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, Coordenadoria de Curso Superior de Engenharia Mecânica, 2017.

1. Válvulas - Projeto. 2. Irrigação agrícola – Automação. I. Boroto, Ryck Andrade. II. Silva, Luiz Rafael Resende. II. Instituto Federal do Espírito Santo. Campus São Mateus. III. Título.

CDD 621.84

---

Bibliotecária responsável Rossanna dos Santos Santana Rubim CRB6/ES 403



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CAMPUS SÃO MATEUS**

Rodovia BR 101-Norte - Km 58 - Bairro Litorâneo - 29932-540 - São Mateus - ES

27 3771-1252

**COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**HUARLEY PRATTE LEMKE**

**RYCK ANDRADE BOROTO**

**VÁLVULA DIRECIONAL DE FLUXO DE MÚLTIPLAS VIAS: DESENVOLVIMENTO DE PROJETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Aprovado em 26 de Junho de 2017.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof. Me. Luiz Rafael Resende da Silva

Instituto Federal do Espírito Santo

Orientador

Prof. Me. Antônio Carlos Barbosa Zancanella

Instituto Federal do Espírito Santo

Banca Examinadora Interna

Prof. Me. Renan Carreiro Rocha

Instituto Federal do Espírito Santo

Banca Examinadora Externa

Prof. Dr. Robson Bonomo

Universidade Federal do Espírito Santo

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Declaramos, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico-científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e aos autores.

São Mateus, 26 de junho de 2017.



HUARLEY PRATTE LEMKE



RYCK ANDRADE BOROTO

Dedico este trabalho àquelas pessoas que acreditaram em nosso potencial e também às que não acreditaram, pois sem perceberem nos motivaram a mostrar que somos capazes quando queremos.

Para os meus pais, Valcimar José Boroto e Maria da Penha Andrade Boroto.

Ryck

Para Baldoíno (*in memoriam*), Nair, Rogério e Amanda, meus pontos fortes de apoio e inspiração.

Huarley

A informação de que você dispõe  
não é a informação que você deseja.  
A informação que você deseja  
não é a informação que você necessita.  
A informação que você necessita  
não é a informação que você consegue obter.  
A informação que você consegue obter  
custa mais do que você deseja pagar.

Peter Bernstein (1997)

## **AGRADECIMENTOS**

É com sinceridade que agradecemos a todas as pessoas que colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho:

- Aos colegas de trabalho do Instituto Federal do Espírito Santo, pelo suporte técnico;
- Aos amigos do curso de Engenharia Mecânica, pelos finais de semana, madrugadas e longos períodos juntos nos estudos, sendo que não seria fácil fazer essa caminhada sozinho;
- Às nossas famílias, por suportar nossa ausência, e por ter paciência nesses anos de curso, quando estivemos ausentes em vários momentos;
- Aos colegas da Unicamp, André Jardini e Aulus Roberto Romão Bineli, pelo apoio no projeto;

Nossos sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O agronegócio é um dos principais pilares da economia brasileira. A expressão “Brasil celeiro do mundo” faz todo sentido. Este cenário impulsiona processos de desenvolvimentos de produtos para atender o setor agrícola, com espaço para absorver novas tecnologias. Apresenta-se nesta monografia o trabalho de estudo, projeto e pesquisa de desenvolvimento de uma válvula direcional de fluxo de múltiplas vias, visando atender sistema de automação na irrigação, de forma simples, robusta e menor custo de manutenção. O trabalho explora várias etapas do desenvolvimento de um produto, que envolve uma fase inicial, com a identificação do problema, aplicação dos conceitos intrínsecos ao mecanismo e por final manufatura (protótipo), ao qual é dividida pela etapa de seleção de materiais, observando custos e processos disponíveis de fabricação. Um período de testes de automação, ensaios em bancada de perda de carga e simulação de escoamento do fluido em diferentes ângulos de posição do obturador e velocidades, confrontando dois modelos diferentes de protótipos. Os conhecimentos técnicos abordados no trabalho são importantes para atender fases subsequentes do desenvolvimento de produto, para finalizar o projeto. A metodologia adotada no trabalho resume vários meses de trabalho em estudo da válvula, agregando informações certamente relevantes, com resultados que apontam para validar algumas hipóteses e justificar a necessidade de outros estudos. Trata-se de um trabalho sistemático que envolve perícia em várias áreas de engenharia, integrado com outras áreas, que trouxe dados novos, fator este tão importantes para a produção e difusão da ciência.

Palavras-chave: Válvula. Irrigação. Protótipo 3D. Simulação fluidodinâmica. Automação.

## **ABSTRACT**

Agribusiness is one of the main pillars of the Brazilian economy. The expression "Brazil barn of the world" makes perfect sense. This scenario encourages the development of products to meet the agricultural sector through the creation of new technologies. This final course assignment presents the study, design and research to product development of a multi-way valve to meet irrigation automation system in a simple way, robust, and lower maintenance cost. The term paper explores several stages of product development, which involves an initial phase with problem identification, conceptualization, and manufacturing (prototype). A materials selection stage, watching mainly costs and processes available manufacturing. A period of automation testing, load loss simulations, and simulation of fluid flow at different obturator position angles and speed comparing two different models of prototypes. The technical knowledge covered in this term paper is important to meet subsequent stages of product development to finalize the project. The methodology adopted in the work summarizes several months of work in the valve, adding relevant information with results that point to validate some hypotheses, and justify the need for other studies. It is a systematic work that involves expertise in several areas of engineering integrated with other areas, which brought new very important data for the production and diffusion of science.

Keywords: Valve. Irrigation. 3D prototype. Fluid dynamics simulation. Automation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do processo <i>Stage-Gate</i> .....	24
Figura 2 – Evolução dos materiais de engenharia .....	28
Figura 3 – “Afunilamento” de um típico procedimento de seleção de materiais .....	31
Figura 4 – Válvula de esfera.....	34
Figura 5 – Exemplo de um sistema de irrigação automatizado .....	41
Figura 6 – Posicionamento de uma válvula de acionamento eletro-hidráulico.....	43
Figura 7 – Perfil de vetores velocidade em uma válvula gaveta.....	45
Figura 8 – Elementos de um arduino Uno.....	47
Figura 9 – Desenho das carcaças do primeiro modelo da válvula multivias. ....	50
Figura 10 – Vista em corte da segunda proposta da válvula multivias.....	51
Figura 11 – Vista explodida da válvula.....	52
Figura 12 – Vista em corte parcial e total da válvula .....	53
Figura 13 – Carcaça inferior .....	54
Figura 14 – Carcaça superior com quatro saídas.....	54
Figura 15 – Elemento direcionador .....	55
Figura 16 – Anel de vedação inferior.....	56
Figura 17 – Vedação superior .....	56
Figura 18 – Conjunto com pino, porca e vedações .....	57
Figura 19 – Válvula cilíndrica .....	58
Figura 20 – Vista explodida da válvula cilíndrica.....	59
Figura 21 – Geometria de uma calota esférica.....	60
Figura 22 – Componentes do sistema de controle .....	64
Figura 23 – Arduino Motor <i>Shield</i> .....	65
Figura 24 – Projeto do circuito eletrônico da fonte .....	66
Figura 25 – Montagem do circuito na protoboard.....	68
Figura 26 – Projeto da placa de circuito .....	69
Figura 27 – Projeto da placa de circuito .....	69
Figura 28 – Placa de circuito montada .....	70
Figura 29 – Programa arduino 1.6.3.....	71
Figura 30 – Posição estacionária das válvulas.....	72
Figura 31 – Posições do elemento direcionador com variação de 0° à 45° .....	73
Figura 32 – Posições do elemento direcionador com variação de 0° à 18° .....	73

Figura 33 – Forma negativa da válvula .....	74
Figura 34 – Protótipo confeccionado em Nylon .....	81
Figura 35 – Teste de torque com torquímetro de relógio.....	82
Figura 36 – Válvula cilíndrica montada com motor de passo .....	82
Figura 37 – Teste do controle de giro da válvula.....	85
Figura 38 – Teste da válvula em alumínio.....	86
Figura 39 – Detalhe do encaixe da vedação. ....	86
Figura 40 – Detalhe da malha .....	88
Figura 41 – Campo de pressão da válvula semiesférica .....	91
Figura 42 – Campo de pressão da válvula cilíndrica vista lateral.....	92
Figura 43 – Campo de pressão da válvula cilíndrica vista superior .....	92
Figura 44 – Linha de corrente da válvula semiesférica .....	97
Figura 45 – Linha de corrente da válvula semiesférica utilizando partículas.....	97
Figura 46 – Linha de corrente da válvula cilíndrica .....	98
Figura 47 – Campo de velocidade no interior da válvula semiesférica.....	99
Figura 48 – Campo de velocidade no interior da válvula cilíndrica.....	99
Figura 49 – Campo de velocidade no interior da válvula cilíndrica – vista superior	100

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões obtidas para elaboração de cálculos .....	60
Tabela 2 – Valores de área obtidos.....	61
Tabela 3 – Resultados obtidos da força necessária para movimento .....	62
Tabela 4 – Valor do torque mínimo .....	62
Tabela 5 – Especificações do motor de passo NEMA 34 de 42,0 kgf.cm .....	63
Tabela 6 – Especificações do motor de passo NEMA 23 de 200,0 kgf.cm .....	63
Tabela 7 – Especificações Arduino motor <i>shield</i> .....	65
Tabela 8 – Parâmetros de saída e resultado das equações .....	67
Tabela 9 – Parâmetros da bomba Schneider .....	75
Tabela 10 – Parâmetros de entrada para simulação.....	76
Tabela 11 – Descrição dos elementos confeccionados e materiais empregados .....	77
Tabela 12 – Componentes do sistema de controle .....	77
Tabela 13 – Custos do projeto .....	78
Tabela 14 – Parâmetros das malhas testadas .....	87
Tabela 15 – Perda de carga versus velocidade de entrada do fluido.....	89
Tabela 16 – Valores de coeficientes de perda de carga K para algumas conexões .....	90
Tabela 17 – Comparação da perda de carga x ângulo entre os tipos de válvula .....	93

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Vazão por perda de carga de uma válvula globo pilotada. ....	75
Gráfico 2 – Gráfico da curva de perda de carga da válvula semiesférica.....	89
Gráfico 3 – Gráfico da curva de perda de carga da válvula cilíndrica .....	90
Gráfico 4 – Coeficiente de perda de carga de acordo com o ângulo (válvula semiesférica) .....	94
Gráfico 5 – Coeficiente de perda de carga de acordo com o ângulo (válvula cilíndrica) .....	94
Gráfico 6 – Variação da pressão versus ângulo de posição – válvula semiesférica .	95
Gráfico 7 – Variação da pressão versus ângulo de posição – válvula cilíndrica .....	95

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnica

ASME - *American Society of Mechanical Engineers*

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto

CAD - *Computer Aided Design*

CAM - *Computer Aided Manufacturing*

CFD - *Computational fluid dynamics*

CNC - Comando Numérico Computadorizado

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFES - Instituto Federal do Espírito Santo

INPI - Instituto Nacional de Propriedade Intelectual

LCD - Display de Cristal Líquido

MIRG - *Mechanical and Mobility Innovation Research Group*

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

SAE - *Society of Automotive Engineers*

SM - Seleção de materiais

PDP - Processo de Desenvolvimento de Produto

PI - Patente de invenção

PTFE - Politetrafluoretileno

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

USB - *Universal Serial Bus*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
1.1	MOTIVAÇÃO .....	20
1.2	OBJETIVO GERAL.....	22
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	23
2.1	PROJETO DE MÁQUINAS.....	23
<b>2.1.1</b>	<b>Processo de seleção de materiais</b> .....	27
<b>2.1.2</b>	<b>Abordagens microscópica e macroscópica</b> .....	30
2.2	CUSTO .....	31
2.3	FABRICAÇÃO .....	32
2.4	PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA VÁLVULA INDUSTRIAL .....	34
<b>2.4.1</b>	<b>Válvulas</b> .....	34
<b>2.4.2</b>	<b>Corpo da válvula</b> .....	35
<b>2.4.3</b>	<b>Castelo</b> .....	36
<b>2.4.4</b>	<b>Conexão</b> .....	37
<b>2.4.5</b>	<b>Obturador</b> .....	37
<b>2.4.6</b>	<b>Tipos de vedação</b> .....	37
<b>2.4.7</b>	<b>Atuador</b> .....	38
2.5	AUTOMAÇÃO.....	38
2.6	ANÁLISE COMPUTACIONAL .....	43
2.7	SISTEMA EMBARCADO .....	46
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	49
3.1	DESENVOLVIMENTO E PROTOTIPAGEM: VÁLVULA DE MULTIPLAS VIAS .....	49
<b>3.1.1</b>	<b>Desenho e alterações do protótipo</b> .....	49
<b>3.1.2</b>	<b>Carcaça superior e inferior da válvula</b> .....	53

3.1.3	<b>Elemento direcionador</b> .....	55
3.1.4	<b>Sistema de vedação</b> .....	55
3.1.5	<b>Pino de transmissão</b> .....	57
3.1.6	<b>Modelo em formato cilíndrico</b> .....	58
3.2	<b>SISTEMA DE CONTROLE DE POSICIONAMENTO</b> .....	59
3.2.1	<b>Dimensionamento do motor de passo</b> .....	59
3.2.2	<b>Projeto do circuito elétrico e dimensionamento dos componentes</b> .....	64
3.2.3	<b>Programação lógica em arduino</b> .....	70
3.3	<b>ANÁLISE FLUIDODINÂMICA</b> .....	71
3.3.1	<b>Simulação e análise de escoamento do fluido</b> .....	74
3.4	<b>MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA CONFECÇÃO DOS PROTÓTIPOS</b> .....	76
3.5	<b>CUSTOS</b> .....	78
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	80
4.1	<b>CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO</b> .....	80
4.1.1	<b>Protótipo confeccionado em polímero</b> .....	80
4.1.2	<b>Protótipo confeccionado em alumínio</b> .....	81
4.2	<b>TESTE DE BANCADA</b> .....	83
4.3	<b>SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA</b> .....	87
4.3.1	<b>Campo de pressão – definição da perda de carga</b> .....	88
4.3.2	<b>Linhas de corrente</b> .....	96
4.3.3	<b>Campo de velocidade</b> .....	98
4.4	<b>LIMITAÇÕES</b> .....	100
4.4.1	<b>Problema relacionado a válvula semiesférica</b> .....	100
4.4.2	<b>Problema de vedação válvula de alumínio</b> .....	101
4.4.3	<b>Dificuldades com simulação</b> .....	102
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	103

<b>5.1.1</b>	<b>Trabalhos futuros .....</b>	<b>104</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Investimentos em educação e tecnologia são chaves para superação de crises econômicas e alavancar o crescimento de países. Há inúmeros exemplos de nações que investiram em setores inovadores, dinâmicos e competitivos para projetar o país no cenário internacional. As empresas mais rentáveis são as que direcionam suas ações num processo complexo para explorar nichos específicos de mercado por meio de monopólios temporários (patentes e segredos industriais), ao invés de competir em mercados saturados.

“A inovação tecnológica constitui uma ferramenta essencial para aumentar a produtividade e a competitividade das organizações, assim como para impulsionar o desenvolvimento econômico de regiões e países” (TIGRE, 2006, p. 5). Karl Marx entendia que a inovação era uma forma de obter um monopólio temporário sobre uma técnica superior ou produto diferenciado.

O processo de desenvolvimento de produto (PDP), com intuito de inovação tecnológica, abarca um conjunto de atividades aos quais buscam-se a partir de necessidades de mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, chegar as especificações de um projeto de produto. Rozenfeld e outros (2006) relatam que novos produtos são demandados e desenvolvidos para atender segmentos específicos de mercado, incorporando tecnologias diversas e integrando outros produtos e usos.

Rozenfeld e outros (2006) observam que os projetos podem ser classificados por diversos critérios, sendo baseada pelo grau de mudança que o design traz em relações a opções anteriores. A válvula multivias adequa a categoria de projeto incremental, pois deriva de um produto existente, abarcando algumas modificações. Classifica-se ainda neste tipo, pois inclui redução de custos e apresenta inovações incrementais no produto, requisitando menos recursos, uma vez que parte de produtos existentes.

As oportunidades para inovação que os materiais apresentam atualmente são imensas, porém este avanço só é possível com a expertise do projetista para o correto procedimento de escolha e aplicação (ASHBY, 2012). No caso do mecanismo aqui estudando, aspectos de manutenção, durabilidade, corrosão, custos, fabricação e outros devem ser considerados.

As soluções tecnológicas de PDP tanto podem ser desenvolvidas como demandadas. Etapas de pesquisa e desenvolvimento são cruciais, sendo incorporadas apenas soluções maduras e estáveis. Neste sentido a simulação, prototipagem e ensaios subsidiam importantes retornos. Se tratando de um novo produto, o conjunto destas alternativas trazem respostas importantes de investigação, lapidando o produto e avançando na técnica.

Neste sentido, nas páginas seguintes serão abordadas a construção de uma válvula direcional de múltiplas vias, utilizando os conceitos de desenvolvimento de produto, sendo identificado o desenho do equipamento como inovação.

Neste percurso, serão comentados os estudos realizados nas etapas de desenvolvimento, passando pelo design, seleção de material e fabricação, prototipagem, simulação e ensaios (automação e testes de laboratórios).

## 1.1 MOTIVAÇÃO

O foco inicial proposto pelos pesquisadores é projetar uma válvula direcional de múltiplas vias, visando a automação dos sistemas de irrigação de culturas em propriedades rurais. Automação gera economia, produtividade, melhora qualidade, melhora o manejo e alerta o problema (CARVALHO, 2014; ALBURQUEQUE e DURÃES, 2013; BERNARDO et al, 2006; SOUSA et al, 2011).

Em síntese o equipamento traz uma solução tecnológica para a automação pensado e concebido para este fim. Hoje, os sistemas disponíveis no mercado são adaptados e moldados para atender o agronegócio, porém quase nenhum desenvolvido especificamente para este setor. A válvula simplifica o sistema de irrigação, agrega segurança ao sistema e pode ser um grande diferencial dentro da porteira.

Por suas características de aplicação, trata-se de um equipamento robusto, versátil, que racionaliza o uso da água, gera economia no consumo de energia elétrica, diminui a mão de obra no momento da irrigação (automatização), com baixo custo para implantação, adaptando-se em projetos de irrigação já consolidados e em novas plantas. Espera-se melhorar a produtividade no campo, agregar tecnologia às propriedades rurais e diminuir os custos com a implantação de um sistema de irrigação. Tais conjuntos de características, se obtiverem êxito em sua implementação, pode revolucionar a atividade agrícola no campo da irrigação.

Sistemas de irrigação necessitam funcionar no tempo e na hora certa, evitando o estresse hídrico da planta. Para isto, o sistema que comanda o conjunto de bombas e registros, precisa ser inteligente, acionando e parando os motores na hora certa. Bernardo (2006), ratifica as três chaves para o sucesso de um sistema de irrigação: quando irrigar (horário de rega), quanto irrigar (duração da rega) e frequência (dias e vezes necessárias). A proposta da válvula converge neste sentido.

Manter um funcionário responsável pela irrigação 24 horas por dia, 7 dias por semana, tem um custo sensível, e que inviabilizaria várias culturas, principalmente para pequenos produtores. É preciso ser competitivo neste setor. Pode-se comparar um sistema de irrigação a um organismo vivo: O controlador é o cérebro, as válvulas correspondem ao coração, os emissores são as extremidades (braço pernas, etc.) (CARVALHO, 2014; ALBURQUEQUE e DURÃES, 2013; BERNARDO et al, 2006; SOUSA et al, 2011). O equipamento dispensa a presença do operador.

Em síntese, motiva-se o uso do equipamento que propõe:

- a) Racionalizar o consumo de água;
- b) Minimizar lixiviação;
- c) Economizar energia elétrica;
- d) Melhorar e aumentar a produção;
- e) Irrigar a cultura, observando as necessidades hídrica da planta;
- f) Permitir sistemas de fertilização por irrigação;
- g) Automatizar o sistema de irrigação, entre outros benefícios.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O estudo aborda a aplicação dos conhecimentos de engenharia para elaborar um projeto e simulação de válvula multivias, com concepção inicial para ser aplicada em sistemas de irrigação agrícola, com o desenvolvimento e estudo do protótipo da válvula direcional de fluxo de múltiplas vias.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Revisar a bibliografia e projetar o desenho de uma válvula direcional diferenciada;
- b) Confeccionar um protótipo da válvula utilizando tecnologia 3D;
- c) Confeccionar protótipo da válvula utilizando usinagem convencional;
- d) Elaborar uma interface de controle e programação para comando da válvula;
- e) Fazer o projeto da válvula, observando as características da área de aplicação, utilizando ferramentas computacionais de desenho técnico, em plataformas CAD (AutoCAD e *SolidWorks*).
- f) Realizar simulação do projeto, utilizando o software ANSYS, que é um programa próprio de simulação para engenharia e analisar comparativamente os resultados obtidos.
- g) Propor melhorias para um produto que atenda às necessidades dos clientes.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão revisados os fundamentos teóricos sobre projetos de máquinas, principais componentes de uma válvula e automação, princípios e conceitos necessários para a compreensão do tema, bem como embasamento do desenvolvimento do projeto e testes realizados.

### 2.1 PROJETO DE MÁQUINAS

Qualquer projeto de engenharia tem por sua base atender alguma necessidade humana. Numa visão macro, a engenharia pode ser revelada como uma combinação de ciência e arte em que recursos naturais são transformados em produtos, estruturas ou máquinas úteis a auxiliar no cotidiano (COLLINS, 2006).

“Projetar é formular um plano para atender a uma necessidade específica ou resolver um problema. [...] o produto deverá ser funcional, seguro, confiável, competitivo, e próprio para ser usado, fabricado e comercializado” (BUDYNAS e NISBETT, 2011, p. 30).

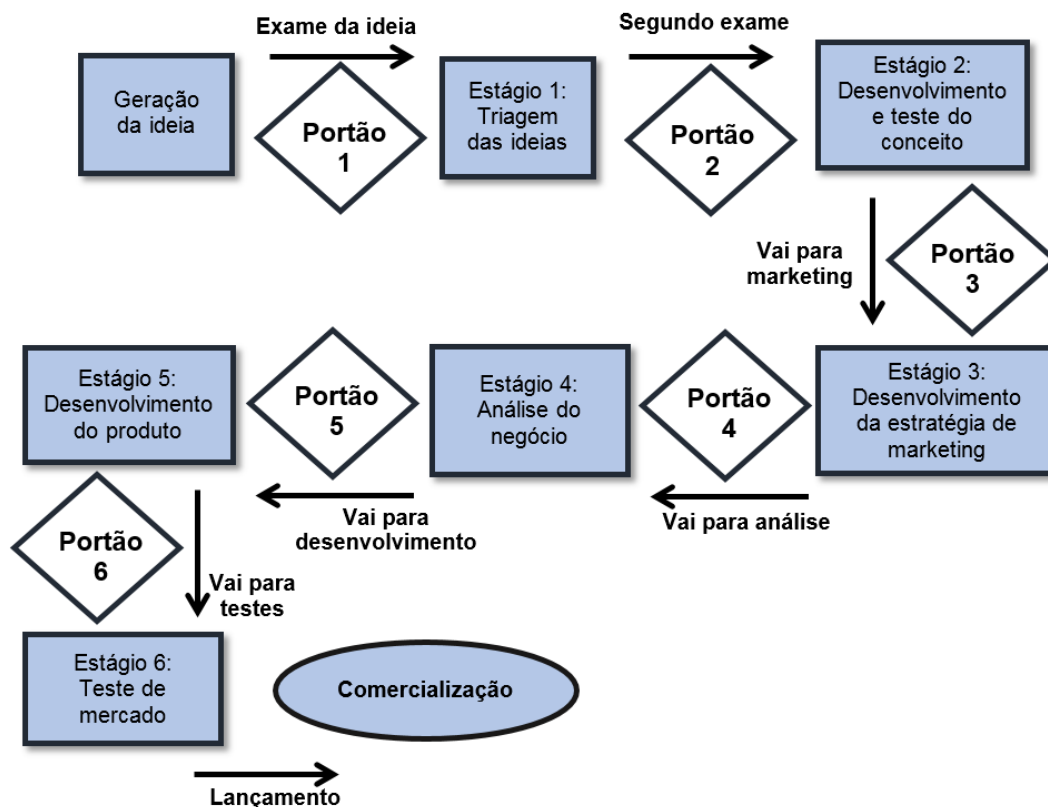
A partir da necessidade do desenvolvimento do dispositivo capaz de automatizar o processo de irrigação em propriedades, dá-se início à busca por revisão de literatura em relação aos temas ligados ao desenvolvimento e modelos de produto. A gestão de desenvolvimento de novos produtos é encarada como um processo de negócio, no qual se têm entradas (conhecimento) que são processados e trazem resultados parciais (um protótipo) ou finais como o produto lançado no mercado (ROMEIRO FILHO, 2009).

Considerando o custo e extensão de vida de uma cultura, especificamente as válvulas das linhas de irrigação, é um ponto importante de investigação e observação, visando reduzir manutenções e ter considerável grau de confiabilidade quando na necessidade de automação. No sistema de irrigação na agricultura, as válvulas necessitam de atenção especial, pois sua inoperância ou mau funcionamento pode causar perdas de carga na rede, vazamentos, desperdício de água e comprometer a operação da irrigação. Segundo Bernardi (2003, p. 2):

[...] os recursos hídricos acessíveis ao consumo humano direto constituem uma fração mínima do capital hidrológico, observa-se ainda a cada dia que a água, em escala mundial, é um recurso cada vez mais escasso, seja pelo crescimento da população e de atividades econômicas, com aumento da demanda, seja pela redução da oferta, está condicionada especialmente pela poluição dos mananciais.

Kotler (2013) observa que se uma organização quiser formalizar um processo de inovação esta terá que adotar um processo bem definido para coletar ideias (*brainstorming*) e avançar para um produto ou serviço que gere confiança no mercado, seguindo uma metodologia de oito estágios conhecida como processo *Stage-Gate*, conforme Figura 1:

Figura 1 – Fluxograma do processo *Stage-Gate*



Fonte: autoria própria.

O PDP procura atender a concepção de solução para um devido problema (ROMEIRO FILHO, 2009). Ainda de acordo com o autor a definição do projeto do produto é menos trivial do que se pode imaginar e se devem compreender todas as atividades

envolvidas em suas terminologias adotadas. É preciso obter o conhecimento de PDP, que tem gerado pesquisas entre as mais diversas áreas industriais (automobilístico, aeroespacial, agronegócio, entre outros), envolvendo desde a análise do processo até a construção de protótipos. (ROZENFELD et al., 2006; VALERI, 2000)

O uso do PDP vem-se tornando indispensável às organizações que buscam aumentar a variedade de seus produtos e almejam liderança tecnológica. De acordo com Romano (2003), o processo de desenvolvimento de produtos consiste na realização de atividades que tem início na detecção de oportunidade de negócio até o lançamento do produto no mercado. Dessa forma, o PDP se apresenta como uma significativa fonte de oportunidades para as empresas empreenderem esforços de melhoria com o propósito de contribuir em seus resultados e de difusão de tecnologia e conhecimento para processos iniciados em centros de pesquisa.

O desenvolvimento de produto precisa ser um processo eficaz e eficiente para realmente tornar uma empresa competitiva (ROZENFELD et al., 2006). O projeto do produto precisa observar as necessidades ou os desejos do consumidor, frequentemente vagos ou subjetivos, em especificações de engenharia quantitativas e objetivas (COLLINS, 2006).

Budynas e Nisbett (2011) relatam que projetar é uma atividade de intensa comunicação, usando palavras e imagens, e que o engenheiro precisa ter habilidades importantes para o sucesso nesta empreitada, onde os conhecimentos tecnológicos são entremeados com criatividade e solução de problemas. “O projeto de engenharia envolve todas as disciplinas da engenharia mecânica” (BUDYNAS e NISBETT, 2011, p. 31).

Ainda sobre projeto, Norton (2013) associa projeto ao termo design, ligado principalmente à aparência estética do objeto. O autor cita o exemplo do automóvel que tem suas peças mecânicas (motor, freios, suspensão, etc.) projetadas por engenheiros, não desenhadas por artistas, muito embora o engenheiro consiga expressar sua arte quando está projetando peças mecânicas.

Norton (2013, p. 3) ainda observa que a palavra *design* provém da palavra latina *designare*, que denota “designar ou escolher” que significa “esboçar, traçar ou planejar como ação ou trabalho (...) para conceber, inventar, produzir”, preocupando mais com o projeto de engenharia do que com o desenho artístico, num processo de aplicação das várias técnicas e princípios científicos com o intuito de definir um dispositivo, um método ou um sistema suficientemente pormenorizado para permitir sua realização.

“Os engenheiros utilizam ou aplicam conhecimento científico juntamente com capacidade artística e experiência para a fabricação ou o planejamento de produtos” (COLLINS, 2006, p. 3).

O projeto de máquinas consiste por sua vez da aplicação de conhecimentos de engenharia, visando a criação de um mecanismo que funcione com razoabilidade, segurança e confiabilidade. A máquina é definida como “um dispositivo que modifica a força ou o movimento” (NORTON, 2013, p. 3).

É papel do engenheiro dimensionar, calcular, definir as forças e movimentos, determinar formas e os materiais necessários no processo construtivo da máquina ou suas partes. Este trabalho de projeto envolve necessariamente conhecimentos de desenho, estática, dinâmica, resistência dos materiais (análise de tensões) e propriedades dos materiais, sendo realizado por parte dos elementos que compõe o equipamento, considerando a inter-relação de cada componente (NORTON, 2013).

Nestas tarefas, de desenvolvimento do produto, os engenheiros mecânicos quase sempre são inclusos nas equipes, por sua formação ampla que abrange conceitos ligados a máquinas e sistemas que realizam tarefas mecânica ou convertem energia em trabalho mecânico. Nesta atribuição de criar, melhorar o aperfeiçoar o produto, o engenheiro mecânico observa que não existe uma única solução para os problemas de projeto, sendo as tarefas abordadas de múltiplas maneiras, culminando com a melhor escolha (COLLINS, 2006).

No caso da válvula multivias, nesta etapa de projetos foram utilizadas ferramentas computacionais, com auxílio de desenho por computador (CAD), permitindo o desenvolvimento de projetos 3D, onde propriedades geométricas como áreas e

distancias entre pontos são facilmente obtidas. Essa etapa da engenharia com auxílio de computador é prevista por Budynas e Nisbett (2011), que relatam a importância do uso de pacotes de programas para simulações e auxílio nos desenhos.

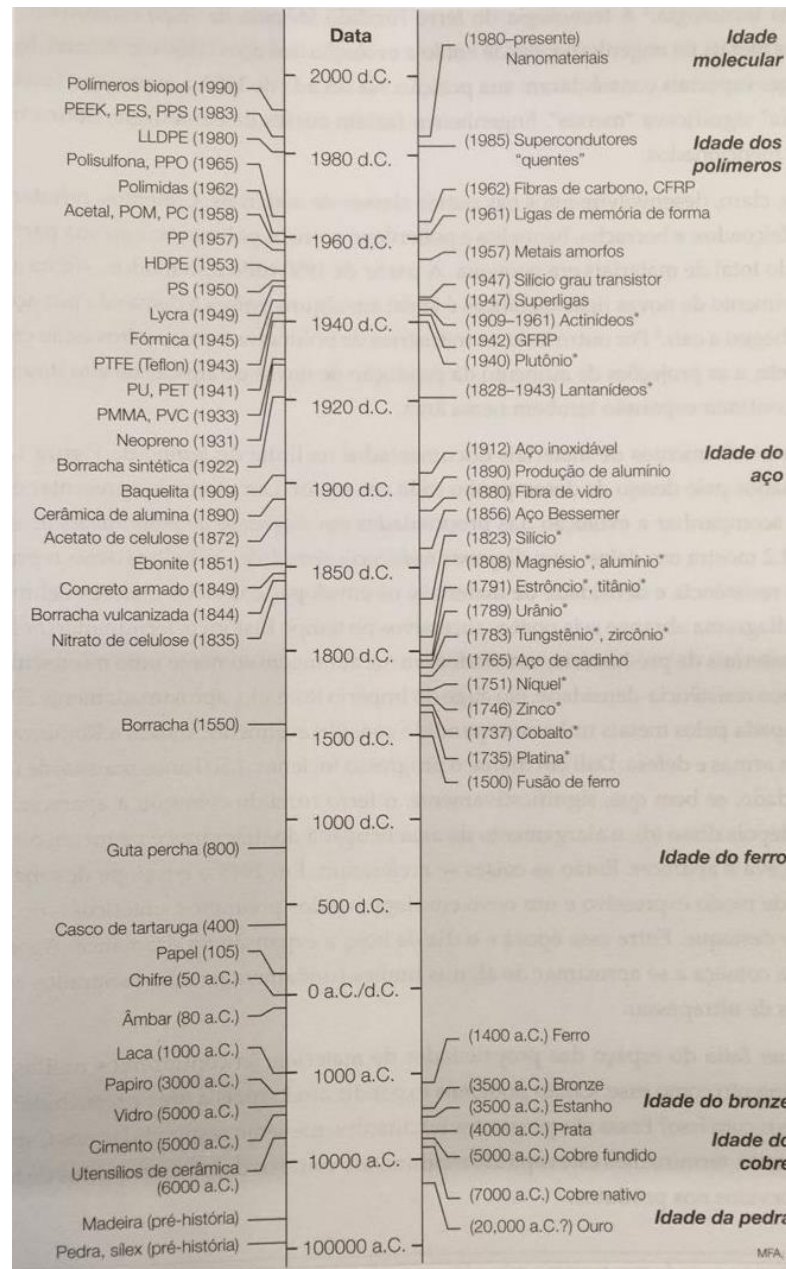
### 2.1.1 Processo de seleção de materiais

Materiais de engenharia estão evoluindo rapidamente e a escolha é mais ampla do que jamais fora. Para o projeto e desenvolvimento de uma máquina ou produto, a seleção do material empregado é uma das atividades mais importantes para o engenheiro mecânico, mas também para profissionais de outras especialidades tecnológicas. Chatterjee, Athawale e Chakraborty (2011) estimam haver mais de 80 mil tipos de materiais no mundo, incluindo ligas metálicas e não metálicas. Para Ashby (2012) este número de materiais disponíveis de seleção para os engenheiros é mais amplo: 160 mil. A Figura 2 ilustra a evolução dos materiais de engenharia.

Ashby (2012) relata, que no passado, os engenheiros contavam com sua expertise para escolher o material mais adequado para seu projeto. Porém, o conhecimento em experiência é proporcional ao tempo, e isto não condiz com os tempos atuais, com informação rápida. Era preciso um modelo sistemático, com rápido aprendizado, consistente e robusto, para validar as decisões.

Outra característica, é que a seleção de materiais (SM) se trata de atividade que envolve uma gama de conhecimentos técnicos, cuja amplitude dificilmente é abrangida por um só tipo de profissional por ser o ponto focal de uma série de especialidades tecnológicas. Essas se estendem desde a concepção do projeto até a validação em campo. Interdisciplinaridade e interatividade são particularmente exigidas em SM, da qual seleção de processo e design do produto fazem parte, integrando assim engenheiros de produção, de materiais e mecânicos (FERRANTE, 2000).

Figura 2 – Evolução dos materiais de engenharia



Fonte: Ashby (2012, p. 5).

O processo de escolha do material é indissociável com o procedimento de fabricação. Ferrante (2002) observa que a equipe responsável pelo processo de escolha dos materiais de um projeto muitas vezes deverá atender os procedimentos da filosofia de compromisso, onde pode ser feito o sacrifício de uma propriedade em benefício de uma otimização do conjunto, ressaltando múltiplos critérios.

Os materiais estão mais entranhados na sociedade do que se pode perceber. Vive-se a idade dos materiais avançados, onde o desenvolvimento e o avanço das sociedades estão intimamente ligados às habilidades em produzir e manipular materiais para satisfazer suas necessidades (CALLISTER, 2002).

A escolha do material é amarrada com o processo de conformação, união e acabamento que será dado ao material. É fato que há uma aceleração no desenvolvimento de materiais e nos modos como são usados em produtos. O desempenho e a economia exercem forte fator nas pressões sobre mudança, entre outras variáveis.

Segundo Ferrante (2000), as atividades de SM podem ser executadas tendo múltiplos objetivos, cada um caracterizado por um ou mais requisitos específicos. A lista a seguir fornece alguns exemplos:

- a) Redução de custo: as estratégias podem incluir troca do material de construção, por exemplo, polímero substituindo aços na indústria automotiva.
- b) Novas condições de serviço: exemplificadas por aumento de pressão e temperatura em um equipamento de processo na indústria.
- c) Materiais versus processo. Há situações em que é necessário proceder a substituição de materiais para permitir a adoção de um processo de fabricação mais econômico.
- d) Redução de peso: este é um requisito universal para qualquer produto que seja móvel.

Pelo exposto, conclui-se pelas anotações de Ashby (2012, p. 110-111), que a seleção de materiais é executada em quatro etapas:

Tradução: reinterpretar os requisitos de projeto em termos de função, restrições, objetivos e variáveis livres.

Triagem: deduzir os limites de atributos das restrições e aplicar esses limites para isolar um subconjunto de materiais viáveis.

Classificação: ordenar os candidatos viáveis pelo valor de um índice de material, o critério de excelência que maximiza ou minimiza alguma medida de desempenho.

Documentação: pesquisar documentação para os candidatos mais bem classificados, explorando aspectos de seu histórico, sua utilização

estabelecida, seu comportamento em ambientes relevantes, sua disponibilidade e outros, até montar um quadro detalhado que possibilite uma escolha final.

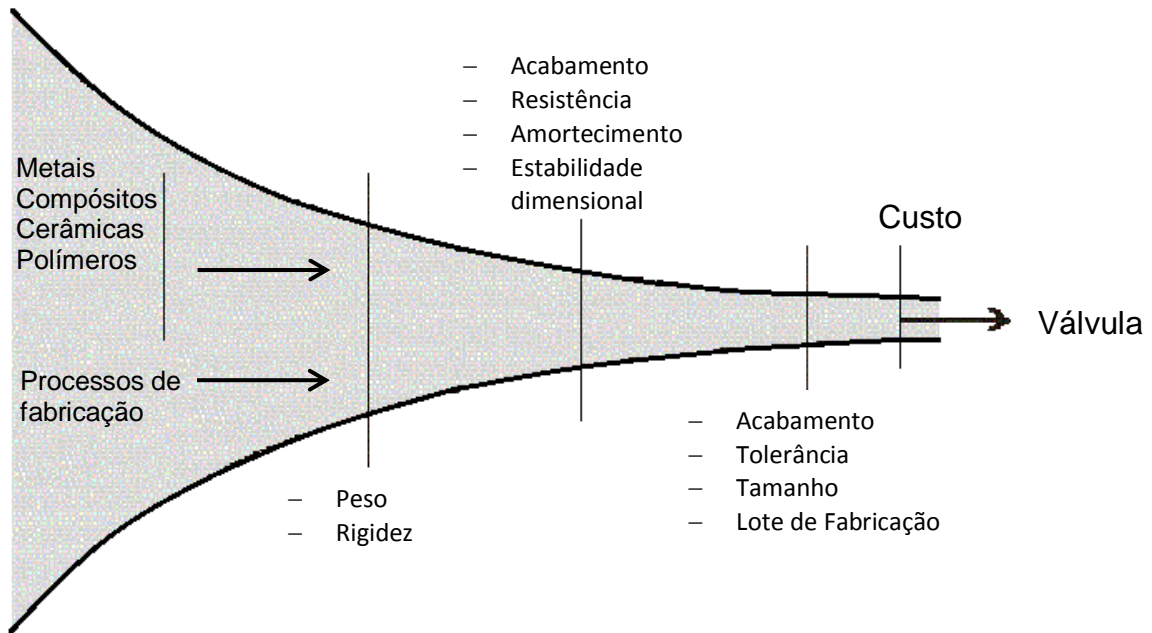
Ferrante (2002) em seu livro **Seleção de Materiais** apresenta 16 critérios de seleção, aos quais considera entre características e propriedades os mais representativos:

- a) Considerações dimensionais;
- b) Considerações de forma;
- c) Considerações de peso;
- d) Considerações de resistência mecânica;
- e) Resistência ao desgaste;
- f) Conhecimento das variáveis de operação;
- g) Facilidade de fabricação;
- h) Requisitos de durabilidade;
- i) Número de unidades;
- j) Disponibilidade de material;
- k) Custo;
- l) Existência de especificação e códigos;
- m) Viabilidade de reciclagem;
- n) Valor de sucata;
- o) Grau de normalização;
- p) Tipo de carregamento;

### 2.1.2 Abordagens microscópica e macroscópica

Ferrante (2000) esquematiza o processo de seleção na Figura 3. É ilustrado em formato de funil que inicialmente entra um número variado de materiais candidatos, não descartando a hipótese de algum, porém a aplicação sucessiva das restrições transforma essa abordagem inicial em uma mais detalhada e seletiva a medida que o processo percorre para direita. O processo de SM inicia com uma abordagem macroscópica e conclui com um enfoque microscópico.

Figura 3 – “Afunilamento” de um típico procedimento de seleção de materiais



Fonte: adaptado de Ferrante (2000).

Sobre estes aspectos, neste trabalho é importante analisar duas características do processo de seleção: custo e fabricação.

## 2.2 CUSTO

Custo é um fator que deve ser avaliado em função do benefício. Segundo Callister (2006), existem critérios importantes que devem ser levados em consideração no desenvolvimento de novos produtos para maximizar a chance de tal produto se tornar comercializável. Vários desses critérios são de natureza econômica e, de certa forma, não estão relacionados a princípios científicos ou a práticas de engenharia, entretanto são relevantes para a competitividade do produto.

O custo está presente em todas as fases. É um fator importantíssimo e frequentemente decisivo na escolha. Ashby (2012) observa que para cada aplicação prática existe quase sempre vários materiais possíveis; o melhor será o que for mais econômico. E ainda conclui, que não é somente o custo direto decisivo para a escolha do material mais econômico, porém deve ser considerado outros fatores, como: tempo

de vida, custo de fabricação, custo de paralisação e de reposição do equipamento, entre outros.

Segundo Baxter (1995), a segmentação da análise dos artefatos se divide em três funções básicas: uma função prática, que trata do uso do objeto – incluindo aspectos ergonômicos, de fabricação, custos, mecanismos de funcionamento, legibilidade, entre outros. Possui a função estética que trata da maneira como o objeto é percebido pelos sentidos humanos, incluindo as proporções de forma, aplicabilidade de cores, texturas, odores, sons e até sabores. Há também uma função simbólica, que trata do cunho psicológico do cliente do ponto de vista do repertório de significados dos usuários, a promoção de emoções e a percepção de valor.

Santos (2012) afirma que poderá ser facilitada a decisão de qual material utilizar com a organização das informações, que inclui: o índice de desempenho, custos, outras considerações importantes de cada material pretendente. E reafirma, os objetivos da SM tem como foco algumas características ou requisitos específicos: redução de custos; novas condições de serviço; redução de peso; novos materiais.

Portanto o custo é fator crucial no processo de escolha de materiais, com enfoque ao mercado que estará absorvendo o produto. Na maioria das situações, o custo do material é o aspecto preponderante, o que destaca o critério econômico respeitável na seleção.

### 2.3 FABRICAÇÃO

Diversos processos de fabricação podem ser utilizados na manufatura de um produto. Por exemplo, na usinagem convencional temos o torneamento, fresamento, furação, retificação, mandrilhamento, rosqueamento, aplainamento, alargamento. Ou ainda num processo não convencional, a utilização de jato d'água, jato abrasivo, fluxo abrasivo, eletroquímica, eletroerosão, laser, plasma, entre outros. Há ainda os processos sem remoção de cavaco, que podemos citar metalurgia do pó, fundição, soldagem e conformação (laminação, extrusão, trefilamento, forjamento, etc).

Atualmente um dos processos bem utilizados para a confecção de peças e até protótipos para fins de verificação de comportamento em testes e o processo CNC (*Computer Numeric Control*). Quando se necessita garantir um melhor acabamento superficial e tolerâncias dimensionais mais adequadas a usinagem CNC em máquinas três eixos é a mais recomendada, podendo confeccionar geometrias complexas com até um certo grau de dificuldade (AMORIM e VOLPATO, 2005).

Outro processo utilizado atualmente para confecção de protótipos é a prototipagem rápida por impressão 3D. Nos equipamentos de impressão tridimensional o protótipo é feito em uma modelagem CAD e, posteriormente, convertido em um sistema CAM utilizado pela máquina ao qual produzirá a peça através do sistema de fatias. Em seguida lança-se resina ou aglutinante, por meio de um cabeçote, sob o material depositado na bandeja de impressão, confeccionando assim o protótipo (JACOBS, 1992).

A fabricação de um produto deve ser economicamente viável, reduzindo os custos de produção e contribuindo para a conservação ambiental, quando possível, com a utilização de materiais sustentáveis. A escolha de um material, não poderá ser realizada sem considerar os processos de fabricação exigidos, como por exemplo: conformação, solda, etc., os quais por sua vez dependem das propriedades dos materiais Callister (2006).

No conjunto, alguns aspectos mais relevantes no processo de fabricação de um produto são: considerações dimensionais, considerações de forma, considerações de peso, considerações de resistência mecânica, resistência ao desgaste, facilidade de fabricação, número de unidades, disponibilidade de material, viabilidade de reciclagem, entre outros aspectos (FERRANTE, 2000).

Charles e Crane (1989) sugeriram que qualquer projeto deve ser caracterizado em termos de quatro atributos principais: função, aparência, processo de fabricação e custo. Para Baxter (1995), a segmentação da análise dos artefatos inclui uma função prática, que trata do uso do objeto – incluindo aspectos ergonômicos, de fabricação, custos, mecanismos de funcionamento, legibilidade, entre outros.

Portanto no “processo de fabricação o custo dos materiais possui grande importância, o que torna a escolha mais refinada, facilitando assim a opção por um único material” (SANTOS, 2012, p. 13).

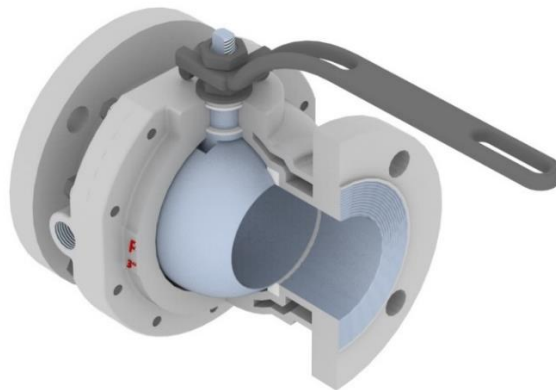
## 2.4 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA VÁLVULA INDUSTRIAL

### 2.4.1 Válvulas

“Válvulas são acessórios de tubulações utilizados em processo industrial para bloquear, direcionar, limitar a pressão de entrada, controlar a pressão de um fluido na saída de algum equipamento ou permitir o escoamento do fluido num único sentido” (MATHIAS, 2008, p. 11).

Existe uma variedade de tipos de válvulas, como a válvula borboleta, esfera, agulha e globo. A Figura 4 ilustra uma válvula do tipo esfera com as partes internas, sendo a que mais se assemelha a válvula de múltiplas vias. Também há um leque de diferentes tipos de acessórios, como os atuadores que podem ser eletro-hidráulicos, elétricos, pneumáticos e eletropneumáticos. As características inerentes de vazão podem ser do tipo abertura rápida, linear, etc. (FISHER, 2005). Sua aplicação encerra-se nas mais diversas áreas. Estima-se em aproximadamente 12 mil válvulas numa plataforma de petróleo que produz em média 180 mil barris por dia de petróleo e entre 80 e 95 mil válvulas numa refinaria de média capacidade (SILVA, 2010).

Figura 4 – Válvula de esfera



Fonte: Poligeomeca (acesso em 03 abril 2017)

As válvulas são compostas geralmente por três partes: ponta, haste e cabeça. Estas podem ser também diferentes em suas formas, aplicações e tamanhos. A primeira, o corpo, é onde há interação com o fluido do processo. Nesta parte da válvula, há um obturador, fixado na ponta de uma haste móvel, que dependendo da posição desta, há movimentação com relação à sede da válvula, provocando uma variação de perda de carga. A perda de carga tem por consequência um incremento ou decréscimo da vazão (SILVA, 2013).

#### 2.4.2 Corpo da válvula

O corpo ou carcaça é a parte da válvula que é ligada à tubulação e que contém o orifício variável da passagem do fluido. O corpo da válvula de controle é essencialmente um vaso de pressão, com uma ou duas sedes, onde se assenta o plug (obturador), que está na extremidade da haste, que é acionada pelo atuador pneumático. “É o involucro externo de pressão de uma válvula” (SILVA, 2010, p. 6).

A posição relativa entre o obturador e a sede, modulada pelo sinal que vem do controlador, determina o valor da vazão do fluido que passa pelo corpo da válvula, variando a queda de pressão através da válvula. É a parte principal da válvula. Também pode ser definido como o local onde estão instalados todos os seus componentes, fixos e móveis (SILVA, 2010).

Como a válvula está em contato direto com o fluido do processo o seu material interior deve ser escolhido para ser compatível com as características de corrosão e abrasão do fluido. Portanto, as diversas peças da válvula necessitam de diferentes materiais compatíveis com sua função. Segundo Silva (2010) os principais materiais de construção são:

- a) *Trim*: aços inoxidáveis (304, 316, 410, 446, etc);
- b) Carcaça e castelo: ferro fundido (ASTM A126), ferro maleável (ASTM A197), ferros fundidos especiais (adição de Cr, Ni, Si, etc), aço carbono laminado (SAE 1020), aços liga, aço carbono fundido (ASTM A-216, A-352), aço carbono forjado

(ASTM A-105, A-181 e A-350), bronze (ASTM B61, B62, etc), materiais plásticos (PVC e outros).

O *trim* é um termo norte americano, que serve para indicar os componentes internos de uma válvula que entram em contato com o fluido, exceto corpo, castelo e gaxetas. São principalmente a haste, anel de lubrificação das gaxetas, superfícies de vedação do obturador e bucha de contra vedação (MATHIAS, 2010).

Sobre os sistemas de operação das válvulas, temos:

- a) Operação manual: volante, alavanca e engrenagens, parafusos sem fim, outros;
- b) Operação motorizada: hidráulica, pneumática e elétrica;
- c) Operação automática: pelo próprio fluido ou por meio de molas ou contrapesos.

A norma brasileira que rege a verificação de conformidade das válvulas é a NBR – 15827.

#### 2.4.3 Castelo

“É a tampa do corpo, a parte superior de uma válvula, que se desmonta para acesso dos componentes internos da válvula, e é o ponto de apoio do sistema de atuação, proporcionando o meio de vedar a saída do fluido de processo para o ambiente [...]” (SILVA, 2010, p. 7). O castelo liga o corpo da válvula ao atuador e completa o fechamento do corpo. A haste da válvula se movimenta através do engaxetamento do castelo.

Silva (2010), lista os principais tipos de castelos, aos quais citamos: aparafusado (*bolted bonnet*), rosqueado (*screwed bonnet*), porca de união (*union bonnet*).

Para Mathias (2010) o castelo tem as seguintes funções:

- a) Servir de ponto de apoio para o sistema de atuação;
- b) Permitir acesso aos componentes internos da válvula;

- c) Oferecer alinhamento perfeito entre sistema de atuação, haste, obturador móvel e sede;
- d) Proporcionar um meio de vedar o fluido de processo para o ambiente externo;
- e) Proporcionar vedação da união com o corpo através de junta;
- f) O formato do castelo pode ser: oval, retangular e redondo.

#### 2.4.4 Conexão

É o elemento pelo qual a válvula é instalada na tubulação através de suas conexões. O local onde destina-se para conexão com tubulações e equipamentos (SILVA, 2010). O tipo de conexões terminais a ser especificado para uma válvula é normalmente determinado pela natureza do sistema da tubulação em que a válvula vai ser inserida. Uma válvula de 4" (100 mm) é a que tem conexões para ser montada em uma tubulação com diâmetro de 4" (100 mm). Geralmente o diâmetro das conexões da válvula é menor que o diâmetro da tubulação onde a válvula vai ser montada e por isso é comum o uso de redutores.

As extremidades de conexões mais comuns e suas respectivas normas são: roscadas (ASME B1.20.1), flangeadas (ASME B16.5, ASME B16.47, ASME B16.47), solda de topo (ASME B16.25), encaixe para solda (ASME B16.11), com ponta e bolsa e face a face (ASME B16.10) (MATHIAS, 2010).

#### 2.4.5 Obturador

Na sede da válvula é onde se encontra o obturador. Consiste num elemento móvel de vedação (SILVA, 2010). A posição relativa entre o obturador e a sede é que estabelece a abertura da válvula.

#### 2.4.6 Tipos de vedação

Na união entre o corpo e castelo e entre os flanges das válvulas com a tubulação se faz necessário um elemento de vedação (junta) para impedir o vazamento do fluido para a parte externa da válvula (MATHIAS, 2010).

Os principais elementos de junta vedação de uma válvula podem ser do tipo: espiralada, metálica, borracha ou papelão hidráulico.

#### 2.4.7 Atuador

O atuador é o músculo que movimenta a válvula. Os atuadores mais populares em uso são o elétrico, hidráulico e manual (FISHER, 2005). Este constitui o elemento responsável em proporcionar a força motriz necessária ao funcionamento da válvula de controle.

A atuação da válvula pode ser: manual e automática. Os modos de operação da válvula dependem do seu tipo, localização no processo, função no sistema, tamanho, frequência de operação e grau de controle desejado. Um atuador bem projetado pode proporcionar centenas de milhares de ciclos em operação livre de manutenção.

## 2.5 AUTOMAÇÃO

A utilização de dispositivos que auxiliam ou até mesmo substitui a necessidade de mão de obra humana vem sendo amplamente aplicada a fim de diminuir erros causados por falhas humanas. A automação de sistemas e processos vem ampliando sua atuação gradativamente nos últimos anos. A utilização de dispositivos para aplicações de soluções, principalmente no setor industrial, tem sido de grande relevância, pois estas aplicações não se resumem a substituição do trabalho realizado por colaboradores em tarefas exaustivas, monótonas e perigosas. Outros aspectos positivos da automação é a melhoria na qualidade de processos, otimização dos espaços, redução no tempo de produção e custos.

De acordo com Ribeiro (2003), a automação pode ser definida de várias formas entre elas a substituição do trabalho humano ou animal por máquina ou também como a operação de máquina ou de sistema automaticamente por controle remoto, com a mínima interferência do operador humano. Ainda relata que todo o mecanismo que possui uma atuação própria, ou seja, que efetue um procedimento ou ação requerida em um dado tempo pré-determinado ou retorne uma resposta à determinada situação é verificado como automático.

Para Suzuki e Hernandez (acesso em 26 abril 2017, p. 1):

A automação se faz necessária não somente pela possibilidade de diminuição dos custos com mão de obra, mas principalmente por necessidades operacionais, tais como irrigação de grandes áreas no período noturno.

Na maioria dos sistemas automáticos industriais são acompanhados de um sistema de instrumentação que tem por finalidade a transmissão de dados e respostas de procedimentos e processos ao operador. Segundo Casteletti (acesso em 26 abril 2017), a instrumentação associa-se a estudos teóricos e práticos dos instrumentos e princípios científicos, utilizado para monitoramento do comportamento de variáveis de controle não só nos processos produtivos industriais, mas também nas diversas áreas do conhecimento humano aplicado.

Para maior controle e confiabilidade de um sistema automatizado é necessário o controle constante das variáveis envolvidas com a finalidade de melhorias na qualidade, redução de desperdícios além de manter a segurança. Ribeiro (2008, p.15) relata que:

Os sistemas de controle mantem a variável controlada no valor especificado, comparando o valor da variável medida, ou a condição do controlador, com o valor desejado (referência ou set point), e fazendo as correções em função do desvio existente entre estes dois valores (erro ou offset), sem a necessidade de intervenção do operador.

Dados do Censo Agropecuário (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006) mostram que 84,4% dos estabelecimentos brasileiros são exclusivamente da agricultura familiar. Na agricultura familiar os processos de irrigação utilizam sistemas com pouca ou nenhuma automação, ou seja, ainda utilizam sistemas manuais aos quais possuem um baixo nível de controle podendo gerar riscos de perda de produção. A possibilidade de investir em sistemas modernos e automáticos de irrigação torna-se difícil, para estes pequenos produtores, devido ao custo e procedimento agregado, entre outros fatores. Assim, o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis a este público torna-se imprescindível (LANG, DUTRA e WAROMBY, 2013).

Inserir os pequenos produtores dentro de um projeto de agricultura sustentável é um dos desafios da Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária (Embrapa). Na avaliação do presidente da Embrapa, Pedro Arraes, a combinação entre cooperativismo e ação mista de agentes públicos e privados na disseminação de tecnologias pode viabilizar o projeto de agricultura sustentável nas pequenas propriedades (GONÇALVES, 2012, p. 1).

Guirra e Silva (2010, p. 1) descrevem o processo de automatizar irrigação como “um projeto de maneira bem simplificada que se resume à emissão de sinais elétricos feitos pelo controlador central, os quais são recebidos por acessórios, válvulas elétricas e relês com função de acionar um motor ou abrir e fechar válvulas, por exemplo.” Um sistema automatizado deve incluir sensores de lâmina d’água, um controlador eletrônico, e um sistema de supervisão para o monitoramento e estabelecimento de referências (YANG et al., 2008; BENZEKRI et al., 2007; FAYE et al., 1998).

Os componentes básicos para automação de um sistema de irrigação são:

- a) Reservatório;
- b) Casa de bombas (bomba, controlador, chave magnética);
- c) Sensores de chuva, umidade, velocidade do vento e temperatura;
- d) Válvulas solenoides, válvulas pilotadas hidráulicamente;
- e) Emissores de rega (aspersores, gotejadores, micro aspersores, etc).

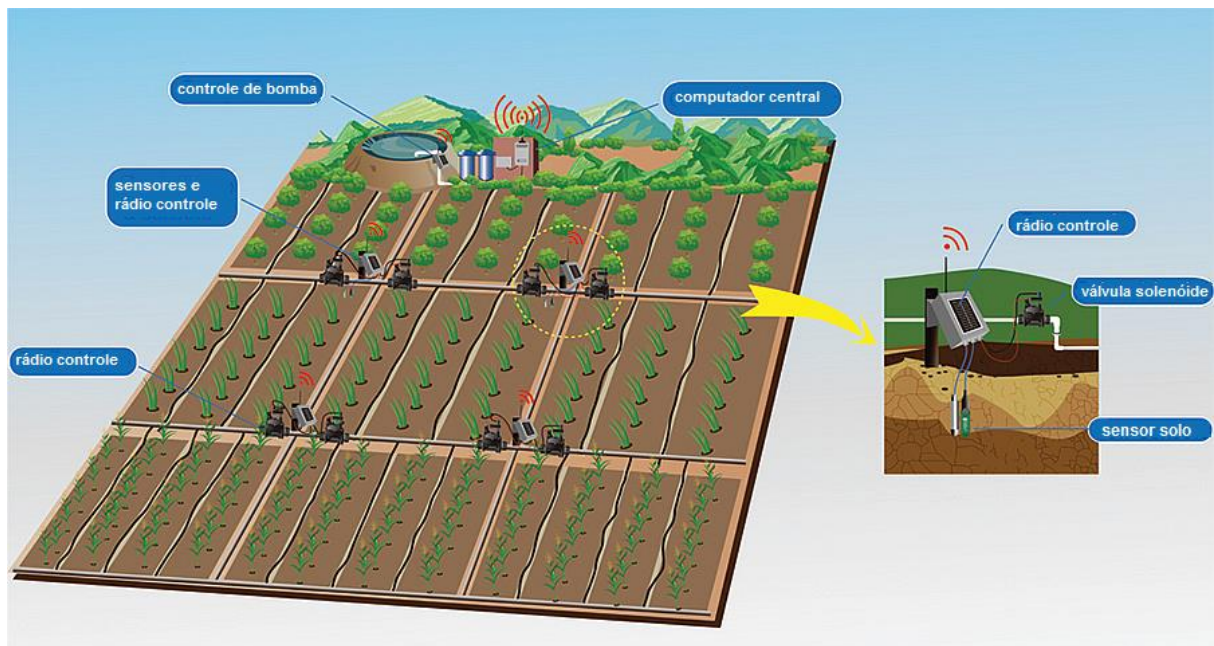
Na agricultura é comum a utilização da irrigação da cultura dividida em setores, ou seja, divide-se a área em partes que serão controladas e irrigadas uma por vez. Desta forma há uma redução no custo com equipamentos de bombeamento e tubulação, além de reduzir o risco de secar o reservatório de captação de água. A Figura 5 ilustra a rede de tubulações e componentes utilizados em um sistema de irrigação automático por setores.

A automatização de sistemas de irrigação facilita o manejo das culturas agregando vantagens destacando os seguintes itens:

- a) Redução de mão de obra;
- b) Possibilidade de irrigar a cultura no período noturno sem a necessidade de supervisão;

- c) Alta precisão nos tempos e períodos de regra da cultura;
- d) Aproveitamento maior da água utilizada evitando desperdícios;
- e) Redução nos custos de bombeamento;
- f) Redução na potência aplicada para acionamento do sistema de irrigação.

Figura 5 – Exemplo de um sistema de irrigação automatizado



Fonte: adaptado de Caipos (2017).

Para a implementação do sistema de irrigação automático, os periféricos instalados como válvulas, sensores, controlador e chave magnética devem estar em sincronia e seguindo um padrão preestabelecido para cada tipo de projeto, tipo de solo e cultura.

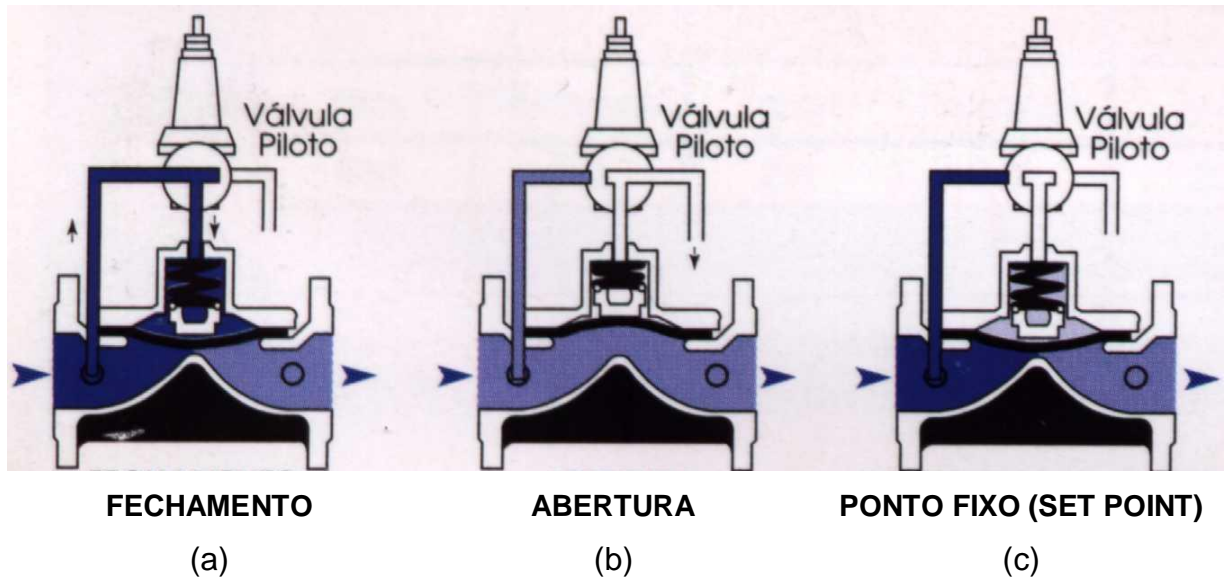
As válvulas utilizadas para controle automático do sistema geralmente são semelhantes as manuais, no que diz respeito a sua estrutura interna de fluxo do fluido, sendo alterado a parte de comando e acionamento com as devidas adaptações para cada tipo de válvula.

Algumas das principais válvulas que compõem um sistema automático estão descritas abaixo:

- a) Válvula de acionamento elétrico: a abertura e fechamento desta válvula são controlados, assim como o controle de posição em algumas válvulas, por solenoide ativado por uma corrente elétrica ou pulso elétrico sendo, geralmente, utilizado a tensão de 24 volts.
- b) Válvula de acionamento hidráulico: a abertura e fechamento procedem a partir de um comando de pressão ao qual uma central de controle remoto conduz esta pressão por tubos de diâmetros reduzidos que interligam a válvula e a central de controle.
- c) Válvula reguladora de pressão: a regulagem da pressão de saída desta válvula é mantida constante independente da oscilação da pressão de entrada ou da vazão aplicada.
- d) Válvula de alívio: quando há excesso de pressão em uma rede esta válvula atua abrindo-se para que a pressão não ultrapasse um nível de segurança pré-determinado. A partir da normalização da pressão a válvula se fecha retornando as condições iniciais.
- e) Válvula de controle de vazão: utiliza-se esta válvula quando se quer limitar a vazão por uma rede.
- f) Válvula de controle de bomba: esta válvula tem a função de controlar e tornar suave a partida e parada do bombeamento para evitar ondas de choques no início e término do bombeamento.

A Figura 6 ilustra o funcionamento de uma válvula com acionamento eletro-hidráulico pilotado, onde se utiliza a própria pressão da água na entrada para poder efetuar o procedimento de fechamento (a). A abertura da válvula se dá através da liberação do fluido pressurizado para a parte externa da válvula, onde a pressão é menor que a pressão exercida pelo fluido na membrana interna da válvula (b). Para manter a abertura da válvula em uma determinada posição ou até mesmo para mantê-la fechada quando não há pressão de entrada, os dutos de entrada e saída da válvula piloto são bloqueados mantendo o fluido confinado e mantendo a membrana na mesma posição.

Figura 6 – Posicionamento de uma válvula de acionamento eletro-hidráulico



Nota. (a): válvula piloto fechada; (b): válvula piloto aberta; (c): válvula piloto ponto fixo.

Fonte: Suzuki e Hernandez (2017).

A instalação de um sistema automatizado ou substituição de um sistema convencional tem um elevado custo com a implantação, adequação de operadores e a manutenção dos componentes. As válvulas automáticas devido a sua complexibilidade possuem um alto custo, agregando um valor considerável ao projeto final. Ribeiro (1999) relata que, em uma indústria de processos químicos, aproximadamente 5% dos custos totais da indústria são com a compra de válvulas e que, em quantidade, só perdem apenas para as conexões de tubulações.

## 2.6 ANÁLISE COMPUTACIONAL

A análise computacional por simulação vem sendo cada vez mais utilizado a fim de obter agilidade e economia aos processos além de facilitar a compreensão e comportamento de determinado componente.

A análise fluidodinâmica computacional teve sua maior relevância como ferramenta complementar nos anos 1970. Caughey e Hafez (1994) descreveram que na indústria, principalmente no campo aeronáutico, vários métodos contribuíram para a

fundamentação e consolidação da Dinâmica de Fluido Computacional (CFD) para a elaboração de projetos.

A metodologia CFD utiliza um esquema numérico baseado no Método dos Volumes Finitos, que consiste na desratização do domínio em inúmeros volumes de controle sobre os quais serão realizados balanços de massa, quantidade de movimento e energia a partir da solução das equações diferenciais parciais, para a predição quantitativa das características de escoamentos (JANTIM NETO et al., 2008, p. 224).

As ferramentas de análise computacional estão sendo introduzidas com maior frequência nas áreas de biologia e medicina utilizando técnicas de modelagem computacional permitindo estudar, desenvolver e solucionar modelos computacionais com grau aceitável de precisão e agregando inúmeras vantagens como antecipação de resultados e procedimentos médicos (FEIJÓO, 2007, p. 3).

A grande busca por melhorias no setor industrial e a redução de custos com equipamentos de bombeio fizeram com que as ferramentas de simulação computacional fossem implantadas ao se projetar uma válvula. Os componentes internos de uma válvula e sua geometria complexa, modifica-se quando é efetuado o procedimento de abertura e fechamento, resultam em alteração no comportamento do fluxo do fluido e conseqüentemente na perda de carga gerada.

Floury, Bellettre e Legrand (2004, p. 844) ao analisarem e estudarem uma válvula de homogeneização a alta pressão relata que apesar de sua configuração ser simples a fluidodinâmica envolvida é bastante complexa. Ao passar de uma zona de alta pressão e baixa velocidade para uma zona de baixa pressão e alta velocidade as grandes alterações de energia ocorrem dentro da válvula de homogeneização, sendo de grande importância o CFD como uma ferramenta para compreensão dessas alterações.

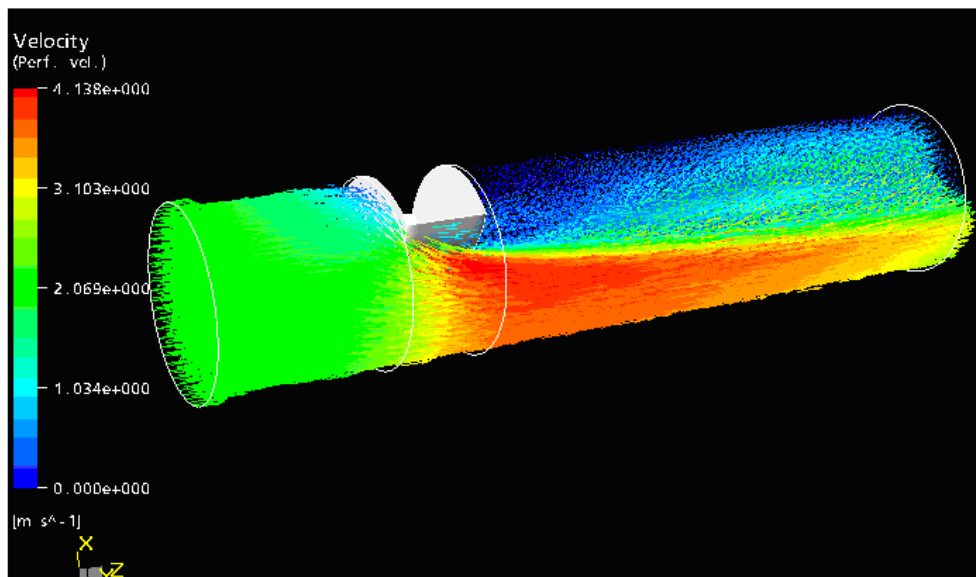
Para a empresa de serviços intensivos em tecnologia DPR Engenharia, fundada através da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), as ferramentas de fluidodinâmica computacional apresenta-se como uma solução promissora uma vez que, além de produzir de maneira mais realista o escoamento do fluido no interior da

válvula, também é realizada de forma rápida e sem a necessidade de fabricação de protótipos para ensaios em testes de bancada para obtenção dos resultados.

As simulações computacionais em válvulas fornecem parâmetros como valores de perfil de velocidade, campo de pressão e formação de vórtices podendo identificar possível falhas de projeto ou até mesmos futuros problemas que poderão ocorrer possibilitando a alteração da geometria antes da produção. Alves, Murata e Souza (2009) relatam que o mau dimensionamento das válvulas e de tubulação pode acarretar em perdas de carga consideráveis e, desta forma, podendo prejudicar seriamente o rendimento de equipamentos que operam em conjunto com esses elementos, como um exemplo a bomba.

A Figura 7 apresenta o comportamento de um fluido escoando por uma válvula gaveta através do perfil de velocidade mostrando um aumento brusco na velocidade (vetores em vermelho) do fluido ao passar pela sede da válvula.

Figura 7 – Perfil de vetores velocidade em uma válvula gaveta.



Fonte: Jantim Neto e outros (2008).

Um das ferramentas utilizadas para a análise de escoamento sob superfícies é o ANSYS CFX, software de simulação fluidodinâmica.

O ANSYS CFX utiliza um solver acoplado, ou seja, resolve as equações governantes (para  $u$ ,  $v$ ,  $w$  e  $p$ ) em um único sistema de equações. Essa abordagem utiliza uma discretização das equações completamente implícita para um dado passo de tempo. Este método, quando comparado com métodos segregados, apresenta uma maior eficiência, robustez e simplicidade, porém em contrapartida, necessita de uma quantidade de memória muito maior (DIAS, 2016, p. 20).

## 2.7 SISTEMA EMBARCADO

Observa-se que nas últimas décadas houve um rápido crescimento no desenvolvimento de aplicações de sistemas embarcados. Inicialmente, com o desenvolvimento da robótica industrial e a utilização de robôs no chão de fábrica, que aumentou significativamente a eficiência dos processos produtivos além de reduzir seus custos (MATARIC, 2007). O sistema embarcado consiste num sistema de controle onde a central de processamento de dados é encapsulado e acoplado e dedicado ao sistema proposto para controle.

A robótica móvel caracteriza-se como um diversificado campo a ser explorado e potencial para inovações e explorar aplicações (THRUN, 2001). Sob a ótica da engenharia, consiste em aperfeiçoar o projeto de um produto, reduzindo o tamanho, recursos computacionais e custo do produto.

O arduino é uma plataforma física de computação de código aberto, baseada em uma placa micro controladora (Figura 8) que possui protótipos eletrônicos flexíveis com base em hardware e software fáceis de usar e open-source (CALVACANTE, RODRIGUES e BUENO, 2014). O arduino atua não apenas como uma placa de aquisição e conversão de sinais, mas pode exercer ações a partir de informações capturadas por sensores acoplados as suas entradas.

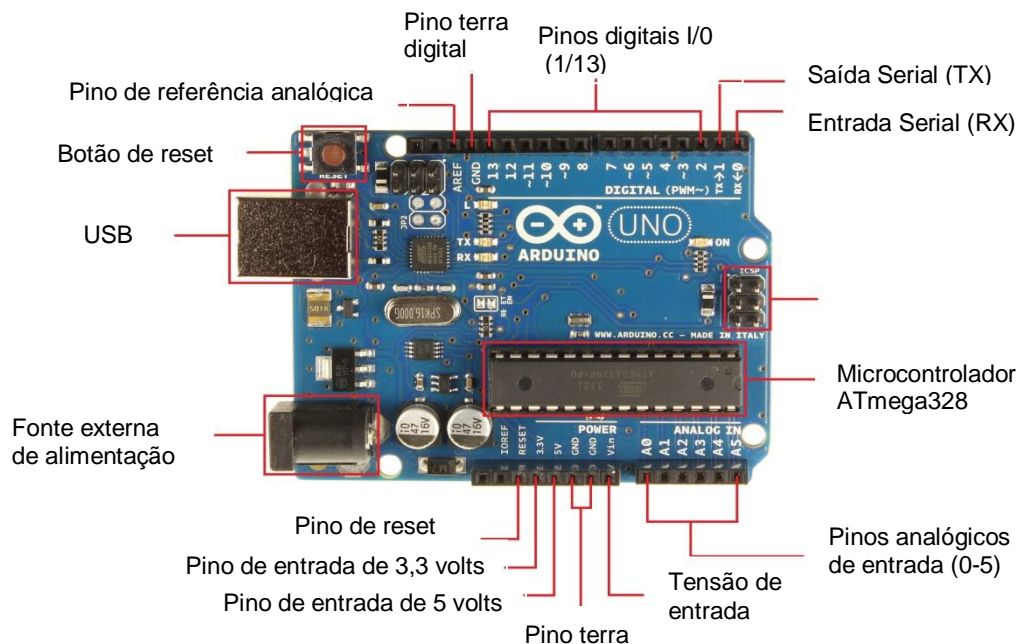
Este tipo de plataforma tem como vantagens permitir a gravação direta do micro controlador quanto conectado por uma porta USB, não exigir o uso de gravador dedicado, apresentar tamanho compacto e variados tipos de módulos (*shields*) que facilitam o desenvolvimento de projetos (LIMA e VILLAÇA, 2012).

Existem vários trabalhos na literatura com o uso de sistemas embarcados. Tolentino, Tsukamoto e Nomura (2013) propuseram a utilização do arduino para um sistema de

controle remoto de dispositivos via internet. Dias, Lucena e Santos (2014) utilizaram o sistema para propor uma plataforma aberta VoIP (Voice Over IP), de baixo custo, multiusuário, e que permite acesso concorrente para controle remoto de múltiplos sistemas de automação. Cavalcante, Rodrigues e Bueno (2014) propuseram a utilização do micro controlador arduino de forma pedagógica, no ensino e aprendizado de física moderna. Este último autor ainda utilizou a placa de arduino para atuar como microprocessador que receberá sinais digitais de controle remoto para comandar ações domésticas específicas, tais como ligar e desligar uma TV, lâmpadas e aparelhos de ar condicionado.

Gabriel, Cavalcanti e Sales (2015) propuseram o desenvolvimento de um sistema de automação de irrigação utilizando microcontrolador em conjunto com módulos e componentes eletrônicos de baixo custo para obter a leitura de variáveis do plantio a fim de realizar um cálculo preciso de quanto e quando um solo deve ser irrigado. Este sistema visa a melhoria da irrigação da cultura levando em consideração a economia de água, reduzindo assim o impacto de crise hídrica.

Figura 8 – Elementos de um arduino Uno



Fonte: adaptado de Dias, Lucena e Santos (2014).

Um dos fatores determinantes para a enorme versatilidade e popularidade da plataforma arduino são os *shields*. Estes são placas de circuito que podem ser conectadas ao arduino, encaixando-se perfeitamente por cima dele, e expandindo suas capacidades. Estas placas podem conter displays de LCD, sensores, módulos de comunicação ou relês, por exemplo. A capacidade de expansão possibilita uma infinidade de aplicações de maneira simples e rápida.

Para este trabalho é preciso utilizar um *shield* para motores. Existem muitos *shields* que fazem isto. O arduino motor *shield* possui a eletrônica necessária para comandar diversos tipos de motores e outras cargas indutivas como solenoides e relês. Ele permite controlar a velocidade e a direção dos motores de maneira independente e ainda medir o quanto de corrente cada um deles está consumindo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Aborda os procedimentos metodológicos do desenvolvimento dos protótipos, componentes e equipamentos envolvidos na confecção dos mesmos.

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO E PROTOTIPAGEM: VÁLVULA DE MULTIPLAS VIAS

Elaborou-se o desenvolvimento de um protótipo de válvula de múltiplas vias com a finalidade de direcionamento do fluido para uma de suas saídas, controlada automaticamente por um tempo pré-determinado.

A função das múltiplas vias é proporcionar um sistema de automatização com menos componentes envolvidos, por meio de um elemento direcionador (obturador) acoplado a um motor. O mecanismo é micro controlado por um sistema eletrônico embarcado com as funções temporizadas, possibilitando a permanência da via de fluxo do fluido em uma das saídas laterais que, após o termino do tempo estipulado, o sistema envia um comando elétrico padronizado ao motor, que efetua o giro do elemento direcionador do fluxo até a próxima saída.

A configuração da válvula com várias vias de saída de fluxo é limitada a saída do fluido a uma via por vez. Proporciona em um mesmo equipamento, o controle de quantidade de fluido enviado a um determinado setor além do tempo de rega com alta precisão.

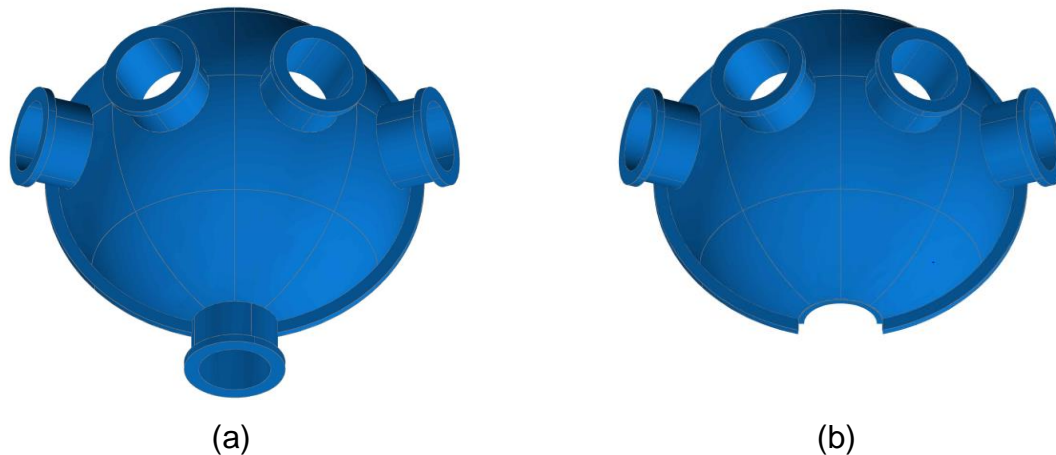
##### 3.1.1 Desenho e alterações do protótipo

A elaboração do projeto partiu de uma necessidade comum no setor da agricultura, onde a demanda por auxilio de tecnologias funcionais e de baixo custo, está sendo cada vez mais abordada.

Os sistemas automáticos atuais utilizam uma válvula por setor, sendo que esta efetua o procedimento de abertura e fechamento por solenoide ou por linha de pressão hidráulica. Para a automatização, com poucos setores a serem irrigados, faz-se necessário várias válvulas e componentes que necessitam estar interligados e em sincronia para que a função seja executada corretamente.

No início projetou-se um dispositivo que fosse de forma simples e que pudesse efetuar as mesmas tarefas que os componentes de automação convencionais, com menor custo agregado. Surge o primeiro desenho de válvula multivias, composto por duas carcaças unidas lateralmente por parafusos, conforme Figura 9, sendo a carcaça primária (a) com a via de entrada do fluido e a carcaça secundária (b) com sistema de acoplamento lateral e união na posição vertical, com o elemento direcionador interno em formato esférico.

Figura 9 – Desenho das carcaças do primeiro modelo da válvula multivias.



Nota. (a): carcaça principal com bocal de entrada; (b): carcaça secundária.

Fonte: autoria própria

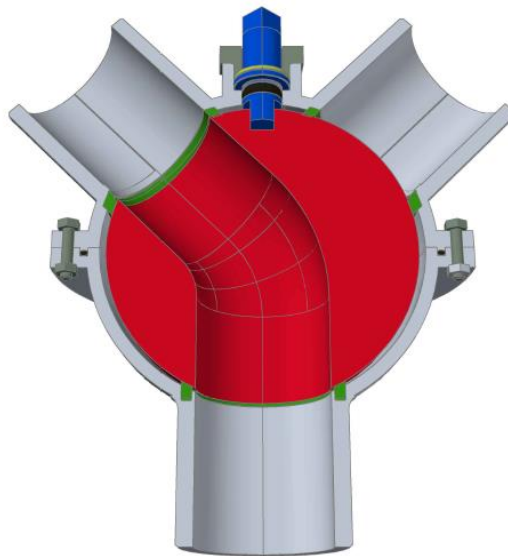
Este modelo apresentou grandes problemas relacionados a vedação além de dificuldades no processo de fabricação dos componentes.

A partir deste diagnóstico observou-se a necessidade de elaboração de um projeto considerando alguns aspectos essenciais como o processo de fabricação dos componentes, facilidade na manutenção dos elementos e vedação mais eficiente.

Na segunda proposta, ainda pleiteando o elemento direcionador em formato esférico, projetou-se uma união no sentido horizontal entre as carcaças superiores e inferiores. Também se considerou o ângulo de direcionamento e saída do fluido menos

acentuada, permitindo menor perda de carga. Outra melhoria incorporada no projeto foi o sistema de vedação mais elaborado, possuindo um anel de vedação alocado entre a carcaça inferior e a carcaça superior. Foram incluídos os componentes de vedação do pino de transmissão do elemento direcionador. A Figura 10 detalha o arranjo interno dos componentes da válvula onde o elemento direcionador é ilustrado na cor vermelha, as vedações superiores e inferiores são ilustradas na cor verde e o pino de transferência de rotação é destacado pela cor azul.

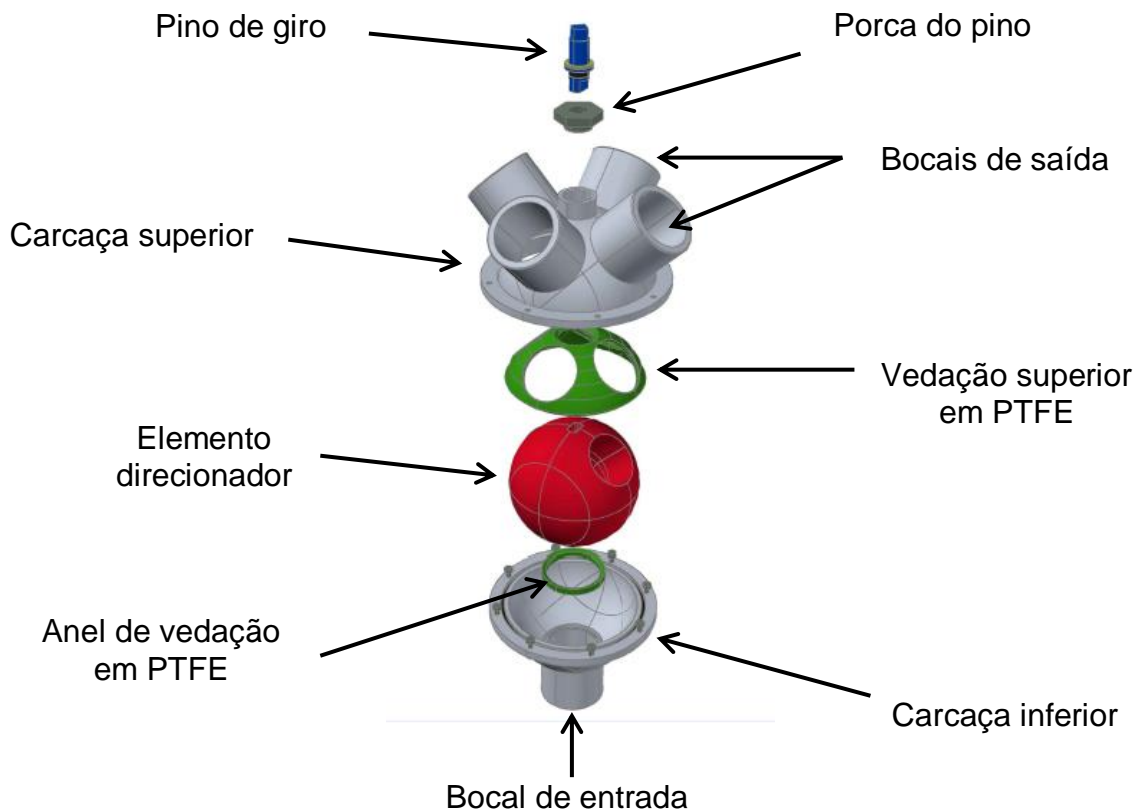
Figura 10 – Vista em corte da segunda proposta da válvula multivias



Fonte: autoria própria

A disposição para montagem e desmontagem seguiu um padrão uniforme em linha no sentido vertical, facilitando o processo de manutenção da válvula. A Figura 11 ilustra a vista explodida dos componentes da válvula.

Figura 11 – Vista explodida da válvula

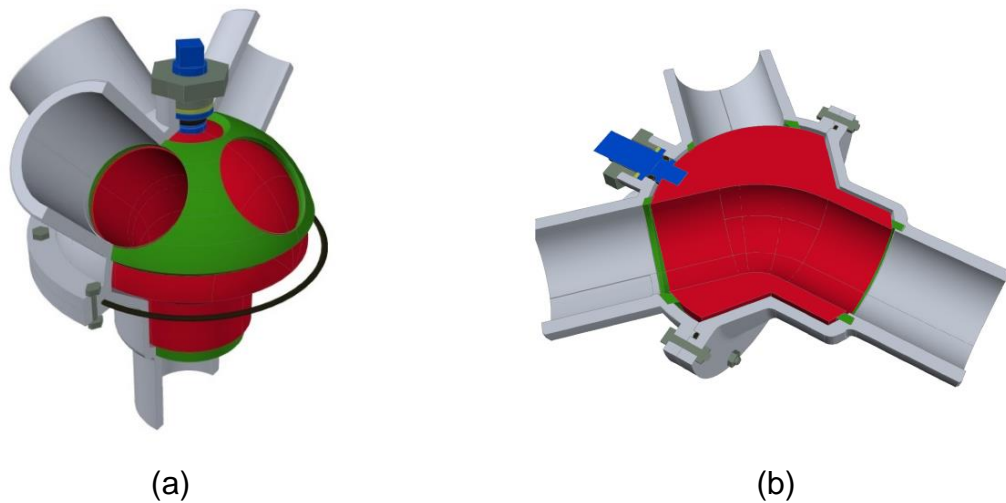


Fonte: autoria própria

O projeto observou também a necessidade de adequação do modelo para atender aspectos de fabricação. A primeira versão, por possuir um formato esférico na carcaça inferior, tinha complicações quando submetido a processos de fabricação convencionais.

Adotou-se o padrão cilíndrico-cônico na carcaça inferior e na parte rasa do elemento direcionador, conforme Figura 12 onde detalha a vista dos elementos internos e carcaças. Corte parcial (a) e vista em corte total (b), facilitando um pouco o processo de fabricação por usinagem e até mesmo a confecção de uma matriz.

Figura 12 – Vista em corte parcial e total da válvula



Nota. (a): vista em corte parcial da válvula; (b): vista em corte total da válvula.

Fonte: autoria própria

### 3.1.2 Carcaça superior e inferior da válvula

As carcaças inferior e superior da válvula são os elementos que sustentam todos os outros artefatos. A carcaça inferior possui um alojamento para o elemento de vedação que irá ser localizado entre a carcaça e o elemento direcionador e a conexão de entrada para tubos.

Na base de união das carcaças o componente possui um rasgo circular, ilustrado pela Figura 13, para assentamento de uma vedação do tipo anel o-ring. Esta vedação funcionará como vedação secundária com a finalidade de evitar vazamentos para o exterior da válvula.

Adotou-se como padrão o diâmetro de passagem do fluido de 2" (50,8 mm), que é uma das dimensões padrão encontrada no mercado de componentes para sistemas hidráulicos.

Figura 13 – Carcaça inferior

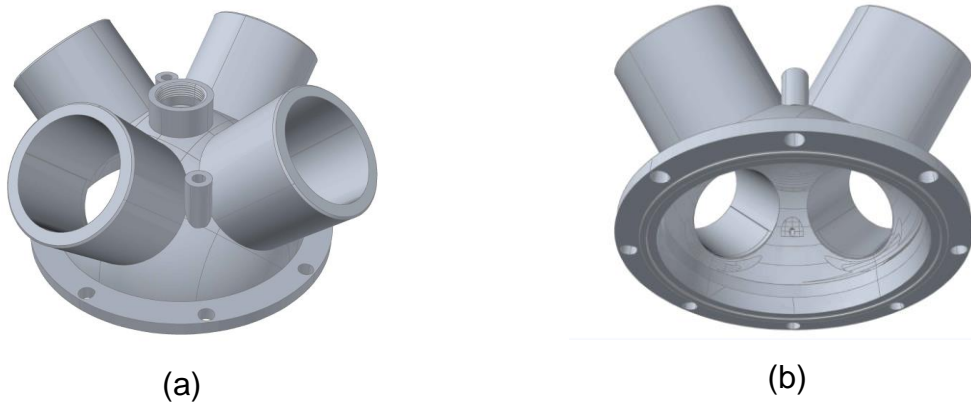


Fonte: autoria própria

A carcaça superior, por sua vez, possui um formato semicircular com bocais de saídas laterais, Figura 14 (a), dispostas em um arranjo circular e com ângulo de  $45^\circ$  em relação ao eixo axial da válvula. Cada bocal de saída pode ser acoplado a tubulação que alimentará os setores irrigados.

Para alojar o elemento de vedação superior entre o elemento direcionador do fluido e a carcaça, dotou-se na sua parte interior um alojamento para a vedação com cavidades cilíndricas, Figura 14 (b). A adaptação se faz necessário para impedir o deslocamento, mantendo o alinhamento entre os orifícios de saída da vedação e os bocais de saída da carcaça superior.

Figura 14 – Carcaça superior com quatro saídas



Nota. (a): vista isométrica superior da carcaça; (b): vista isométrica inferior da carcaça.

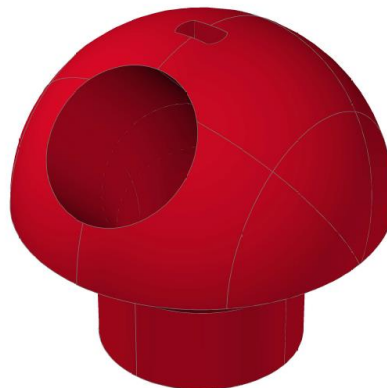
Fonte: autoria própria

### 3.1.3 Elemento direcionador

A principal função da válvula proposta é promover o direcionamento do fluido que entra na válvula. Isto é possível por meio do direcionador, que possui geometria semicircular em sua parte superior e cilindro-cônico em sua parte inferior. O fluido de entrada passa por um canal, em ângulo de 45 graus, com diâmetro uniforme de entrada e saída, sendo deslocado para um dos bocais de saída superior.

O movimento de rotação do obturador em torno de seu eixo permite que o orifício inferior mantenha sempre alinhado ao bocal de entrada enquanto o superior seja posicionado à um dos bocais de saída. A transferência de rotação do motor é possível por meio de um pino encaixado em um alojamento situado na parte superior do elemento direcionador, conforme observa-se na Figura 15.

Figura 15 – Elemento direcionador



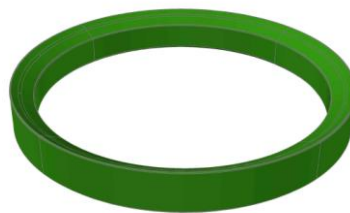
Fonte: autoria própria

### 3.1.4 Sistema de vedação

Uma das partes mais complexa de um sistema de transmissão de fluidos ou de uma válvula é a vedação entre as partes internas do componente. Quando se trata de componentes dinâmicos a engenharia envolvida no projeto é mais complexa que quando os elementos são estáticos. Fatores como atrito, acabamento e material empregado são fatores que estão diretamente ligados. Consta no projeto elementos de vedação.

Para a vedação inferior, ilustrado pela Figura 16, adotou-se um padrão de anel de vedação de formato anular ao qual é encaixado por pressão em um rasgo na parte da carcaça inferior. Para completar a vedação o elemento direcionador é apoiado sobre a superfície superior desta vedação, em que ambos possuem uma conicidade para auxiliar a permanência do obturador na posição centralizada. Após a montagem completa destes elementos, espera-se uma pressão de contato suficiente para efetuar a vedação.

Figura 16 – Anel de vedação inferior



Fonte: autoria própria

Como a parte superior da válvula possui várias saídas, a vedação superior foi alojada entre o elemento direcionador e a parte superior do corpo. A vedação foi projetada em formato de calota esférica com o raio interno idêntico ao raio do elemento direcionador.

Possui em sua geometria, orifícios que se alinham às saídas localizadas na carcaça superior. A posição da vedação é sempre mantida estática em relação a parte superior da válvula devido a pinos de encaixe da vedação. A Figura 17 ilustra com detalhes a geometria.

Figura 17 – Vedação superior



Fonte: autoria própria

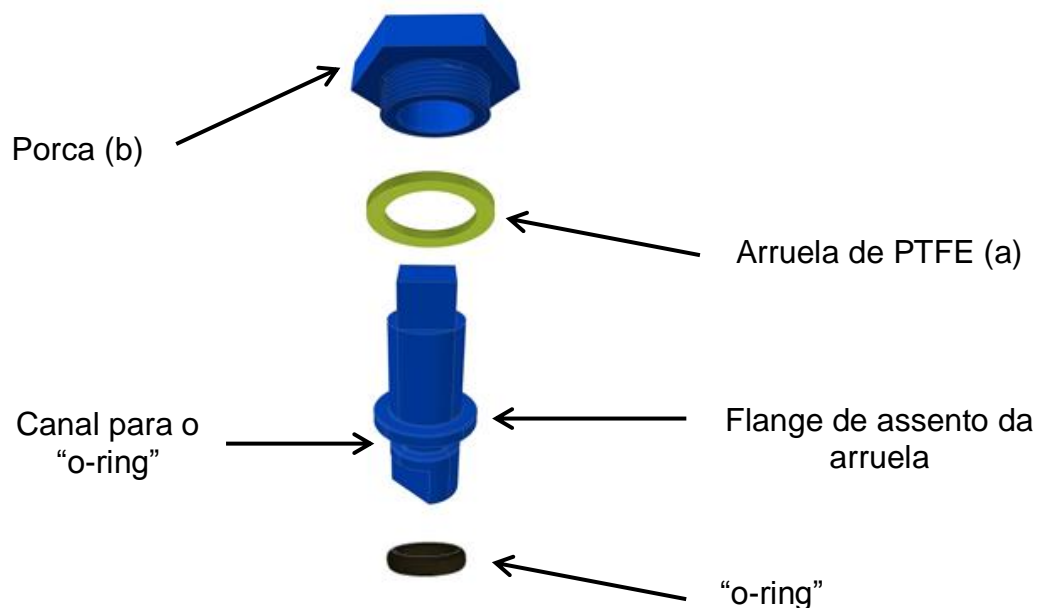
O projeto contempla a utilização do Politetrafluoroetileno (PTFE) como material para as vedações superiores e inferiores tendo o seu coeficiente de atrito mais baixo entre os sólidos. Outra característica positiva do PTFE é ser não tóxico e quimicamente inerente a temperaturas e pressões elevadas (POLY LANEMA, acesso em 3 maio 2017).

### 3.1.5 Pino de transmissão

Para que o elemento direcionador efetue sua função é necessário a transferência do movimento de giro e torque do motor de passo acoplado na válvula. O torque é transmitido do motor para o elemento direcionador por meio de um pino cilíndrico com um encaixe oblíquo, que se acomoda no rasgo do obturador. Foi projetado um rasgo no seu corpo, conforme visualizado na Figura 18, para a instalação de uma vedação do tipo o-ring e acima um flange para acendamento de uma arruela de vedação produzida em PTFE.

Para ajuste da pressão e folga entre o pino flangeado e a arruela de PTFE (a), atarracha-se uma porca de aperto com filete de rosca externo (b) e furo passante no centro em que o pino atravessa e permanece com a parte superior exposta.

Figura 18 – Conjunto com pino, porca e vedações

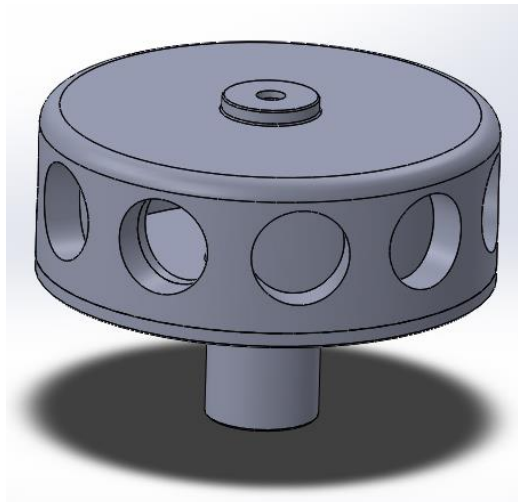


### 3.1.6 Modelo em formato cilíndrico

Devido às limitações de equipamentos, material e custos para a confecção do protótipo semiesférico, optaram-se pela fabricação de um modelo em formato cilíndrico. Esta alteração de geometria permitiu a confecção do protótipo para ensaios práticos. Posteriormente confrontaram-se os valores obtidos na análise fluidodinâmica entre a válvula semiesférica e a de formato cilíndrico.

Para a confecção selecionou-se o alumínio, por ser um material disponível e de fácil usinagem. A usinagem foi concretizada num torno mecânico, sendo realizada pela empresa Rosh Industrial, com sede na cidade de Serra – ES e parceira do *Mechanical and Mobility Innovation Research Group* (MIRG), um grupo de pesquisa do Ifes São Mateus. As peças da válvula cilíndrica seguem mesma ordem do projeto da válvula semiesférica contendo carcaças inferior e superior, elemento direcionador, pino de giro e elementos de vedação, com uma diferença apenas no ângulo e números de saídas. Sua geometria é explorada pela Figura 19.

Figura 19 – Válvula cilíndrica

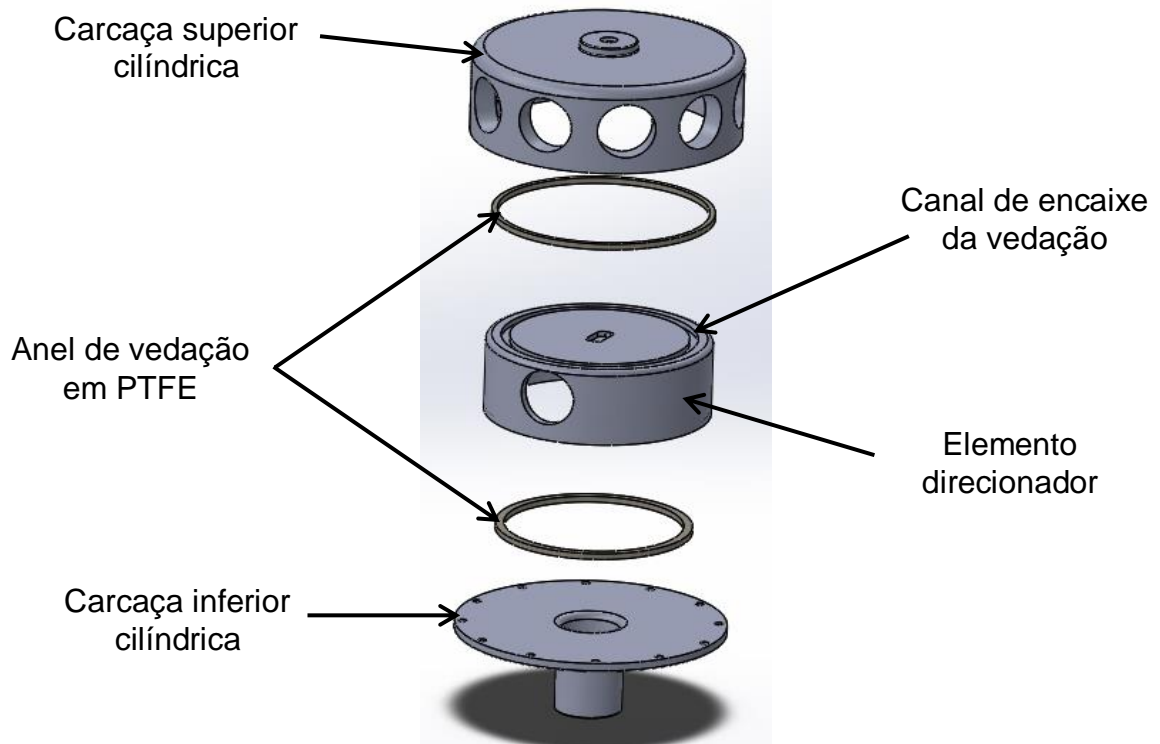


Fonte: autoria própria

Nesta válvula as vedações são acopladas em canais confeccionados na parte inferior e superior do elemento direcionador, conforme visualizado pela Figura 20, onde a

pressão de contato entre vedação e as carcaças é definida pela folga entre o corpo bipartido e o aperto dos parafusos de fixação.

Figura 20 – Vista explodida da válvula cilíndrica



Fonte: autoria própria

O projeto da válvula cilíndrica também contempla entrada e saídas de fluido com diâmetro de 50,8 mm, padrão utilizado para a confecção do protótipo semiesférico. Entretanto a parte interna do elemento direcionador é cavo onde o fluido preenche todo este espaço quando em transição na válvula.

## 3.2 SISTEMA DE CONTROLE DE POSICIONAMENTO

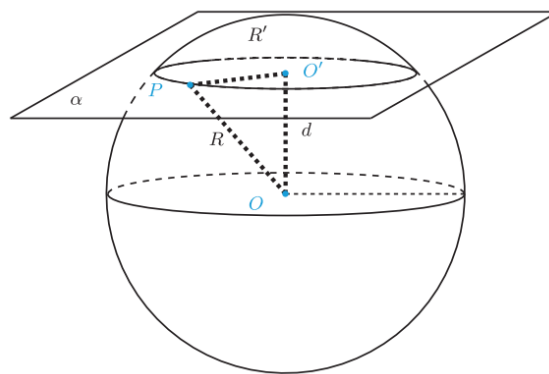
### 3.2.1 Dimensionamento do motor de passo

Para o dimensionamento do motor de passo primeiramente foi necessário o desenvolvimento dos cálculos dos esforços internos envolvidos. O atrito entre os elementos móveis e fixos causam o surgimento de um momento contrário ao sentido de movimento. Para descobrir o torque gerado na válvula semiesférica foi necessário

calcular a área total de contato entre elementos móveis e fixos para posteriormente encontrar o momento gerado pelo atrito entre estas superfícies.

Área da calota esférica, ilustrada pela Figura 21, é definida através de três parâmetros: o raio “R” da esfera, distância  $\overline{O'P}$  do eixo central até a borda inicial da calota e a altura “d” perpendicular a direção radial da calota.

Figura 21 – Geometria de uma calota esférica



Fonte: Machado (2013, p. 111)

Assim, para definir a área de contato entre as superfícies, utilizou-se os seguintes dados, conforme Tabela 1, da vedação superior e vedação inferior.

Tabela 1 – Dimensões obtidas para elaboração de cálculos

<b>Calota total da vedação superior</b>			
Parâmetro	Raio (r)	Altura (h)	Distância (a)
Dimensão (mm)	110,37	41,00	53,59
<b>Calota formada pelo orifício de saída</b>			
Parâmetro	Raio (r)	Altura (h)	Distância (a)
Dimensão (mm)	110,37	6,19	25,40
<b>Vedação inferior</b>			
Parâmetro	Diâmetro interno	Diâmetro externo	Espessura
Dimensão (mm)	50,80	60,80	5,00

Fontes: autoria própria

Para calcular a área de contato superior utilizou-se a Equação 01 para encontrar a área total da calota e, também, para encontrar as áreas dos orifícios de saída que devem ser subtraídas da área total da calota. Como o protótipo semiesférico conta com quatro saídas, o valor da área do orifício encontrado deve ser quatro vezes este valor conforme Equação 2. Na Tabela 2 estão descritos os valores das respectivas áreas e o valor total de área a ser empregada para cálculos de momento torçor.

$$A_{cal. maior} = 2\pi rh \quad (1)$$

$$A_{cal. bocais} = 4(2\pi rh) \quad (2)$$

Tabela 2 – Valores de área obtidos

	Área calota maior	Área calota bocal de saída	Área vedação inferior
Dimensão (m <sup>2</sup> )	28,43 x 10 <sup>-3</sup>	7,90 x 10 <sup>-3</sup>	8,77 x 10 <sup>-4</sup>
		<b>Área total</b>	<b>21,40 x 10<sup>-3</sup></b>

Fonte: autoria própria

Para elaboração dos cálculos adotou-se o coeficiente de atrito igual a 0,14 de acordo com especificações técnicas do material PTFE, conforme informações da ficha técnica da empresa especialista em plástico de engenharia Poly Lanema.

Desta forma, o momento encontrado depende diretamente da área de contato e da força normal exercida pelas carcaças e elementos de vedação contra o elemento direcionador. Como a pressão de aperto dos elementos é determinada pelo grau de compressão dos parafusos de união das carcaças e do grau de precisão dimensional das peças envolvidas, não foi possível determinar um valor de força normal aplicada. Para efeito de dimensionamento do momento torsor adotou-se a pressão máxima de resistência a compressão, que é de 8 MPa (8x10<sup>6</sup> N/mm<sup>2</sup>) de acordo com o catálogo técnico de materiais da Poly Lanema, tendo em vista que a força de aperto entre os elementos não pode ultrapassar este limite.

Considerou-se a área total como plana, tendo em vista que o momento torsor é necessário, Equação 4, somente para romper a inércia do mecanismo, que no caso é a força de atrito estático (Equação 3). A velocidade de rotação do elemento direcionador deverá ser lenta para evitar um pico de pressão na linha através da alteração súbita de velocidade do fluido por meio de bloqueio da linha, fenômeno este denominado de “golpe de aríete”. Desta forma segue na Tabela 3 os valores de força normal máxima e torque necessário movimentação do sistema.

Força de atrito estático:

$$f_{estático} = \mu_{PTFE} \times N \quad (3)$$

Tabela 3 – Resultados obtidos da força necessária para movimento

Força normal máxima vedação (N)	Coefficiente de atrito do PTFE	Força de atrito estático $f_e$ (N)
7016	0,14	982,24

Fonte: autoria própria

Momento torsor:

$$M_{torsor} = \int_{r_0}^{r_1} (f_e \times R) dr \quad (4)$$

Tabela 4 – Valor do torque mínimo

Momento gerado pela vedação inferior (N.m)	Momento gerado pela vedação superior (N.m)	Momento total gerado (N.m)
0,1370	3,2087	3,3457

Fonte: autoria própria

Observa-se que um motor de passo com torque de aproximadamente 3,5 N.m atende a necessidade do projeto.

Existem vários tipos de motores de passo com configurações e torque máximo de giro diferente, não possuindo uma padronização. Sendo assim optou-se por utilizar como referência as especificações do catálogo da fabricante Neoyama.

Ao consultar os modelos e parâmetros de motores de passo um parâmetro da válvula foi levado em consideração, a velocidade de giro do elemento direcionador, que deve ser em velocidade baixa. Duas opções de motor de passo foram escolhidas para análise sendo a primeira um NEMA 34 de 42 kgf.cm (4,11 N.m), Tabela 5, e segunda um NEMA 23 de 200 kgf.cm (19,61 N.m), Tabela 6.

Tabela 5 – Especificações do motor de passo NEMA 34 de 42,0 kgf.cm

NEMA	Conexão	Torque (kgf.cm)	Corrente (A/fase)	Tensão (V/fase)	Resistência ( $\Omega$ /fase)	Indutância (mH/fase)
34	Bipolar Série	42.0	2.94	4.70	0.4	14.0
	Bipolar Paralela		5.88	2.35	1.6	3.5
	Unipolar	29.4	4.20	3.36	0.8	3.5

Fonte: adaptado de Neoyama (acesso em 3 abril 2017a)

Tabela 6 – Especificações do motor de passo NEMA 23 de 200,0 kgf.cm

NEMA	Conexão	Torque (kgf.cm)		Corrente (A/fase)	Tensão (V/fase)	Resistência ( $\Omega$ /fase)	Indutância (mH/fase)
		Com redução	Sem redução				
23	Bipolar – Série	300	15.0	2.1	3.4	140.0	8.0
	Unipolar	200	10.0	3.0	2.4	70	2.0

Fonte: adaptado de Neoyama (acesso em 3 abril 2017b)

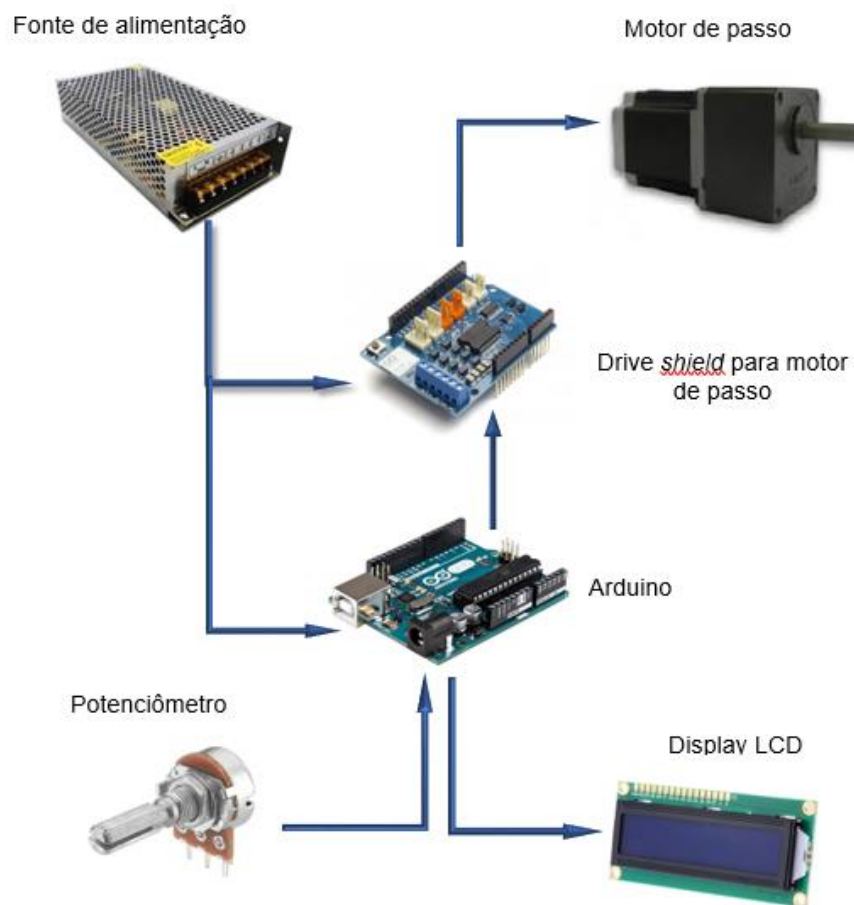
O motor de passo escolhido foi o NEMA 23 de 200 kgf.cm por possuir especificações que atendem ao protótipo, sendo a melhor opção levando em consideração custo com aquisição, a baixa velocidade de giro e corrente requerida. Este último fator influencia no consumo e nos componentes eletrônicos de comando do motor de passo.

### 3.2.2 Projeto do circuito elétrico e dimensionamento dos componentes

Para iniciar o projeto do circuito elétrico do sistema de controle foi necessário observar os dados do motor especificado e componentes empregados. O circuito geral do sistema é de certa forma simples, contendo poucos dispositivos conforme ilustrado na Figura 22.

A fonte de alimentação, quando energizada, alimenta o arduino e o drive do motor que juntos, e através de código pré-definido, envia sinal elétrico e comanda o motor de passo, com o ângulo e velocidade de giro. O potenciômetro tem a função de definir o tempo de permanência do elemento direcionador na posição da saída onde este valor é enviado e indicado pelo LCD pelo arduino.

Figura 22 – Componentes do sistema de controle



Fonte: autoria própria

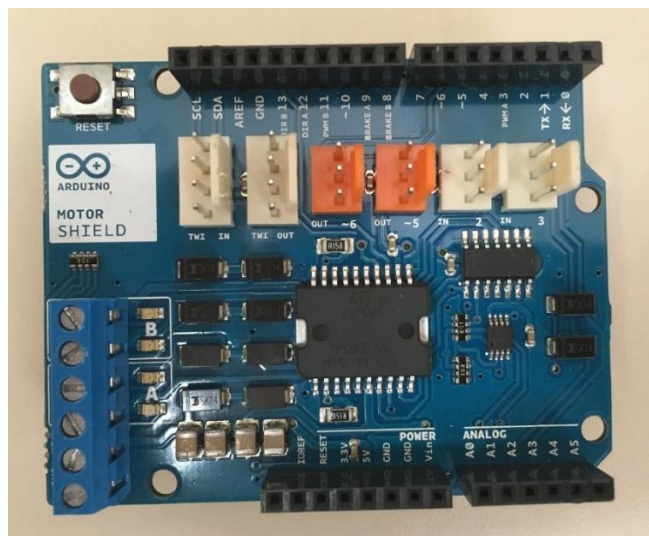
Para alimentação do motor de passo foi necessário encontrar um drive com tensão e corrente de alimentação compatível. Adotou-se o sistema de ligação unipolar do motor de passo facilitando a programação e assim pode-se definir qual drive utilizar sendo este o Motor *Shield* da arduino, Figura 23, o que possui especificações compatíveis com o motor de passo, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Especificações Arduino motor *shield*

Tensão (V)	Controlador do motor	Corrente máxima (A)	Sensor de corrente (V/A)	Função de paragem e freio livre
5 a 12	L298P	2A por canal ou 4A max	1,65	

Fonte: adaptado de Arduino (acesso em 15 novembro 2017)

Figura 23 – Arduino Motor *Shield*



Fonte: autoria própria.

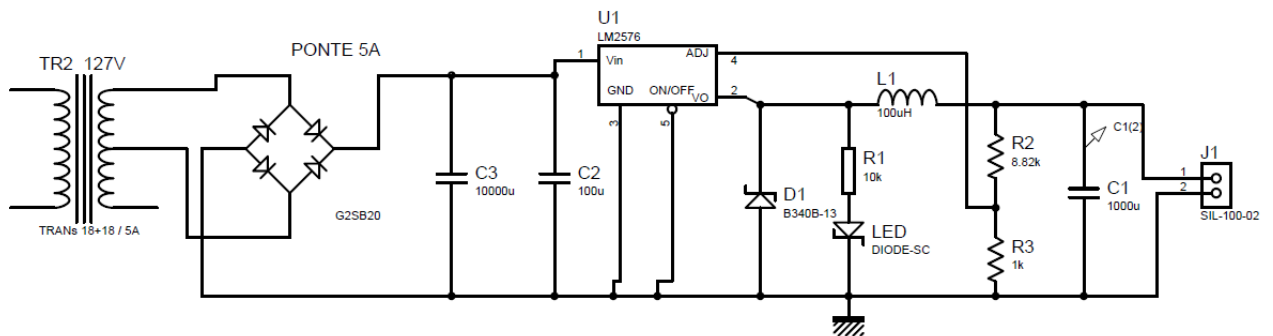
A confecção da fonte de alimentação partiu baseando-se nos valores de corrente e tensão necessária para alimentação do *shield* e motor de passo. Como estes parâmetros são específicos, projetou-se uma fonte específica para este fim.

O dimensionamento e desenvolvimento da fonte de alimentação teve que obedecer aos seguintes requisitos:

- Montar uma fonte de alimentação de 110 V para 12 V a 5 A para alimentar drive de controle de motor de passo;
- Alimentar o motor de 2,4 V por fase a partir de uma tensão de 127 V;
- Retificar a corrente de alternada para continua;
- Limitar a corrente a aproximadamente 3 A para perfeito funcionamento do motor sem risco de avarias;
- Projetar e dimensionar circuito de proteção de alta e baixa tensão.

A partir das informações foi possível projetar o circuito eletrônico da fonte utilizando o programa Proteus, ilustrado pela Figura 24, especificando os componentes necessários.

Figura 24 – Projeto do circuito eletrônico da fonte



Fonte: autoria própria

Para determinar o capacitor ideal a ser utilizado para que as condições de saída da fonte fossem satisfeitas foram utilizadas as seguintes equações.

Tensão de pico:

$$V_{pico} = V_{saida} \sqrt{2} \quad (5)$$

Capacitor:

$$C = \frac{1}{4 \times V_{saida} \times f} \left( \frac{2 \times V_{pico}}{\Delta V_{RRP}} \right) \quad (6)$$

Tempo de carga:

$$t_c = \frac{\arccos(V_{saida}/V_{pico})}{2 \times \pi \times f} \quad (7)$$

Corrente de pico:

$$I_{pico} = \frac{C(V_{pico} - V_{saida})}{t_c} \quad (8)$$

Tabela 8 – Parâmetros de saída e resultado das equações

PARÂMETROS DE SAÍDA REQUERIDOS			
Tensão de saída (V)	Corrente de saída (A)	Potência de saída (W)	Frequência (Hz)
12	5	60	60
Resultados encontrados			
Tensão de pico (V)	Capacitor (uF)	Tempo de carga (ms)	Corrente de pico (A)
16,97	7856	11,93	4,16

Fonte: autoria própria

Após efetuar os cálculos foi possível relacionar e identificar todos os componentes necessários para a confecção do projeto da fonte de alimentação.

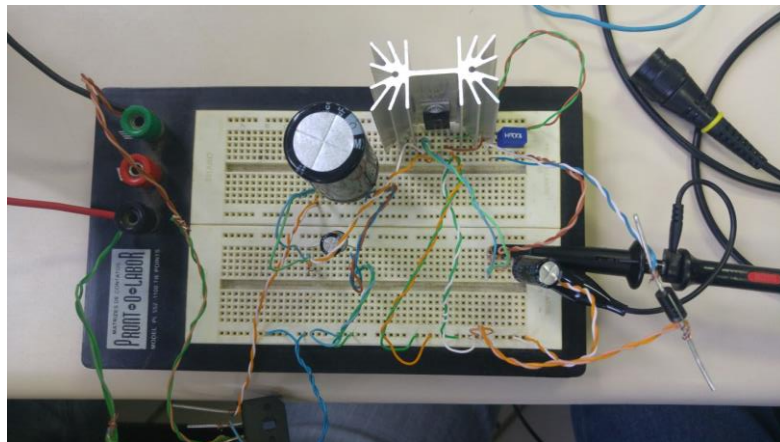
Componentes utilizados:

- Transformador (trafo) 18/6 A;
- Capacitor 8200 Mf 10000 / 25 V;
- Ponte retificadora 8A (rs507);
- Regulador de tensão/corrente 5A 12 V (lm2576);
- Diodo zenner 1N5822;

- f) Capacitor de 1000  $\mu\text{F}$ ;
- g) Capacitor de 100  $\mu\text{F}$ ;
- h) Indutor de 100 mH henry;
- i) Resistor de 8.82 K;
- j) Resistor de 1K;
- k) Dissipador de calor LM2576;
- l) Placa de fenolite.

O circuito eletrônico da fonte foi montado em uma placa protoboard (Figura 25) para fins de análise prática do funcionamento e identificação de possíveis falhas.

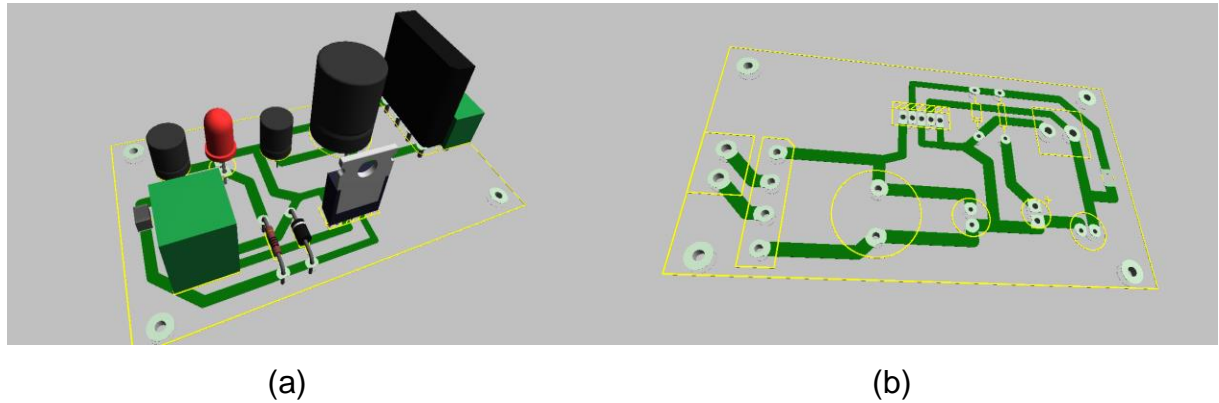
Figura 25 – Montagem do circuito na protoboard



Fonte: autoria própria

Empregando o software Proteus foi possível desenvolver o projeto otimizado da placa de circuito eletrônico, visualizado pela Figura 26. O arranjo dos componentes de forma organizada em uma placa de circuito faz com que suas dimensões sejam reduzidas fator esse essencial para implantação de um sistema embarcado juntamente com o sistema de comando.

Figura 26 – Projeto da placa de circuito

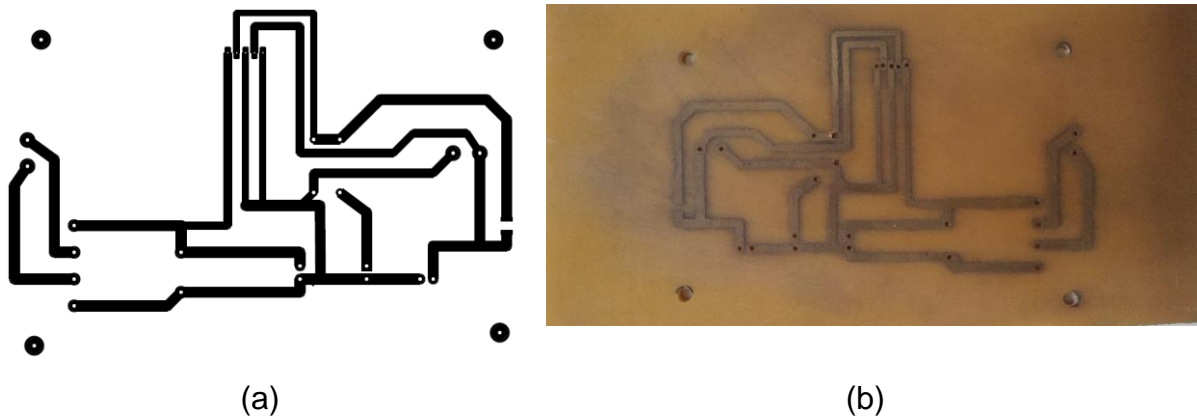


Nota. (a): Arranjo otimizado da placa; (b): Trilha e pontos de solda dos componente.

Fonte: autoria própria

Após esta etapa foi possível efetuar a impressão do circuito em uma folha para efetuar o procedimento de estampagem e corrosão da placa de fenolite, Figura 27.

Figura 27 – Projeto da placa de circuito

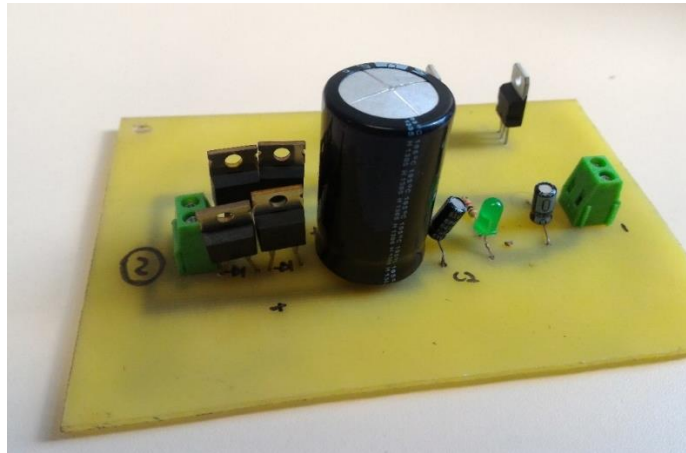


Nota (a): Trilha para impressão; (b): Trilha impressa em fenolite.

Fonte: autoria própria

A montagem e procedimento de soldagem dos componentes foram efetuados utilizando o Laboratório de Eletricidade e Eletrônica do curso técnico em eletrotécnica do Ifes campus São Mateus com o auxílio do técnico de laboratório. Conclui assim a etapa de confecção da fonte de alimentação do circuito, Figura 28.

Figura 28 – Placa de circuito montada



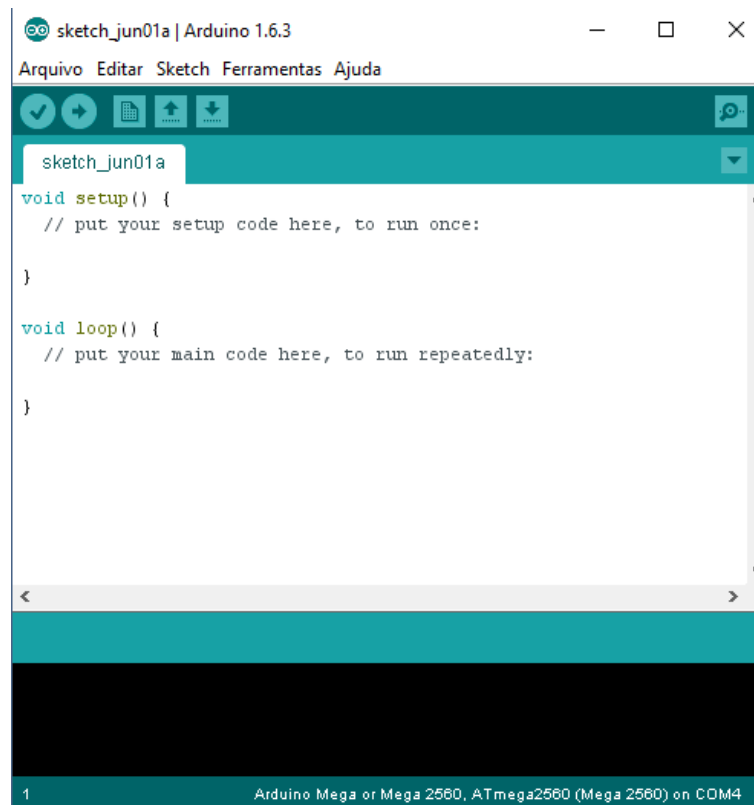
Fonte: autoria própria

### 3.2.3 Programação lógica em arduino

Para o procedimento de controle de giro, tempo e posicionamento correto do elemento direcionador em relação aos bocais de saída, optou-se pela utilização de controle do motor de passo por meio de microcontrolador tipo arduino, por possuir uma plataforma de fácil entendimento e programação.

A programação utilizada na plataforma é a C++, podendo ser criada através do próprio programa fornecido pela arduino (Figura 29), verificação de erros e transmissão dos dados para o microprocessador via cabo USB.

Figura 29 – Programa arduino 1.6.3



```
sketch_jun01a | Arduino 1.6.3
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

sketch_jun01a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

1 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM4
```

Fonte: Arduino (acesso em 15 maio 2017).

### 3.3 ANÁLISE FLUIDODINÂMICA

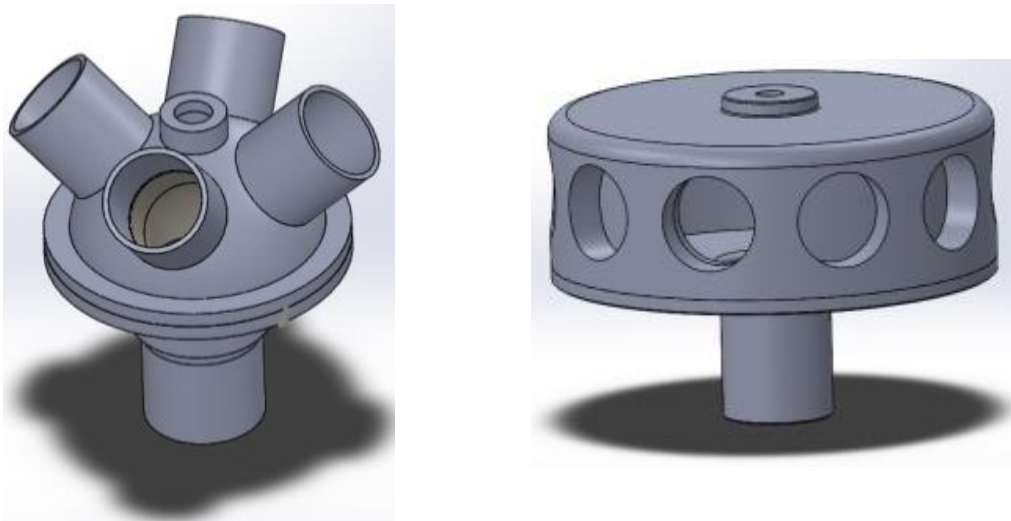
A análise fluidodinâmica efetuada na válvula teve como objetivo principal a determinação da perda de carga produzida pelos componentes internos da válvula quando submetida a um fluxo interno de um fluido. Este parâmetro é fundamental para projetos de condutores de fluido, pois influencia diretamente na energia gasta para deslocamento do fluido além de determinar pressões internas das tubulações.

Outro fator importante da simulação é identificar pontos, ou seções, onde a pressão é maior, onde há alteração de velocidade e identificar zonas com geração de turbulência que pode aumentar a perda de carga da válvula.

Para as simulações foi utilizado o software Ansys CFX, onde se podem analisar com propriedade os parâmetros de escoamento interno da válvula, uma vez que a geometria usada possui as mesmas dimensões e condições que o protótipo real.

A primeira simulação utilizou-se as válvulas na posição estacionária, ilustrada pela Figura 30, ou seja, quando o bocal de saída do elemento direcionador está alinhado ao bocal da carcaça superior. Esta é posição em que a válvula permanecerá por um maior tempo.

Figura 30 – Posição estacionária das válvulas



Nota. (a): Válvula semiesférica; (b): Válvula de formato cilíndrico .

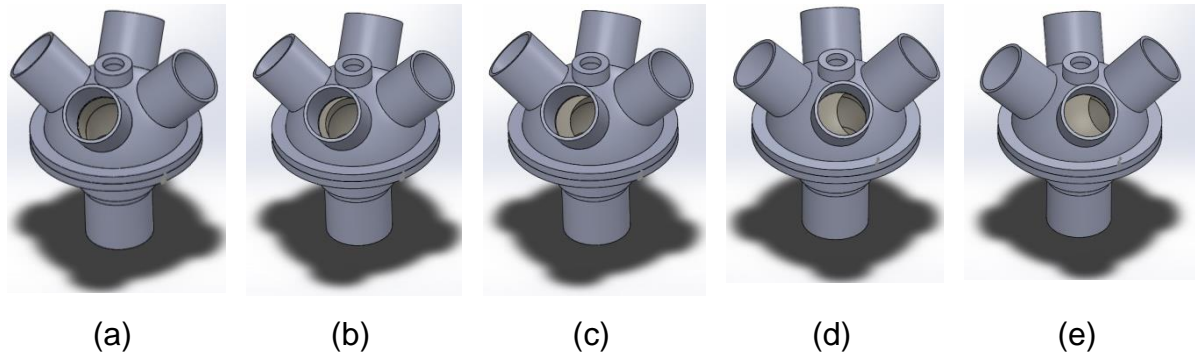
Fonte: autoria própria

A válvula ensaiada com a utilização do software possui quatro saídas onde sua geometria possui uma simetria entre elas. Foi adotado cinco posições do elemento direcionador seguindo um sentido de giro partindo de uma posição inicial, posição  $0^\circ$ , onde o bocal do elemento direcionador de fluido está completamente alinhado ao bocal de saída da válvula, conforme ilustrado pela Figura 31 (a). Será a posição de operação em que permanecerá por um tempo até iniciar o procedimento de giro e troca de posição.

As outras quatro posições seguiram uma ordem de acréscimo de  $11,25$  graus em relação a posição anterior. A última posição analisada terá um ângulo de  $45$  graus referente à posição inicial e na qual o bocal do elemento direcionador estará posicionado exatamente entre duas saídas. As análises das posições após este ângulo não são necessárias devido a simetria na geometria, ou seja, subentende-se que

os valores assumirão padrão similar, porém em sentido “espelhado” aos resultados obtidos.

Figura 31 – Posições do elemento direcionador com variação de  $0^\circ$  à  $45^\circ$

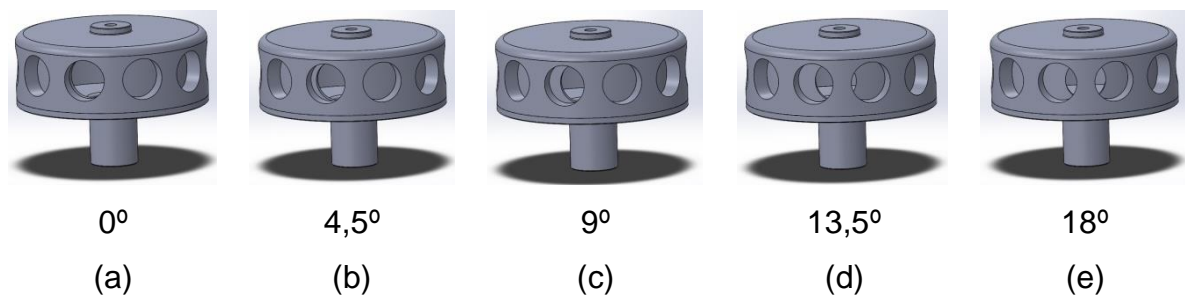


Nota. (a): Posição  $0^\circ$ ; (b): Posição  $11,25^\circ$ ; (c): Posição  $22,5^\circ$ ; (d): Posição  $33,75^\circ$ ; (e): Posição  $45^\circ$

Fonte: autoria própria

Seguindo os mesmos procedimentos anteriores para análise fluidodinâmica para o projeto da válvula semiesférica aplicou-se os parâmetros à válvula de formato cilíndrico com uma diferença entre elas. Devido a maior quantidade de bocais de saída contidas na válvula cilíndrica, foi necessário alterar o ângulo da posição inicial, onde o bocal do elemento direcionador se encontra alinhado ao bocal de saída e a posição final, ao qual o bocal do elemento direcionador estará posicionado exatamente entre dois bocais. Assim a variação entre as posições será de  $4,5$  graus, conforme Figura 32.

Figura 32 – Posições do elemento direcionador com variação de  $0^\circ$  à  $18^\circ$

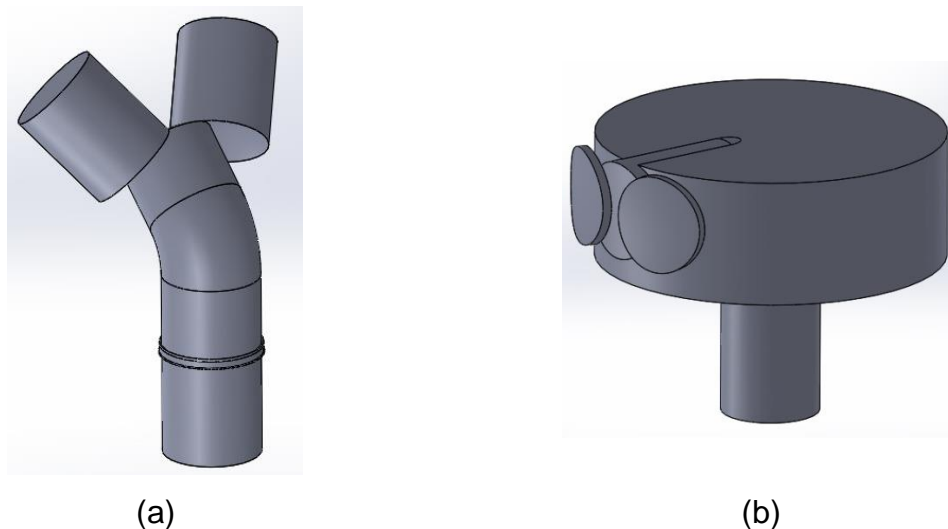


Nota. (a): Posição  $0^\circ$ ; (b): Posição  $4,5^\circ$ ; (c): Posição  $9^\circ$ ; (d): Posição  $13,5^\circ$ ; (e): Posição  $18^\circ$

Fonte: autoria própria

Para a simulação do escoamento interno das válvulas utilizando o Ansys foi necessário transformar a parte interna aonde escoo o fluido em um sólido. Utilizando o volume negativo das posições é possível analisar o escoamento nas posições propostas. A Figura 33 demonstra como é a forma negativa da válvula semiesférica (a) e a válvula cilíndrica (b) que será ensaiado com o software Ansys CFX.

Figura 33 – Forma negativa da válvula



Nota. (a): Forma negativa válvula semiesférica a 45°; (b): Forma negativa da válvula cilíndrica a 18°  
 Fonte: autoria própria

### 3.3.1 Simulação e análise de escoamento do fluido

Na análise fluidodinâmica os seguintes parâmetros foram analisados para cada posição das duas válvulas.

- a) Campo de pressão – perda de carga;
- b) Linhas de corrente;
- c) Campo de velocidade;

Adotada a pressão atmosférica nas saídas sem nenhuma restrição após o bocal. Outros parâmetros, como altura manométrica para determinar a pressão na entrada e a vazão foram selecionados a partir da vazão de trabalho de válvulas pilotadas hidráulicamente com diâmetros similares conhecidas no mercado, conforme Gráfico



Tabela 10 – Parâmetros de entrada para simulação

	<b>Diâmetro de entrada (mm)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Velocidade de entrada (m/s)</b>	<b>Pressão na saída (atm)</b>	<b>Temperatura do fluido (°C)</b>
1		5,5	0,75		
2	50,8	8,6	1,17	1	25
3		11,1	1,52		

Fonte: autoria própria

A malha utilizada foi definida ao variar a sua dimensão entre 3 mm e 0,5 mm para identificação de tempo de processamento e convergência de valores e após testes observou-se que a malha mais adequada para os testes seria de 1 mm para a válvula semiesférica e 3 mm para a válvula de formato cilíndrico, pois os valores obtidos nos resultados após esta dimensão não sofriam muita variação. Estes dados foram utilizados para todos os outros ensaios, separados por modelo de válvula, como forma de padronização de dados de entrada no ANSYS.

### 3.4 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA CONFECÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Devido à dificuldade em adquirir os materiais correto conforme projeto da válvula e a inviabilidade de utilização de um equipamento de injeção de polímero além da confecção de um molde específico da válvula, utilizou-se recursos e materiais disponíveis no Ifes e acessíveis.

Para confecção do protótipo semiesférico utilizou-se o polímero Nylon na prototipagem de todas as peças exceto as vedações do tipo o-ring. O equipamento utilizado foi uma máquina de impressão por sinterização a laser modelo Eosint M280 com capacidade máxima de prototipagem de 250x250x325 mm (L x C x A) em parceria com o laboratório Biofabris da Universidade de Campinas (UNICAMP).

Na confecção do protótipo cilíndrico os materiais utilizados estão conforme Tabela 11.

Tabela 11 – Descrição dos elementos confeccionados e materiais empregados

DESCRIÇÃO							
Peça	Carcaça superior	Carcaça inferior	Obturador	Pino giro	Base Motor	Vedações superior e inferior	Vedação pino
<b>Material</b>	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Tecnil	Tecnil
<b>Processo Fabricação</b>	Usinagem - Torno Mecânico						
<b>Dimensões</b>	Ø 6" x 300 mm	Ø 6" x 300 mm	Ø 4" x 150 mm	Ø 1" x 100 mm	Ø 3" x 80 mm	Ø 3" x 50 mm	Ø 1" x 50 mm

Fonte: autoria própria

Para a montagem do sistema da fonte e do sistema de controle utilizou-se os seguintes componentes conforme Tabela 12.

Tabela 12 – Componentes do sistema de controle

DESCRIÇÃO	
Material	Quantidade
Motor de passo NEMA 23 200 Kgf/cm, redução 20:1.	1
Arduino Motor <i>Shield</i>	1
Arduino® Uno	1
Fonte de alimentação chaveada 12,0 V 5A	1
Display LCD 2X16	1
Potenciômetro	1

Fonte: autoria própria

Outros elementos complementares foram necessários para a montagem e testes da válvula em bancada sendo descritos na tabela de custos com materiais.

### 3.5 CUSTOS

A confecção de parte dos protótipos não houve custo, pois, tanto a válvula semiesférica quanto o projeto em formato cilíndrico, contaram com parcerias. Os demais materiais foram adquiridos. A Tabela 13 descreve os componentes, materiais e custos envolvidos.

Tabela 13 – Custos do projeto

Material	Quant.	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Abraçadeira metálica	10	1,65	16,50
Arduino Motor <i>Shield</i> Rev. 3	1	135,00	135,00
Arduino Uno	1	69,50	69,50
Capacitor 8200 Mf 10000 / 25V	1	185,00	185,00
Capacitor de 100 uF	1	0,35	0,35
Capacitor de 1000 uF	1	0,80	0,80
Conector borne 2 vias	2	1,50	3,00
Diodo zenner 1N5822	1	1,00	1,00
Display LCD 2X16	1	13,50	13,50
Dissipador de calor LM2576	1	8,00	8,00
Espigão 1"	10	5,50	55,00
Fonte 12 V 5 A Bivolt	1	30,00	30,00
Frete	1	50,45	50,45
Indutor de 100 mH henry	1	1,5	1,50
Mangueira 1" transparente (m)	4	6,00	24,00
Motor passo 200 kgf.cm c/ redução	1	389,00	389,00
O-ring 136 x 4 mm	3	3,50	10,50
O-ring 19,05 x 4 mm	2	1,20	2,40
Parafuso Allen interno 3/8" x 1"	6	0,70	3,50
Parafuso Allen interno 5/16" x 1"	16	0,70	11,20
Placa de fenolite 10 x 20 cm	1	9,60	9,60
Ponte retificadora 8 A (rs507)	1	8,35	8,35
Porca 5/16"	16	0,35	5,60
Potenciômetro	1	4,50	4,50

Regulador de tensão/corrente 5 A 12 V (Im2576)	1	11,90	11,90
Resistor de 1 K	1	0,12	0,12
Resistor de 8.82 K	1	0,12	0,12
Tarugo tecnil	-	29,00	29,00
Transformador (trafo) 18/6 A	1	103,00	103,00
		<b>Total (R\$)</b>	<b>1.182,39</b>

---

Fonte: autoria própria

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão demonstrados os resultados dos processos, sendo eles relacionados ao desenvolvimento de projeto, fabricação, análise fluidodinâmica e testes em bancadas. Os testes e projetos foram elaborados utilizando os Laboratórios de Fabricação, Soldagem, Eletrônica de Potência e Laboratório de Informática.

### 4.1 CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO

A confecção dos protótipos teve o intuito de se obter um produto similar, em termos de aspectos físicos e dimensionais. Cada protótipo seguiu de forma independente entre si, entretanto o sistema de controle foi proposto após teste prático de torque necessário para giro da válvula.

#### 4.1.1 Protótipo confeccionado em polímero

A princípio buscaram-se formas de confecção do protótipo semiesférico da válvula, com saídas em ângulo de  $45^\circ$ , em processo de injeção ou usinagem CNC, porém sua geometria impossibilitou confeccioná-lo utilizando usinagem convencional.

Á confecção do protótipo em Nylon possui qualidade e resistência, fatores estes essenciais em processos de prototipagem. Entretanto o seu acabamento rugoso não permitiu testes práticos sendo necessária melhoria no tratamento superficial das partes em contato, conforme ilustra a Figura 34.

Através do protótipo impresso outro fator avaliado é a facilidade de manutenção da válvula considerando desmontagem e montagem e substituição dos elementos internos, atendendo bem as expectativas. O projeto mostrou-se de razoável, minimizando problemas e custos de manutenção.

Figura 34 – Protótipo confeccionado em Nylon



Nota. (a): Válvula semiesférica montada; (b): Peças da válvula semiesférica desmontadas

Fonte: autoria própria

#### 4.1.2 Protótipo confeccionado em alumínio

O protótipo da válvula de formato cilíndrico surgiu da problemática relacionada a confecção do protótipo em sua forma inicial. Para elaboração de testes práticos optou-se pela fabricação do protótipo em alumínio em formato simples podendo ser confeccionado em processo de usinagem convencional utilizando o torno mecânico.

Exceto os elementos de vedação, todos os elementos foram produzidos em alumínio devido a disponibilidade do material junto ao Ifes. Os anéis de vedação foram confeccionados utilizando o material tecnil, aproveitando o torno mecânico do Laboratório de Fabricação Mecânica do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Para efetuar o teste de torque necessário para romper a força de atrito dos componentes internos da válvula foi necessária a montagem de todos os elementos e posteriormente efetuou-se o exame utilizando um torquímetro de relógio. Constatou-se um torque de 9 N.m, conforme ilustrado pela Figura 35, dentro da faixa de trabalho do motor de passo selecionado.

Figura 35 – Teste de torque com torquímetro de relógio.



Fonte: autoria própria

Depois de avaliado o torque executou-se o procedimento de montagem total da válvula incluindo o motor de passo para acionamento do elemento direcionador. Obteve-se comportamento mecânico esperado ao proposto, podendo visualizar a transição entre bocais. A válvula montada é ilustrada pela Figura 36.

Após esta etapa pode-se testar o funcionamento do conjunto válvula e sistema de controle.

Figura 36 – Válvula cilíndrica montada com motor de passo



Fonte: autoria própria.

## 4.2 TESTE DE BANCADA

Os testes de bancada seguiram uma sequência partindo inicialmente pelo sistema de controle, teste da fonte projetada e por fim teste da válvula utilizando bancada de perda de carga.

Para o sistema de controle o arduino conta com a declaração de saída do sinal em forma de pulso para controle do motor de passo por meio do drive *shield*. O tempo de espera é definido por um “delay” que recebe o valor gerado pelo potenciômetro e é implementado ao final da função “loop void” definindo um tempo de espera antes de inicial o próximo ciclo. Abaixo segue a programação utilizada para o procedimento de giro e posicionamento do motor de passo.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Stepper.h>
#include <Servo.h>

LiquidCrystal lcd(11,10,5,4,3,2);

int potPin = 6;
int motorPin1 = 7;
int motorPin2 = 8;
int motorPin3 = 12;
int motorPin4 = 13;
int delayTime = 500; //velocidade de giro

void setup() {
pinMode(motorPin1, OUTPUT);
pinMode(motorPin2, OUTPUT);
pinMode(motorPin3, OUTPUT);
pinMode(motorPin4, OUTPUT);

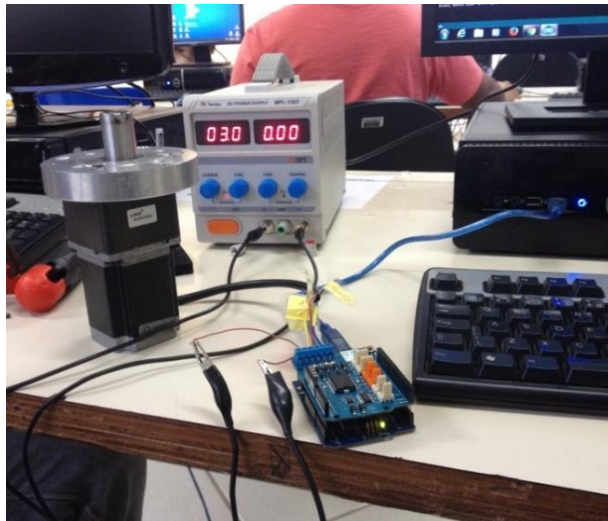
Serial.begin(9600);
lcd.begin(16,2);
```

```
}  
  
void loop() {  
  digitalWrite(motorPin1, HIGH);  
  digitalWrite(motorPin2, LOW);  
  digitalWrite(motorPin3, LOW);  
  digitalWrite(motorPin4, LOW);  
  delay(delayTime);  
  digitalWrite(motorPin1, LOW);  
  digitalWrite(motorPin2, HIGH);  
  digitalWrite(motorPin3, LOW);  
  digitalWrite(motorPin4, LOW);  
  delay(delayTime);  
  digitalWrite(motorPin1, LOW);  
  digitalWrite(motorPin2, LOW);  
  digitalWrite(motorPin3, HIGH);  
  digitalWrite(motorPin4, LOW);  
  delay(delayTime);  
  digitalWrite(motorPin1, LOW);  
  digitalWrite(motorPin2, LOW);  
  digitalWrite(motorPin3, LOW);  
  digitalWrite(motorPin4, HIGH);  
  delay(delayTime);  
  
  delay(potPin*60000);//tempo de espera  
  
  float Pot = analogRead(potPin);  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(3,0);  
  lcd.print("Tempo de Espera (min)");  
  lcd.setCursor(3,1);  
  lcd.print(Pot);  
}
```

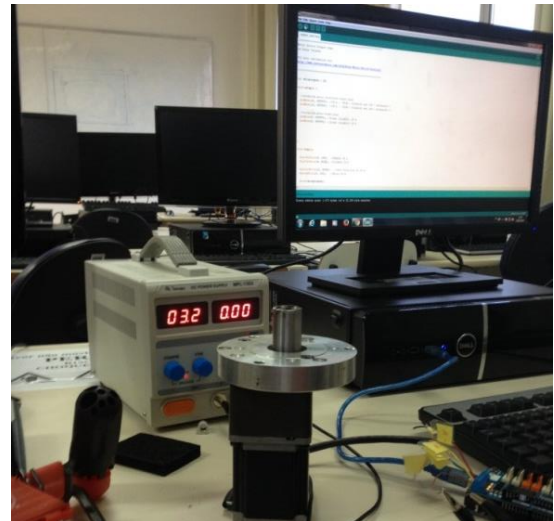
Depois de criado a programação foram efetuados os procedimentos de teste físico do giro utilizando o motor de passo com redução e o conjunto arduino e drive *shield*.

Para a alimentação do drive *shield* utilizou-se uma fonte de corrente contínua variável podendo ser regulada a tensão e a corrente aplicada ao sistema conforme ilustrado pela Figura 37. Os testes foram bem-sucedidos uma vez que toda programação implementada no arduino efetuou o giro em um tempo determinado e precisão de posicionamento angular.

Figura 37 – Teste do controle de giro da válvula



(a)



(b)

Nota. (a): Montagem do sistema de controle; (b): Implementação do código do sistema de controle  
Fonte: autoria própria

O teste da válvula em alumínio na bancada de perda de carga do Laboratório de Máquinas Térmicas contou com a utilização de uma moto bomba de 1/2 CV para avaliação do comportamento do fluido escoando na válvula.

Pode perceber que havia alguns problemas de vedação principalmente entre os bocais de saída onde a fuga de água estava acima do esperado, sendo necessária a confecção e adaptação de uma vedação no bocal de saída do elemento direcionador.

Não considerou a pressão de trabalho para este teste, sendo somente avaliado a vedação da válvula. A Figura 38 mostra a válvula montada na bancada de análise de perda de carga.

Figura 38 – Teste da válvula em alumínio



Fonte: autoria própria

Foi utilizado o material tecnil para a confecção da vedação do bocal do elemento direcionador. Produziu uma vedação de geometria retangular, conforme Figura 39, e confeccionado um rebaixo de mesmas dimensões no bocal de saída do elemento direcionador. A geometria quadrada justifica-se pela facilidade de realizar o rasgo com os equipamentos disponíveis na oficina mecânica.

Figura 39 – Detalhe do encaixe da vedação.



Fonte: autoria própria

Após a instalação da vedação repetiu-se os testes na bancada de perda de carga e notou uma melhoria significativa na vedação entre os bocais de saída, entretanto faz-se necessário analisar uma melhor forma de vedação, pois majorou o torque necessário para giro do obturador.

#### 4.3 SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA

Para a análise fluidodinâmica efetuou-se testes de malha utilizando malha com 3 mm, 2 mm, 1 mm e 0,5 mm para análise de convergência de resultados. Adotou-se a malha de 1 mm para os testes com a válvula semiesférica, e 3 mm para a válvula de formato cilíndrico, pois os valores convergiram. Após esta dimensão estes não possuíam alterações significativas retornando valores da diferença máxima entre a perda de carga na ordem de 60 Pa (0,006 mca). Para todos os casos foram utilizados os mesmos parâmetros de acordo com a Tabela 14.

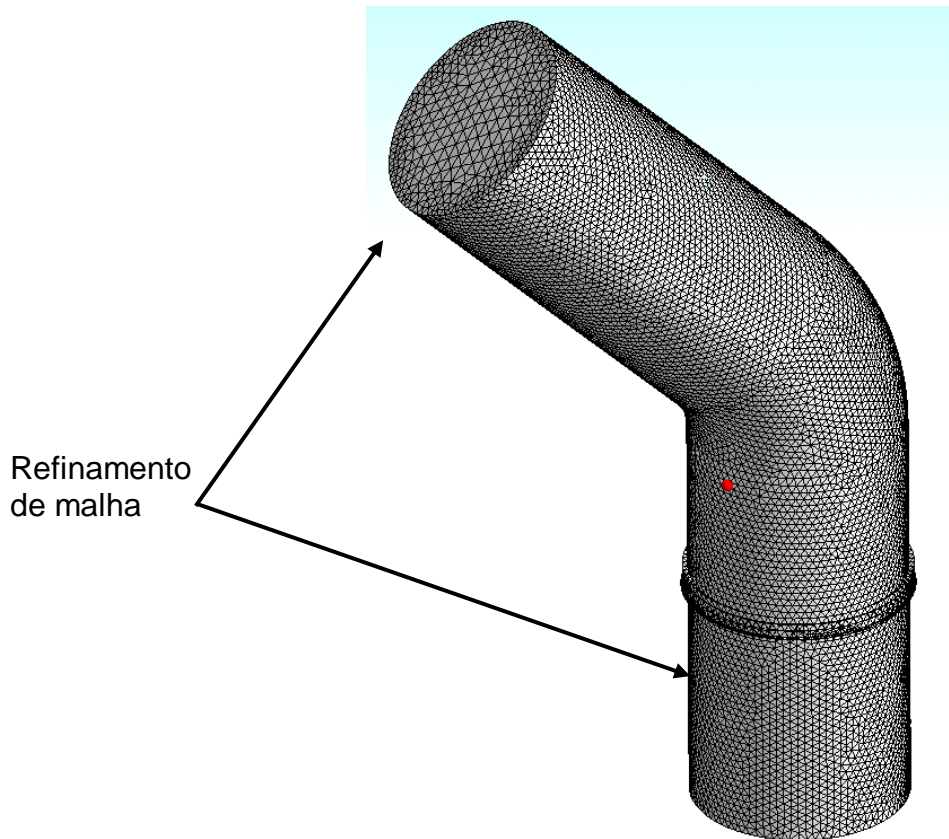
Tabela 14 – Parâmetros das malhas testadas

<b>VÁLVULA SEMIESFÉRICA</b>			
<b>Malha (mm)</b>	<b>Quantidade de elementos</b>	<b>Nós</b>	<b>Tipo de refinamento</b>
3	292706	55928	Baixo
2	654444	124792	Médio / Baixo
1	2966220	555932	Médio / Alto
0,5	12949487	2405568	Alto
<b>VÁLVULA CILÍNDRICA</b>			
<b>Malha (mm)</b>	<b>Quantidade de elementos</b>	<b>Nós</b>	<b>Tipo de refinamento</b>
4	166587	31956	Baixo
3	264886	51130	Médio / Alto

Fonte: autoria própria

Nota-se que existe um refinamento da malha onde a região possui maior gradiente de velocidade ilustrada pela Figura 40.

Figura 40 – Detalhe da malha



Fonte: autoria própria

Foi utilizado o computador do Grupo de Pesquisa em Mecânica dos Fluidos localizado no Laboratório de Hidráulica e Pneumática. Também se utilizou, para término das simulações, o servidor do Ifes por possuir uma maior capacidade de processamento de dados.

#### 4.3.1 Campo de pressão – definição da perda de carga

A simulação inicial adotou a posição inicial, posição estacionária, na qual permanecerá por um maior período de tempo para poder traçar o gráfico de perda de carga dos dois protótipos da válvula, alterando somente a vazão do fluido que passa por estas. O gráfico de perda de carga de acordo com a vazão de fluido é ilustrado

abaixo onde se pode perceber que a perda de carga do protótipo semiesférico (válvula semiesférica) é muito inferior à perda de carga da válvula confeccionada em formato cilíndrico. A geometria formada pela válvula semiesférica se assemelha a uma curva de 45° e o valor de perda de carga obtido nas simulações foi semelhante ao valor de uma curva de 45° conforme Gráfico 2 que mostra o coeficiente de perda de carga ( $K = 0,16$ ).

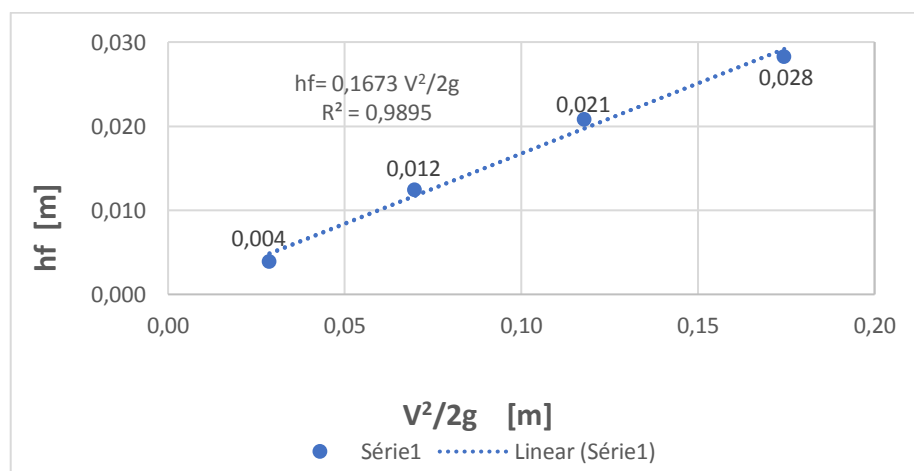
Como esperado, a válvula de formato cilíndrica obteve um coeficiente de perda de carga superior, quando comparada a válvula semiesférica, devido a seu formato construtivo. No Gráfico 3 é possível observar o quanto maior é o coeficiente em relação à válvula semiesférica (alcançando o valor de  $k = 3,8$ ).

Tabela 15 – Perda de carga versus velocidade de entrada do fluido

Válvula semiesférica posição 0°				
<b>Velocidade</b>	0,75 m/s	1,17 m/s	1,52 m/s	1,85 m/s
<b><math>\Delta P</math> (Pa)</b>	38,5	122,26	204,243	277,29
Válvula cilíndrica posição 0°				
<b>Velocidade</b>	0,75 m/s	1,17 m/s	1,52 m/s	1,85 m/s
<b><math>\Delta P</math> (Pa)</b>	716,68	2476,39	4374,24	6649,16

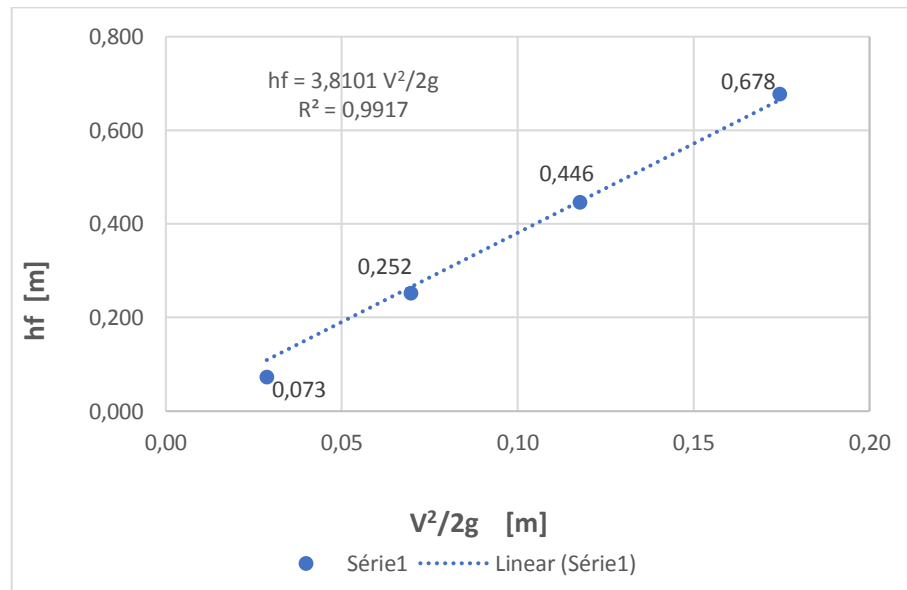
Fonte: autoria própria

Gráfico 2 – Gráfico da curva de perda de carga da válvula semiesférica



Fonte: autoria própria

Gráfico 3 – Gráfico da curva de perda de carga da válvula cilíndrica



Fonte: autoria própria

As válvulas mais comuns utilizadas na automação de irrigações é a do tipo globo com acionamento por piloto hidráulico ou solenoide, ao qual possui um coeficiente de perda de carga  $K=10$  (Tabela 16). Comparando os valores de perda de carga obtidos e utilizando nas simulações com o coeficiente da válvula globo nota-se uma vantagem da utilização de ambas as válvulas para sistemas de automação sendo, a de formato semiesférico, a que mais se destaca por sua baixa perda de carga.

Tabela 16 – Valores de coeficientes de perda de carga K para algumas conexões

Acessórios	Coefficiente K
Cotovelo de 90°	0,9
Cotovelo de 45°	0,4
Curva de 90°	0,4
Curva de 45°	0,2
Medidor Venturi	2,5
Registro Gaveta (totalmente aberto)	0,2
Registro Globo (totalmente aberto)	10

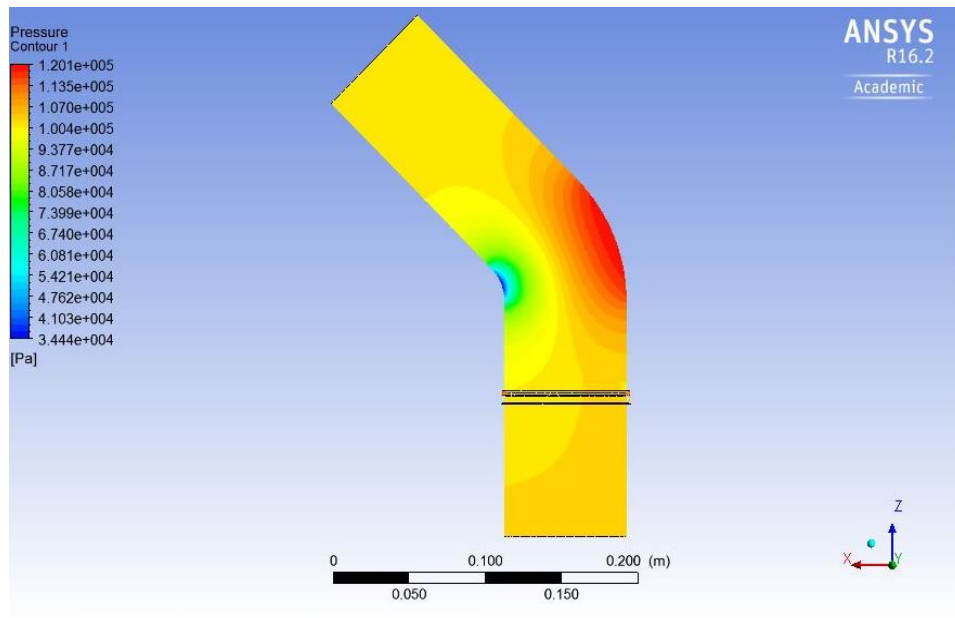
Fonte: Scalon (2017).

Equação com perda de carga localizada:

$$\Delta P = K \frac{\rho V^2}{2} \quad (9)$$

Percebe-se que através do contorno de pressão, ilustrado pela Figura 41, que, apesar de haver alterações nas pressões em pontos internos concentrados nos locais onde o fluido é forçado a mudar de direção, a pressão de entrada e de saída possui uma pequena alteração de pressão, sendo um ponto muito positivo para o projeto.

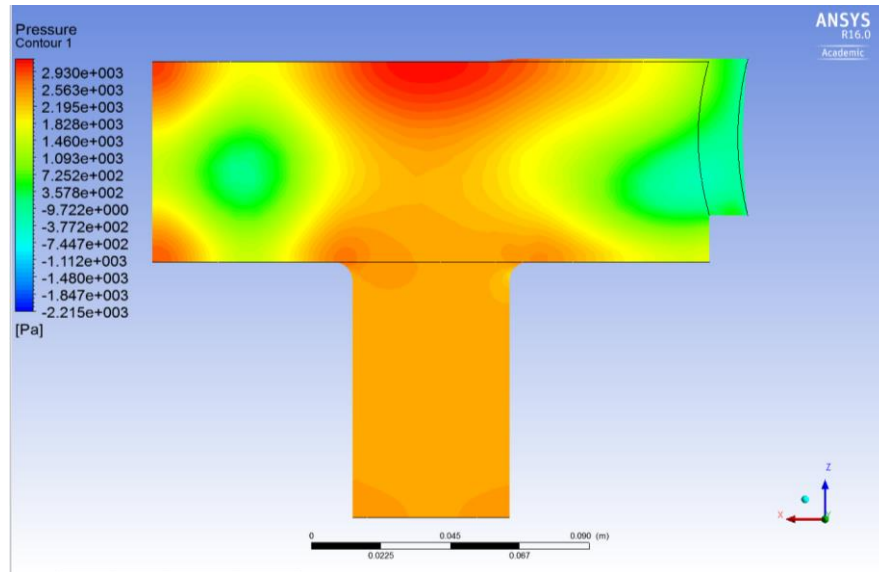
Figura 41 – Campo de pressão da válvula semiesférica



Fonte: autoria própria

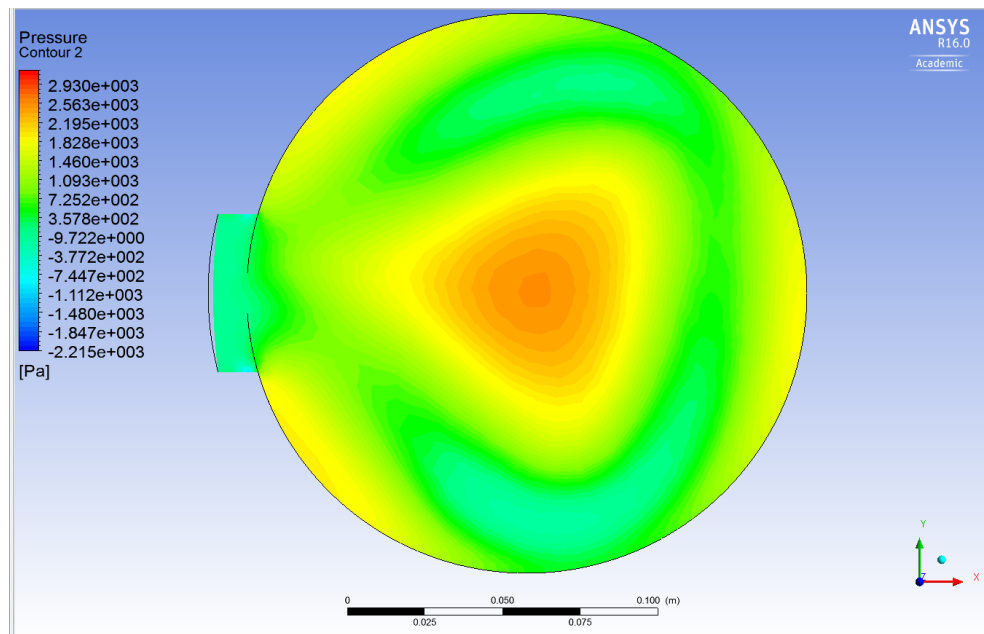
Já na válvula de formato cilíndrico confeccionada em alumínio percebe-se uma diferença maior na pressão de entrada e na pressão de saída, conforme Figura 42, o que determina uma maior perda de carga causada pelos vórtices gerados pelo espaço preenchido e alteração da direção do fluido.

Figura 42 – Campo de pressão da válvula cilíndrica vista lateral



Fonte: autoria própria

Figura 43 – Campo de pressão da válvula cilíndrica vista superior



Fonte: autoria própria

Também foram simuladas cinco posições distintas para aquisição do campo de pressão e relacionar sua perda de carga da válvula, conforme o elemento direcionador se desloca de um bocal de saída. Devido à alteração de área logo que o elemento

direcionador se desloca pode perceber que a variação da pressão está concentrada em maior valor quando atinge a posição de 45°, quando analisada a válvula semiesférica, conforme Tabela 17.

Entretanto, para a válvula cilíndrica, o comportamento foi diferente. A perda de carga reduziu quando alterado a posição entre 4,5 e 9 graus ocorrendo, também entre 13,5 e 45 graus. Essa redução da perda de carga na transição entre as posições citadas pode ter ocorrido devido à variação da direção do fluido conforme a área de saída foi intercalada entre dois bocais de saída, sendo necessário uma melhor análise para identificação do ocorrido. Como se padronizou os bocais de saída como sistema aberto a perda de carga é dada pelo valor da pressão gerada na entrada da válvula.

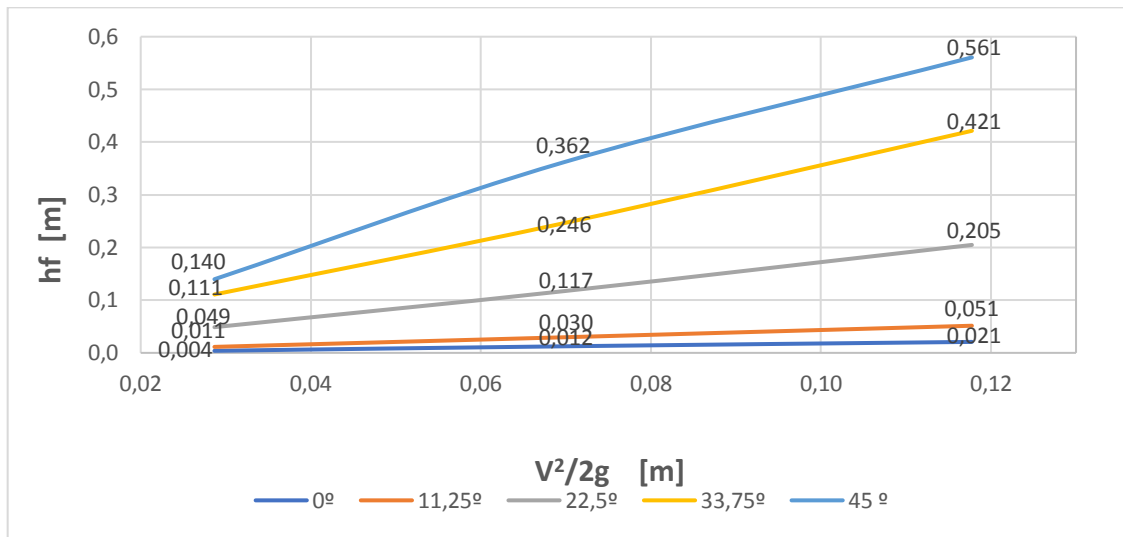
Tabela 17 – Comparação da perda de carga x ângulo entre os tipos de válvula

<b>VÁLVULA SEMIESFÉRICA</b>						
	<b>Velocidade</b>	<b>Posição</b>				
		0°	11,25°	22,5°	33,75°	45°
	0,75	38,5	111,41	478,25	1086,80	1370,62
<b>ΔP</b>	1,17	122,26	290,35	1149,45	2414,78	3549,30
	1,52	204,24	505,20	2009,4	4134,02	5500,24
<b>VÁLVULA CILÍNDRICA</b>						
	<b>Velocidade</b>	<b>Posição</b>				
		0°	4,5°	9°	13,5°	18°
	0,75	716,68	1152,17	1082,03	1745,21	1674,58
<b>ΔP</b>	1,17	2476,39	2781,7	2777,15	3420,8	3897,16
	1,52	4374,24	4965,89	4715,53	6587,98	6273,49

Fonte: autoria própria

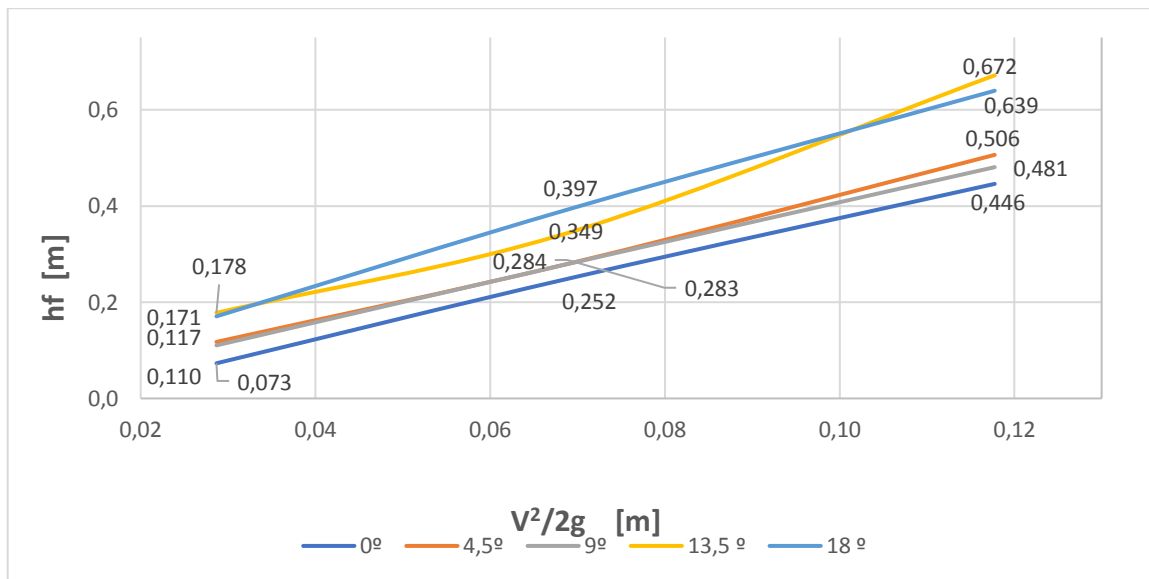
Através dos valores de pressão obtidos, conforme o elemento desloca-se foi possível traçar um gráfico que indica o coeficiente de perda de carga de acordo com a velocidade para cada ângulo de giro das válvulas, ilustrado pelo Gráfico 4 e Gráfico 5. Foram analisadas a perda de carga para três velocidades diferentes.

Gráfico 4 – Coeficiente de perda de carga de acordo com o ângulo (válvula semiesférica)



Fonte: autoria própria

Gráfico 5 – Coeficiente de perda de carga de acordo com o ângulo (válvula cilíndrica)

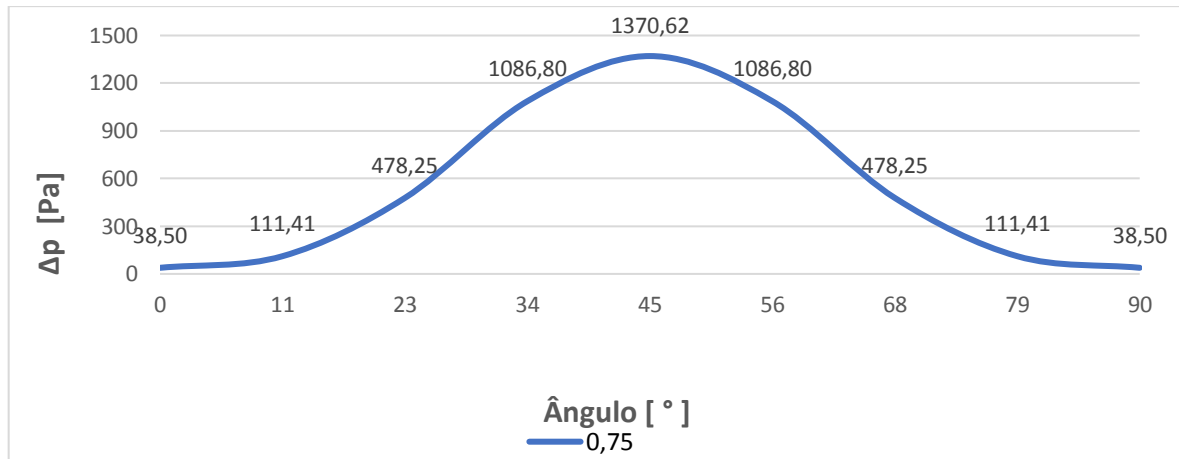


Fonte: autoria própria

Os Gráfico 6 ilustra a variação da perda de carga conforme varia o ângulo até o seu deslocamento total entre um bocal de saída e outro. Para a válvula de formato semiesférico, conforme altera o ângulo de posição aumenta gradativamente a perda de carga até atingir o seu valor máximo que é quando o bocal do elemento

direcionador fica posicionado entre os dois bocais de saída. Após ultrapassar esse limite o comportamento é simétrico devido a sua geometria.

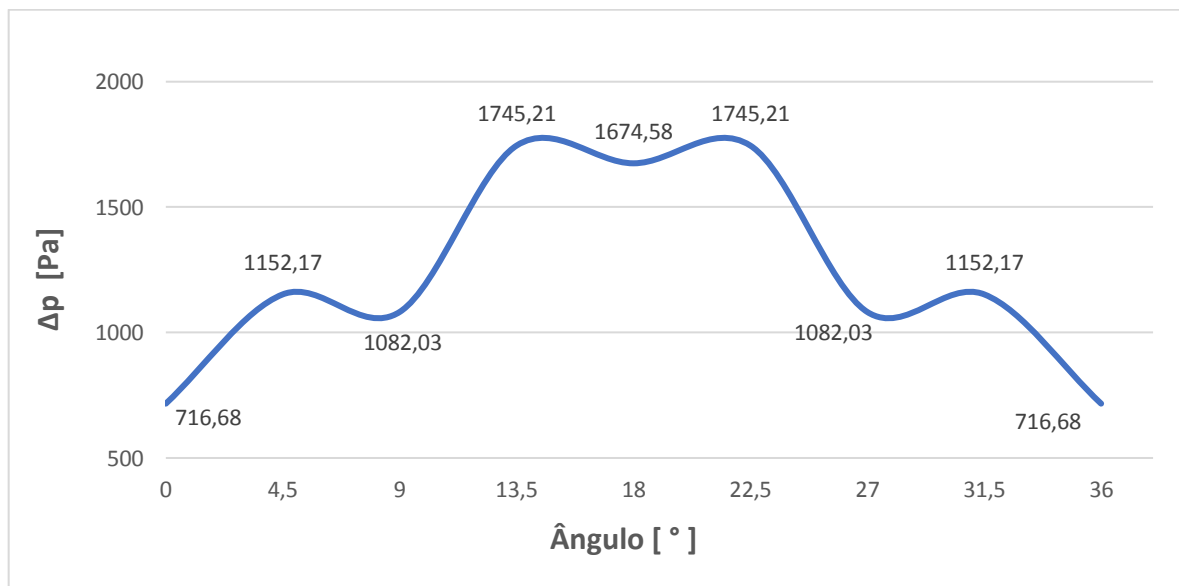
Gráfico 6 – Variação da pressão versus ângulo de posição – válvula semiesférica



Fonte: autoria própria

O comportamento simétrico também é visualizado na válvula cilíndrica, Gráfico 7. Entretanto há um comportamento oscilatório da perda de carga entre as posições ao qual permite identificar que a perda de carga está mais concentrada quando atinge a posição de 13,5 graus.

Gráfico 7 – Variação da pressão versus ângulo de posição – válvula cilíndrica



Fonte: autoria própria

É notória a disparidade entre os valores de perda de carga entre os dois modelos de válvulas, pois a de formato cilíndrico, apesar de ser um modelo de fácil fabricação, possui um alto nível de vórtices gerados devido ao fluxo de fluido colidir com a parede superior da válvula e ao espaço volumétrico Disponível em: seu interior.

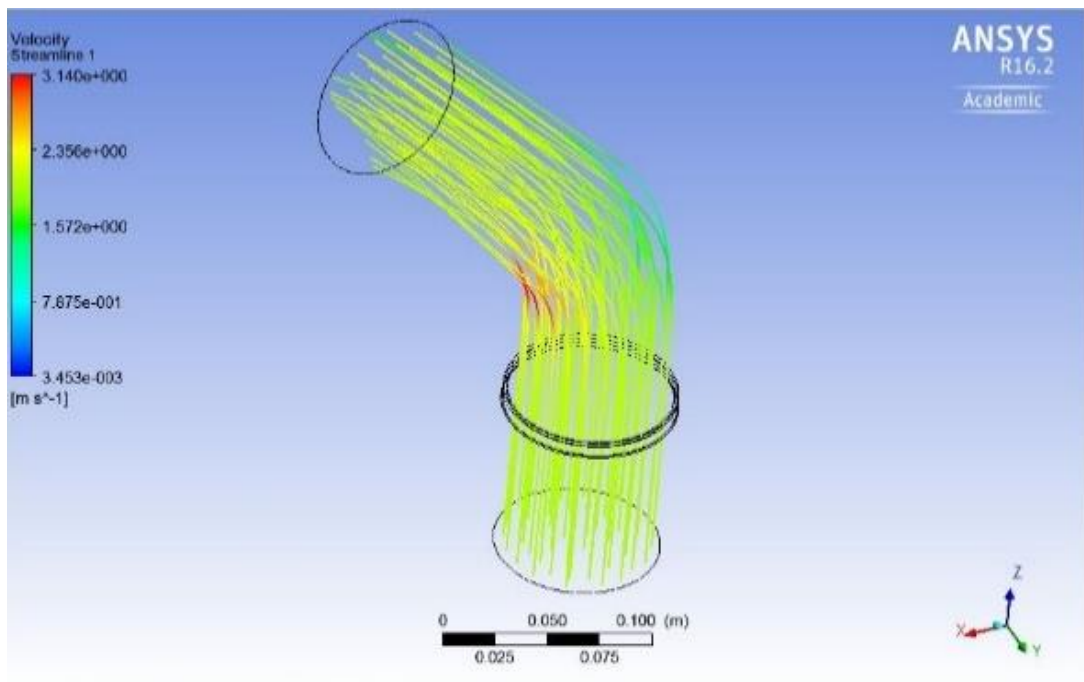
#### 4.3.2 Linhas de corrente

As análises das linhas de corrente são úteis para identificar a direção instantânea do movimento do fluido deslocado ao longo do campo de escoamento. Desta forma é possível identificar pontos de variação brusca de velocidade e a formação de vórtices, estes indesejados neste tipo de aplicação, pois quanto maior a quantidade de vórtices maior a perda de carga devido à turbulência gerada.

Os resultados das análises da válvula semiesférica tiveram um comportamento uniforme em suas linhas de corrente, como visualizado na Figura 44 e Figura 45. Já os resultados da cilíndrica, como esperado, comprovam a geração de vórtices em que, na simulação, faz com que parte do fluido circule nesta zona.

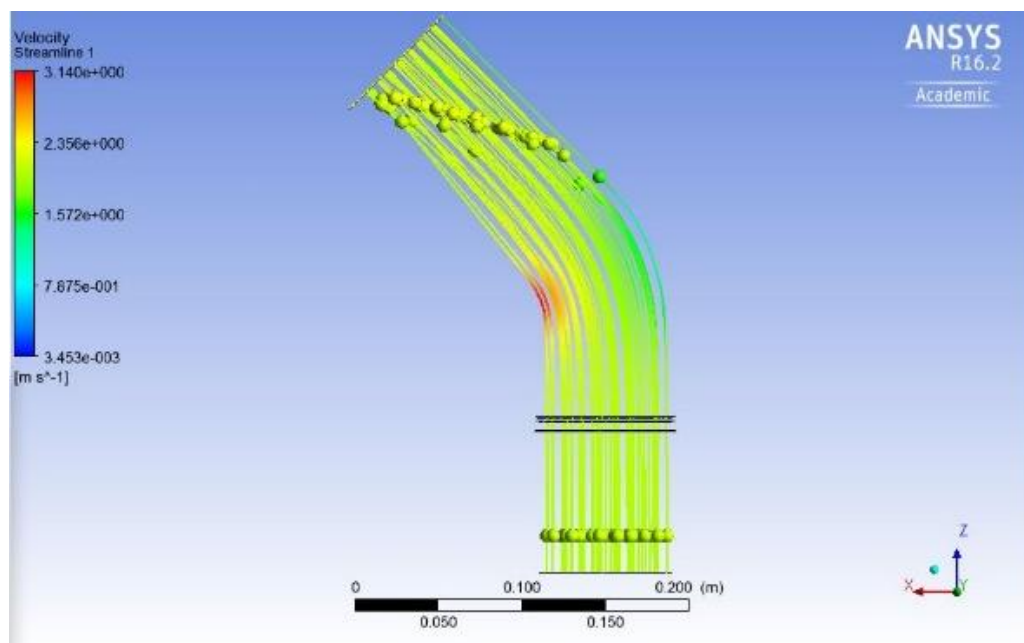
O problema gerado, se tratando de simulação, é que devido essa permanência e recirculação de uma mesma partícula analisada é um dos fatores que afeta diretamente no tempo computacional e na convergência dos dados da simulação.

Figura 44 – Linha de corrente da válvula semiesférica



Fonte: autoria própria

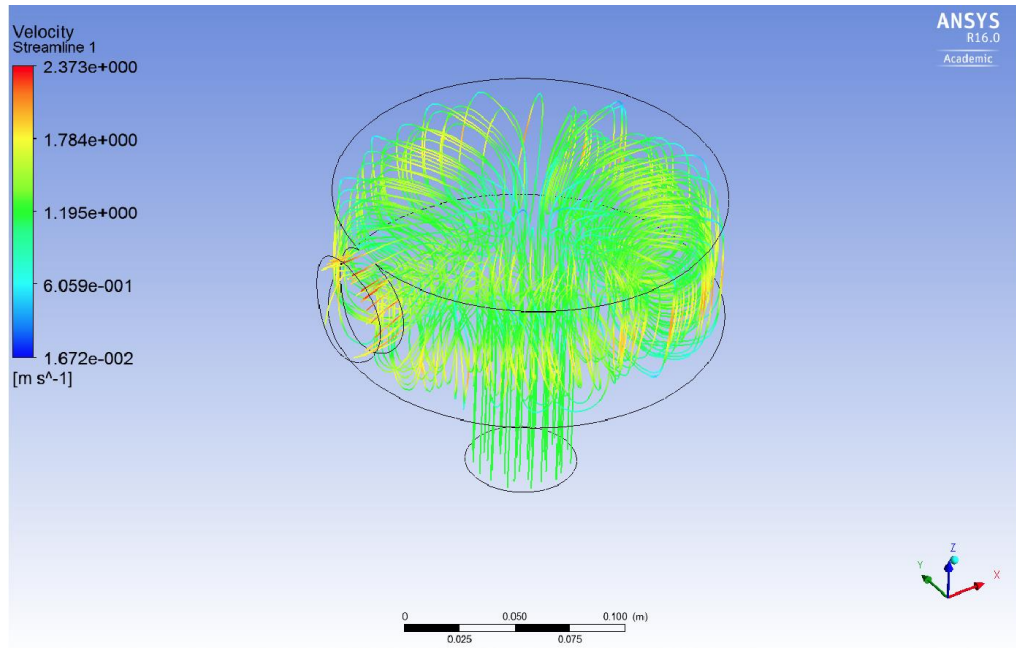
Figura 45 – Linha de corrente da válvula semiesférica utilizando partículas



Fonte: autoria própria

A Figura 46 ilustra com clareza a grande quantidade de vórtices gerados na simulação da válvula cilíndrica quando comparado com a válvula semiesférica.

Figura 46 – Linha de corrente da válvula cilíndrica



Fonte: autoria própria

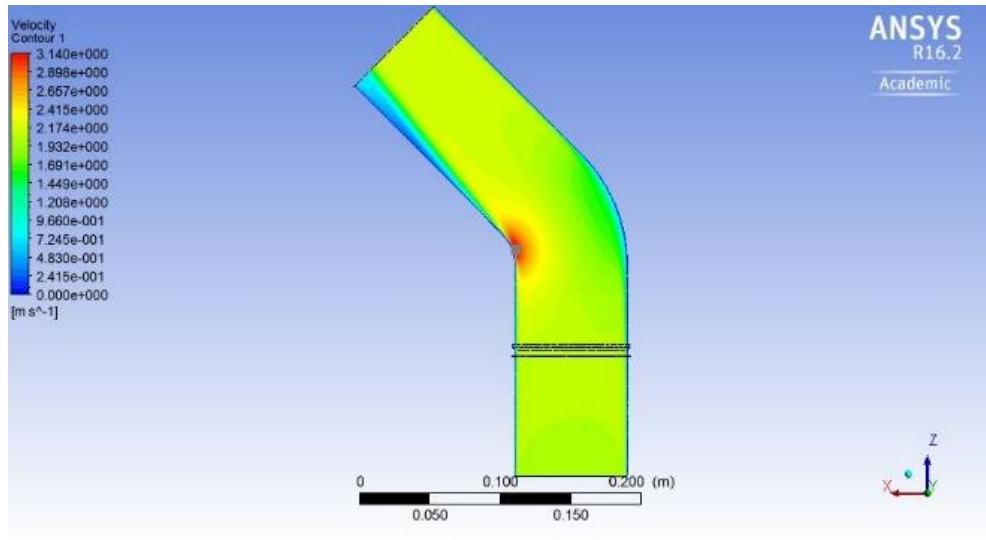
#### 4.3.3 Campo de velocidade

Através do campo de velocidade pode-se verificar os locais de ponto máximo e mínimo de velocidade. Utilizando dois planos distintos, sendo, para os dois modelos de válvula, um localizado no sentido vertical nas direções XZ (Figura 47 e Figura 48) e para a válvula de formato cilíndrico devido a sua geometria utilizou um plano complementar no sentido horizontal nas direções ZY (Figura 49) ambos passando pelo bocal de saída, demonstrando o comportamento da velocidade do fluido ponto a ponto.

Percebe-se que a variação do campo de velocidade não altera consideravelmente comparando as posições avaliadas. Entende-se uma zona de velocidade baixa na parte superior da válvula cilíndrica causando um ponto de estagnação. Isso ocorre porque o fluido que entra na válvula é direcionado contra para a parte superior,

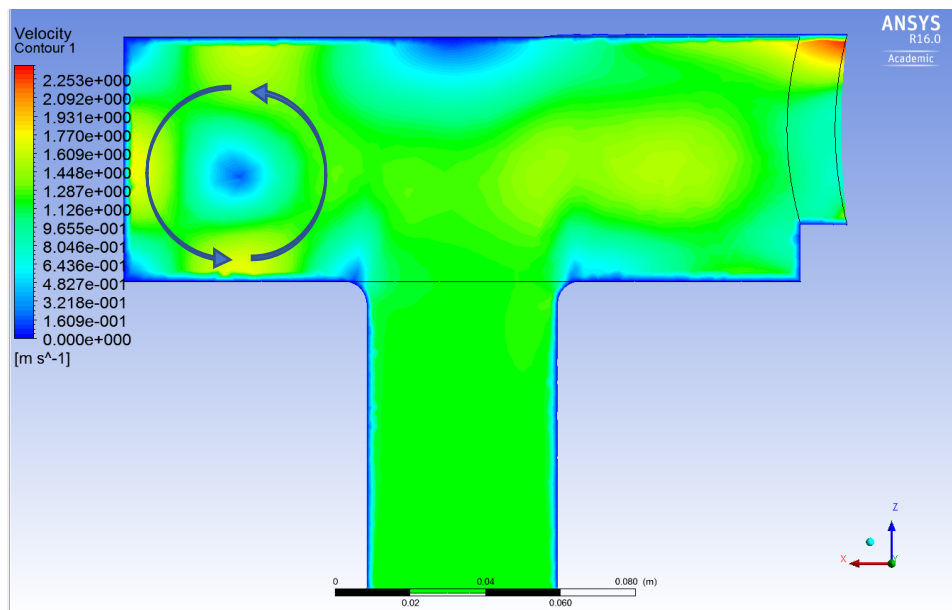
alterando a direção do fluido e gerando um ponto de velocidade zero. Nota-se, na Figura 47, um ponto de velocidade reduzida com recirculação de fluido com velocidade maior indicando a formação de vórtices.

Figura 47 – Campo de velocidade no interior da válvula semiesférica



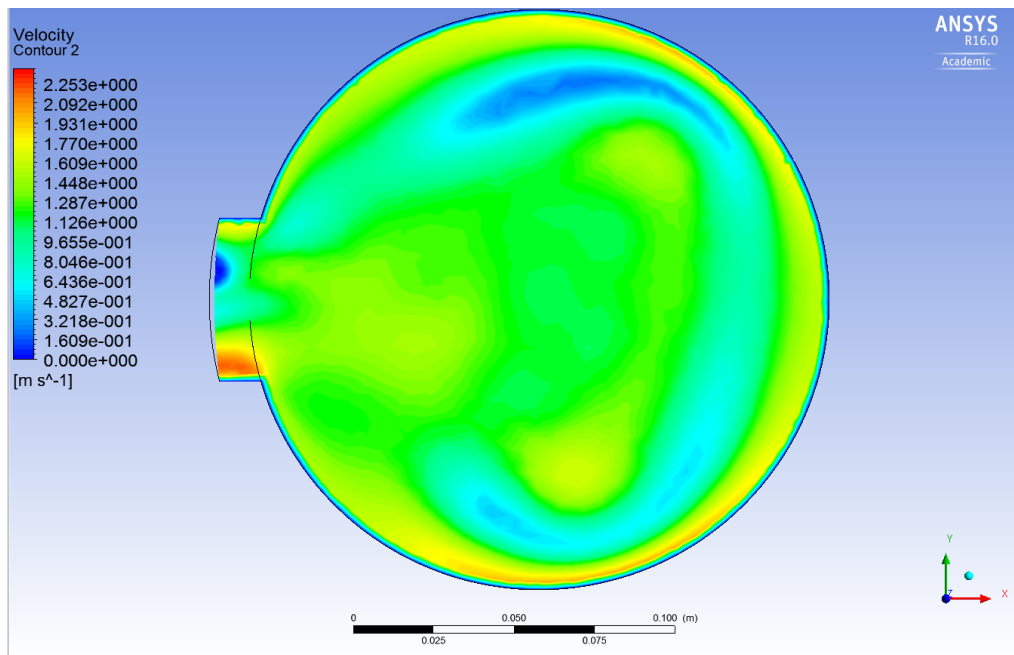
Fonte: autoria própria

Figura 48 – Campo de velocidade no interior da válvula cilíndrica



Fonte: autoria própria

Figura 49 – Campo de velocidade no interior da válvula cilíndrica – vista superior



Fonte: autoria própria

#### 4.4 LIMITAÇÕES

O projeto da válvula requereu uma constante verificação das condições de pesquisa, fabricação, seleção de materiais empregados e componentes envolvidos e com isso surgiram algumas limitações durante a confecção do protótipo.

##### 4.4.1 Problema relacionado a válvula semiesférica

Uma das principais limitações da válvula de formato semiesférico foi a fabricação de seus componentes por não possuir no Ifes *campus* São Mateus máquinas capazes de confeccionar tal protótipo. A possibilidade de fabricação por usinagem em empresa especializada foi descartada, por envolver custos.

Apesar da parceria para prototipagem em impressora 3D por sinterização das peças da válvula, a impressão em Nylon apresentou limitação para os testes do projeto semiesférico, com acabamento não satisfatório dos aspectos de vedação e do elemento direcionador.

Uma opção encontrada seria uma nova impressão 3D do protótipo, com melhor acabamento e com possibilidade de variar os tipos de materiais empregados. O site americano Shapeways permite tal configuração de confecção, porém com considerado custo. A válvula impressa com saídas de 2" teria um gasto aproximado de U\$ 1500,00 dólares em metal e U\$ 800,00 dólares em PVC. Para efeito de teste, foi impresso a válvula em formato miniatura, com valor aproximado de U\$ 30 dólares, porém pelo tamanho reduzido inviabilizava o exame.

Porém, em experiência futura, os serviços da Shapeways são interessantes, pela praticidade, agilidade e qualidade e variedade de materiais disponíveis para impressão.

#### 4.4.2 Problema de vedação válvula de alumínio

O protótipo da válvula de formato cilíndrico foi uma alternativa eficiente para obtenção de alguns parâmetros similares ao modelo semiesférico, entretanto seu formato construtivo trouxe algumas limitações relacionadas a atrito entre partes internas e vedação insuficiente.

Para efetuar o giro desta válvula é necessário um torque superior ao esperado pela válvula semiesférica e as vedações foram produzidas utilizando equipamentos convencionais e materiais acessíveis (tecnil). Tal fato não propiciou uma vedação eficaz capaz de estancar o fluido quando em posição estacionária.

Para resolver o problema de estanqueidade, foi ajustado o aperto entre as carcaças superior e inferior, que reduziu os vazamentos entre o espaço do obturador e corpo da válvula. Porém tal ajuste aumentou o atrito entre as paredes das partes, impedito que o motor de passo obtivesse sucesso no giro do elemento interno. Obteve-se assim um impasse técnico verificado, quanto a solução de um problema atrelava o surgimento de outro.

#### 4.4.3 Dificuldades com simulação

O entrave, quando relacionado à simulação, foi a não convergência dos valores de simulação. Sendo assim, foi necessário refazer por várias vezes as simulações e consumindo um tempo considerável para coleta e tratamento dos dados.

Foram necessárias várias simulações fluidodinâmicas para retificar erros de malhas e obter uma quantidade de elementos ideal para simular.

As simulações pela complicação da geometria das válvulas, entre outros fatores, levaram considerando tempo para rodar. Foram 32 resultados obtidos por simulação.

## 5 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos durante o processo de desenvolvimento foi possível concluir que a válvula de formato semiesférico possui limitações e dificuldades quanto a sua confecção, entretanto vantagens como menor força necessária para giro do elemento, facilidade na manutenção e troca de elementos são pontos positivos consideráveis para o projeto.

A melhoria do processo através da simulação permitiu chegar a resultados satisfatórios e verificar a importância destas ferramentas para fornecer dados válidos ao pesquisador, embora seja dispendido um tempo considerado, esta simulação pode poupar tempo futuro, pois aperfeiçoa o protótipo e reduz custos. As decisões técnicas iniciais determinam 85% do custo final do produto (ROZENFELD et al., 2006).

Os resultados apresentados utilizando o software computacional ANSYS CFX mostraram que o método empregado proporciona uma análise visual e detalhada de alta qualidade, na medida em que é possível visualizar os fenômenos que ocorrem durante o escoamento dos fluidos selecionados. Uma gama de dados é produzida em apenas uma simulação e cabe o pesquisador filtrar os parâmetros.

A partir dos dados coletados por simulação computacional, comparando-os com os dados encontrados na literatura de hidráulica, percebe-se que os dados do procedimento computacional possuem erros tolerados para um exame preliminar.

Os testes de automação mostraram problemas técnicos que não foram considerados inicialmente, como as questões de estanqueidade e torque necessário para o giro do obturador, quanto associado com a vedação. Novos conjuntos de materiais para vedação devem ser considerados e verificados, além do desenho de disposição destes componentes.

O levantamento bibliográfico evidenciou a escassez de trabalhos nacionais específicos para válvulas, sendo os poucos livros técnicos da área desenvolvidos e fomentados pela Empresa Brasileira de Petróleo – Petrobras. Os autores deste tipo de literatura são funcionários de carreira da empresa ou prestadores de serviço na

área. Da dificuldade em explorar o assunto sobre válvulas, valida-se já a importância e contribuição desta monografia, principalmente se observado o enfoque específico de um mecanismo inédito e sem literatura exclusiva.

Os protótipos desenvolvidos contribuíram para conhecimentos de seleção de materiais e PDP, ofertando uma experiência única de nesta área, como a prática em contraponto ao teórico.

A fase inicial de desenho revelou a necessidade de detalhamento dos componentes, com a possibilidade de evolução do design. O desenho auxiliado por computador é um recurso indispensável e primordial no contexto de evolução e avanço da técnica. É válido e necessário também para o pedido de depósito de propriedade intelectual.

Assim, entre as principais motivações para o trabalho, fica a compreensão e conhecimento do produto desenvolvido, alcançando progressos significativos e orientando em passos seguintes. O aprofundamento segmentado do trabalho pode permitir a crescente melhoria do mecanismo.

#### 5.1.1 Trabalhos futuros

- a) Simulação considerando a temperatura do fluido. Tal variável pode apresentar resultados diferentes;
- b) Confecção de um protótipo em formato semiesférico com melhor acabamento de seus elementos vedantes e utilizando material segundo normas específicas para construção de válvulas;
- c) Realizar novos estudos de automação, especificando o conjunto de programação que atenta os comandos necessários ao giro do elemento direcionador e a melhor configuração do sistema embarcado;
- d) Analisar aspectos de domínio da área de administração no projeto de PDP, tão importante quanto as questões técnicas, observando a parte de marketing,

produção, vendas, manufatura, qualidade, suprimentos, segurança, financeiro e pós-venda, envolvendo as etapas de ciclo de vida do produto.

- e) Montagem e teste de campo utilizando o protótipo aperfeiçoando;
- f) Estudo e testes utilizando outros designs de válvula direcional de múltiplas vias, para obter o melhor conjunto de desenho.
- g) Estudos de aplicação do mecanismo de múltiplas vias em outras áreas, como indústria petroquímica, de alimentos, cosméticos, fabricação de tintas, áreas de segurança na circulação de fluidos, entre outras.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. 2. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013.

ALVES, A. P. F.; VOLKMER, G.; JAPPE, M. L. M. A geração de valor como um fator-chave à sustentabilidade: o caso de uma empresa brasileira. **Revista de Gestão e Contabilidade da UFPI**. vol. 2. n. 1. 2015. Disponível em: <<http://www.atena.org.br/revista/ojs-2.2.3-08/index.php/GECONT/article/view/2509>>. Acesso em: 25 maio 2017, 14:37:11.

ALVES U. F.; MURATA V. V.; SOUZA D. B. Avaliação do escoamento de fluidos incompressíveis em tubulações usando CFD. **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. Uberlândia, 2009. Disponível em: <<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/113021071.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2017, 15:28:02.

AMORIM, J. R.; VOLPATO N. **Um estudo visando ampliar o campo de aplicação do ferramental rápido usinado**. 2005. Disponível em: <[http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobef/2005/COF\\_131005316.pdf](http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobef/2005/COF_131005316.pdf)>. Acesso em: 30 maio 2017, 09:46:12.

ARDUINO. **Arduino Products**. Disponível em: : <<https://www.arduino.cc/en/Main/Products>>. Acesso em: 15 maio 2017, 18:22:42.

ASHBY, Michael. **Seleção de Materiais no projeto mecânico**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 696 p.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto**. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

BENZEKRI, A. et al. **PC-based automation of a multi-mode control for an irrigation system**. In: Proc. Of International Symposium on Industrial Embedded Systems, 2007, Lisboa, pp. 310 – 315. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4297350/>> Acesso em: 31 maio 2017, 23:43:11.

BERMAD IRRIGAÇÃO. **Catalogo técnico de válvulas plásticas de controle hidráulico/elétrico**. Disponível em: <[http://www.bermad.com.br/wp-content/uploads/2012/08/42775\\_PC2AE11-IR-200-Series-Catgalogue-ENG-FINAL1.pdf](http://www.bermad.com.br/wp-content/uploads/2012/08/42775_PC2AE11-IR-200-Series-Catgalogue-ENG-FINAL1.pdf)>. Acesso em: 04 jun. 2017, 09:21:14.

BERNARDI, C. C. **Reuso de água para irrigação**. 2003. Brasília, DF – Brasil. Disponível em: <<http://www.iica.org.br/Docs/Publicacoes/PublicacoesIICA/CristinaCosta.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2017, 01:18:52.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 611 p.

BERNSTEIN, Peter Lewyn. **Desafio aos Deuses**: a fascinante história do risco. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, K. J. **Elementos de máquinas de Shigley**: Projeto de engenharia mecânica. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

CAIPOS. **IrriWave makes your irrigation control wireless**. 2017. Disponível em: <<http://www.caipos.com/news/irriwave/>> Acesso em: 11 maio 2017, 18:32:11.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

\_\_\_\_\_. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais**: uma abordagem integrada. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 702 p.

CARVALHO, J. A. **Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação**. Lavras: UFLA, 2008. 158 p.

CARVALHO, J. A. OLIVEIRA, L. F. C. **Instalações de bombeamento para irrigação**. Hidráulica e consumo de energia. Lavras: UFLA, 2014.

CASTELETTI, L. F. **Automação de sistemas de irrigação**. Disponível em: : <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso2.htm>>. Acesso em: 26 abr. 2017, 18:41:55.

CAUGHEY, D. A.; HAFEZ, M. M. **Frontiers of computational fluid dynamics**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994, 634 p.

CAVALCANTE, M. A.; RODRIGUES, T. T. T.; BUENO, D. A. Controle remoto: observando códigos com Arduíno. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 3 p. 614-641. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n3p614>>. Acesso em: 1 jun. 2017, 9:47:14.

CHATTERJEE, P.; ATHAWALE, V. M.; CHAKRABORTY, S. Materials selection using complex proportion assessment and evaluation of mixed data methods. **Materials and Design**, 2011. 860 p.

CHARLES, J. A., CRANE F. A. A. **Selection and use of engineering materials**. 2<sup>o</sup> ed. Londres; Boston: Butterworth, 1989.

COLLINS, J. A. **Projeto mecânico de elementos de máquinas**: uma perspectiva de prevenção da falha. Rio de Janeiro: LTC, 2006, 740 p.

DIAS, A. D. S. L. **Avaliação da aplicabilidade de modelos híbridos na simulação computacional de válvulas de compressores de refrigeração**. 2016. 94 f. Programa de Pós-Graduação. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/144354>>. Acesso em: 18 abr. 2017, 10:27:31.

DIAS, M. C.; LUCENA, C. D.; SANTOS, P. E. O uso do asterisk para o controle remoto de sistemas de automação. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática**. Belo Horizonte, 2014.

DPR ENGENHARIA. **O uso de CFD no desenvolvimento de válvulas de controle**. Disponível em: : <<http://dprengenharia.com/o-uso-de-cfd-no-desenvolvimento-de-valvulas-de-controle/>>. Acesso em: 24 maio 2017, 19:12:35.

FAYE, R.M. et al. An intelligent decision support system for irrigation system management. **IEEE Conference on Man and Cybernetics**, vol. 4. San Diego, 1998, pp. 3908 – 3913. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/725373/>> Acesso em: 1 jun. 2017, 22:27:13.

FEIJÓO, R. A. **Modelagem computacional do sistema cardiovascular humano**. 2007. 44f. Projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica. Disponível em: <[https://www.lncc.br/pdf\\_consultar.php?id\\_arquivo=988&mostrar=1&teste=1](https://www.lncc.br/pdf_consultar.php?id_arquivo=988&mostrar=1&teste=1)>. Acesso em: 10 abr. 2017, 13:55:09.

FERRANTE, M. Seleção dos materiais de construção mecânica: estratégias e metodologia básica. **Simpósio Matéria 2000**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <[http://www.spectru.com.br/sel\\_mat\\_con\\_mec.html](http://www.spectru.com.br/sel_mat_con_mec.html)>. Acesso em: 09 jun. 2017.

FISHER. **Control valve handbook**. 5° ed. Marshalltown: Emerson Process Management, 2005. Disponível em: <<http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/book/cvh99.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2017, 19:56:25.

FLOURY, J.; BELLETTRE, J.; LEGRAND, J. Analysis of a new type of high pressure homogeniser. A study of the flow pattern. **Chemical Engineering Science**. 2004. p. 844-848. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/239155994\\_Analysis\\_of\\_a\\_new\\_type\\_of\\_high\\_pressure\\_homogeniser\\_A\\_study\\_of\\_the\\_flow\\_pattern](https://www.researchgate.net/publication/239155994_Analysis_of_a_new_type_of_high_pressure_homogeniser_A_study_of_the_flow_pattern)>. Acesso em: 30 mar. 2017, 08:12:46.

GABRIEL C. P. C.; CAVALCA D. L.; SALES L. F. S. Sistema de automação de irrigação do plantio. **XI Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 6, 2015, pp. 250-257. Disponível em: <[http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/1261/1281](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1261/1281)>. Acesso em: 5 maio 2017, 23:10:19.

GONÇALVES, C. **Embrapa trabalha para inserir pequenos produtores em projeto de agricultura sustentável**. 2012. Disponível em: <<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/pecuaria-sustentavel/17305/embrapa-trabalha-para-inserir-pequenos-produtores-em-projeto-de-agricultura-sustentavel.htm>>. Acesso em: 04 mar. 2017, 09:33:12.

GUIRRA, A. P. P. M.; SILVA, E. R. Automação em sistemas de irrigação: **Comunicado técnico 08**. 2010. Disponível em: <[http://www.fazu.br/Imagens/publicacoes/documentos/comunicado\\_08.pdf](http://www.fazu.br/Imagens/publicacoes/documentos/comunicado_08.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2017, 22:31:11.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Agricultura familiar: Primeiros resultados**. 2006. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro\\_2006\\_agricultura\\_familiar.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro_2006_agricultura_familiar.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2017, 07:28:31.

JACOBS P. F. **Rapid prototyping & manufacturing: Fundamentals of Stereolithography**. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1992.

JANTIM NETO, H. et al. Modelagem e simulação do comportamento de uma válvula de fluxo hidráulica com o uso de ferramenta de hidroinformática. **Revista Tecnol**, Fortaleza, vol. 29, n. 2, p.224-232, 2008. Disponível: <<http://periodicos.unifor.br/tec/article/download/39/4493>>. Acesso em: 6 abr. 2017, 22:11:57.

KOTLER, Philip. **Marketing de crescimento: estratégias para conquistar mercados**. Tradução de Afonso Celso da Cunha. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

LANG, A. G.; DUTRA, A. F. A.; WAROMBY; P. H. **Desenvolvimento de um irrigador microcontrolado integrado a um sistema de supervisão e controle**. 2013. 10 f. Projeto de pesquisa (curso superior de tecnologia em automação industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2354/1/CT\\_COALT\\_2013\\_2\\_04.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2354/1/CT_COALT_2013_2_04.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2017, 11:00:21.

LIMA, C. B.; VILLAÇA, M. A. M.; **AVR e Arduino: técnicas de projeto**. 2. ed. Florianópolis: Ed. dos autores, 2012.

MACHADO P. A. F. **Fundamentos de Geometria Espacial**. 2013. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Disponível em: <[http://www.mat.ufmg.br/ead/acervo/livros/Fundamentos\\_de\\_geometria\\_espacial-sergio-02.pdf](http://www.mat.ufmg.br/ead/acervo/livros/Fundamentos_de_geometria_espacial-sergio-02.pdf)>. Acesso em: 18 maio 2017, 13:31:25.

MANUAL DE OSLO. **Proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica**. Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento – OECD. 3 ed. 1997. Disponível em: <<http://www.oei.es/historico/salactsi/oslo4.htm>>. Acesso em: 23 maio 2017, 10:34:13.

MATARIC, M. **The robotics primer**. Cambridge MA, London: MIT Press, 2007.

MATHIAS, A. C.. **Válvulas: industriais, segurança, controle: tipos, seleção, dimensionamento**. São Paulo: Artliber, 2008.

MP ENGENHARIA. **Irrigação Automatizada – Sistema**. 2017. Disponível em: <[http://www.mpengenharia.com.br/irrigacao\\_automatizada\\_SISTEMA.php](http://www.mpengenharia.com.br/irrigacao_automatizada_SISTEMA.php)>. Acesso em: 06 maio 2017, 12:31:05.

NEOYAMA. **Catálogo de motor de passo com caixa redução**. Disponível em: <<http://www.neoyama.com.br/produtos/motores/motor-de-passo-com-caixa-de-reducao/motor-de-passo-c-cx-red-nema-23-torque-20000-kgf-cm/attachment/motor-de-passo-c-cx-red-nema-23-torque-200-00-kgfcm-dat-i000784-2/>>. Acesso em: 03 abr. 2017a, 10:22:15.

NEOYAMA. **Catálogo de motor de passo**. Disponível em: <<http://neoyama.com.br/produtos/sem-categoria/sem-categoria/motor-de-passo-nema-34-torque-4200-kgf-cm-corrente-420-a/>>. Acesso em: 03 abr. 2017b, 10:29:43.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**: uma abordagem integrada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PENTEADO, S. R. **Manejo da água e irrigação em propriedades ecológicas**. Aproveitamento da água em propriedades ecológicas. 2. ed. Via orgânica. 208 p.

POLIGEOMECA. **Tecnologia em válvulas revestidas**. Disponível em: <[http://www.poligeomeca.com.br/produtos/ver/valvula\\_esfera\\_com\\_camisa\\_para\\_va\\_por](http://www.poligeomeca.com.br/produtos/ver/valvula_esfera_com_camisa_para_va_por)>. Acesso em: 3 abr. 2017, 10:34:23.

POLY LANEMA. **PTFE – Teflon - ficha técnica**. Disponível em: <<http://www.polylanema.pt/pt/produtos/plasticos-de-engenharia/plasticos-de-uso-geral/ptfe---teflon.html>>. Acesso em: 3 maio 2017, 19:26:05.

\_\_\_\_\_. **Plástico de uso geral**. Disponível em: <[http://lars.mec.ua.pt/public/LAR%20Projects/RescueRobotics/2009\\_DanielAfonso/fontes/catalogos/lanema/PP,%20PVC,%20PUR%20e%20PTFE.pdf](http://lars.mec.ua.pt/public/LAR%20Projects/RescueRobotics/2009_DanielAfonso/fontes/catalogos/lanema/PP,%20PVC,%20PUR%20e%20PTFE.pdf)>. Acesso em: 3 maio 2017, 19:52:10.

PORTAL BRASIL. **Área irrigada pode crescer em até 10 vezes, diz estudo**. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/06/area-irrigada-pode-crescer-em-ate-10-vezes-diz-estudo>>. Acesso em: 19 mar. 2017, 10:17:31.

RIBEIRO, M. A. **Fundamentos da automação**. 1 ed. Salvador: Tek, 2003. Disponível em: <[http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vilmair/instrumentacao-industrial/Instrumentacao%20Marco%20Antonio%20Ribeiro.pdf/at\\_download/file](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vilmair/instrumentacao-industrial/Instrumentacao%20Marco%20Antonio%20Ribeiro.pdf/at_download/file)>. Acesso em: 10 maio 17, 13:19:51.

\_\_\_\_\_. **Instrumentação e controle**: Guia básico. vol. 11. Rio de Janeiro: Seriada, 2008. 15 p.

\_\_\_\_\_. **Válvulas de controle e segurança**. 5° ed. Salvador: Tek, 1999

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003. 321 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/86408>>. Acesso em: 27 abr. 2017, 23:41:12.

ROMEIRO FILHO, E. **Projeto do Produto**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS, Z. A. S. **Seleção de materiais e análise de valor**: metodologia Balanced Scorecard de engenharia da qualidade aplicada ao estado do desgaste e coroas de

perfuração de uma empresa de sondagem. 2012, 115 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3026>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

SCALON, L. V. **Perda de carga localizada em componentes**. Bauru, 2017. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/scalon/grad/exper7.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2017, 11:23:57.

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. **Tabela para seleção de bombas e motobombas** 2017. Disponível em: <<http://www.schneider.ind.br/media/205160/tabela-de-selecao-schneider-motobombas-2017.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2017, 10:16:52.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico**. Uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. Tradução: Maria Sílvia Possas. São Paulo: Nova Cultura Ltda., 1997.

\_\_\_\_\_. **A teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SILVA, B. C. **Avaliação da eficiência de compensadores de atrito aplicados a válvulas de controle**. 2013, 131 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/.../3/.../Andres\\_Camilo\\_Velasquez\\_PPGEE\\_Corrigida\\_2015.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/.../3/.../Andres_Camilo_Velasquez_PPGEE_Corrigida_2015.pdf)>. Acesso em: 5 jun. 2017, 15:11:04.

SILVA, O. J. L. **Válvulas industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010. 504 p.

SOUSA, V. F. et al. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2011, 774 p.

SUZUKI, M.; HERNANDEZ, F. **Automação de sistemas de irrigação**. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso2.htm>>. Acesso em: 26 abr. 2017, 18:41:12.

THRUN, S. **Is robotics going statistics?** The field of probabilistic robotics. 2001. Disponível em: <<http://robots.stanford.edu/papers/Thrun01h.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2017, 13:54:51.

TIGRE, Paulo Bastos. **Gestão da Inovação: a economia da tecnologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

TOLENTINO, G. C. A.; TSUKAMOTO, D. B.; NOMURA, S. Estudo de caso: utilização do arduíno para um sistema de controle remoto de dispositivos via internet. **XI Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica - CEEL**. Uberlândia, 2013.

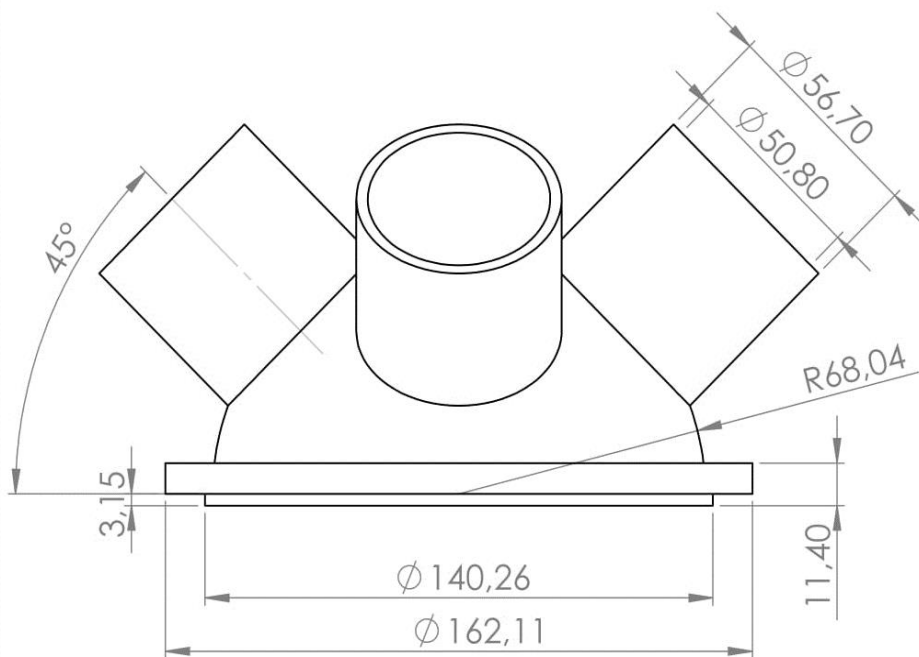
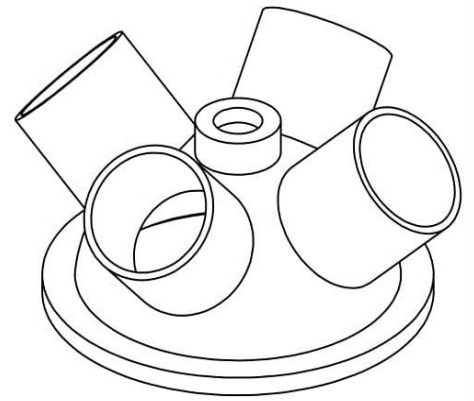
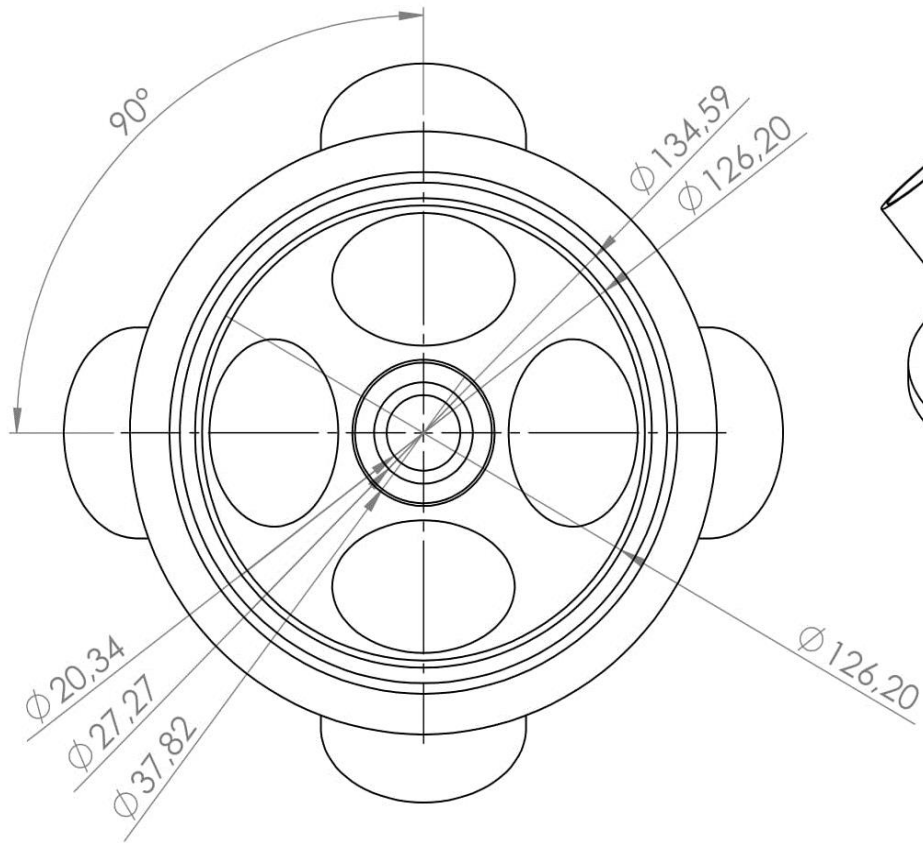
VALERI, S. G. **Estudo do processo de revisão de fases no processo de desenvolvimento de produtos em uma indústria automotiva**. 2000. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

YANG, S. et al. Detecting of water shortage information in crops with acoustic emission technology and automatic irrigation system. **Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves, and Device Applications**, Nanjing, 2008, pp. 566 – 569. Disponível em: <[http://www.ieee.org/conferences\\_events/conferences/conferencedetails/index.html?Conf\\_ID=14051](http://www.ieee.org/conferences_events/conferences/conferencedetails/index.html?Conf_ID=14051)>. Acesso em: 23 maio 2017, 10:45:34.

ZALTMAN, G.; DUNCAN, R.; HOLBEK, J. **Innovations and organizations**. New York: John Wiley and Sons, 1973.

## APÊNDICE

# APÊNDICE A



Projetista:  
**Huarley / Ryck**

Data:  
14/05/2017

Assinatura:

**Projeto construtivo**

Escala:  
**1:2**

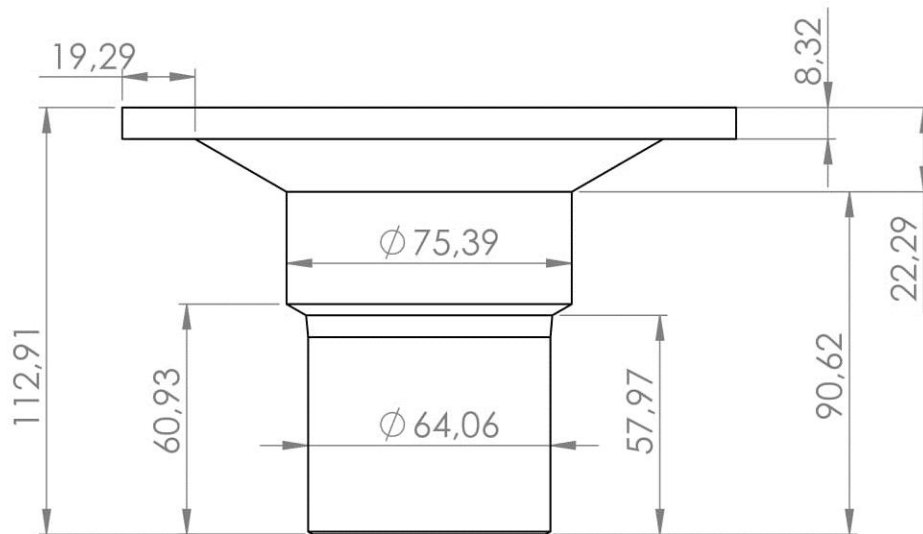
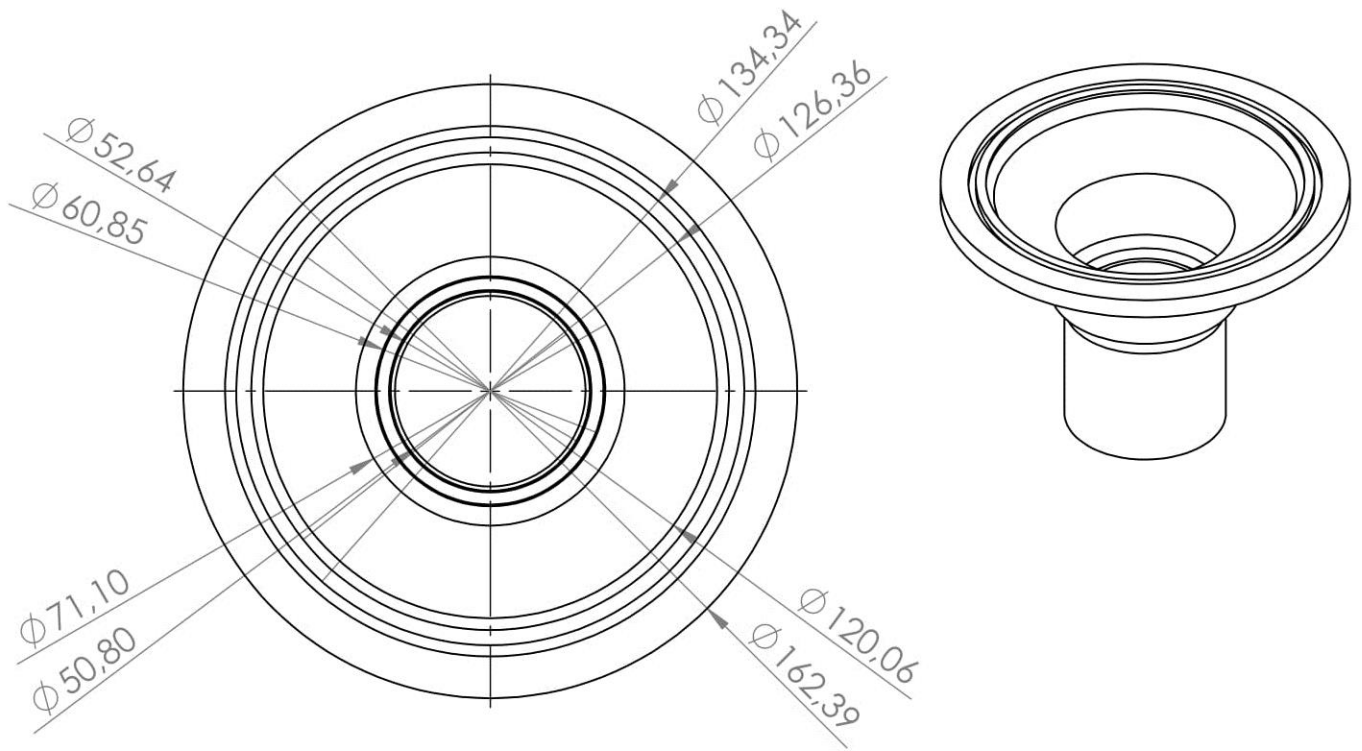
**Carcaça superior**

Desenho. N°  
**1**

Folha 1 de 7

A4

## APÊNDICE B



Projetista:

Huarley / Ryck

Data:

14/05/2017

Assinatura:

Projeto construtivo

Escala:

1:2

**Carcaça inferior**

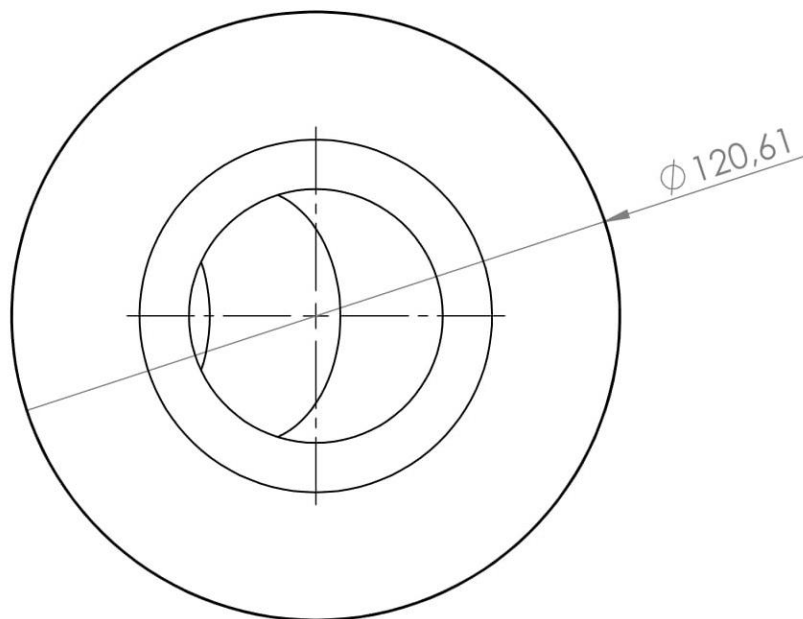
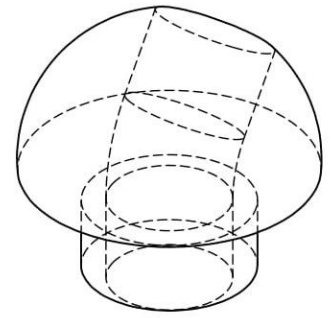
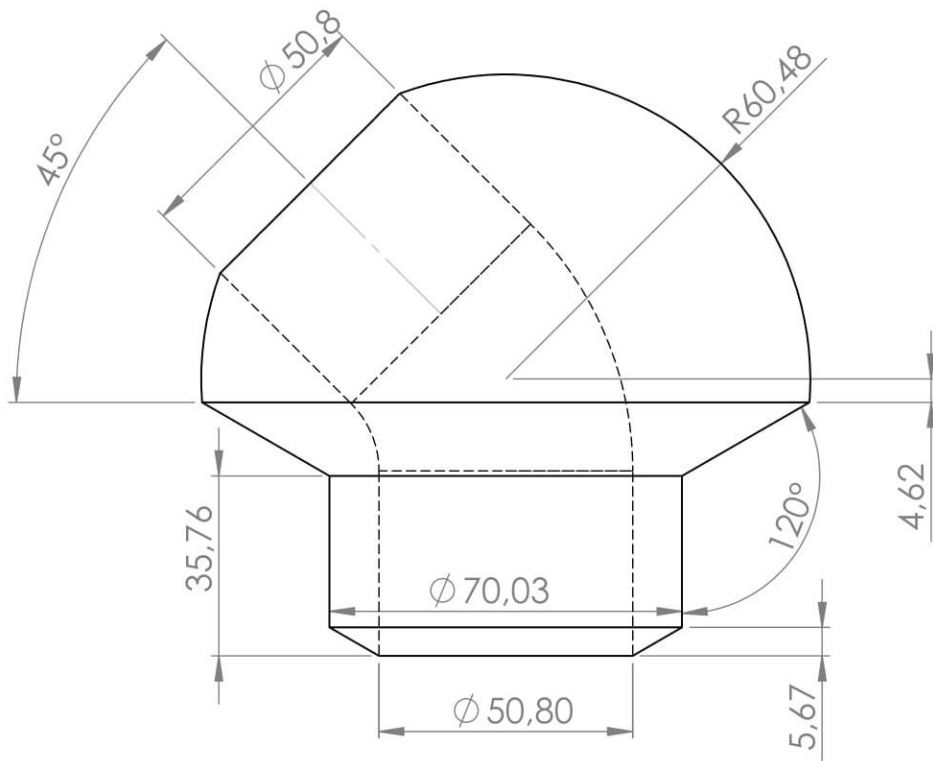
Desenho. N°

2

Folha 2 de 7

A4

# APÊNDICE C



Projetista:  
**Huarley / Ryck**

Data:  
14/05/2017

Assinatura:

**Projeto construtivo**

Escala:  
**1:1.5**

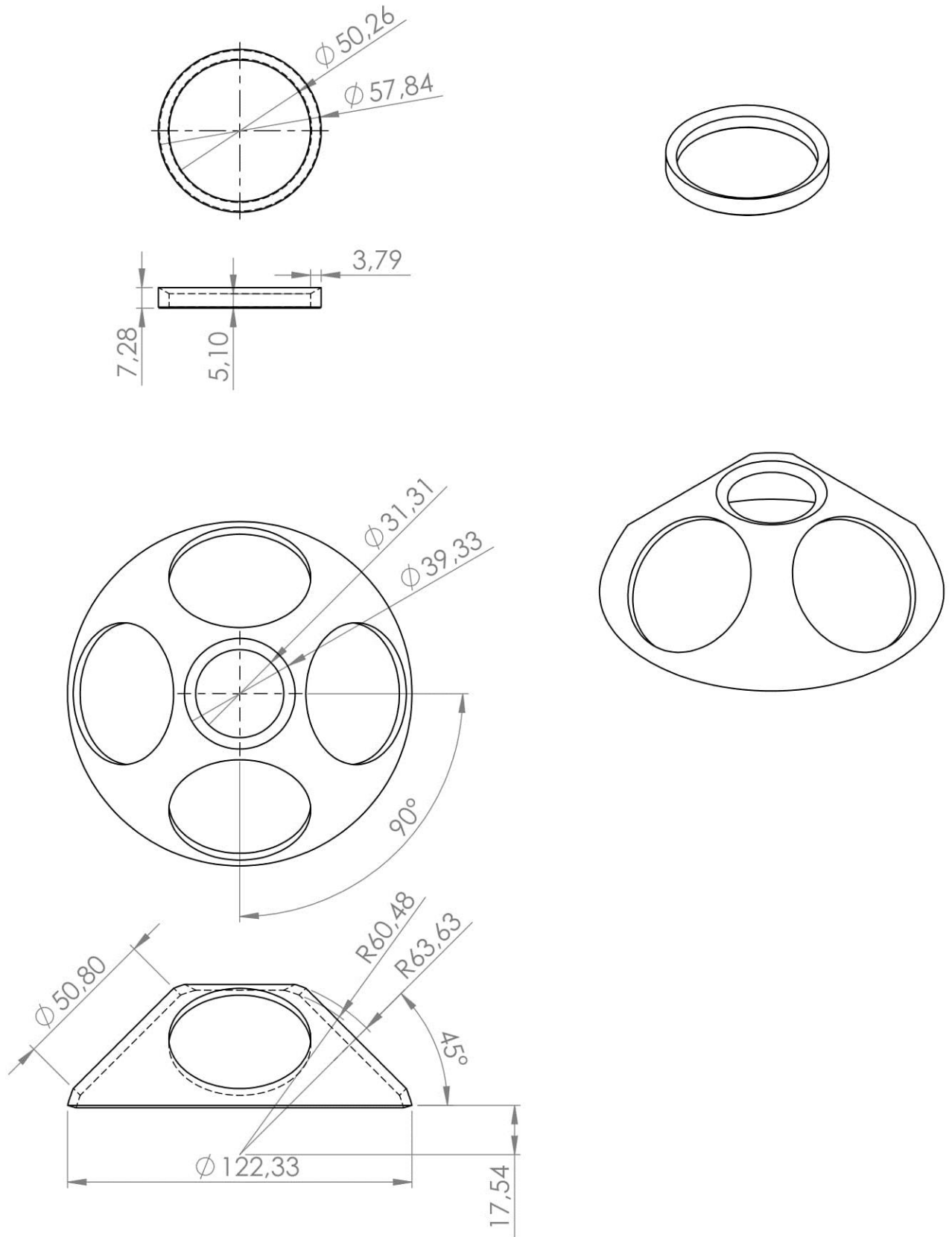
**Elemento direcionador**

Desenho. N°  
**3**

Folha 3 de 7

A4

## APÊNDICE D



Projetista:

**Huarley / Ryck**

Data:

14/05/2017

Assinatura:

**Projeto construtivo**

Escala:

**1:2**

**Vedação inferior e superior**

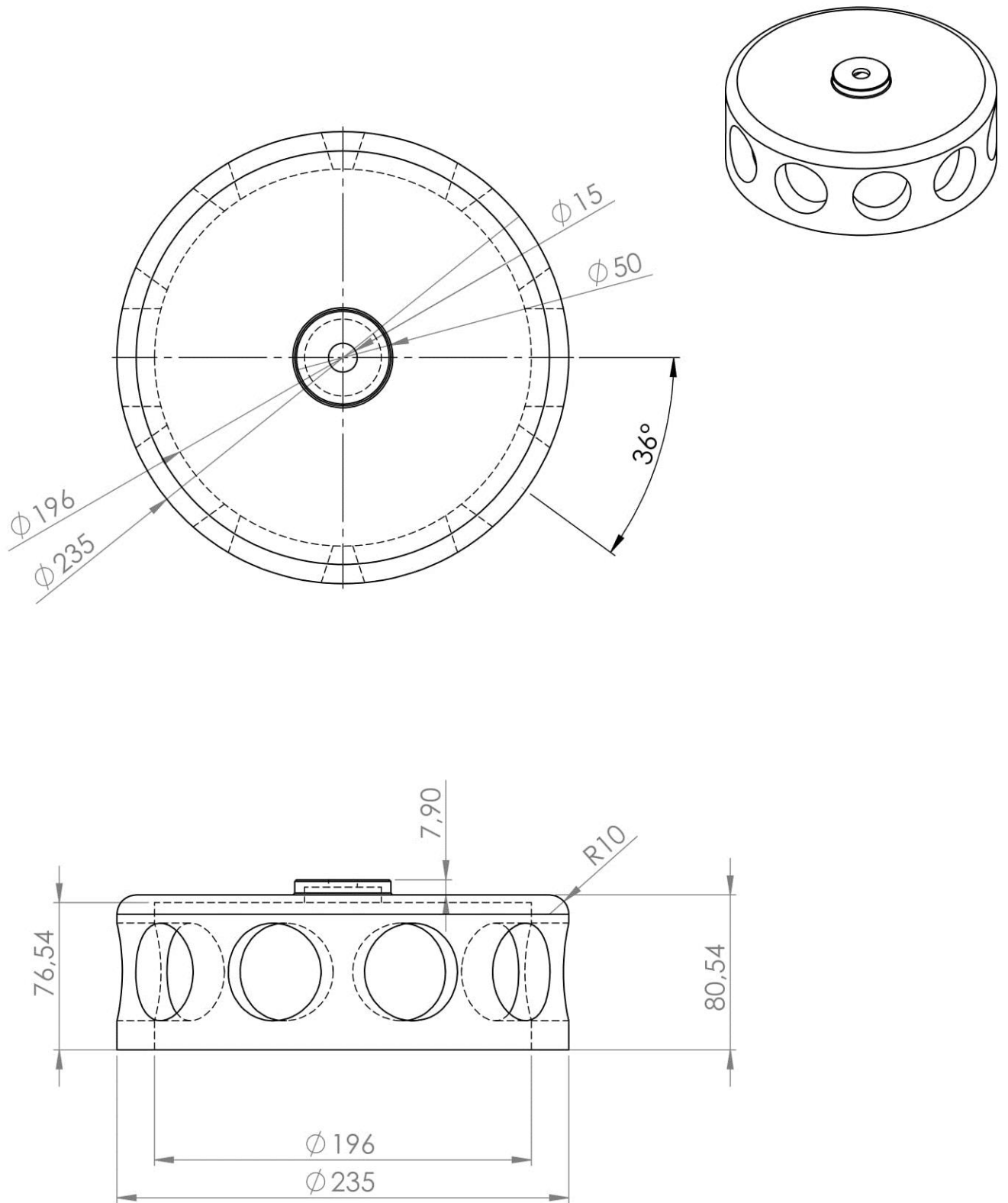
Desenho. N°

**4**

Folha 4 de 7

**A4**

# APÊNDICE E



Projetista:

**Huarley / Ryck**

Data:

14/05/2017

Assinatura:

**Projeto construtivo**

Escala:

**1:3**

**Carcaça superior  
cilíndrica**

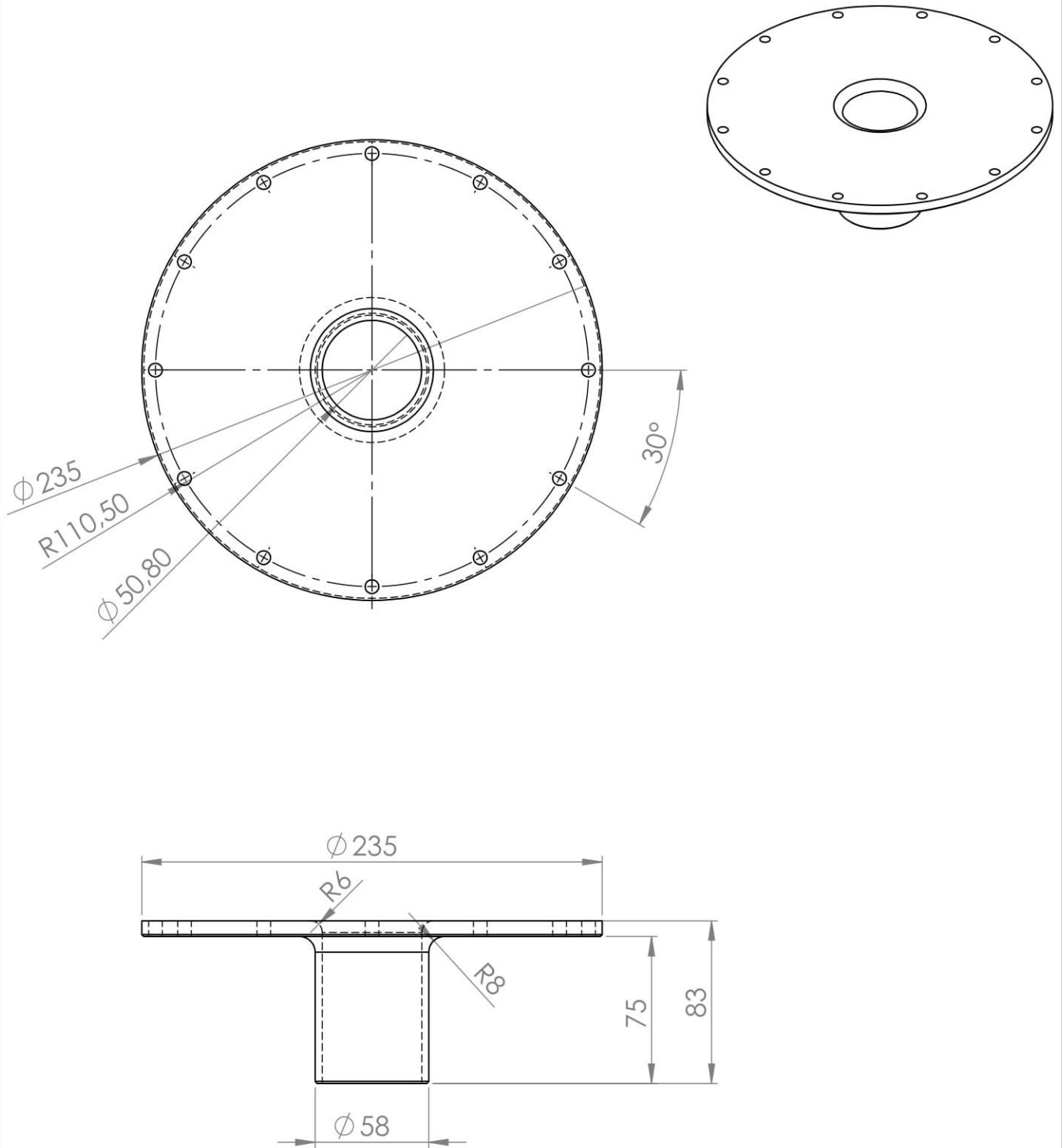
Desenho. N°

**5**

Folha 5 de 7

**A4**

# APÊNDICE F



Projetista:

**Huarley / Ryck**

Data:

14/05/2017

Assinatura:

**Projeto construtivo**

Escala:

**1:3**

**Carcaça inferior  
cilíndrica**

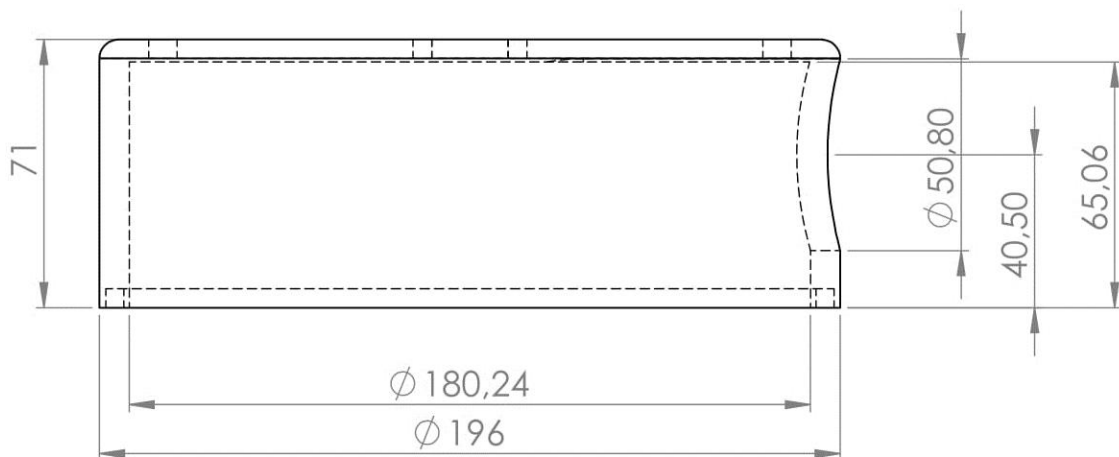
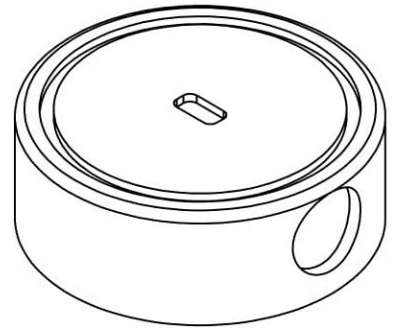
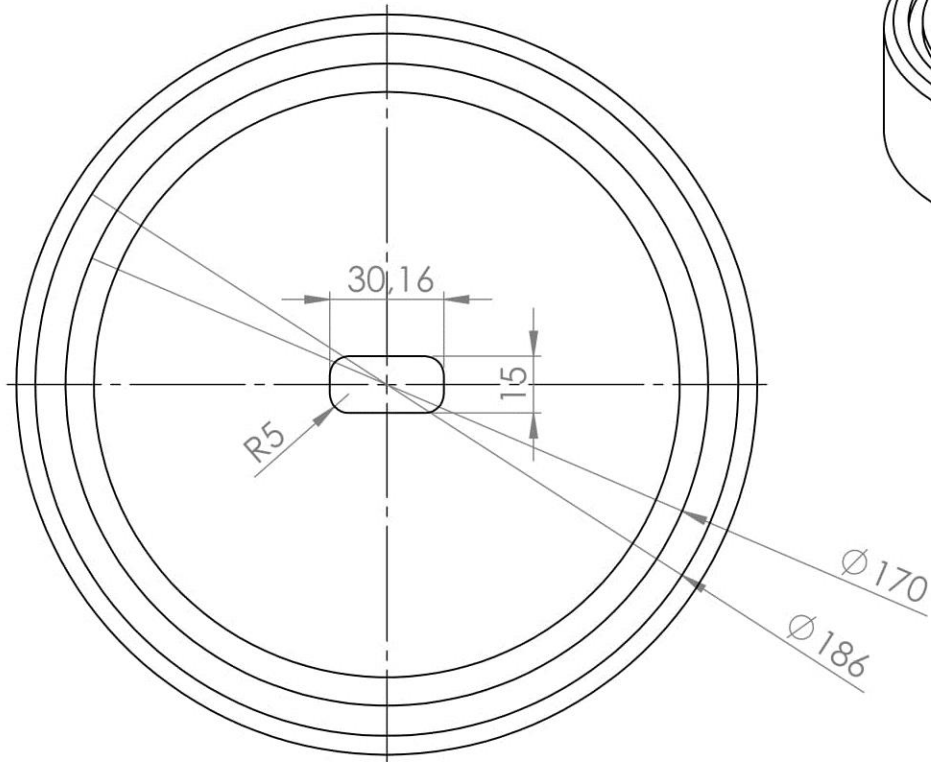
Desenho. N°

**6**

Folha 6 de 7

**A4**

# APÊNDICE G



Projetista:

**Huarley / Ryck**

Data:

14/05/2017

Assinatura:

**Projeto construtivo**

Escala:

**1:2**

**Elemento direcionador  
cilíndrico**

Desenho. Nº

**7**

Folha 7 de 7

**A4**