

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Projeto de máquina de processamento de cocada
com açúcar**

Gabriel de Barros Migliônico

Ingrid Maria Gualandi Ferreira Machado

Prof. Orientador: Fernando Ribeiro da Silva

**Rio de Janeiro
Novembro de 2018**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Projeto de máquina de processamento de cocada
com açúcar**

Gabriel de Barros Migliônico
Ingrid Maria Gualandi Ferreira Machado

Projeto Final apresentado em cumprimento às
normas do Departamento de Educação Superior
do CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador: Fernando Ribeiro da Silva

**Rio de Janeiro
Novembro de 2018**

CEFET/RJ – Sistema de Bibliotecas / Biblioteca Central

M634 Migliônico, Gabriel de Barros
Projeto de máquina de processamento de cocada com açúcar /
Gabriel de Barros Migliônico [e] Ingrid Maria Gualandi Ferreira
Machado.—2018.
77f. + apêndices e anexos : il. (algumas color.) , grafs. , tabs. ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2018.

Bibliografia : f. 72-77

Orientador : Fernando Ribeiro da Silva

1. Engenharia mecânica. 2. Doces - Processamento. 3.
Máquinas - Projetos e construção. I. Machado, Ingrid Maria
Gualandi Ferreira. II. Silva, Fernando Ribeiro da (Orient.). III. Título.

CDD 621

Elaborada pela bibliotecária Mariana Oliveira CRB-7/5929

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Antonio e Solange, que sempre estiveram ao meu lado e são os meus maiores exemplos de vida. A minha vitória também é de vocês.

Gabriel de Barros Migliônico

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, por ser essencial em minha vida.

Dedico também aos meus pais, aos meus avós, aos meus familiares, aos meus amigos e ao meu companheiro Vinícius, por me apoiarem desde o início, acreditando sempre em mim.

Ingrid M. Gualandi Ferreira Machado

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, por toda força e coragem para que eu pudesse chegar até aqui, passando por cima de todas as dificuldades que enfrentei.

Agradeço aos meus pais Antonio e Solange, meus maiores exemplos na vida. Obrigado por estarem sempre ao meu lado.

Irmão, obrigado por todo incentivo e companheirismo.

Agradeço a todos os meus familiares que sempre torceram por mim.

Stéfanie, obrigado por ser minha companheira e amiga. Sem você tudo seria mais difícil.

Ao Professor Fernando Ribeiro da Silva agradeço pela orientação incansável e confiança no projeto.

Agradeço a minha amiga Ingrid Machado que sempre me ajudou nessa longa jornada.

Obrigado a todos àqueles que, de alguma forma, estiveram e estão próximos a mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena!

Gabriel de Barros Migliônico

Primeiramente, agradeço à Deus, que me deu força e coragem para superar as dificuldades, sem Ele, certamente, não teria conseguido.

Agradeço à instituição, por me proporcionar um ambiente criativo e amigável para os estudos. Sou grata a cada membro do corpo docente, à direção e a administração dessa instituição de ensino.

Obrigada mestre Fernando da Silva Ribeiro, grande professor e orientador, por esclarecer tantas dúvidas e ser tão atencioso e paciente.

Agradeço a minha mãe, Rosangela, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis de desânimo e cansaço.

Aos meus avós, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Agradeço ao meu marido Vinícius, que jamais me negou apoio, carinho e incentivo. Obrigada, amor da minha vida, por aguentar tantas crises de estresse e ansiedade. Sem você do meu lado esse trabalho não seria possível.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram e incentivaram.

Agradeço ao meu amigo Gabriel Migliônico pela paciência e auxílio nessa trajetória concluída.

Ingrid M. Gualandi Ferreira Machado

RESUMO

O aumento da busca por doces artesanais fez com que empresas buscassem a elevação da sua produtividade para conseguir suprir a demanda requisitada pelo mercado. O presente projeto apresenta uma máquina de processamento de cocada com açúcar que pode auxiliar a produção de uma fábrica de médio porte. Para iniciar o projeto da máquina foram desenvolvidos protótipos que possibilitassem o levantamento de dados, como a pressão necessária para promover o escoamento da massa através de uma seção conhecida. Em seguida, uma segunda versão do protótipo foi desenvolvida para determinar o tempo de injeção da massa de cocada. Os dados obtidos possibilitaram a concepção da máquina. Neste trabalho, projetou-se um reservatório em aço inoxidável e espuma de poliuretano, dividido em três camadas. Além do reservatório, foi projetado um misturador que possibilita a manutenção da homogeneidade da massa durante o processo de injeção, processo esse que é realizado através da pressurização do reservatório. Além disso, selecionou-se uma válvula de bloqueio que foi inserida com a função de dosar a quantidade de massa de cocada que chega até os bicos injetores, esses são responsáveis por garantir a geometria final da cocada produzida. Como resultado a máquina possibilita um aumento de 81% da produção de cocadas e garante a existência de um padrão na geometria do produto final.

Palavras-chave: Máquina de processamento de cocada, Protótipo, Reservatório Refratário, Misturador.

ABSTRACT

The rise of search for homemade sweets made companies seek the increase of their productivity in order to meet the requested market demand. This project presents a processing machine for coconut candy (“cocada in Portuguese”) with sugar that can assist the production of a medium-sized factory. To get the project started, prototypes were developed to enable the data collection, such as the necessary pressure to foster the flow of the batter through a known section. Next, a second version of the prototype was developed to determine the time for injection of the coconut candy batter. The collected data allowed the conception of the machine. This present work projected itself in a stainless-steel tank and polyurethane foam, divided in three layers. In addition to the tank, a mixer was projected to enable the maintenance of the homogeneity of the batter during the injection process, being the process held by the tank pressurization. Besides that, a block valve was selected and inserted to dose the quantity of coconut candy that flow to the injection nozzles that are responsible for ensuring the final shape of the coconut candy produced. As a result, the machine allows an increase of 81% of the production of coconut candy and guarantees the existence of standard patterns in the geometry of the final product.

Key-words: Processing machine for coconut candy, Prototype, Refractory Tank, Mixer

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação	2
1.2 Justificativa	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Metodologia	3
1.5 Pesquisa bibliográfica	3
1.5.1 Máquina de fabricação de doces e salgados	4
1.5.2 Sala de máquina frigorífica	5
1.5.3 Estudo de máquinas injetoras	5
1.5.4 Método de elementos finitos.....	6
1.6 Organização do Trabalho	7
CAPÍTULO 2	8
DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO PROCESSO	8
2.1 Levantamento de dados	8
2.2 Protótipo.....	10
2.2.1 Construção do protótipo	11
2.2.2 Funcionamento do protótipo.....	12
2.2.3 Etapas do experimento.....	13
2.3 Segunda versão do protótipo para obtenção de dados	16
2.3.1 Modificação no protótipo	16
2.3.2 Funcionamento do protótipo.....	17
2.3.3 Etapas do experimento.....	17
CAPÍTULO 3	20
A CONCEPÇÃO DA MÁQUINA	20

CAPÍTULO 4	23
PROJETO E SELEÇÃO DOS COMPONENTES	23
4.1 Reservatório	23
4.1.1 Componentes do reservatório	23
4.1.1.1 Chapa interna e externa	23
4.1.1.2 Reservatório de Espuma Poliuretano	26
4.1.1.3 Manômetro	27
4.1.1.4 Válvula de segurança	28
4.1.1.5 Válvula de retenção	29
4.1.2 Dimensionamento do reservatório	29
4.1.3 Análise térmica do reservatório	35
4.2 Tampa do reservatório	39
4.2.1 Dimensionamento da Tampa	41
4.2.2 Análise térmica da tampa do reservatório	43
4.2.3 Dimensionamento do cordão de solda	46
4.2.4 Acessórios da tampa do reservatório	48
4.2.4.1 Puxador	48
4.2.4.2 Trincos	49
4.2.4.3 Borracha de vedação	52
4.3 Misturador	53
4.3.1 Componentes do misturador	53
4.3.1.1 Pás	53
4.3.1.2 Eixo	55
4.3.1.3 Motoredutor	58
4.3.1.4 Acoplamento	59
4.3.1.5 Selo mecânico	60
4.3.1.6 Mancais	61

4.4	Tubo de descida	62
4.4.1	Componente do tubo de descida.....	63
4.4.1.1	Válvula de bloqueio (solenóide)	63
4.5	Injetor.....	64
4.5.1	Dimensionamento da caixa de injeção	64
4.6	Esteira transportadora	66
4.7	Estrutura.....	66
4.8	Estimativa de custo	69
CAPÍTULO 5		70
CONSIDERAÇÕES FINAIS		70
5.1	Conclusão.....	70
5.2	Sugestões de melhorias e projetos futuros	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		72
APÊNDICES		78
APÊNDICE A: Cálculo para o dimensionamento do eixo.....		78
APÊNDICE B: Dimensionamento dos cordões de solda das pás		80
APÊNDICE C: Dimensionamento dos cordões de solda das barras suporte para o motoredutor		81
APÊNDICE D: Dimensionamento dos cordões de solda das barras de apoio		82
APÊNDICE E: Dimensionamento dos cordões de solda das barras de fixação dos mancais ..		83
APÊNDICE F: Dimensionamento dos cordões de solda das colunas de apoio		84
APÊNDICE G: Desenhos técnicos.....		85
ANEXOS		103
ANEXO A: Catálogo das chapas do reservatório		103
ANEXO B: Catálogo do puxador.....		104
ANEXO C: Trinco.....		105
ANEXO D: Catálogo de tubos de aço		106

ANEXO E: Catálogo do acoplamento mandíbula.....	107
ANEXO F: Catálogo de rebites.....	108
ANEXO G: Catálogo de mancais.....	109
ANEXO H: Catálogo de tubos quadrados para a estrutura da máquina.....	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bicos injetores [3].....	4
Figura 2: Modelo Simples Recheio SR 3.0 [3]	5
Figura 3: Dimensões da cocada em mm.....	10
Figura 4: Cubo.....	11
Figura 5: Acionador	11
Figura 6: Desenho esquemático	13
Figura 7: Funcionamento do protótipo.....	13
Figura 8: Cubo posicionado	14
Figura 9: Início do experimento	15
Figura 10: Cocada obtida no experimento	16
Figura 11: Aparato modificado	17
Figura 12: Máquina de processamento de massa de cocada	20
Figura 13: Forma e dimensões do reservatório interno em mm.....	24
Figura 14: Forma e dimensões do reservatório de espuma de poliuretano em mm.....	25
Figura 15: Forma e dimensões do reservatório externo em mm	25
Figura 16: Estrutura do reservatório.....	25
Figura 17: Modelo ilustrativo de um manômetro [21].....	28
Figura 18: Modelo ilustrativo de uma válvula de alívio [23].....	29
Figura 19: Perfil de pressão.....	30
Figura 20: Malha sólida do reservatório	32
Figura 21: Análise estática do reservatório	32
Figura 22: Regiões com maiores tensões	33
Figura 23: Localização dos pontos com maiores tensões	34
Figura 24: Deslocamento nas paredes do reservatório.....	35
Figura 25: Malha sólida do reservatório	37
Figura 26: Resultado da análise térmica	37
Figura 27: Dimensões da tampa externa em mm	40
Figura 28: Dimensões da tampa de espuma rígida de poliuretano em mm	40
Figura 29: Dimensões da tampa interna em mm.....	40
Figura 30: Dimensões do puxador da tampa do reservatório em mm.....	40

Figura 31: Tampa montada com uma seção de corte parcial	41
Figura 32: Malha sólida da tampa do reservatório	41
Figura 33: Análise estática da tampa do reservatório	42
Figura 34: Regiões com maiores tensões na tampa do reservatório	42
Figura 35: Deslocamentos provenientes da deformação do material.....	43
Figura 36: Malha sólida da tampa do reservatório	44
Figura 37: Resultado da análise térmica da tampa do reservatório.....	44
Figura 38: Modelo ilustrativo de um puxador [38]	48
Figura 39: Imagem ilustrativa de um trinco [39]	49
Figura 40: Componente submetido à tração [27]	49
Figura 41: Cisalhamento puro Adpatado do livro Resistência dos Materiais [27]	50
Figura 42: Borracha de vedação da tampa [44].....	52
Figura 43: Dimensões de uma das pás em mm	54
Figura 44: Metade do eixo com as pás	54
Figura 45: Eixos unidos por um acoplador	55
Figura 46: Força atuante na superfície das pás	56
Figura 47: Análise estática do eixo	57
Figura 48: Deslocamentos sofridos pelo eixo e pelas pás	57
Figura 49: Acoplamento do tipo mandíbula.....	60
Figura 50: Imagem ilustrativa de um selo mecânico [54].....	61
Figura 51: Imagem ilustrativa de uma válvula de bloqueio com acionamento solenoide [63].	64
Figura 52: Dimensões da caixa de injeção em mm.....	64
Figura 53: Estrutura da máquina de processamento de cocada.....	67
Figura 54: Resultado da análise de tensões na estrutura da máquina.....	67
Figura 55: Resultado dos deslocamentos oriundos dos carregamentos	68
Figura 56: Flambagem na estrutura da máquina	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Avaliação do processo produtivo da cocada.....	8
Tabela 2: Características das amostras	9
Tabela 3: Materiais do protótipo	12
Tabela 4: Resultados do segundo experimento	18
Tabela 5: Lista de componentes	21
Tabela 6: Requisitos a serem atendidos pelo projeto	22
Tabela 7: Propriedades térmicas dos agentes isolantes [18].	27
Tabela 8: Especificações do manômetro NWR 100 2 0/2 XFF [21].....	28
Tabela 9: Especificações da válvula R412007521 [23]	29
Tabela 10: Propriedades dos materiais utilizados na simulação [19,28].....	31
Tabela 11: Menores fatores de segurança existentes no dimensionamento da chapa interna .	34
Tabela 12: Análise de convergência da malha do reservatório	36
Tabela 13: Análise de convergência da malha tampa do reservatório	44
Tabela 14: Espessura mínima da garganta efetiva de uma solda de penetração parcial [37]..	47
Tabela 15: Especificações da válvula de esfera modelo SW2 [60].....	63
Tabela 16: Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete [37]	65
Tabela 17: Estimativa de custo da máquina	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Estudo das amostras	18
Gráfico 2: Análise da temperatura na face interna do reservatório	38
Gráfico 3: Análise da temperatura do PU.....	38
Gráfico 4: Análise da temperatura na face externa do reservatório	38
Gráfico 5: Análise da temperatura no interior, no isolamento e no exterior do reservatório ..	39
Gráfico 6: Análise da temperatura na face interna da tampa.....	45
Gráfico 7: Análise da temperatura no PU.....	45
Gráfico 8: Análise da temperatura na face externa da tampa.....	46
Gráfico 9: Análise da temperatura no interior, no isolamento e no exterior da tampa.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - Área

Ag - Área da garganta de solda

c - Metade da distância vertical entre os cordões de solda

D - Diâmetro

d - Distância entre o centro da pá até o centro do eixo

F - Carregamento aplicado

FS - Fator de segurança

F_t - Força de tração

h - Profundidade

I - Segundo momento de área

K - Matriz de rigidez global

M - Reação de momento

n - Número de rebites

P - Pressão ao longo da profundidade

p₀ - Pressão aplicada pelo ar comprimido

P_t - Potência

PU - Espuma de poliuretano

PUR - Espuma rígida de poliuretano

R - Força resultante

S - Área de cisalhamento

T - Torque

T_c - Tensão de cisalhamento

T_{máx} - Torque máximo

u - Deslocamentos

V - Força cortante

v - Volume

Letras Gregas

γ - Peso específico

ρ - Massa específica

σ - Tensão normal de flexão

σ_{adm} - Tensão admissível

σ_e - Tensão limite de escoamento

$\sigma_{von\ Mises}$ - Tensão de von Mises

τ' - Tensão de cisalhamento primário

ω - Velocidade angular do eixo

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A oferta de produtos industrializados é soberana no mercado alimentício, sendo assim uma alternativa para os consumidores que buscam um produto com menor adição de conservantes, é a procura por produtos produzidos por pequenos produtores. Dentro dessa perspectiva o projeto de uma máquina de processamento de cocada viabiliza o aumento da produtividade das linhas de média produção. É difícil escapar dos produtos industrializados, mas é possível fazer escolhas mais saudáveis e comer um doce caseiro, feito com frutas [1].

A máquina consiste em um recipiente metálico para depósito da massa previamente processada, recipiente esse que conta com pás mecânicas para manter a massa em constante movimento, a fim de que o coco não se acumule na superfície e perca a sua característica de trabalho. Conta também com revestimento refratário a fim de manter uma temperatura de trabalho desejada, de tal forma que a consistência e a densidade atendam aos requisitos necessários para o processo de injeção.

O reservatório de processamento possui um sistema de pressurização automático que possibilita o escoamento da massa através de três dutos metálicos. Estes dutos contam com válvulas de bloqueio de acionamento solenoide que controlam a passagem de massa, dosando assim o volume de produto injetado.

A injeção é efetuada através de injetores que proporcionam cocadas com dimensões padronizadas e geometria única, mantendo assim uma das características principais do produto, remetendo a um produto artesanal, rústico, favorecendo uma grande aceitação do público que procura esse tipo de produto.

Com o propósito de obter dados referentes às características de trabalho da massa de cocada foram desenvolvidos aparatos experimentais que forneceram resultados aplicados no projeto. Através desses aparatos conseguiu-se mensurar a força necessária para promover o escoamento da massa de cocada através de uma seção conhecida, assim como o tempo necessário de injeção.

As cocadas são retiradas da máquina através de uma esteira automática que auxilia a continuidade da linha produtiva para a próxima etapa que é a de resfriamento.

1.1 Motivação

Atualmente, as crianças e os adolescentes têm perdido o gosto pelos doces caseiros, como pé de moleque, cocada, doce de abóbora, doce de leite, goiabada, doce de mamão, entre outros. Estes doces estão sendo substituídos pelos doces industrializados, que passam por uma série de processos onde são adicionados corantes e conservantes.

Em virtude de trazer novamente a afeição das pessoas pelos doces caseiros, neste presente trabalho destaca-se a fabricação de cocadas, a fim de projetar uma máquina de processamento de massa de cocada com açúcar, com o intuito de aumentar a produtividade de uma linha de produção manual.

1.2 Justificativa

Este projeto justifica-se após uma pesquisa de mercado constatar a ausência de uma máquina para processamento de cocada com açúcar. As máquinas presentes no mercado utilizam sempre massas que possuem como base glucose, garantindo assim característica de trabalho completamente diferente da massa de cocada com açúcar, dessa forma a máquina projetada atende às necessidades dos médios produtores que precisam aumentar sua produtividade.

Uma característica especialmente importante das massas que contém açúcar é o rápido endurecimento durante o processo de injeção, enquanto que as massas que contam com glucose em sua composição demoram um tempo maior para endurecer, possibilitando assim um processo de injeção mais lento.

1.3 Objetivos

Este projeto tem como objetivo elaborar uma máquina para processar massa de cocada com açúcar, aumentando a produtividade de uma linha de produção manual, sendo

recomendada sua aplicação inicial em fábricas de médio porte que visam melhorar seu sistema produtivo, reduzir custos e padronizar seus produtos.

1.4 Metodologia

Através de pesquisas em sites de empresas especializadas em construção de máquinas para processamento de alimentos, foi constatada a ausência de máquinas de processamento de cocada que contém açúcar em sua composição. As máquinas encontradas não atendem a necessidade do projeto e não contam com reservatório refratário a fim de manter a temperatura constante durante o processo de injeção. Outra limitação das máquinas encontradas é a inexistência de um misturador automático que proporcione a homogeneidade da massa.

A empresa NKS Máquinas disponibiliza em seu site diversas opções de máquinas, porém nenhuma delas atende às necessidades de desempenho que se espera em uma máquina de processamento de cocada com açúcar. Um modelo que se assemelha ao projeto é a Dosadora EV-NM Mini-Mix [2], seu reservatório conta apenas com 24 litros, e seu mecanismo de injeção utiliza uma bomba dosadora.

Além disso, foi feito o levantamento das possíveis formas de injeção da massa de cocada, que se assemelham a máquina que esse projeto tem como objetivo elaborar.

Foram desenvolvidos aparatos experimentais para obter dados referentes ao comportamento da massa de cocada, assim como sua reação quando submetida a uma pressão conhecida.

Para o dimensionamento dos componentes foram utilizados conceitos de Resistência dos Materiais, Elementos Finitos e Transferência de Calor. O software SolidWorks 2014/2015 foi utilizado para modelagem dos componentes.

1.5 Pesquisa bibliográfica

Para iniciar o projeto da máquina de processamento de cocada com açúcar buscou-se projetos e máquinas existentes no mercado, porém por se tratar de um produto específico o material encontrado é restrito. Ao se tratar de projetos de máquinas para a indústria, as empresas acabam por resguardar os seus projetos e não os divulgam para evitar sua

reprodução sem autorização. As pesquisas realizadas serviram de inspiração para a idealização do presente projeto.

1.5.1 Máquina de fabricação de doces e salgados

O mercado de fabricação de doces em indústrias de pequeno e médio porte é auxiliado pela utilização de máquinas industriais que permitem a produção de diversos tipos de alimentos assim como variações de produtos na utilização de uma única máquina com a simples alteração na massa para processamento e nas condições de produção.

Alguns fatores que podem ser selecionados nas máquinas são: espessura, quantidade de massa, recheio, tamanho e formato. Essas máquinas geralmente são construídas com materiais próprios para a aplicação em indústrias alimentícias, como o aço inoxidável. A empresa Smart Food Soluções conta em seu portfólio com uma máquina modeladora de doces e salgados.

A máquina modeladora apresenta massa de 120 kg, tem em sua composição basicamente partes em aço inox e alumínio, sua produção consegue atender a demanda de até 10000 unidades de doces por hora. A cuba da modeladora tem uma capacidade de até 3 kg de massa.

A modeladora consegue alterar o formato dos salgados ou doces injetados através da alteração do bico injetor de trabalho, como ilustrado na Figura 1 e na Figura 2.



Figura 1: Bicos injetores [3]



Figura 2: Modelo Simples Recheio SR 3.0 [3]

1.5.2 Sala de máquina frigorífica

O estudo de materiais isolantes em paredes, portas e tetos de pavimentos possibilita a aplicação desses conceitos e o uso desses materiais. O Poliuretano é usado como material isolante em frigoríficos a fim de impedir a passagem de calor da parte externa, com temperatura mais elevada, para a parte interna que apresenta temperatura menor.

A seleção do isolamento de espuma de poliuretano para o reservatório da máquina de processamento de massa de cocada com açúcar foi baseado na dissertação de Mestrado realizada por RIBEIRO [4], que dimensionou a espessura da parede de um frigorífico em contato direto com o ar exterior e a aplicação de poliuretano como material isolante na forma de várias camadas. Sendo assim, este projeto utilizou esta concepção para não permitir que a massa de cocada transferisse calor para a parte externa.

1.5.3 Estudo de máquinas injetoras

O uso de máquinas para promover deslocamento de materiais contra superfícies é apresentado de algumas maneiras, como: acionamento por pistão hidráulico, motor elétrico e ar comprimido. A aplicação de máquinas injetoras possibilita o aumento da produtividade e os diversos modelos existentes possibilitam criar produtos das mais variadas geometrias. Máquinas injetoras de plásticos para embalagens de alimentos são usadas a fim de moldar o plástico em altas temperaturas quando em contato com o molde assume então a geometria do molde [5].

O uso de periféricos para auxiliar o processo de injeção, a utilização de robôs na operação possibilita o aumento da produtividade das indústrias.

1.5.4 Método de elementos finitos

Atualmente, o método de elementos finitos (MEF) vem ganhando reconhecimento em decorrência da utilização de computadores com grande capacidade de processamento. Em consequência, os softwares baseados no MEF foram sendo desenvolvidos e tornaram-se um grande recurso de pré e pós-processamento, ricos em recursos gráficos iterativos [6].

O emprego do MEF na engenharia fundamenta-se em discretizar o contínuo, dividindo uma geometria complexa em elementos menores e com menor grau de complexidade. Dessa forma, um problema complexo se torna mais simples devido a esta divisão, possibilitando que um computador realize tarefas que antes eram muito demoradas com maior eficiência [7].

O método sugere que um número de variáveis desconhecidas sejam substituídas por um número limitado de elementos com comportamentos bem definidos. Esses elementos são ligados entre si por pontos, que são chamados de nós, e um conjunto de elementos e nós denomina-se malha. Além das divisões os elementos podem possuir diversos formatos, como quadrilateral, triangular, entre outras, de acordo com o tipo e dimensão do problema. Através dessas divisões na geometria, as equações matemáticas são resolvidas de forma aproximada por método numérico. Quanto maior for a quantidade de nós, de elementos, do tamanho e dos tipos de elementos em uma malha, maior será a precisão nos resultados da análise [8].

Neste projeto o MEF será utilizado para simular a resistência dos componentes quando submetidos às solicitações e conferir se os mesmos irão suportar os carregamentos. Em uma análise estrutural o método confere resultados como deformação, tensões e deslocamentos, além de possibilitar simular diversos cenários com aplicação de critérios de rigidez, resistência ou fadiga [8].

Quando há uma estrutura muito complexa a ser analisada, o método, em um primeiro momento, requer sua discretização para que em seguida a estrutura possa ser resolvida como um todo.

O principal fundamento para a realização de uma análise estática é dado através da Equação 1, onde F é o carregamento aplicado à estrutura, K é uma matriz de rigidez global e o u são os deslocamentos referidos aos graus de liberdade. Os valores da matriz de rigidez são

determinados de acordo com os componentes e suas propriedades, de modo que, através desses valores determinam-se os deslocamentos [9]. Com base nesses deslocamentos foram calculadas as tensões internas que servirão de base para o projeto.

$$F = Ku \quad (1)$$

Além da análise estrutural, este projeto contará com a análise térmica do reservatório, de modo a entender como o calor será propagado entre as paredes em um determinado tempo. O MEF aplicado à análise térmica fundamenta-se na Lei de Fourier e na primeira lei da termodinâmica de modo a se obter a equação diferencial do problema com as condições de contorno adequadas [10].

Neste projeto considera-se que a transferência de calor se dá por condução, sendo assim, ele é definido por uma equação diferencial, em termos de uma única função incógnita, a temperatura.

Portanto, estes conceitos são utilizados para realizar integrações com os softwares que auxiliam no desenvolvimento das análises; essa integração permite que melhores resultados sejam alcançados e que as análises sejam mais eficientes e ágeis.

Neste projeto tanto as análises estruturais quanto as análises térmicas foram realizadas por discretização automática do programa SolidWorks 2014, com elementos sólidos e com 4 pontos jacobianos.

1.6 Organização do Trabalho

O capítulo 2 trata-se da determinação das condições de operação do processo. Ele contempla os levantamentos dos dados referentes à massa de cocada, a construção e modificação do protótipo, que foi utilizado para a realização de dois experimentos, a fim de obter dados para iniciar o projeto da máquina.

No capítulo 3 é apresentada a concepção da máquina de processamento de cocada, como ela foi idealizada, a descrição dos componentes e os requisitos desejáveis para o projeto.

No capítulo 4 é apresentado o projeto e seleção dos componentes junto com análises e discussões de resultados.

Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões, sugestões de melhorias e projetos futuros.

CAPÍTULO 2

DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO PROCESSO

Com o intuito de se determinar as variáveis do processo visando o projeto da máquina de cocada, realizaram-se experimentos e medições em um protótipo, a fim de, coletar dados referentes às propriedades físicas e geométricas da cocada, além de avaliar as características de comportamento dinâmico e determinar parâmetros que possibilitem o desenvolvimento do projeto.

2.1 Levantamento de dados

O levantamento de dados foi realizado a partir de uma visita técnica, onde as etapas do processo de fabricação foram cronometradas e a temperatura da cocada foi aferida como ilustrado na Tabela 1, na qual são registrados: o tipo de cocada, a data do experimento, as etapas nas quais foram medidas as temperaturas e a quantidade de cocada feita de acordo com o volume. Esse estudo possibilitou definir a geometria dos bicos injetores da máquina e o seu posicionamento em relação à superfície em que se deposita a massa de cocada.

Tabela 1: Avaliação do processo produtivo da cocada

Tipo	Data	Etapas	Horário	Temperatura	Quantidade	Volume
Preta	14/03/2018	Ponto	08:42	127°C	1500 cocadas	40 L
Preta	14/03/2018	Início	08:45	120°C		
Preta	14/03/2018	Meio	09:00	116°C		
Preta	14/03/2018	Final	09:12	101°C		
Preta	14/03/2018	Ponto	09:50	121°C	1500 cocadas	40 L
Preta	14/03/2018	Início	09:55	114°C		
Preta	14/03/2018	Meio	10:10	107°C		
Preta	14/03/2018	Final	10:20	101°C		
Clara	14/03/2018	Ponto	10:40	119°C	1500 cocadas	40 L
Clara	14/03/2018	Início	10:43	112°C		

Clara	14/03/2018	Meio	10:55	106°C	1500 cocadas	40 L
Clara	14/03/2018	Final	11:05	96°C		
Clara	14/03/2018	Ponto	11:13	119°C		
Clara	14/03/2018	Início	11:16	111°C		
Clara	14/03/2018	Meio	11:31	107°C		
Clara	14/03/2018	Final	11:40	98°C	1500 cocadas	40 L
Preta	16/03/2018	Ponto	08:40	118°C		
Preta	16/03/2018	Início	08:43	111°C		
Preta	16/03/2018	Meio	09:00	107°C		
Preta	16/03/2018	Final	09:13	94°C	1500 cocadas	40 L
Preta	16/03/2018	Ponto	10:06	118°C		
Preta	16/03/2018	Início	10:10	112°C		
Preta	16/03/2018	Meio	10:26	109°C		
Preta	16/03/2018	Final	10:34	98°C	1500 cocadas	40 L
Clara	16/03/2018	Ponto	10:46	118°C		
Clara	16/03/2018	Início	10:49	109°C		
Clara	16/03/2018	Meio	11:04	108°C		
Clara	16/03/2018	Final	11:11	96°C	1500 cocadas	40 L
Clara	16/03/2018	Ponto	11:40	116°C		
Clara	16/03/2018	Início	11:43	111°C		
Clara	16/03/2018	Meio	11:58	108°C		
Clara	16/03/2018	Final	12:06	96°C		

As dimensões da cocada foram obtidas com base em 10 amostras, apresentadas na Tabela 2, elas foram medidas e pesadas para que fosse calculada uma média. Os bicos injetores foram projetados com base nesses resultados.

Tabela 2: Características das amostras

Dimensões			
Amostra	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Massa (g)
1	30	70	22
2	30	69	15
3	28	68	21
4	35	75	19
5	35	75	23
6	28	78	20
7	35	70	23
8	31	67	15
9	33	74	21
10	35	85	19
Média	32	73,1	19,8

A Figura 3 ilustra as dimensões aproximadas da cocada com os resultados obtidos na Tabela 2. Este formato foi adotado como referência para a construção da máquina de cocada visando à aproximação da geometria atual.

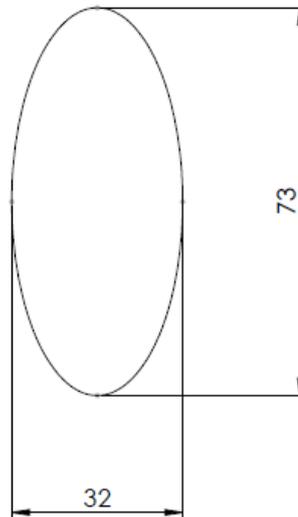


Figura 3: Dimensões da cocada em mm

Além de se obter as dimensões necessárias para projetar a máquina de processamento de cocada, também foi encontrada a massa específica (ρ) da massa de cocada, a uma temperatura de aproximadamente 120°C, que foi de 1.258 kg/m³. Este valor foi obtido utilizando um recipiente com um volume de 500 ml, tara igual a 21 g e peso da massa de cocada igual a 629 g. Portanto, o peso específico (γ) da massa de cocada foi de 12.336,8 N/m³.

2.2 Protótipo

A necessidade de obter dados relativos à massa de cocada motivou a criação de um protótipo, com um mecanismo de acionamento manual para injeção da massa de cocada previamente processada.

O protótipo consiste em um cubo que possui uma face aberta, quatro faces fechadas e uma face com canal para a massa de cocada escoar, como apresentado na Figura 4, além disso, ele conta também com um acionador manual, como mostrado na Figura 5. O acionador é acoplado internamente através da face aberta do cubo. Ao se aplicar uma força no acionador

manual a pressão interna dentro do cubo aumenta e a massa de cocada escoava através do canal existente na face inferior.

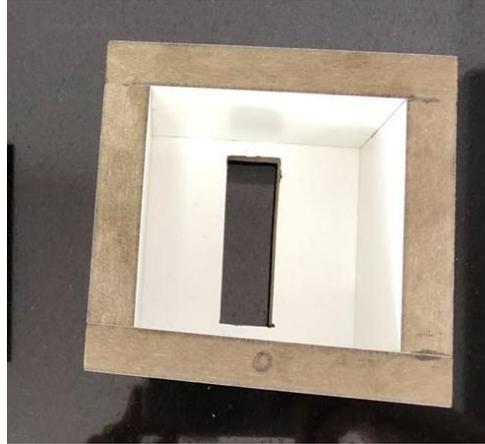


Figura 4: Cubo

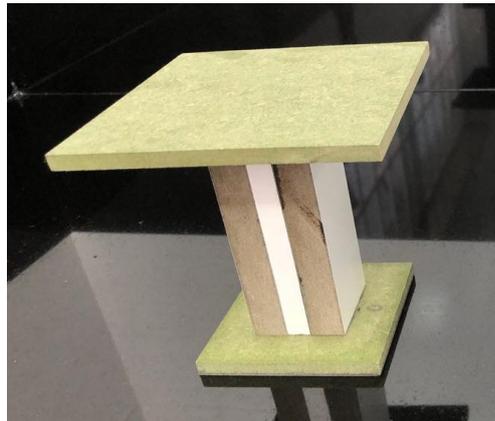


Figura 5: Acionador

2.2.1 Construção do protótipo

O processo de fabricação do protótipo ocorreu por meio do posicionamento de uma chapa de madeira de MDF verde e através da marcação das dimensões para efetuar o corte, que está representado na Tabela 3. Posteriormente, fixou-se a chapa na bancada de trabalho e realizou-se o corte.

Tabela 3: Materiais do protótipo

Componente	Dimensões	Quantidade
MDF verde	92 mm x 92 mm x 6 mm	03 unidades
MDF verde	80 mm x 80 mm x 6 mm	03 unidades
MDF verde	80 mm x 80 mm x 3 mm	01 unidade
MDF verde	25 mm x 120 mm x 6 mm	02 unidades
MDF verde	100 mm x 100 mm x 3 mm	01 unidade
Laminado melamínico	92 mm x 92 mm x 1 mm	02 unidades
Laminado melamínico	80 mm x 80 mm x 1 mm	07 unidades
Cola de madeira (PVA)		01 unidade

A união das peças do protótipo foi realizada aplicando uma cola de madeira (PVA) diretamente nas arestas e unindo manualmente as faces. O processo de secagem da cola durou 24 horas para uma perfeita junção das peças.

Com o protótipo completamente seco foi iniciado o processo de revestimento das faces internas do cubo com laminado melamínico. O revestimento foi necessário para diminuir o contato do compensado verde com a umidade proveniente da massa de cocada.

2.2.2 Funcionamento do protótipo

Ao se aplicar uma força no acionador, o mesmo se desloca e promove o escoamento da massa de cocada através do canal retangular, situado na face inferior do cubo, como ilustrado na Figura 6 e na Figura 7.

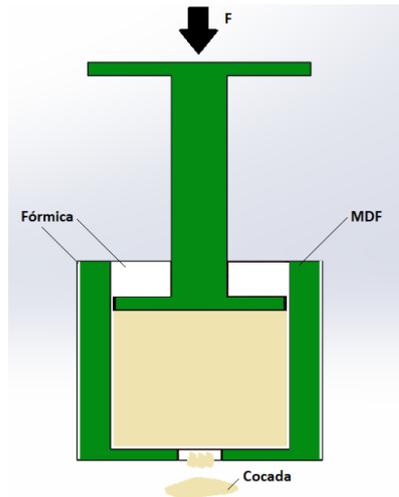


Figura 6: Desenho esquemático



Figura 7: Funcionamento do protótipo

2.2.3 Etapas do experimento

1. Posicionamento do protótipo:

Inicialmente o cubo foi posicionado a uma altura de 22 mm do tabuleiro em que a massa de cocada deve ser depositada, calços de madeira foram instalados no fundo do cubo para garantir o seu posicionamento correto, como mostrado na Figura 8.



Figura 8: Cubo posicionado

2. Preparo da massa de cocada:

O processo de preparo da massa de cocada, que contém em sua composição açúcar derretido e coco ralado, foi iniciado após o correto posicionamento do protótipo.

A massa de cocada encontrava-se a $120,4^{\circ}\text{C}$ durante o início do preparo. No momento do preenchimento do cubo, este estava a uma temperatura de $29,3^{\circ}\text{C}$, e a temperatura ambiente era de $26,7^{\circ}\text{C}$.

3. Início do experimento:

O preenchimento do cubo foi realizado manualmente com o auxílio de uma colher de madeira. Com o cubo completamente preenchido posicionou-se o acionador manual sobre a massa, dessa forma observou-se que apenas com o peso próprio do acionador a massa de cocada não era capaz de escoar completamente.

Inicialmente foi posicionado sobre o acionador manual, que tem massa de 212 g, uma massa de 514 g a fim de promover o escoamento da massa, foi observado que a carga aplicada não era capaz de exercer uma pressão suficiente sobre a massa de cocada, sendo assim, foi necessário elevar a carga sobre o acionador, como mostrado na Figura 9.



Figura 9: Início do experimento

Devido à demora no procedimento de injeção a massa de cocada começou a endurecer e acabou obstruindo o canal, o experimento foi interrompido e a massa de cocada foi recolocada na panela para derreter o açúcar cristalizado.

Após a primeira etapa do experimento o acionador manual e o cubo precisaram ser limpos, para a remoção do açúcar que aderiu em suas faces. A massa de cocada que retornou a panela foi aquecida até atingir sua temperatura ideal de trabalho, possibilitando assim uma nova execução do experimento.

O cubo foi novamente preenchido e o acionador manual posicionado sobre a massa de cocada, a massa inicialmente utilizada foi substituída por outra de 2 kg, o comportamento do escoamento foi melhor, mas a cocada obtida ainda contava com muito açúcar e pouca quantidade de coco em sua composição, estando assim fora do padrão esperado.

O cubo foi novamente esvaziado, o acionador limpo e a cocada devolvida para panela para ser novamente aquecida. Após a cocada atingir a temperatura ideal, ela foi novamente depositada no cubo e o acionador posicionado, uma massa de 2,5 kg foi colocada sobre o acionador que conseguiu promover um escoamento satisfatório da massa de cocada, como indicado na Figura 10.

A altura inicial de 22 mm atendeu a geometria de cocada desejada, porém houve a curiosidade em saber como seria o formato da cocada alterando a altura do protótipo em relação ao tabuleiro. Com isso, o protótipo foi elevado a uma altura de altura 30 mm, e foi observado que o formato da cocada era circular, diferentemente do que era desejado. Posteriormente, o protótipo foi posicionado a uma altura de 15 mm, e novamente a cocada

obtida não atendia a geometria proposta. Portanto, a altura de 22 mm foi ideal para o formato desejado.



Figura 10: Cocada obtida no experimento

Para a massa de cocada passar pelo canal retangular localizado na face inferior, foi necessária uma força de aproximadamente 26,74 N aplicada sobre a área superficial da massa de cocada. Com isso, foi realizada uma operação matemática, que admite uma proporcionalidade entre as áreas superficiais do protótipo e da máquina, para encontrar os valores de força e pressão que o ar comprimido deve aplicar. Dessa forma, para o reservatório de 0,186 m², o ar comprimido deverá aplicar uma pressão inicial de 121,4 kPa. Sendo assim, este experimento possibilitou obter a pressão necessária para promover o escoamento da massa de cocada no reservatório.

2.3 Segunda versão do protótipo para obtenção de dados

A necessidade de se obter o tempo para efetuar a injeção da massa de cocada motivou a construção de um segundo aparato, que foi utilizado para verificar a quantidade de massa de cocada que escoava através do tubo em um determinado tempo.

2.3.1 Modificação no protótipo

O protótipo manteve o acionador do primeiro experimento e o cubo recebeu modificações em sua face inferior. A face inferior do cubo foi fechada com MDF verde e cola de madeira PVA, após o tempo de secagem da cola o aparato foi posicionado em uma

bancada e fixado. Com o auxílio de uma furadeira de bancada e uma serra copo foi efetuado um furo com 51 mm de diâmetro, possibilitando assim receber um pedaço de cano de PVC com 50 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento, que foi fixado com o auxílio de Cianoacrilato, como pode ser observado na Figura 11.



Figura 11: Aparato modificado

2.3.2 Funcionamento do protótipo

Ao se aplicar uma força no acionador, o mesmo se desloca e promove o escoamento da massa de cocada através do canal circular situado na face inferior do cubo. A extremidade do cubo foi vedada com o auxílio de um copo para reter a massa de cocada e assim garantir que a cocada preencha totalmente o canal.

2.3.3 Etapas do experimento

O protótipo foi posicionado sobre um copo, onde, toda a massa que escoou foi depositada no interior do mesmo. Com o auxílio de uma balança, a tara do copo foi verificada para garantir que o valor final encontrado após o experimento fosse exclusivo da massa de cocada. Com a ajuda de um cronômetro o tempo de injeção da massa foi verificado. Após cada experimento, o copo, responsável por coletar a cocada, foi pesado e lavado.

Os mesmos produtos que foram utilizados no primeiro experimento também foram empregados no segundo para garantir a mesma carga aplicada sobre o acionador.

O experimento se repetiu por 7 vezes e a Tabela 4 mostra os resultados obtidos de acordo com o tempo e a massa depositada sobre o copo.

Tabela 4: Resultados do segundo experimento

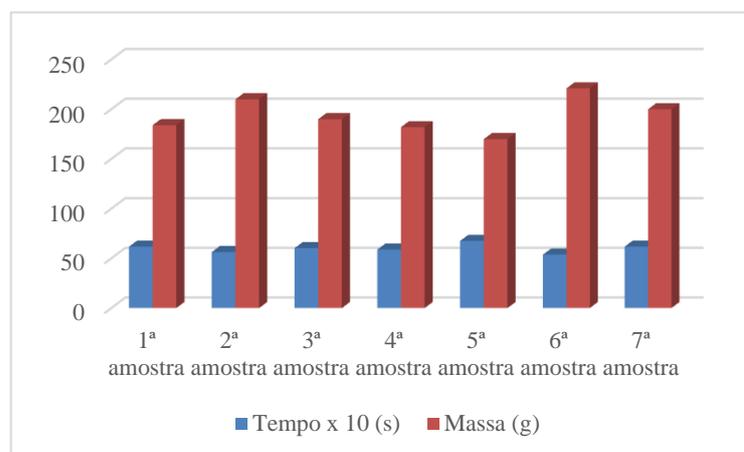
	Tempo (s)	Massa (g)
1^a amostra	6,18	184
2^a amostra	5,64	210
3^a amostra	6,03	190
4^a amostra	5,89	182
5^a amostra	6,76	170
6^a amostra	5,38	221
7^a amostra	6,19	200

Após o experimento foi determinada a massa média de cocada que escoou com o tempo, assim como o tempo médio de operação.

Ao se calcular a massa média de 193,86 g de cocada, obteve-se 6,01 segundos como tempo médio, dessa forma foi possível determinar a quantidade de cocadas a serem produzidas pela máquina. A cada 3,72 segundos a máquina é capaz de injetar 2 cocadas através de cada bico injetor, totalizando 6 cocadas para o caso de serem utilizados 3 bicos injetores.

Através do Gráfico 1 é possível observar os resultados apresentados na Tabela 4. Onde nota-se uma pequena variação da massa de cocada. variação no tempo em relação a uma maior

Gráfico 1: Estudo das amostras



Com base no experimento, infere-se que a máquina de processamento de cocada consiga injetar aproximadamente 97 cocadas por minuto, sendo assim, por volta de 28 minutos ela conseguirá produzir 2.716 cocadas.

CAPÍTULO 3

A CONCEPÇÃO DA MÁQUINA

A máquina de processamento de massa de cocada com açúcar é idealizada conforme a Figura 12, ela procura atender o cliente de forma diferenciada em comparação com outras máquinas encontradas no mercado.

Esta máquina tem como objetivo manter uma temperatura de trabalho de tal forma que a massa não perca o ponto de injeção, além disso, a massa deverá estar em constante movimento para que não haja separação do açúcar e do coco.

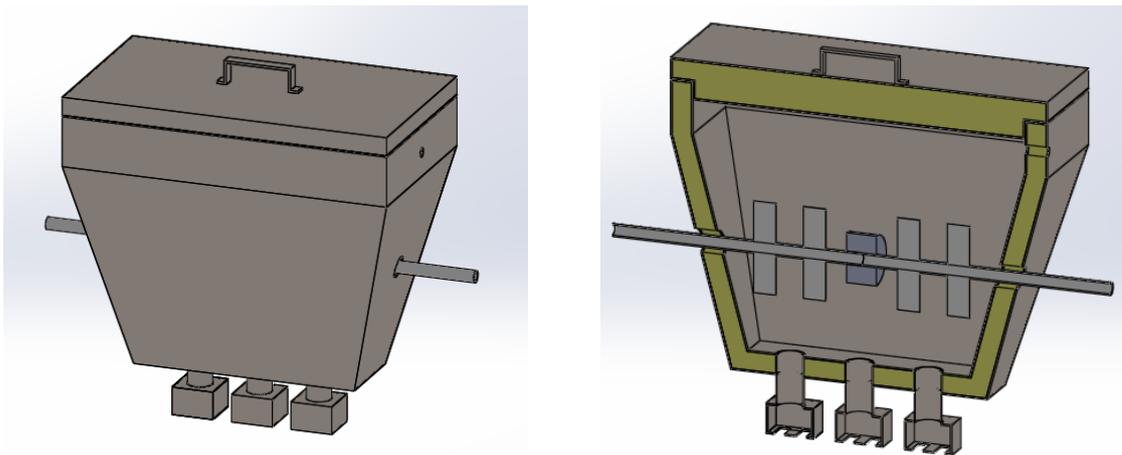


Figura 12: Máquina de processamento de massa de cocada

A máquina conta com um reservatório provido de um eixo, permitindo que a massa quando depositada fique em constante movimento. Após a massa ser depositada a tampa da máquina deve ser fechada e travada para que se inicie o processo de injeção de ar comprimido para o interior do reservatório, injeção esta que proporciona o aumento da pressão interna. Com a máquina pressurizada o motoredutor é ligado, o eixo de movimentação começa a rotacionar. Após esse procedimento a injeção de cocada já pode ser iniciada. A máquina conta com três válvulas de bloqueio com acionamento por solenóide que controla a passagem da massa até os injetores.

O gerenciamento do acionamento da válvula será efetuado por um Circuito Lógico Programável que determinará o momento certo da válvula de bloqueio abrir, fechar e o tempo que a válvula ficará aberta.

A injeção da máquina de cocada pode ser efetuada diretamente sobre bandejas situadas em cima de uma mesa ou uma esteira rolante.

A máquina será composta pelos componentes listados na Tabela 5.

Tabela 5: Lista de componentes

Componente	Característica	Descrição
Reservatório	Recipiente para a massa com capacidade de 43,3 l	O reservatório será composto por duas “cascas” com chapas de 3 mm de espessura de aço inoxidável 316 e um isolamento de espuma de poliuretano entre as duas cascas. Ele pode ser fabricado utilizando o processo de corte, dobramento e soldagem contínua das chapas.
Eixo	Transmissão de movimento	O eixo será composto por um tubo de 3 mm de espessura, será fabricado usando aço inoxidável 316.
Pás	Promover o movimento da massa de cocada	As pás mecânicas serão fixadas no eixo através de soldagem, seu material é aço inoxidável 316.
Motoredutor	Elétrico	Motoredutor que será ligado ao eixo. Ele fornecerá o torque necessário para promover movimento do eixo e as pás.
Mancal	Rolamento	Servirá de apoio para o eixo, assim como garantirá o perfeito alinhamento do eixo para a transmissão de movimento.
Válvula de Alívio		É responsável por liberar o ar em excesso caso a pressão do reservatório aumente de forma demasiada, fora das características de projeto.
Válvula de Bloqueio	Acionamento - Solenóide	Responsável por abrir e fechar a passagem da massa de cocada através do duto de alimentação que leva a massa aos bicos injetores. Sua característica de trabalho é estar na forma de normalmente fechada quando não contar com corrente elétrica no solenoide.
Injetores		Chapas cortadas e soldadas utilizando eletrodo revestido.

Neste trabalho, os seguintes componentes serão dimensionados:

- Reservatório
- Injetores
- Tampa do reservatório
- Eixo
- Estrutura

Os componentes que foram selecionados são:

- Válvula de bloqueio com acionamento solenóide
- Válvula de alívio
- Puxador para a tampa do reservatório (Anexo B)
- Trava para a tampa do reservatório (Anexo C)
- Tubo de descida para injeção
- Motoredutor para acionamento do eixo
- Acoplamentos (Anexo E)
- Mancais de rolamento

No capítulo posterior será explicado de forma mais detalhada os componentes que compõem a máquina de processamento de cocada com açúcar.

Para dar início ao projeto da máquina, foram listados alguns requisitos a serem atendidos pelo projeto. Estes estão listados na Tabela 6:

Tabela 6: Requisitos a serem atendidos pelo projeto

Possuir um reservatório com volume acima de 40 litros
O reservatório deverá manter a temperatura da cocada acima de 95 °C
A máquina deverá conseguir produzir no mínimo 1500 cocadas por ciclo de operação
Altura máxima da máquina não poderá ultrapassar 1800 mm
Largura máxima da máquina não poderá ultrapassar 900 mm
O misturador deve garantir que a massa de cocada se mantenha homogênea durante o processo de injeção
Os componentes da máquina devem ser resistentes à corrosão e a umidade
A máquina deve produzir cocadas padronizadas
A máquina deve ser segura para o operador

CAPÍTULO 4

PROJETO E SELEÇÃO DOS COMPONENTES

O projeto contempla componentes que serão estudados, de forma que a máquina de processamento de cocada atenda as necessidades dos clientes, através de análises estruturais mecânicas, seleção de materiais adequados para a aplicação no projeto e análise térmica do reservatório que entrará em contato direto com a massa de cocada, com intuito de diminuir a transferência do calor.

4.1 Reservatório

O reservatório da máquina tem como objetivo ser um recipiente que mantenha a temperatura da massa de cocada superior a 95°C, para que esta não perca “o ponto” de injeção e também deve ser de fácil manutenção para o operador. Dessa maneira, foram selecionados materiais que possibilitem uma mínima variação na temperatura da massa de cocada, por apresentarem baixa condutividade térmica.

4.1.1 Componentes do reservatório

O reservatório é composto por chapas metálicas de aço inoxidável, espuma rígida de poliuretano e seus acessórios.

4.1.1.1 Chapa interna e externa

O reservatório foi idealizado para atender as exigências inerentes a uma indústria alimentícia, dessa forma foi selecionado o uso de chapas de aço inoxidável austenítico 316 (AISI 316) para sua fabricação, pois segundo WADA [11], o aço 316 é o único aço inoxidável que possui a classificação de aço para “alimento”. No entanto, o aço inoxidável 304 também é

muito utilizado para o mesmo fim, porém este possui uma menor resistência à corrosão, se comparado com o aço 316.

As chapas foram selecionadas utilizando o catálogo que se encontra no Anexo A. Elas são laminadas a frio e passam por um tratamento térmico de recozimento, de modo, que tenham um bom acabamento superficial, melhor tolerância dimensional em chapas com menores espessuras, superfície fácil de limpar e propriedades mecânicas propícias para os processos de estampagem, dobramento e furação [12].

Recomenda-se que para a obtenção da geometria desejada do reservatório seja aplicado o processo do corte, dobramento das chapas e da soldagem para uni-las, soldagem essa que deve ser contínua.

A parte interna do reservatório, mostrada na Figura 13, terá contato direto com o material a ser processado. O mesmo conta com uma camada interna revestida por espuma de poliuretano, ilustrado na Figura 14, que devido as suas características constitutivas consegue diminuir o calor fornecido pela massa de cocada, veja o tópico 4.1.1.2. A parte externa do reservatório apresentada na Figura 15, contará com o mesmo material da parte interna. Na Figura 16, pode-se observar a estrutura do reservatório montado.

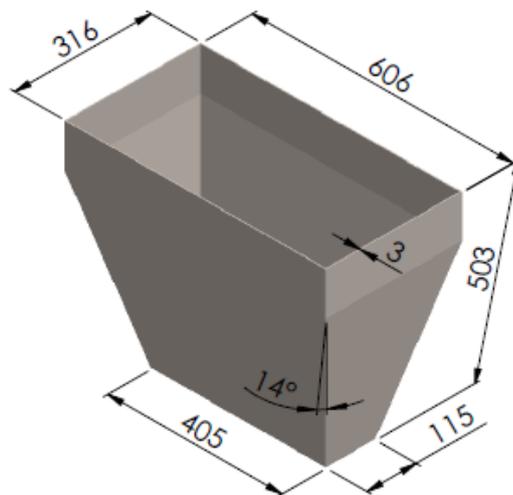


Figura 13: Forma e dimensões do reservatório interno em mm

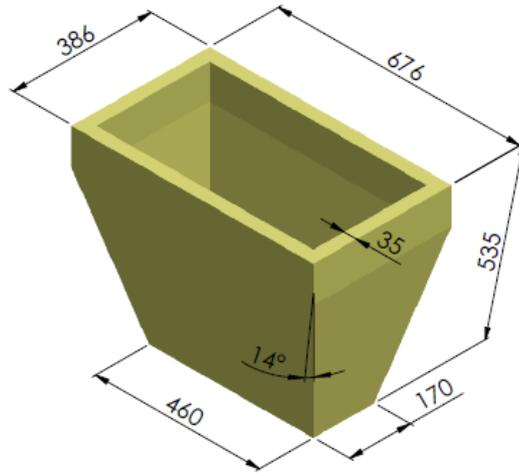


Figura 14: Forma e dimensões do reservatório de espuma de poliuretano em mm

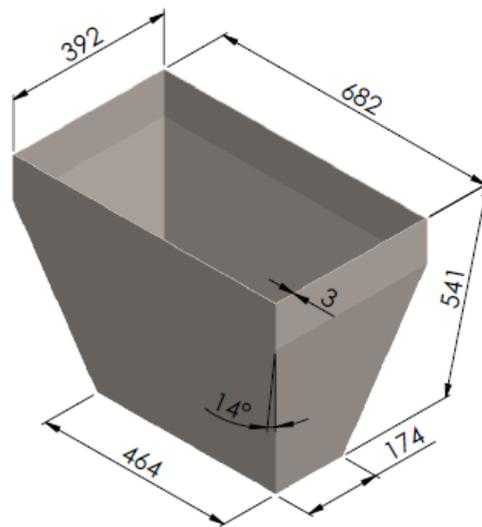


Figura 15: Forma e dimensões do reservatório externo em mm

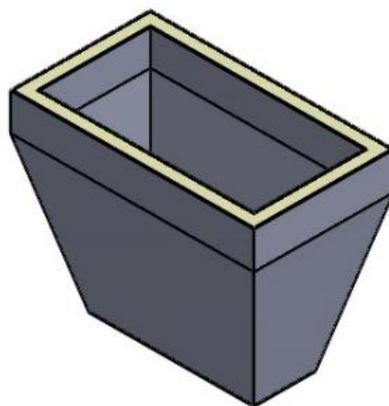


Figura 16: Estrutura do reservatório

4.1.1.2 Reservatório de Espuma Poliuretano

O aumento do uso das espumas rígidas de poliuretano (PUR) deve-se aos benefícios de suas propriedades térmicas, resistência mecânica e leveza, por isso estão sendo solicitadas em diversos segmentos industriais, comerciais e domésticos.

Elas são aplicadas em: isolamento térmico de refrigeradores, frigoríficos, contêineres, aquecedores, tubulações; lajes de concreto, telhados, paredes de alvenaria, reservatórios metálicos ou silos [13], etc.

Existem também as espumas flexíveis de poliuretano que são utilizadas na confecção de colchões, travesseiros, almofadas, sofás, poltronas, estofados, móveis, artigos de limpeza, componentes para calçados e automotivo entre outros [14].

A espuma de poliuretano é basicamente constituída de dois polímeros, o polioliol que dá as características de isolamento térmico, vedação e resistência à compressão e o isocianato que tem como função dar início a processo de expansão, possibilitando que a espuma seja aplicada em diversas geometrias e preenchendo locais que dificilmente seria possível isolar com a utilização de uma espuma rígida.

Segundo Vilar (*apud* LIMA [15]), “*os principais polióis utilizados na fabricação das espumas flexíveis convencionais e de alta resiliência são os polióis poliéteres, polióis poliméricos de diferentes estruturas, polióis poliésteres, óleo de mamona e outros polióis obtidos a partir de óleos vegetais*”.

De acordo com Lima (*apud* LIMA [15]), “*os isocianatos são compostos onde o átomo de carbono apresenta-se como um centro deficitário de elétrons, o que torna estes compostos altamente reativos e suscetíveis a reações nucleofílicas.*” Eles reagem com compostos que apresentam na cadeia átomos de hidrogênio ativos, formando assim ligações uretana e uréia [16].

Conforme Dodge (*apud* VERONESE [16]), na cadeia do poliuretano, os polióis estão associados aos segmentos flexíveis, garantido uma maior flexibilidade de acordo com a massa molar do polioliol. Esses segmentos contribuem no alongamento do material. Em contrapartida, os segmentos rígidos estão associados ao isocianato que conferem propriedades como dureza, resistência mecânica e tenacidade ao produto. Portanto, as proporções dos segmentos rígidos e flexíveis influenciam diretamente nas propriedades físicas, mecânicas e adesivas do material.

Nesse trabalho a espuma utilizada é a rígida de poliuretano (PUR). Segundo VILAR [17] as espumas de PUR podem ser fabricadas por vazamento, injeção, spray, sistemas de baixa ou alta pressão, entre outros.

As espumas PUR possuem estrutura polimérica com células fechadas com densidades que variam de 10 kg/m³ até 1000 kg/m³. Para um melhor isolamento térmico as densidades mais utilizadas variam de 28 kg/m³ a 50 kg/m³. A característica de isolamento térmico desta parcela ocorre por causa das propriedades de baixa condutividade térmica do gás confinado na estrutura das células fechadas da espuma [17].

De acordo com a Tabela 7, pode-se observar o quão notável é a propriedade de isolamento térmico das espumas PUR, quando comparada com outros materiais.

Tabela 7: Propriedades térmicas dos agentes isolantes [18].

Material	Densidade (kg/m³)	Condutividade Térmica 24 °C (W/m.K)
Espuma Rígida de PU	32	0,017 (c/ CFC11) 0,022 (c/ HCFC-141B)
Poliestireno expandido	16	0,035
Lã de vidro	65-160	0,037
Lã de rocha	100-300	0,046
Cortiça	220	0,049
Madeira (pinho branco)	350-500	0,112

A condutividade térmica da espuma (PUR) utilizada neste trabalho será a de 0,022 W/m.K (c/ HCFC-141B), pois as aplicações com os CFC's estão sendo substituídas por outros agentes de expansão, que são menos danosos à camada de ozônio [17].

Para o projeto do reservatório de espuma PUR foram utilizados: módulo de elasticidade igual a 5,6 MPa, o coeficiente de Poisson igual a 0,3 e o limite de escoamento igual a 0,3 MPa [19]. Estes dados serão utilizados para o dimensionamento do reservatório.

4.1.1.3 Manômetro

O manômetro é um dispositivo responsável por medir a pressão na parte interna de recipientes, são tubos na forma de U que ficam em uma extremidade ligados ao interior do

recipiente em que se deseja verificar a pressão e a outra extremidade fica aberta em contato direto com a atmosfera [20].

Devido à necessidade de aplicar um manômetro de pressão que atenda as características de pressão do projeto de aproximadamente 121 kPa, selecionou-se o modelo NWR 100 2 0/2 XFF do catálogo instrumentos de pressão e temperatura (2007) da empresa Willy Instrumentos de Medição e Controle Ltda com as especificações da Tabela 8 [21]. A Figura 17 apresenta um modelo ilustrativo de um manômetro.

Tabela 8: Especificações do manômetro NWR 100 2 0/2 XFF [21]

Escala de pressão (bar)	0 - 2
Intervalo numérico	0,5
Menor Subdivisão	0,05
Temperatura de operação (°C)	- 29 à 182



Figura 17: Modelo ilustrativo de um manômetro [21]

4.1.1.4 Válvula de segurança

Válvulas de segurança ou alívio são dispositivos de segurança instalados em vasos de pressão ou caldeiras, a fim de entrarem em funcionamento no caso de possíveis variações inesperadas nos valores de pressão, esses mecanismos funcionam de maneira automática [22].

Devido à necessidade de instalar uma válvula de segurança que atenda as características do projeto, selecionou-se a válvula R412007521 como ilustra a Figura 18 do catálogo válvulas de segurança [23] com as especificações da Tabela 9.

Tabela 9: Especificações da válvula R412007521 [23]

Pressão de abertura (bar)	2
Fluxo (l/min)	676
Material	Aço Inox 316
Diâmetro (mm)	19

**Figura 18:** Modelo ilustrativo de uma válvula de alívio [23]

4.1.1.5 Válvula de retenção

A válvula de retenção será responsável por permitir que o ar comprimido flua em uma única direção, dessa forma o ar não conseguirá retornar para a mangueira de ar comprimido, garantindo assim a estanqueidade do sistema e a pressão desejada no interior do reservatório. A escolha da válvula de retenção assim como a dimensionamento do sistema de alimentação de ar comprimido não fazem parte do escopo do projeto.

4.1.2 Dimensionamento do reservatório

O dimensionamento da parte interna do reservatório foi realizado com base nas reações das cargas provenientes da massa de cocada e da pressão aplicada pelo ar comprimido.

Através do primeiro experimento foram obtidos os dados para encontrar a pressão necessária que o ar comprimido deveria exercer sobre a massa de cocada. A partir disso foi encontrado o perfil de distribuição de pressão atuante na superfície das paredes do reservatório.

Considerando que a massa de cocada reaja como um fluido newtoniano, sem partículas sólidas e que ela esteja em repouso, o conceito de força hidrostática sobre uma superfície plana foi utilizado.

Nas superfícies submersas o fluido exerce uma força perpendicular quando está em repouso (pois não há tensão de cisalhamento), e a pressão varia linearmente com a profundidade, se o fluido for considerado incompressível [24,25].

Portanto, há uma distribuição de pressão ao longo da altura do reservatório, onde a pressão na superfície inferior é igual à pressão relativa, oriunda do ar comprimido, mais o produto do peso específico da cocada pela altura do reservatório, como mostra a Equação 2.

$$P = p_o + \gamma h \quad (2)$$

Substituindo os valores da pressão relativa, do peso específico e da profundidade do reservatório, foi possível observar a variação linear da pressão com a altura do reservatório. Através da Figura 20, pode-se observar o perfil de pressão e a variação da mesma que vai de 121,4 kPa aplicada sobre a superfície livre da massa a 126,4 kPa no fundo do reservatório.

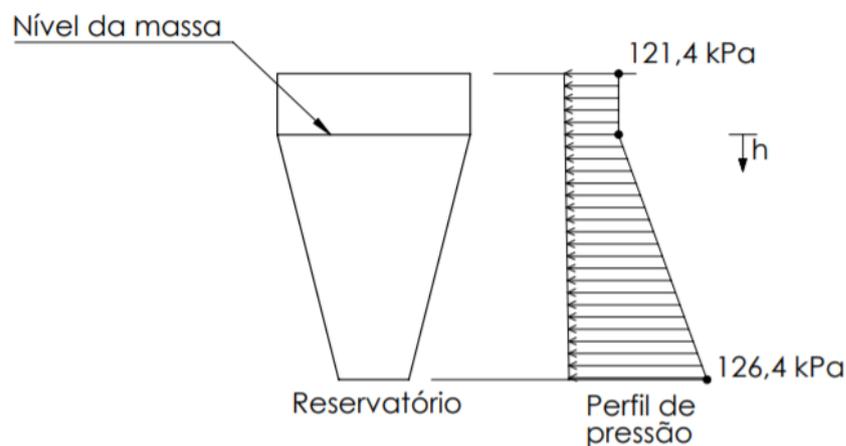


Figura 19: Perfil de pressão

Mediante a essa distribuição foi possível analisar as tensões nas paredes do reservatório, e observar se as mesmas suportam o carregamento. A pressão do reservatório deve ser controlada pelo sistema de pressurização, tendo como pressão inicial de 121,4 kPa e 126,4 kPa como pressão final. A automação do sistema de pressurização de ar comprimido não faz parte do escopo do projeto.

A análise estática do reservatório foi feita utilizando o programa SolidWorks 2014, através dela foi possível conhecer as diferentes tensões em que o reservatório foi submetido, nessa análise as camadas do reservatório foram consideradas como estruturas únicas. O estudo realizado foi baseado no critério de tensões de Von Mises, conhecido também como teoria da energia de distorção máxima, que afirma que um determinado componente estrutural está em segurança desde que o valor máximo da energia de distorção por unidade de volume naquele material permaneça menor que a energia de distorção necessária para ocasionar o escoamento em um corpo de prova do mesmo material, em um ensaio de tração [26].

Segundo HIBBELER [27] em ensaios reais a teoria da energia máxima de distorção dá resultados mais precisos, cerca de 15% a mais de precisão do que pela teoria da energia da tensão de cisalhamento máxima.

Sendo assim, foi realizada uma análise estática com o auxílio do programa SolidWorks 2014 para analisar as regiões críticas do reservatório quando solicitado. Na análise utilizaram-se as especificações apresentadas na Tabela 10, na qual apresenta-se as propriedades do aço inoxidável 316 [28] e da espuma rígida de poliuretano [19].

Tabela 10: Propriedades dos materiais utilizados na simulação [19,28]

Propriedades	Chapa de aço inoxidável AISI 316	Espuma rígida de poliuretano
Limite de escoamento (MPa)	250	0,3
Limite de resistência (MPa)	515	
Módulo elástico (MPa)	193000	5,6
Coefficiente de Poisson	0,27	0,3
Massa específica (kg/m³)	8.000	32

A partir dos dados da Tabela 10, foi criada uma malha sólida com tamanho máximo de elementos igual 20 mm e mínimo igual a 10 mm, como ilustrado na Figura 20. A execução da análise estática teve como resultado a Figura 21.

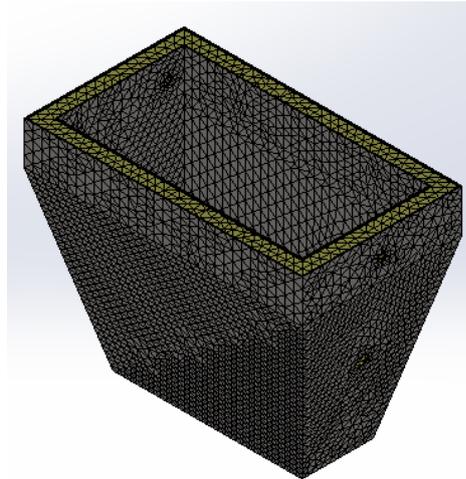


Figura 20: Malha sólida do reservatório

A Figura 21 apresenta a análise estática do reservatório com os furos por onde serão acoplados, o manômetro, a válvula de alívio, a válvula de retenção, o eixo e os tubos de descida. Na simulação as paredes internas do reservatório foram submetidas às condições de contorno como: perfil de pressões atuante na massa de cocada, pressão do ar comprimido e a ação da gravidade.

Nome do modelo: Reservatório 3mm com furos Pressão R2
 Nome do estudo: Estática PU 5(-Default-)
 Tipo de plotagem: Análise estática tensão nodal Tensão1

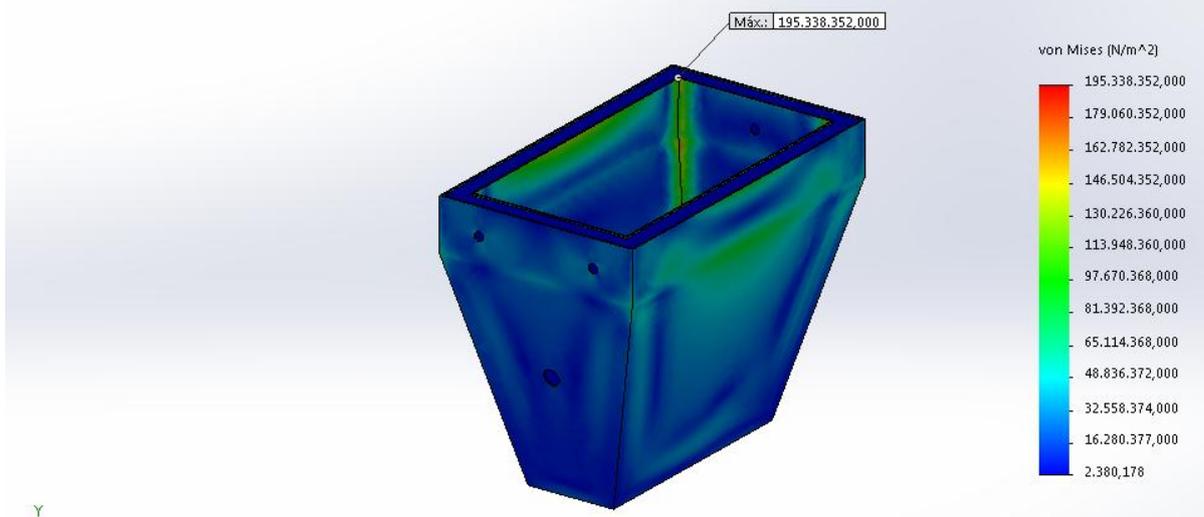


Figura 21: Análise estática do reservatório

Através do resultado da simulação observam-se algumas regiões que possuem maiores tensões devido à sollicitação. A Figura 22 ilustra com mais clareza estas regiões, que estão nas chapas interna e externa do reservatório. Por meio dessas regiões analisaram-se mais nitidamente as tensões permitindo assim uma comparação com o limite de escoamento do aço 316. A Tabela 11 ilustra os fatores de segurança empregados no projeto.

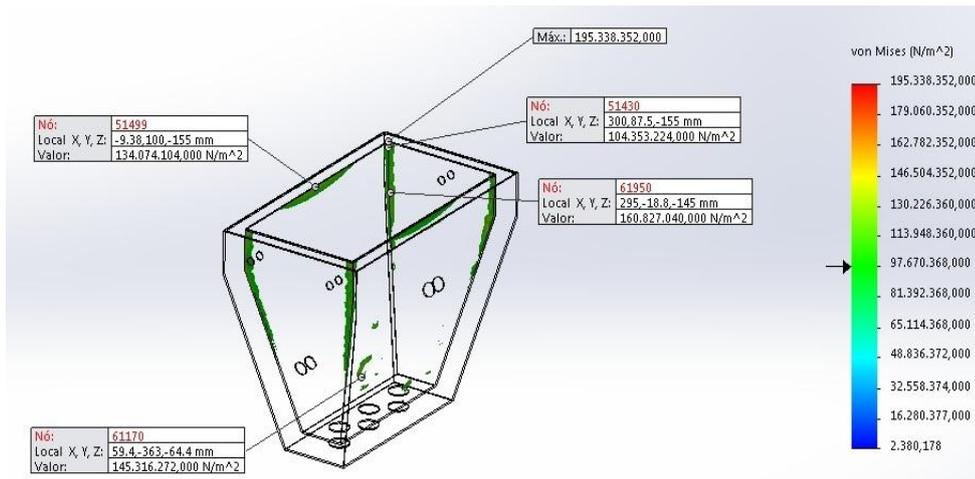


Figura 22: Regiões com maiores tensões

O fator de segurança (ou coeficiente de segurança) permite uma maior confiabilidade ao projeto e pode ser apresentado de diversas formas. Ele é a razão entre grandezas que possuem as mesmas unidades, como resistência/tensão atuante e tensão de escoamento/tensão de Von Mises. O formato da expressão de um fator de segurança geralmente é escolhido de acordo com o tipo de esforço realizado sobre a peça, e o seu valor é adimensional [29].

Dessa forma, o fator de segurança foi calculado através da razão entre a tensão limite de escoamento do material e a tensão de Von Mises de modo que a chapa interna não falhe com o carregamento aplicado.

Segundo NORTON [29], é importante que o fator de segurança seja sempre superior a 1, pois assim a peça não falhará.

Para a obtenção dos fatores de segurança substituiu-se as maiores tensões, apresentadas na Figura 23, e a tensão de escoamento do material na Equação 3.

$$FS = \frac{\sigma_e}{\sigma_{von\ Mises}} \quad (3)$$

Os menores fatores de segurança obtidos com a Equação 3 e com as maiores tensões da Figura 23 estão listados na Tabela 11. Verifica-se que todos eles são maiores que 1, portanto, a chapa interna não falhará quando for submetida ao carregamento. A Figura 23 ilustra os pontos com as maiores tensões e menores fatores de segurança.

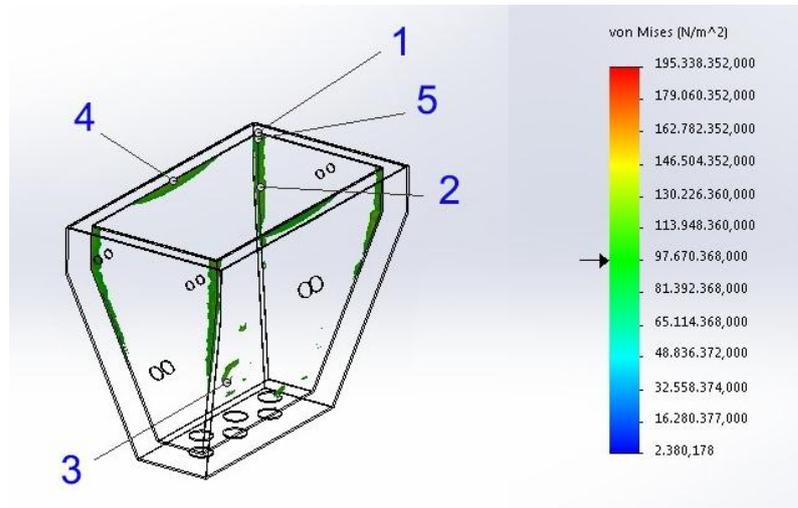


Figura 23: Localização dos pontos com maiores tensões

Tabela 11: Menores fatores de segurança existentes no dimensionamento da chapa interna

Ponto	Tensões de Von Mises (MPa)	FS
1	195,3	1,28
2	160,8	1,55
3	145,3	1,72
4	134,0	1,86
5	104,3	2,40

Além dos resultados de tensão o SolidWorks analisa o deslocamento das chapas proveniente do carregamento, como pode-se observar na Figura 24. Este deslocamento é resultante da deformação causada pela mudança da geometria de um corpo após a aplicação de uma carga externa [30].

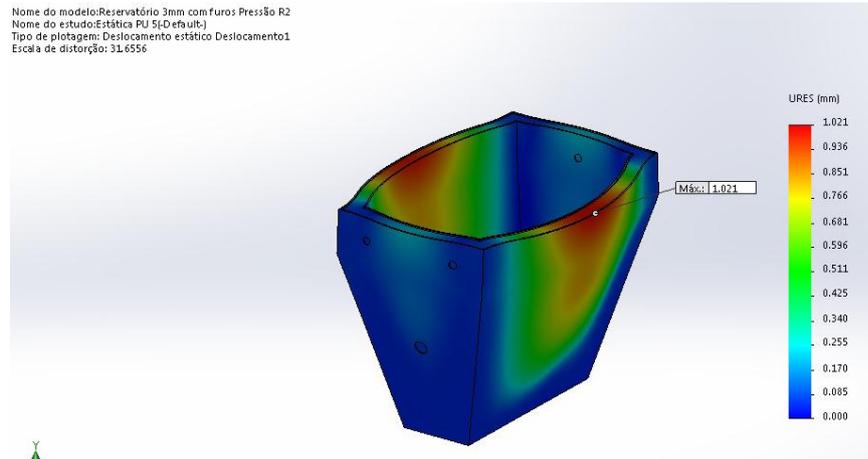


Figura 24: Deslocamento nas paredes do reservatório

Na Figura 24 nota-se que o reservatório possui um deslocamento de apenas 1,02 mm, não alterando assim a funcionalidade do mesmo.

4.1.3 Análise térmica do reservatório

A transferência de calor se dá do meio com maior temperatura para o de menor temperatura e encerra quando ambos alcançam a mesma temperatura. Quando um ou mais corpos estão em contato, eles transferem calor entre si por meio da condução, que é um dos modos de transferência de calor [31].

A condução é a transferência de energia das partículas mais agitadas para as menos agitadas de uma determinada substância por causa das interações entre partículas. Ela é proveniente da combinação das vibrações das moléculas, e a energia é transportada por meio de elétrons livres. A taxa de condução de calor depende da geometria, da espessura, do material e da diferença de temperatura a que o corpo está sujeito. Além disso, a taxa de condução de calor depende também do material isolante, pois quanto maior for o isolamento, menor será a perda de calor [31,32].

Realizou-se uma análise térmica da estrutura do reservatório com o intuito de se obter um melhor conhecimento sobre a propagação do calor por condução nas paredes do mesmo, além de se ter a confirmação de que a espuma de poliuretano não permitirá que o calor da massa seja dissipado para a parte externa do reservatório.

Com base no experimento realizado com o segundo aparato, foi obtido o tempo total de aproximadamente 1690 segundos para que toda a massa de cocada fosse injetada, através

desse dado, utilizou-se o programa SolidWorks 2014, com intuito de verificar a variação da temperatura entre as camadas

Adotou-se na análise térmica do reservatório que a massa de cocada não transfere calor para o ar comprimido, ela transfere calor apenas para as paredes do mesmo. Dessa forma, buscou-se analisar como ocorreu a variação de temperatura entre as paredes. Admitiram-se como condições de contorno que a face interna do reservatório se encontra a 120°C, de acordo com o experimento feito no primeiro protótipo, e as camadas consecutivas estão em temperatura ambiente de 28°C e na superfície do reservatório aplicou-se um coeficiente de convecção de 100 W/m²K a 28 °C, considerando que haja convecção no ambiente.

Antes de iniciar a simulação, a geometria do reservatório foi fracionada com intuito de acelerar o tempo de processamento do programa. Realizou-se uma análise de convergência para definir o tamanho de malha ideal para resolver o problema. Foram usados três tamanhos de malha sólida diferentes e através dos seus resultados um deles foi selecionado. A Tabela 12 apresenta os tamanhos de malha utilizados, a temperatura inicial e final da análise e a região em que essas temperaturas se encontram.

Tabela 12: Análise de convergência da malha do reservatório

Tamanho máximo e mínimo do elemento	Face interna		Face externa	
	T. inicial	T. final	T. inicial	T. final
25 mm e 20 mm	120°C	98,08°C	28°C	28,27°C
15 mm e 10 mm	120°C	98,27°C	28°C	28,17°C
12 mm e 9 mm	120°C	98,31°C	28°C	28,15°C

Através da Tabela 12 nota-se que conforme o tamanho de malha diminui, a temperatura da face interna aumenta e da face externa diminui. Portanto, a malha mais adequada para a realização da simulação é a que possui um tamanho máximo de elemento igual a 12 mm e mínimo igual a 9 mm, devido à convergência das temperaturas. A Figura 25 apresenta a configuração da malha sólida e a Figura 26 ilustra o resultado da análise em 1690 segundos.

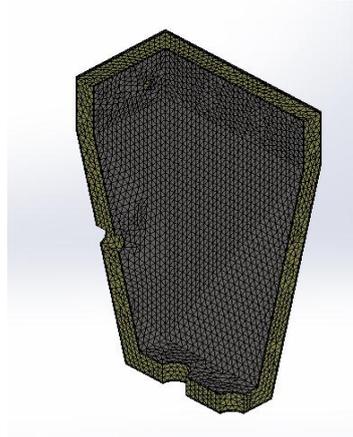


Figura 25: Malha sólida do reservatório

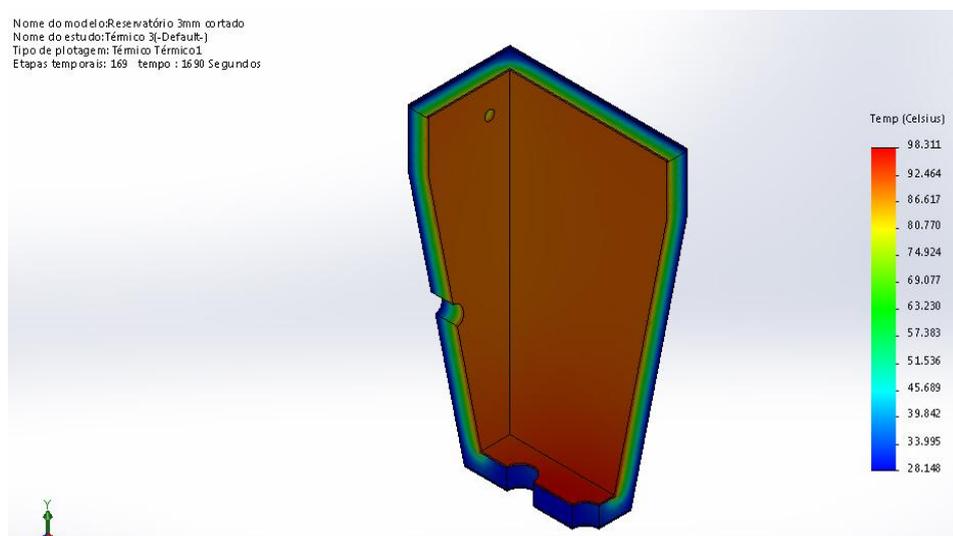
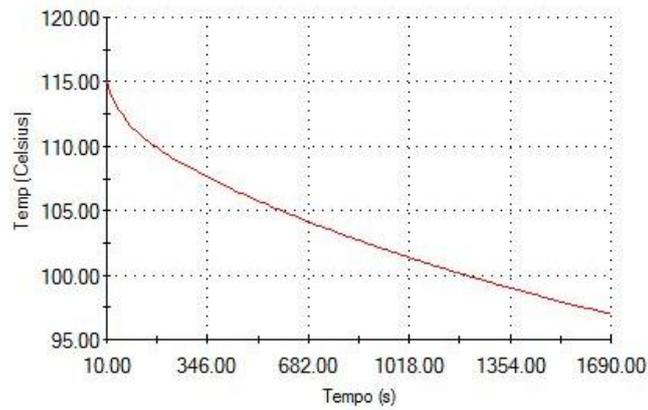


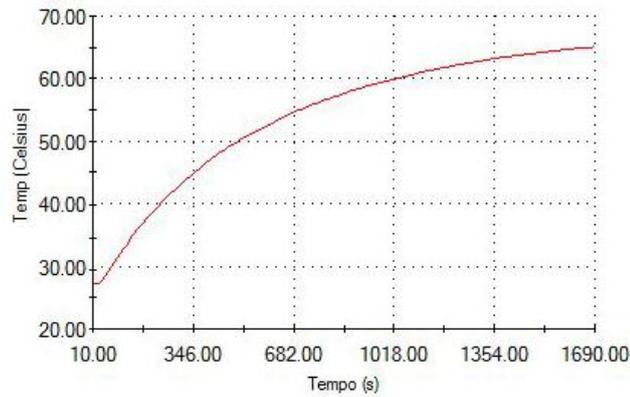
Figura 26: Resultado da análise térmica

A partir da Figura 26 foram gerados os seguintes gráficos para melhor ilustrar o decaimento da temperatura na parte interna do reservatório, desde o início do processo até o final do mesmo. O Gráfico 2 apresenta a diminuição da temperatura com o tempo, nota-se que em 1690 segundos a temperatura decaiu cerca 18,07% em relação à temperatura inicial. O Gráfico 3 mostra que a temperatura do PU, que estava em temperatura ambiente no início da simulação, aumentou devido o contato com a parede interna do reservatório. O Gráfico 4 apresenta uma pequena variação da temperatura na face externa do reservatório, como já era esperado devido ao isolamento de espuma rígida de poliuretano e a convecção do ar. O Gráfico 5 compara as variações de temperatura nas três regiões do reservatório, parede interna, PU e parede externa respectivamente.



Temperatura na parede interna do reservatório
 — Nó 27107

Gráfico 2: Análise da temperatura na face interna do reservatório



Temperatura no PU
 — Nó 50407

Gráfico 3: Análise da temperatura do PU

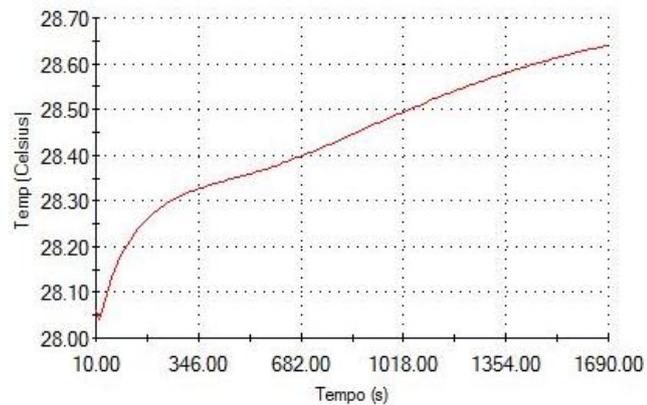


Gráfico 4: Análise da temperatura na face externa do reservatório

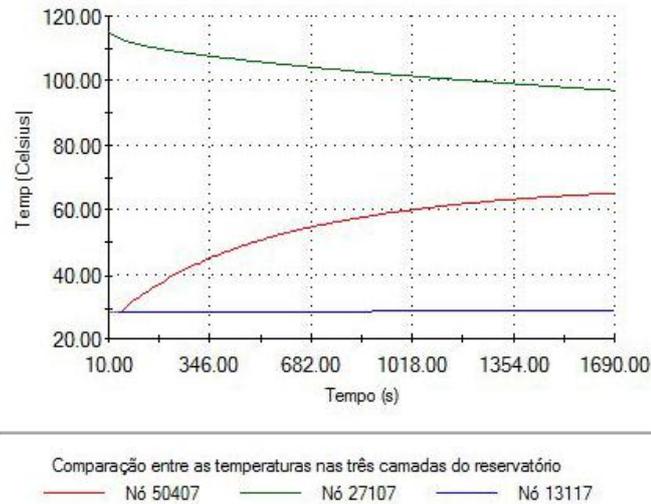


Gráfico 5: Análise da temperatura no interior, no isolamento e no exterior do reservatório

Através do Gráfico 5 é possível observar que parede interna teve uma diminuição em sua temperatura, porém o resultado da análise é satisfatório, pois a temperatura está acima de 95°C. Logo, a massa de cocada não terá perdido o ponto ideal. Além disso, observa-se que a temperatura da parede externa tende a entrar em equilíbrio com a temperatura ambiente, reforçando assim a eficiência da espuma de poliuretano.

4.2 Tampa do reservatório

A tampa do reservatório foi projetada seguindo a mesma estrutura do reservatório. Ela conta com parede externa e interna de aço inoxidável 316, apresentadas na Figura 27 e Figura 29, respectivamente, e um revestimento interno de espuma rígida de poliuretano, ilustrado na Figura 28, permitindo assim que a parte interna da tampa não troque calor com o meio externo. A tampa possui um puxador, apresentado na Figura 30, que permite a remoção da mesma no momento em que a massa de cocada for despejada no reservatório.

A geometria da tampa pode ser obtida através do corte, dobramento das chapas e da soldagem por eletrodo revestido para uni-las, de modo que tenha uma aparência final como ilustrado na Figura 31.

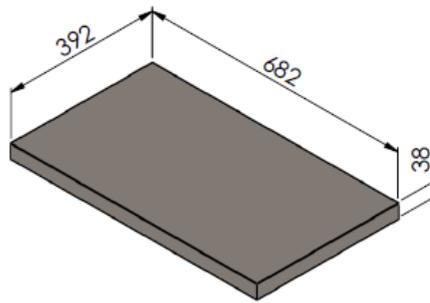


Figura 27: Dimensões da tampa externa em mm

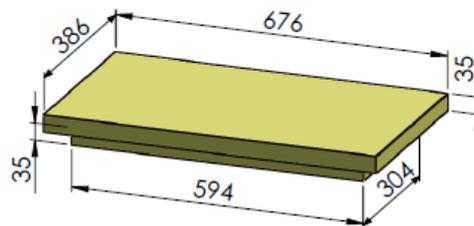


Figura 28: Dimensões da tampa de espuma rígida de poliuretano em mm

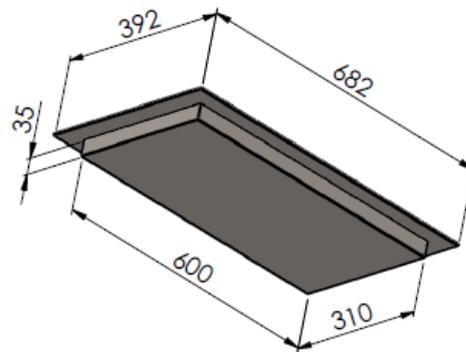


Figura 29: Dimensões da tampa interna em mm

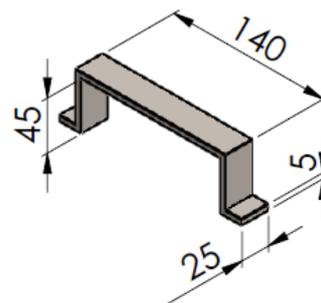


Figura 30: Dimensões do puxador da tampa do reservatório em mm

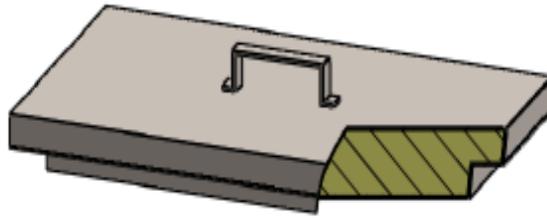


Figura 31: Tampa montada com uma seção de corte parcial

4.2.1 Dimensionamento da Tampa

A tampa do reservatório foi projetada para que tivesse um encaixe perfeito, de modo que isolasse termicamente todo o reservatório, para que não ocorresse a troca de calor com o meio. Além disso, a chapa interna de aço inox 316 foi elaborada para que resistisse a pressão aplicada pelo ar comprimido sem que o material viesse a falhar.

Portanto, foi realizada uma análise estática, utilizando o programa SolidWorks 2014, para verificar se a tampa suporta a pressão de 126 kPa aplicada pelo ar comprimido. A Figura 32 apresenta uma malha sólida que foi gerada com tamanho máximo de elemento igual a 10 mm e mínimo igual a 5 mm, em seguida, foi realizada a análise estática, que teve como resultado a Figura 33.

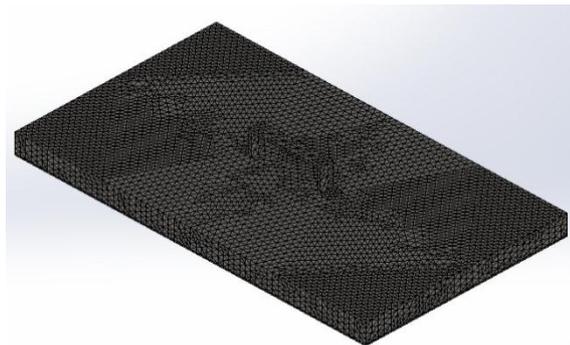


Figura 32: Malha sólida da tampa do reservatório

Para executar a análise estática da tampa do reservatório foram inseridas condições de contorno como: pequenas travas nas laterais da mesma, que serviram como apoio fixo e uma pressão de 126 kPa em toda a face interna da tampa. Deste modo, deu-se início a simulação

que resultou na Figura 33. As propriedades dos materiais utilizados na análise da tampa são os mesmos do reservatório, como apresentados na Tabela 10.

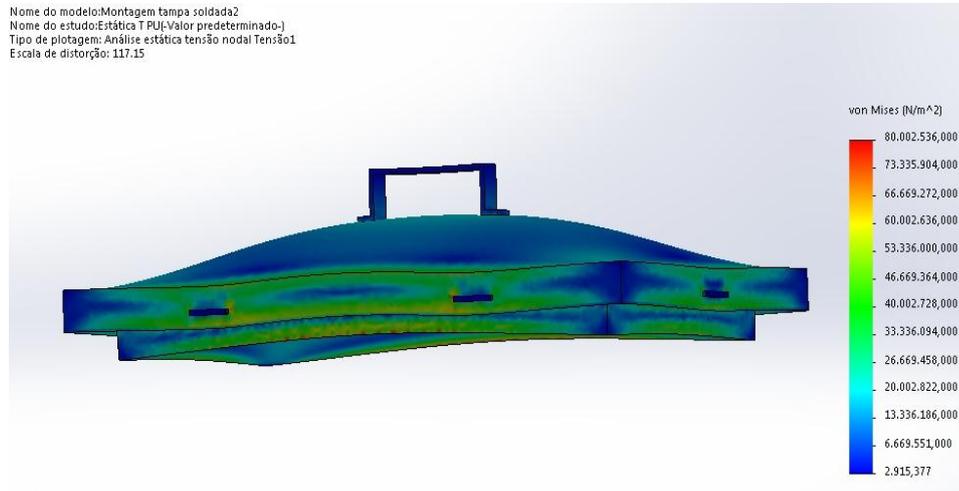


Figura 33: Análise estática da tampa do reservatório

Na Figura 34 podem-se observar as seções mais críticas da análise, porém nenhuma delas possui uma tensão alta o suficiente para fazer o material escoar. Fazendo com que assim a tampa resista à sollicitação aplicada.

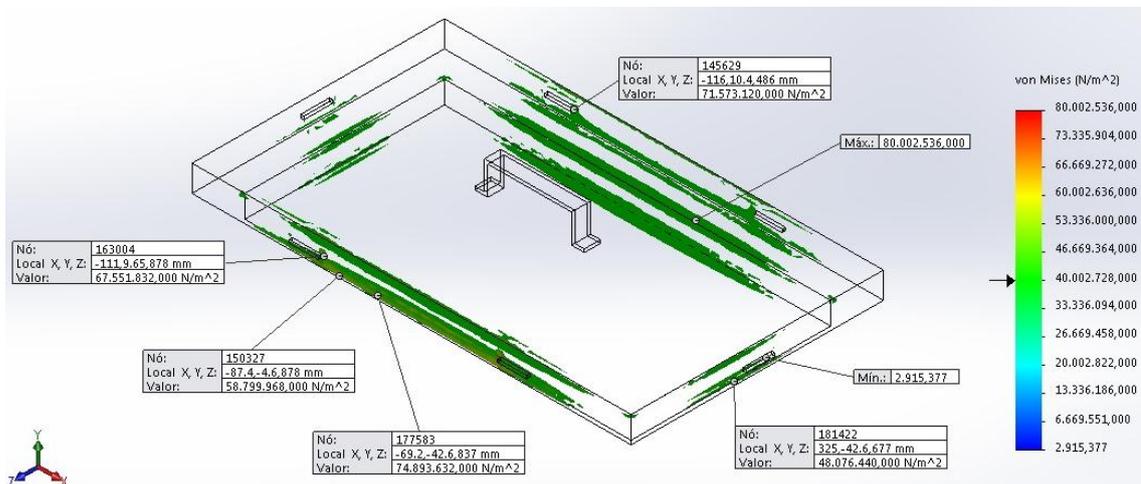


Figura 34: Regiões com maiores tensões na tampa do reservatório

A Figura 34 mostra que o material sofre uma tensão máxima de Von Mises de aproximadamente 80 MPa, esta tensão é menor do que a tensão de escoamento, que é aproximadamente 250 MPa. Sendo assim, o fator de segurança seria de aproximadamente 3, este é um valor esperado devido ao baixo valor da pressão aplicada sob a tampa.

Na Figura 35 podem-se observar pequenos deslocamentos causados pela deformação do material devido à aplicação da pressão. Esses deslocamentos são considerados nulos, pois são muito pequenos, não alterando a funcionalidade da tampa.

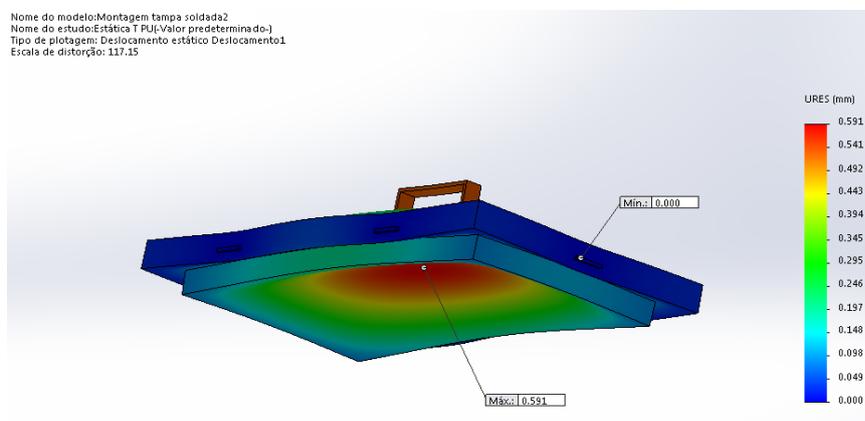


Figura 35: Deslocamentos provenientes da deformação do material

4.2.2 Análise térmica da tampa do reservatório

Assim como na análise do reservatório, foi realizada uma simulação na tampa, através do programa SolidWorks 2014, com intuito de verificar a variação da temperatura entre as camadas num instante de 1690 segundos.

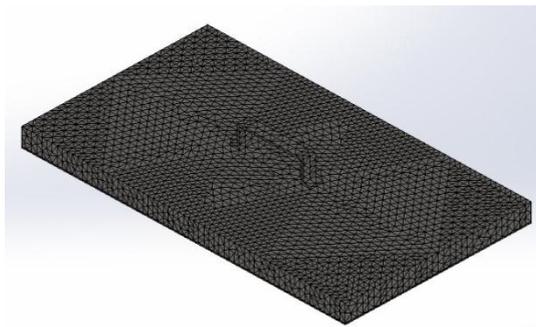
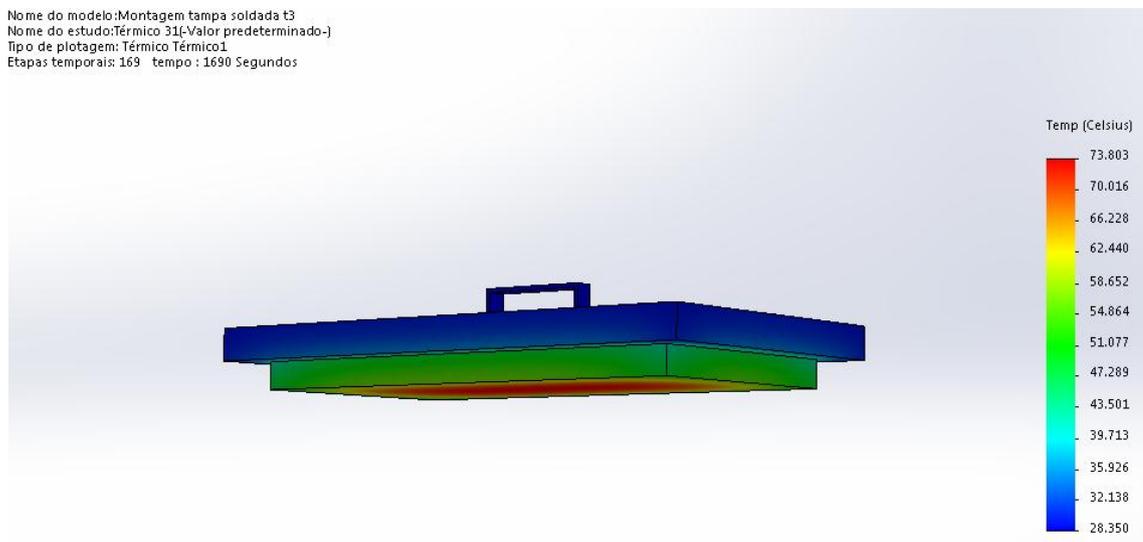
Admitiu-se como condições de contorno que a face interna da tampa do reservatório se encontra a 95°C e as camadas consecutivas estão em temperatura ambiente de 28°C e na superfície da tampa aplicou-se um coeficiente de convecção de 100 W/m²K a 28°C, considerando que haja convecção no ambiente.

Antes de dar início a simulação, realizou-se uma análise de convergência para definir o tamanho de malha ideal para resolver o problema. Foram usados três tamanhos de malha sólida diferentes e através dos seus resultados um deles foi selecionado. A Tabela 13 apresenta os tamanhos de malha utilizados, a temperatura inicial e final da análise e a região em que essas temperaturas se encontram.

Tabela 13: Análise de convergência da malha tampa do reservatório

Tamanho máximo e mínimo do elemento	Face interna		Face externa	
	T. inicial	T. final	T. inicial	T. final
30 mm e 20 mm	95°C	73,66°C	28°C	28,38°C
25 mm e 20 mm	95°C	73,69°C	28°C	28,37°C
15 mm e 10 mm	95°C	73,80°C	28°C	28,35°C

Através da Tabela 13 nota-se que conforme o tamanho de malha diminui a temperatura da face interna aumenta e da face externa diminui. Portanto, a malha mais adequada para a realização da simulação é a que possui um tamanho máximo de elemento igual a 15 mm e mínimo igual a 10 mm, como mostra a Figura 36. A execução da análise da transferência de calor em 1690 segundos, teve como resultado a Figura 37.

**Figura 36:** Malha sólida da tampa do reservatório**Figura 37:** Resultado da análise térmica da tampa do reservatório

A partir da Figura 37 foram gerados os seguintes gráficos para melhor ilustrar o decaimento da temperatura na parte interna da tampa, desde o início do processo até o final do mesmo. O Gráfico 6 apresenta a diminuição da temperatura com o tempo, nota-se que em 1690 segundos a temperatura decaiu cerca 22,3% em relação à temperatura inicial. O Gráfico 7 mostra que a temperatura do PU, que estava em temperatura ambiente no início da simulação, aumentou devido o contato com a parede interna da tampa. O Gráfico 8 apresenta uma pequena variação da temperatura na face externa da tampa, como já era esperado devido ao isolamento de espuma rígida de poliuretano e a convecção. O Gráfico 9 compara as variações de temperatura nas três regiões da tampa, parede interna, PU e parede externa respectivamente.

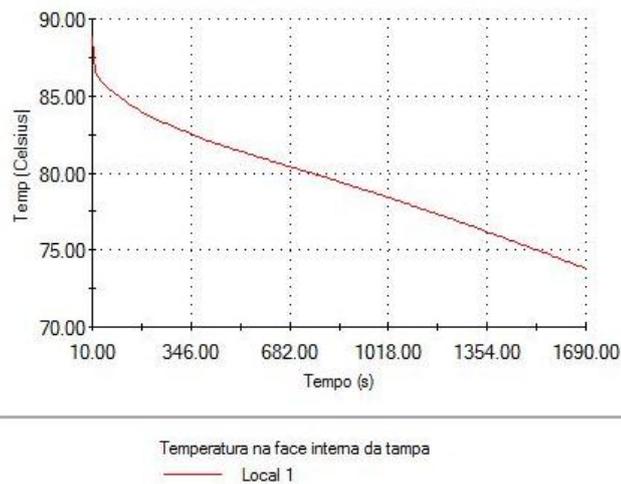


Gráfico 6: Análise da temperatura na face interna da tampa

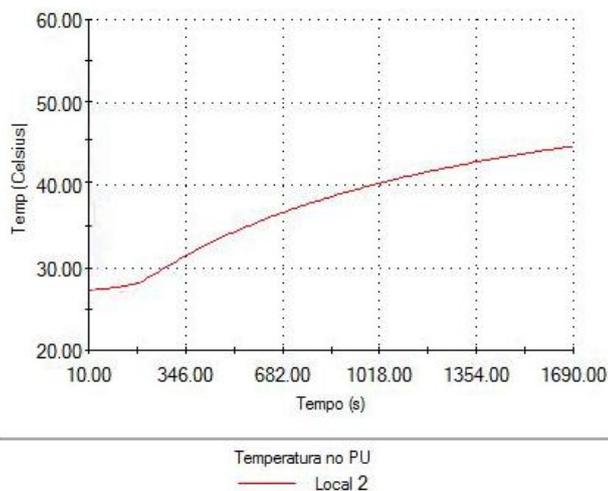


Gráfico 7: Análise da temperatura no PU

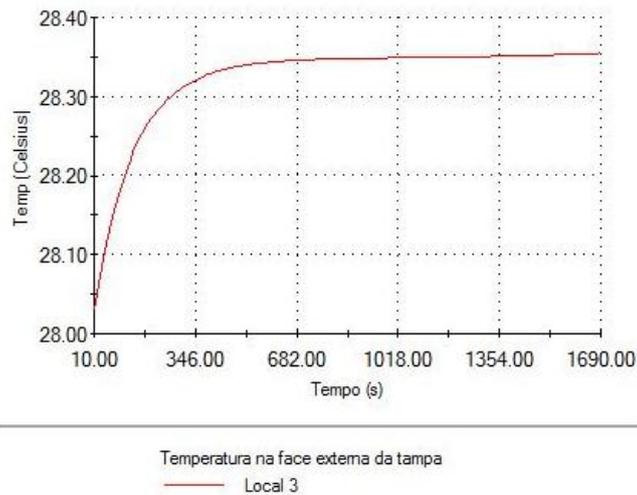


Gráfico 8: Análise da temperatura na face externa da tampa

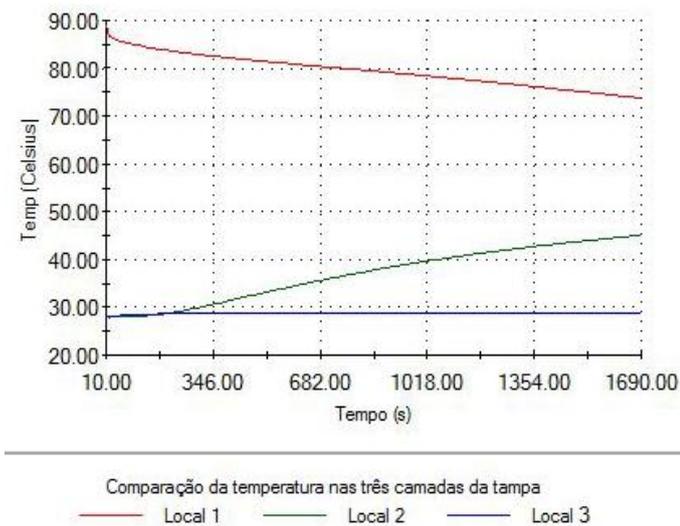


Gráfico 9: Análise da temperatura no interior, no isolamento e no exterior da tampa

Pode-se observar que em 1690 segundos a temperatura da face externa da tampa aumentou cerca de 1,25%, logo, a espuma rígida de poliuretano é eficiente em virtude do seu baixo coeficiente de condutividade térmica.

4.2.3 Dimensionamento do cordão de solda

Para unir as chapas interna e externa da tampa do reservatório foi utilizado um processo de soldagem. Ele permite unir duas partes metálicas de forma permanente,

proporcionando uma forte aderência mecânica. Essa união é realizada a partir de uma fonte de calor, utilizando ou não a pressão. Este processo requer uma série de cuidados: controle das transformações de fase nas juntas; remoção de resíduos que estão na superfície dos materiais; e evitar o contato do material aquecido com o ar atmosférico [33].

Neste processo pode-se utilizar o eletrodo revestido para depositar o metal de solda no chanfro, pois ele possui um baixo custo, é mais versátil e de simples operação. Além disso, ele possui revestimentos que isolam a alma de aço do eletrodo, estabilizam e direcionam a corrente do arco elétrico, protegem o metal de solda do oxigênio e nitrogênio contidos no ar atmosférico e adicionam elementos de liga [34].

Para unir as duas chapas foi selecionado um tipo de solda com chanfro reto em decorrência da estreita espessura. A junta de aresta, nome dado a uma seção transversal nos quais os componentes formam entre si um ângulo entre 0° e 30° [35], foi soldada com eletrodo revestido para aços inoxidáveis 316 da empresa ESAB referência OK 63.34, que possui resistência à tração igual a 600 MPa e ao escoamento igual a 440 MPa [36].

O dimensionamento da solda de aresta foi baseado na NBR 8800 [37] para soldas de penetração parcial e total, pois não há uma regra específica para o tipo de solda utilizado. Portanto, considera-se:

- A espessura da garganta efetiva igual à menor das espessuras das partes soldadas;
- O comprimento efetivo igual ao seu comprimento real;
- A área efetiva da solda como produto do comprimento efetivo pela espessura da garganta efetiva.

Através da Figura 27 verifica-se que os comprimentos efetivos são iguais a 682 mm para as laterais maiores e 392 mm para as laterais menores, e por meio da Tabela 14 verifica-se que a espessura da garganta efetiva é igual a 3 mm. Sendo assim, nota-se que o metal de solda resistirá, pois, a sua resistência é mais elevada do que a do metal de base. Ademais, considera-se que o metal de solda não terá um carregamento considerável, pois a sua função é unir a chapa externa com a interna da tampa.

Tabela 14: Espessura mínima da garganta efetiva de uma solda de penetração parcial [37].

Menor espessura do metal base na junta (mm)	Espessura mínima da garganta efetiva (mm)
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5

Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19 até 37,5	8
Acima de 37,5 até 57	10
Acima de 57 até 152	13
Acima de 152	16

Após a soldagem é recomendável que a superfície seja tratada, de modo a impedir que o material depositado oxide quando exposto ao ar atmosférico. Portanto recomenda-se que a superfície da solda seja submetida a uma limpeza mecânica, esta pode ser realizada através do esmerilhamento. Este retira o óxido e uma fina camada pobre de cromo, e se for feito de forma suave a resistência a corrosão será maior [36].

4.2.4 Acessórios da tampa do reservatório

A tampa do reservatório conta com dois acessórios: puxador e trincos. Eles foram selecionados através de catálogos, e são responsáveis por remover e fixar a tampa, respectivamente.

4.2.4.1 Puxador

O puxador possui a função de auxiliar a remoção da tampa para que a massa de cocada seja despejada no reservatório. Este foi selecionado através do site Direct Industry [38], como apresentado pela Figura 38. A sua fixação na tampa será realizada através dos rebites, que foram dimensionados no tópico 4.2.4.3.

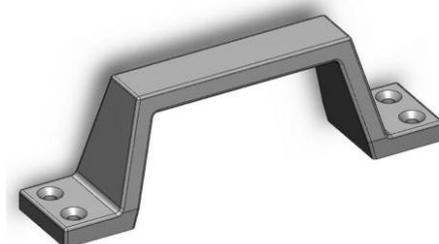


Figura 38: Modelo ilustrativo de um puxador [38]

4.2.4.2 Trincos

Para a fixação da tampa no reservatório será utilizada uma associação de dois trincos nas duas laterais maiores do mesmo e dois trincos posicionados nas laterais menores, um trinco em cada, totalizando seis trincos, de forma que permita o correto travamento da tampa, a fim de que a mesma não seja arremessada, devido à pressão do ar comprimido. A Figura 39 ilustra o modelo do trinco selecionado.



Figura 39: Imagem ilustrativa de um trinco [39]

A solicitação presente nas hastes do trinco é gerada pela pressão exercida pelo ar comprimido na face interna da tampa. Carregamento esse em que o esforço submetido ao componente é oriundo de uma solicitação de tração [27]. A Figura 40 representa um exemplo de solicitação em que o pino está submetido a um carregamento trativo F_t .



Figura 40: Componente submetido à tração [27]

O dimensionamento das hastes do trinco é realizado através da análise das tensões geradas pelo carregamento e tensão admissível do material. O material utilizado no projeto das hastes do trinco foi o Aço SAE 1020 com limite de escoamento de 345 MPa [40].

O trinco deve suportar uma solicitação que retrate um caso de falha da válvula de segurança simultaneamente a uma elevação súbita da pressão interna do reservatório. Como parâmetro de pressão adotada foi selecionada uma pressão de 200 kPa como referência,

pressão essa que está disponível em compressores de pequeno porte e muito acima da pressão máxima de trabalho de 126,4 kPa que a máquina opera.

A pressão de 200 kPa será aplicada na face interna da tampa, que tem uma área de 0,186 m², multiplicando-se a pressão pela área obtém-se a força aplicada na tampa de 37,2 kN.

A força de tração F_t aplicada à haste, a fim de dimensionar seu diâmetro mínimo, deverá ser dividida pelo número de hastes aplicadas, duas hastes por trinco, totalizando doze hastes e uma força de tração de 3,1 kN.

A tensão admissível da haste é determinada dividindo-se a tensão limite de escoamento do material pelo coeficiente de segurança adotado, obtendo-se assim 313,6 MPa de tensão admissível para 1,1 de limite de segurança.

A área mínima da haste para resistir à tensão aplicada é determinada dividindo-se a força de tração pela tensão admissível, obtendo-se assim 9,88 mm², sendo assim, o diâmetro mínimo da haste é de 3,5 mm. Selecionou-se o modelo FC 4000 [41].

Dimensionamento dos rebites do puxador e dos trincos

Os rebites aplicados para fixar os trincos na tampa e nas laterais do reservatório sofrem com carregamento de cisalhamento puro, este carregamento não é oriundo de uma solicitação de flexão [27]. A Figura 41 representa um exemplo de solicitação em que um pino está submetido a cisalhamento puro, sendo assim ele não apresenta folga entre as chapas B e C.

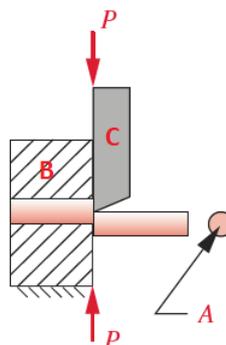


Figura 41: Cisalhamento puro
Adaptado do livro Resistência dos Materiais [27]

Assumindo a condição de cisalhamento puro é possível determinar a tensão média presente no rebite através da Equação 4, onde T_c representa a tensão de cisalhamento, F a carga aplicada e S a área de cisalhamento sendo cortada.

$$T_c = \frac{F}{S} \quad (4)$$

A tensão admissível τ_{adm} é determinada através da tensão limite de escoamento do material, dividida pelo coeficiente de segurança FS adotado, como mostra a Equação 5.

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_e}{FS} \quad (5)$$

A área de cisalhamento S é determinada através da Equação 6, onde D é o diâmetro do rebite cisalhado.

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (6)$$

No projeto foi considerado que cada trinco contém 4 rebites de fixação, para efetuar o cálculo da área sujeita ao cisalhamento e conseqüentemente seu diâmetro mínimo. O material utilizado no projeto do rebite foi o aço inoxidável 304 com limite de escoamento de 196 MPa [42].

Através da Equação 7 é possível obter a tensão de cisalhamento em cada rebite, onde n representa o número de rebites.

$$T_c = \frac{F}{S n} \quad (7)$$

Adotando um fator de segurança igual a 1,5 é possível determinar através da Equação 5 a tensão admissível do material igual a 130,67 MPa. A carga aplicada nos rebites é causada pela pressão exercida pelo ar comprimido na face interna da tampa. Carregamento esse em que o esforço submetido ao componente é oriundo de uma solicitação de cisalhamento. A força F de 37,2 kN é dividida pela área total de todos os rebites sujeitos a esse carregamento, sendo assim n é igual a 24 rebites, gerando assim uma força de 1,55 kN em cada rebite.

Através da Equação 6 determina-se a área mínima do rebite com base na força aplicada em cada rebite dividida pela tensão em cada rebite, área essa que é igual a 11,86

mm², sendo assim o diâmetro mínimo de cada rebite é de 3,89 mm. Portanto, selecionou-se para o projeto os rebites do catálogo de rebites da Macrosul [43] com o código 3354010 mostrado no Anexo F.

A determinação do diâmetro mínimo dos rebites necessários para fixar o puxador da tampa do reservatório é realizada da mesma forma. A força aplicada nos rebites da tampa é originada através do cálculo da força peso da tampa do reservatório, sendo a mesma distribuída pelos 4 rebites necessários para garantir a correta fixação do puxador.

A força de 165,84 N é dividida pelos 4 rebites presentes no puxador da tampa, sendo assim cada rebite está sujeito a 41,46 N. Através da Equação 6 determina-se a área mínima do rebite com base na força aplicada em cada rebite dividida pela tensão em cada rebite, área essa que é igual a 0,317 mm², sendo assim o diâmetro mínimo de cada rebite é de 0,63 mm. Portanto, selecionou-se para o projeto os rebites do catálogo de rebites da Macrosul [43] com o código 3353210 mostrado no Anexo F.

4.2.4.3 Borracha de vedação

A tampa do reservatório é submetida a uma pressão interna proveniente da pressurização pelo ar comprimido. Sendo assim, a tampa precisa contar com uma borracha de vedação que consiga impedir que o ar comprimido escape para o lado exterior do reservatório. Selecionou-se uma borracha de vedação do tipo esponjoso devido a sua capacidade de resistir a altas temperaturas podendo chegar até 250°C sem perder suas características [44].



Figura 42: Borracha de vedação da tampa [44]

A borracha selecionada possui a geometria ilustrada pela Figura 42, ela conta com 20 mm de largura e 8 mm de altura. A fixação da borracha à tampa de aço inox será realizada

com a aplicação de um adesivo flexível de policloropreno. Este adesivo tem aplicação na indústria em geral, como por exemplo, em vedações de portas de veículos. Portanto, selecionou-se o adesivo GMK 2410 da marca Weicon GmbH, o qual apresenta cura rápida e flexibilidade permanente [45].

4.3 Misturador

Neste trabalho o misturador terá um papel de extrema importância, ele permitirá que a massa de cocada fique sempre homogênea, evitando a separação do coco com o açúcar derretido.

Para misturar a massa de cocada o misturador deve possuir uma baixa velocidade angular, somente para garantir a movimentação da massa. Sendo assim, o projeto teve como base a velocidade angular de uma batadeira convencional em baixa rotação.

4.3.1 Componentes do misturador

O misturador conta com um eixo de transmissão dividido ao meio, dois acoplamentos do tipo mandíbula, pás, mancais e um motoredutor. Além disso, em cada lateral onde o eixo está fixado há dois selos mecânicos que impedem vazamento da massa de cocada e do ar.

4.3.1.1 Pás

As pás têm como objetivo auxiliar na mistura da massa de cocada. Sua configuração plana foi adotada, pois fornece um fluxo radial adequado para agitação do fluido viscoso [46].

O projeto conta com 4 pás de aço inoxidável 316 que são soldadas em cada eixo. A Figura 43 apresenta as dimensões das pás e a Figura 44 ilustra uma parte do eixo com as pás.

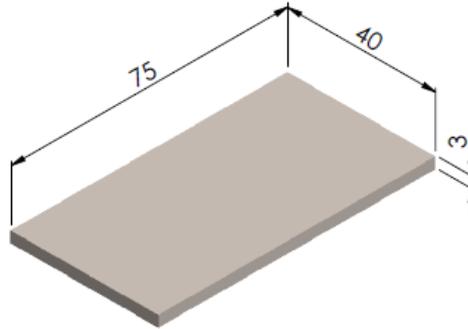


Figura 43: Dimensões de uma das pás em mm

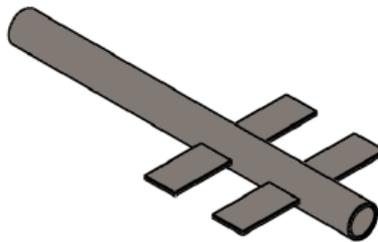


Figura 44: Metade do eixo com as pás

Para unir as pás ao eixo foi utilizado um processo de soldagem com soldas do tipo filete. O eletrodo revestido foi selecionado através da Apostila de Eletrodos Inoxidáveis da ESAB com referência OK 63.34, que possui resistência à tração igual a 600 MPa e ao escoamento igual a 440 MPa [36]. O tamanho da perna de filete foi selecionado de acordo com a NBR 8800 [37].

Para o dimensionamento do cordão de solda admitiu-se que as juntas soldadas sofrem flexão proveniente da força resultante de 7,41 N. A partir desse carregamento foi encontrada uma reação de força cortante V e uma reação de momento M [47]. Com essas reações foi possível conhecer a tensão de cisalhamento primário τ' e a tensão normal de flexão σ , como ilustra a Equação 8 e 9.

$$\tau' = \frac{V}{A_g} \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{M c}{I} \quad (9)$$

No qual, A_g equivale à área da garganta de solda, c é a metade da distância vertical entre os cordões de solda e I é o segundo momento de área, conforme a área da garganta de solda.

Através da combinação entre os componentes de tensão σ , τ e o digrama do círculo de Mohr encontrou-se a tensão máxima de cisalhamento, que permitiu determinar os fatores de segurança das soldas [48]. Estes foram superiores a 3, portanto, os cordões de solda suportarão as solicitações sem falhar.

4.3.1.2 Eixo

Segundo NORTON [29], os eixos de transmissão são empregados para transmitir o movimento de rotação e torque de uma posição para outra, tendo como dispositivo de comando um motor elétrico. Eles podem ser livres, mas ficam conectados a um outro eixo através de um acoplamento e podem ser montados em mancais.

Como a geometria do reservatório é trapezoidal, verificou-se a necessidade de dividir o eixo em duas partes, de forma a facilitar a manutenção. Projetaram-se dois eixos de aço inoxidável 316 tubulares com diâmetro externo igual a 25,4 mm e interno igual a 19,4 mm. Para que haja a união entre os eixos foi necessário utilizar um acoplamento, como ilustrado na Figura 45, a fim de permitir a transmissão do torque.

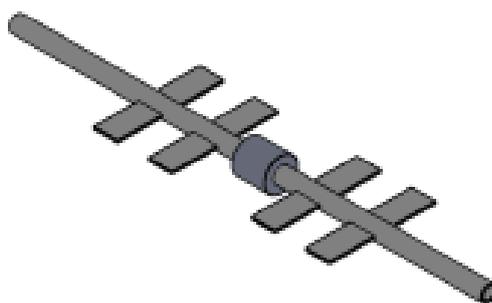


Figura 45: Eixos unidos por um acoplador

Dimensionamento do eixo

Para encontrar o torque máximo gerado pelas pás, deve-se levar em consideração a viscosidade da massa de cocada, mas devido à ausência dessa informação considerou-se

volume de massa que está sobre elas, de modo que, para gerarem um torque as mesmas deverão deslocar todo o volume. Este foi calculado através da área superficial A da pá multiplicada pela profundidade h da massa, desde a superfície até a face superior da pá, como mostra a Equação 10.

$$v = Ah \quad (10)$$

Como a área da superfície da pá é igual a $0,003 \text{ m}^2$ e a profundidade é igual aproximadamente $0,200 \text{ m}$, o volume é $0,000601 \text{ m}^3$.

A partir desse volume foi possível encontrar o valor da força resultante R que atua sobre a superfície de cada pá, como mostra a Figura 46.

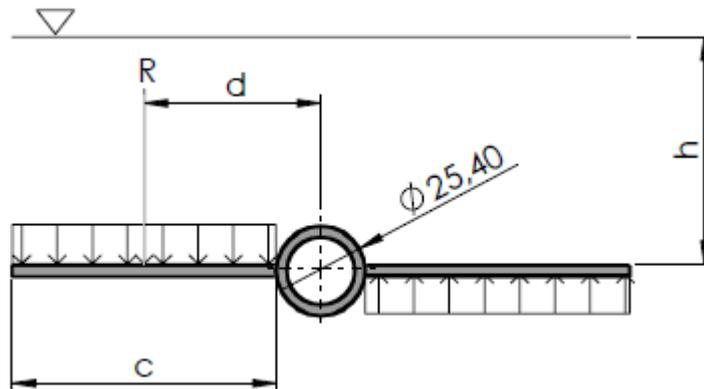


Figura 46: Força atuante na superfície das pás

A força resultante foi calculada através da multiplicação do volume pelo peso específico da massa de cocada e pela gravidade, que resultou em $7,41 \text{ N}$. Com base nesse valor o torque nas quatro pás foi encontrado, de acordo com a Equação 11.

$$T = 4Rd \quad (11)$$

Onde, R é a força resultante e d é a distância entre o centro da pá e o centro do eixo, que é igual a $0,0502 \text{ m}$. Sendo assim, o torque produzido pelas quatro pás é igual a $1,49 \text{ N.m}$, e o torque máximo gerado pelos dois conjuntos de pás é aproximadamente 3 N.m .

Utilizando o programa SolidWorks, realizou-se uma análise estática do eixo montado com as pás, a fim de simular o movimento que essas realizam quando submetidas a um carregamento. Como condições de contorno, foi adicionada uma força uniforme de $7,41 \text{ N}$ em

cada pá e uma das extremidades do eixo ficou fixa de modo a limitar o movimento como se fosse o motor e a outra ficou livre. Sendo assim, a Figura 47 ilustra o resultado das solicitações no eixo e a Figura 48 apresenta o deslocamento.

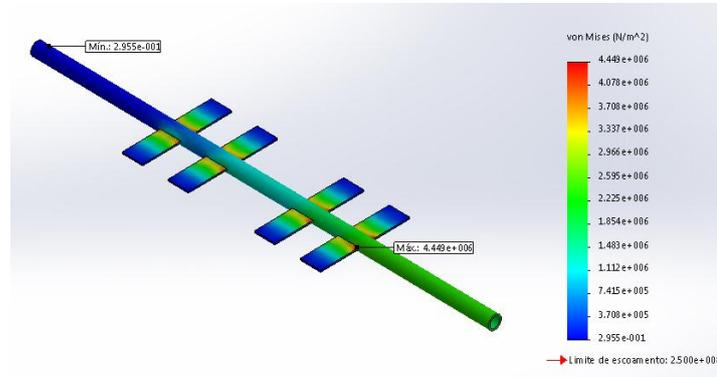


Figura 47: Análise estática do eixo

A Figura 47 mostra a análise em que o eixo e as pás foram submetidos, pode-se observar que em decorrências do baixo carregamento, as tensões atuantes também foram baixas, nota-se que as tensões são maiores quando estão próximas da união entre o eixo e as pás, em decorrência da reação exercida por elas.

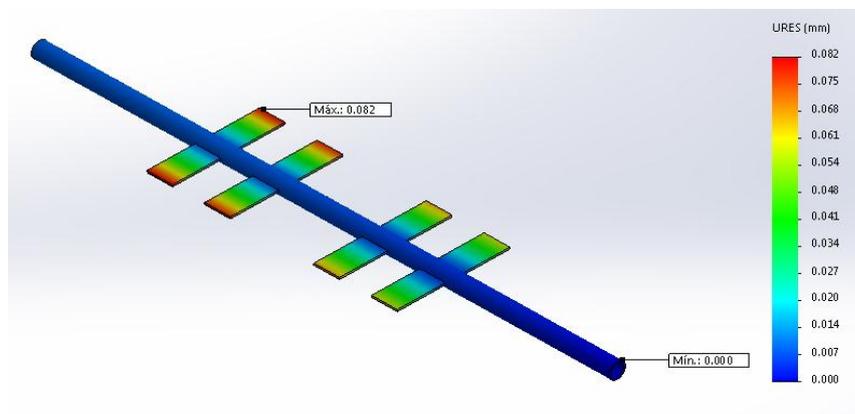


Figura 48: Deslocamentos sofridos pelo eixo e pelas pás

Através da Figura 48 observar-se que quanto mais afastadas as pás se localizam em relação ao motoredutor, maiores são os deslocamentos presentes em suas extremidades.

4.3.1.3 Motoredutor

Em consequência da baixa velocidade angular exigida para manter a massa homogênea selecionou-se, em um primeiro momento, um motor elétrico, porém este possuía rotações muito elevadas, cerca de 1750 rpm, procurou-se, posteriormente, um redutor com intuito de diminuir a rotação de saída para 60 rpm. Mas ao invés de selecionar um motor e um redutor, selecionou-se um motoredutor devido a sua simplicidade e praticidade.

O motoredutor é um equipamento construído a partir de um motor elétrico e um redutor de velocidade num único conjunto sistemático. Seu objetivo é fornecer um movimento de rotação com um torque elevado. O motor que compõe um motoredutor tende a ser mais econômico, com baixa potência, mas em contrapartida ele gera uma grande força motriz ao sistema [49].

Para calcular a potência que o motoredutor transmitirá ao eixo a Equação 12 foi utilizada.

$$P_t = T_{m\acute{a}x}\omega \quad (12)$$

Onde P_t é potência, $T_{m\acute{a}x}$ é o torque máximo e ω é a velocidade angular do eixo. Considerando que $T_{m\acute{a}x}$ é aproximadamente 3 N.m, e a rotação do eixo da máquina é 60 rpm (6,28 rad/s). Portanto, a potência que o motor deverá transmitir ao eixo é de 18,7 Watts.

Requisitos para a seleção do motoredutor de acordo com o Catálogo Magmax [50]:

- Fixação do motoredutor através de pés;
- Eixo de saída integral;
- Posição P2 de trabalho;
- Posição C da caixa de ligação;
- Posição 1 de entrada dos cabos do motor;
- Características de operação do motoredutor:
 - Potência necessária de acionamento: 0,01870 kW
 - Rotação desejada: 60 rpm
 - Fator de serviço de acordo com a carga e tempo de funcionamento: 1,25

O motoredutor foi selecionado através da adequação dos dados conhecidos com os modelos fornecidos pelo Catálogo Magmax [50] pág. 13. O modelo que mais se aproxima com o que é esperado é o G51229. Ele possui uma potência de motor igual a 0,12 kW, um redutor com tamanho igual a 51, uma rotação de saída de 60,8 rpm, e um fator de serviço de

7,37. Dessa forma, o modelo selecionado foi G51229NA00BAW, no qual, G51229 refere-se ao redutor, NA00 refere-se à execução (posicionamento) e BAW refere-se ao motor.

4.3.1.4 Acoplamento

Acoplamentos são elementos de transmissão mecânica que têm como principal função promover a transmissão do torque, oriundo de um motor elétrico ou motor a combustão. Eles podem ser utilizados para diversos fins, como: unir dois eixos, absorver impactos, transmitir torque, absorver vibrações, compensar desalinhamentos, não forçar os rolamentos dos motores e possibilitar a manutenção nos eixos individualmente [51].

Os acoplamentos podem ser divididos em duas categorias: complacentes ou rígidos. Os acoplamentos complacentes podem absorver algum desalinhamento entre os dois eixos, e os rígidos não permitem nenhum desalinhamento entre os eixos [29].

Para acoplar os dois eixos do reservatório selecionou-se um acoplamento de mandíbula, devido a sua facilidade na manutenção. Ele possui dois cubos com mandíbulas, estas se sobrepõem axialmente e se entrelaçam torcionalmente por meio de um separador complacente que pode ser de borracha ou material metálico macio. As folgas proporcionam desalinhamento axial, angular e paralelo [29].

A seleção do acoplamento deve atender alguns requisitos:

- Sem lubrificação;
- Fácil manutenção;
- Componentes do cubo de aço inoxidável;
- Material de inserto resistente à temperatura de 120°C.

Através do Catálogo de Acoplamentos para Produtos Industriais da Regal [52], selecionou-se o acoplamento do tipo mandíbula. Ele não é lubrificável, seus cubos podem ser de aço inoxidável ou alumínio e possui um inserto de material plástico flexível (Hytrel), que suporta temperaturas até 121°C. A Figura 49 apresenta um acoplamento do tipo mandíbula.

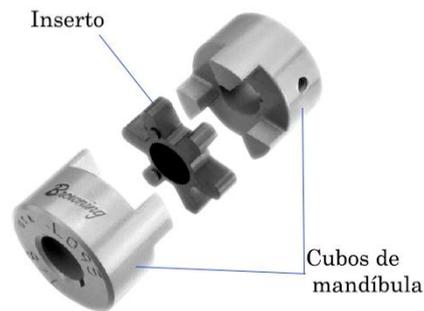


Figura 49: Acoplamento do tipo mandíbula
Adaptado do catálogo de acoplamentos [52]

De acordo com o Catálogo de Acoplamentos [52], para a seleção do mesmo é necessário:

- Determinar o fator de serviço
Agitador com carga irregular de “classe U”, com operação de aproximadamente 10 horas por dia, o fator de serviço é 1 1/2.
- Determinar a potência do projeto
A potência do projeto é multiplicação da potência de saída do motoredutor, igual a 0,16 HP, pelo fator de serviço 1 1/2.
- Selecionar o acoplamento
Inserto Hytrel com resistência à temperaturas entre -51°C a 121°C. Diâmetro máximo igual a 25,4 mm.

Portanto, para montar o acoplamento é necessário, um inserto L090H e dois cubos L090x1.

De acordo com as baixas solicitações o mesmo acoplamento foi selecionado para unir o eixo do motoredutor ao eixo do misturador.

4.3.1.5 Selo mecânico

O selo mecânico tem a função de manter a estanqueidade de um sistema a fim de impedir vazamentos, podendo ser aplicado em superfícies rotativas ou estáticas e com alta confiabilidade [53].

Selecionou-se um selo mecânico de aço inox 316 com 24,5 mm de diâmetro interno e 31,75 mm de diâmetro externo. Ele conta com vedação de borra de Etileno-Propileno-Dieno, no Catálogo de Selos Mecânicos da Empresa Ultra Seal [54].



Figura 50: Imagem ilustrativa de um selo mecânico [54]

4.3.1.6 Mancais

Os mancais são elementos de máquinas que atuam como apoios fixos aos eixos. Eles geralmente possuem uma estrutura de ferro fundido ou aço, que possui o casquilho, no interior do qual o eixo gira [55]. A função dos mancais é posicionar um eixo em relação a outro. De outro modo, eles são elementos que se destinam a assegurar a rotação entre duas superfícies, com pequeno nível de atrito. Além disso, eles são designados para sustentar as solicitações de rotação e peso de eixos [56].

Existem dos tipos de mancais:

- Deslizamento

Normalmente, são utilizados em máquinas com maior peso e em equipamentos que possuem baixa rotação, de modo a garantir que a baixa velocidade impeça superaquecimento dos componentes sujeitos ao atrito [57]. São compostos de uma bucha fixada em um suporte. Se respeitados os ciclos de limpeza, lubrificação e alinhamento eles podem ter uma longa vida útil. Além disso, são simples de montar e desmontar [55].

- Rolamento

São utilizados em equipamentos que possuem alta rotação e baixo atrito. Eles são compostos de dois anéis concêntricos e entre eles são posicionados elementos rolantes, como roletes, esferas ou agulhas [57].

Através das características do projeto selecionou-se um rolamento para ser acoplado ao eixo, características essas como: diâmetro do eixo, velocidade de rotação, carga aplicada e

uma vida esperada de 20000 horas de trabalho. O eixo de 25,4 mm rotaciona a 60 rotações por minuto, as cargas em que mancal está sujeito são apenas de origem radial decorrentes do peso próprio do eixo e a carga distribuída sobre o eixo aplicada pela massa de cocada.

A análise de cargas aplicadas ao mancal possibilita a determinação das reações de carga presentes nos mancais, o mancal mais próximo ao motoredutor está sujeito maior carregamento pela sua proximidade da maior força aplicada ao eixo.

Utilizou-se a Equação 13 de equilíbrio de forças e a Equação 14 para equilíbrio de momentos a fim de determinar as reações atuantes em cada mancal.

$$\sum F = 0 \quad (13)$$

$$\sum M_0 = 0 \quad (14)$$

Selecionou-se no catálogo rolamentos de fixação rápida [58] um rolamento, através do cálculo da carga dinâmica de aproximadamente 185 N para o rolamento mais próximo do motoredutor e o mais afastado de aproximadamente 166 N, rolamento esse que é compatível com eixos de até 25,4 mm, suporta até 900 rotações por minuto sem sofrer desgaste prematuro. O modelo selecionado é o RAS 25 Série 300 (H9), com vedação TSNH-A que conta com um anel metálico anticorrosivo para vedação.

4.4 Tubo de descida

Através do tubo de descida a cocada chegará até os bicos injetores, dessa forma o tubo de descida será responsável por limitar a passagem da cocada por meio de uma válvula de bloqueio que conta com acionamento através de um solenóide.

Os tubos de descida são de aço inoxidável 316, eles estão soldados nos furos na parte inferior do reservatório, nas caixas de injeção e na ligação entre a válvula solenoide e o tubo.

O cordão de solda que une as partes são soldados por eletrodo revestido, estes foram selecionados através da Apostila de Eletrodos Inoxidáveis da ESAB com referência OK 63.34, que possui resistência à tração igual a 600 MPa e ao escoamento igual a 440 MPa [36]. Como as solicitações impostas às soldas são pequenas, utilizou-se a NBR 8800 [37] para

dimensionar os cordões. Para unir o tubo de descida a parte interna do reservatório, foi selecionada a solda de topo com chanfro em J, com a espessura da garganta efetiva igual à profundidade do chanfro e para a união do tubo com a caixa injetora foi utilizada a solda do tipo filete, com tamanho de perna igual a 3 mm.

4.4.1 Componente do tubo de descida

4.4.1.1 Válvula de bloqueio (solenóide)

Segundo Emerson Process Management (*apud* CASTRO, ERIKSSON [59]), a válvula de esfera consiste em uma válvula que possui em seu interior uma esfera rotativa que fica alinhada ao orifício pelo qual o fluído de trabalho escoar, dessa forma a válvula consegue bloquear a passagem do fluído ao se girar a esfera.

Devido à necessidade de se aplicar uma válvula de esfera que atenda as características do projeto, selecionou-se o modelo SW2 [60] com as especificações apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15: Especificações da válvula de esfera modelo SW2 [60]

Extremidade	SW - Encaixe para solda
Diâmetro nominal	2"
Material interno	Aço inox 316
Material externo	Aço Inox 316
Pressão Máxima de trabalho (bar)	20

Segundo HALLIDAY [61], o solenóide é constituído por um fio condutor enrolado de forma helicoidal, o qual, com a passagem de uma corrente elétrica, promove o surgimento de um campo eletromagnético, com as linhas de indução retas e paralelas.

Devido à necessidade de aplicar um atuador elétrico do tipo solenóide, selecionou-se o modelo 75 do Folheto 4202-1 BR de produtos, edição 05/2000 da empresa Parker Climate & Industrial. O solenóide opera com duas vias servo-operadas e tensão de trabalho de 24 V [62]. A Figura 51 ilustra um modelo de válvula de bloqueio com acionamento solenóide.



Figura 51: Imagem ilustrativa de uma válvula de bloqueio com acionamento solenoide [63].

4.5 Injetor

A injeção da massa de cocada é feita através de três caixas e cada uma possui duas aberturas para a passagem da massa. Estas caixas foram confeccionadas através do corte de chapas de aço 316 e soldadas com eletrodo revestido. Elas serão unidas ao tubo de descida, pois é através dele que a massa de cocada é controlada pelo uso do solenoide.

4.5.1 Dimensionamento da caixa de injeção

O dimensionamento da caixa de injeção foi realizado de acordo com o experimento feito com o primeiro aparato. Através desse experimento constatou-se que a abertura do aparato era suficiente para que o formato da cocada fosse mantido. Sendo assim, as dimensões das fendas não se alteraram. A Figura 52 apresenta as dimensões da caixa de injeção.

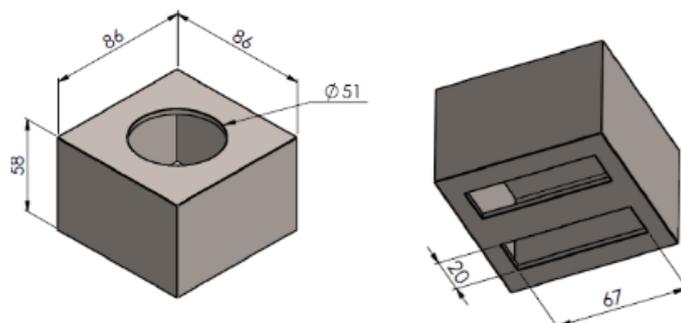


Figura 52: Dimensões da caixa de injeção em mm

As caixas de injeção serão soldadas com eletrodo revestido para aço inoxidável 316 da empresa ESAB com referência OK 63.34, que possui resistência à tração igual a 600 MPa e ao escoamento igual a 440 MPa [36]. O tipo de solda recomendado é solda de filete, pois ela é a mais utilizada em ligações soldadas por sua economia, sua facilidade de execução e adaptabilidade [64].

A solda de filete foi dimensionada segundo a NBR 8800 [37], sendo assim, ela deve atender alguns requisitos:

- A garganta efetiva de uma solda de filete pode ser igual a perna se ela for igual ou inferior a 10 mm. A perna do filete é o menor dos dois lados;
- O comprimento efetivo de uma solda de filete deve ser igual ao comprimento total da solda, incluindo os retornos nas extremidades;
- A área efetiva da solda de filete deve ser calculada como produto de comprimento efetivo da solda pela espessura da garganta efetiva.

Através da Figura 52 verifica-se que os comprimentos efetivos são iguais a 52 mm e 86 mm, e por meio da Tabela 16 nota-se que o tamanho da perna da solda de filete deve ser igual a 3 mm, de um único passe. Dessa forma, o metal de solda resistirá, pois a sua resistência é mais elevada do que a resistência do metal de base. Ademais, considera-se que o metal de solda não terá um carregamento considerável.

Tabela 16: Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete [37]

Menor espessura do metal base na junta (mm)	Tamanho mínimo da perna da solda de filete (mm)
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

Após a soldagem é aconselhável que a superfície seja tratada, de modo impedir que o material depositado oxide quando exposto ao ar atmosférico. Portanto recomenda-se que a superfície da solda seja submetida a uma limpeza mecânica, esta pode ser realizada através do esmerilhamento. Este retira o óxido e uma fina camada pobre de cromo, e se for feito de forma suave a resistência à corrosão será maior [36].

4.6 Esteira transportadora

As esteiras transportadoras de produtos foram criadas com o intuito de promover a movimentação de pequenos e grandes objetos para auxiliar o trabalho executado em processos de produção [65].

As esteiras empregadas na indústria alimentícia são do tipo sanitárias, são constituídas por materiais que quando em contato com o alimento a ser transportado não o contaminem.

Atualmente a indústria aplica esteiras constituídas de diversos materiais, entre eles está presente o aço inox que trabalha com temperaturas superiores aos termoplásticos sem perder suas propriedades mecânicas [66].

A seleção da esteira adequada para operar em conjunto com a máquina de processamento de cocada deve levar em consideração a dimensão entre o afastamento máximo dos bicos injetores da máquina, sendo assim a esteira selecionada deve possuir uma largura de 450 mm de superfície livre para que as cocadas sejam depositadas. O comprimento da esteira deve ser estipulado de acordo com o layout do local para atender as necessidades do operador da máquina.

A esteira selecionada não precisa contar com mecanismo que promova elevação da mesma, observou-se, durante os experimentos, que quando a pressão sobre os acionadores manuais era cessada a massa de cocada não continuava a escoar.

O sistema de controle da esteira não faz parte do escopo desse projeto, ele deve contar com um mecanismo de controle sincronizado com a injeção da massa de cocada. Durante o tempo de injeção da massa a esteira deve permanecer estática e após o fim da injeção a esteira deve avançar 93 mm, promovendo assim um afastamento de 20 mm entre cada fileira de cocadas depositadas na máquina.

4.7 Estrutura

O projeto da estrutura que compõe a máquina de processamento de cocada foi realizado para que esta ficasse elevada, permitindo o posicionamento de uma esteira transportadora a fim de aumentar a produtividade. A estrutura da máquina é de aço SAE 1020, composta por quatro tubos quadrados posicionados na vertical, barras de fixação dos mancais, barras de apoio e barras de suporte para o motorreductor, como apresentado pela Figura 53.

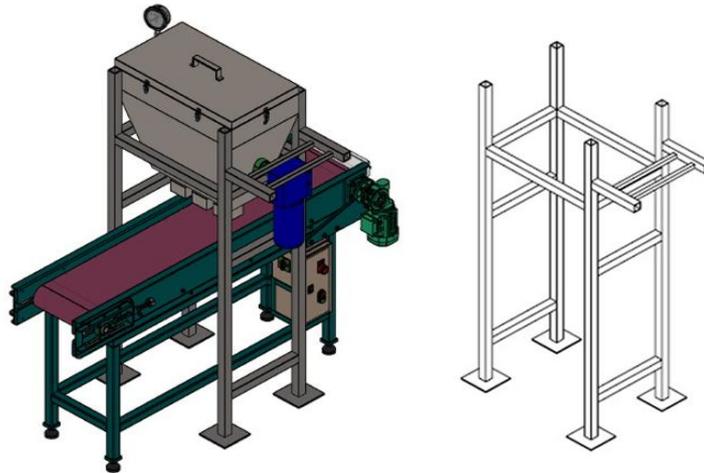


Figura 53: Estrutura da máquina de processamento de cocada

Toda a estrutura da máquina é soldada com eletrodo revestido, selecionado através do Catálogo de Consumíveis da ESAB, com referência OK 48.04 e com limite de resistência entre 530 e 590 MPa [67], esses são superiores ao limite de resistência do aço SAE 1020. Os dimensionamentos dos cordões de solda foram realizados de acordo com a NBR 8800 [37].

As condições de contorno utilizadas para as análises da estrutura foram: os carregamentos provenientes do peso do motoredutor, do peso reservatório montado com os acessórios e do peso da massa de cocada. Através desses carregamentos foi possível realizar uma análise estática da estrutura via o software SolidWorks, como ilustrado na Figura 54, a fim de identificar os pontos mais críticos.

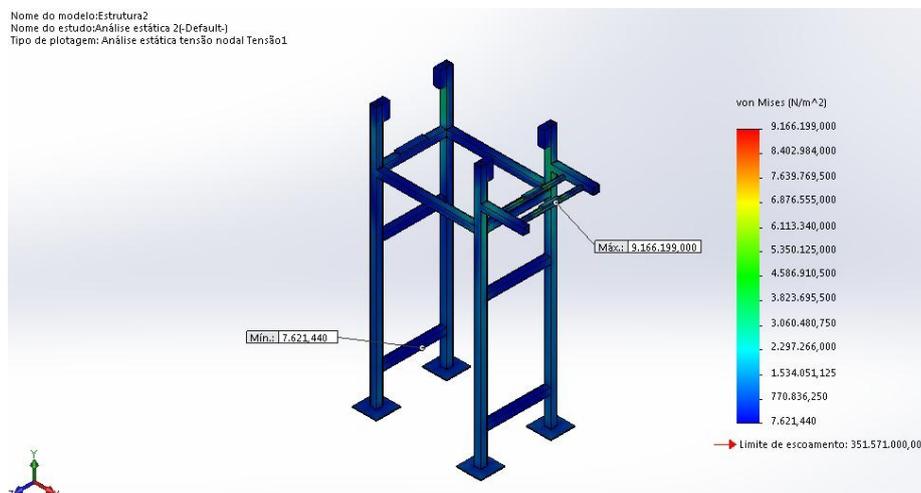


Figura 54: Resultado da análise de tensões na estrutura da máquina

Observa-se na Figura 54 que as tensões provenientes dos carregamentos foram pequenas, muito menores do que o limite de escoamento do material. Portanto, a estrutura suportará todas as solicitações impostas a ela. Além disso, na Figura 55 verificam-se os deslocamentos que a estrutura sofreu quando submetida aos carregamentos.

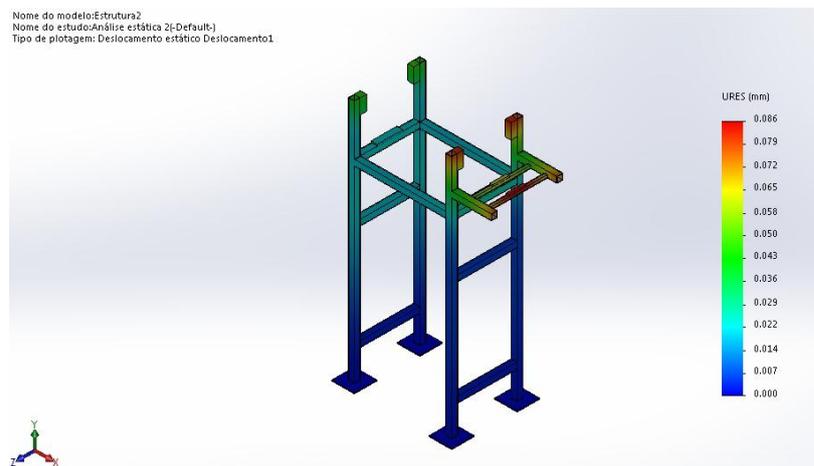


Figura 55: Resultado dos deslocamentos oriundos dos carregamentos

verifica-se que o maior deslocamento é de 0,086 mm nas barras de suporte do motoredutor, proveniente dos carregamentos.

Além da análise estática da estrutura, realizou-se uma análise de flambagem para verificar se as colunas sofreram com a deflexão lateral proveniente do carregamento. A Figura 56 apresenta o resultado da análise de flambagem.

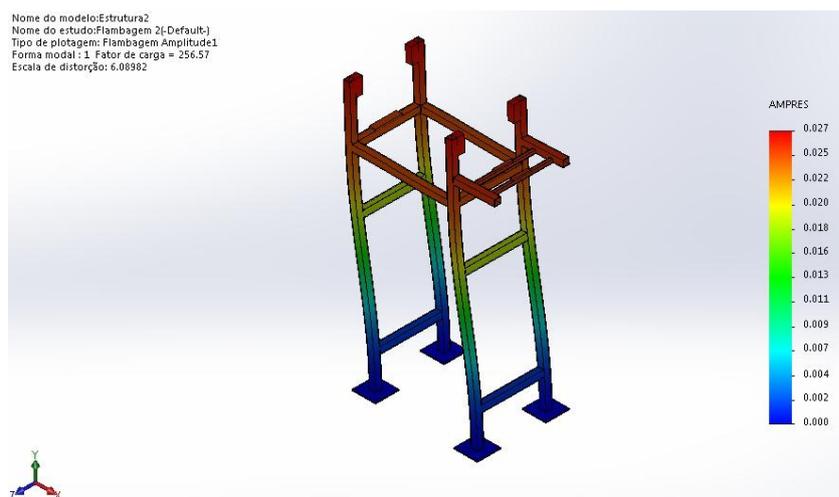


Figura 56: Flambagem na estrutura da máquina

Por meio dessa análise obteve-se um fator de segurança de aproximadamente 257. Sendo assim, observa-se que as colunas suportaram as solicitações sem a ocorrência de falha.

Selecionou-se através do catálogo Tubo de Aços Carbono da empresa Tubonasa [68], no Anexo H, o tubo quadrado de 40 mm de dimensão e 3 mm de parede para compor a estrutura principal da máquina e um outro tubo quadrado de 20 mm de dimensão e 2 mm de parede para servir de base para a fixação do motorreductor.

4.8 Estimativa de custo

Através de um levantamento do custo dos materiais necessários para realizar a construção da máquina, estimou-se o custo da máquina por partes e o custo global de materiais, como ilustrado na Tabela 17.

Tabela 17: Estimativa de custo da máquina

Componentes	Preço (R\$)
Reservatório	R\$ 7.874,65
Motoreductor	R\$ 1.420,00
Estrutura	R\$ 419,89
Acessórios da máquina	R\$ 2.222,36
Custo total de material	R\$ 11.936,90

No levantamento efetuado não foi contemplado o custo da mão de obra, apenas o custo de material, que pode variar de acordo com a região em que se deseja contruir a máquina.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou avaliar a viabilidade de construir uma máquina de processamento de cocada com açúcar que consiga produzir cocadas com geometria definida e seguindo um padrão desejado. A carência de informações referentes a projetos de máquina de processamento de cocada com açúcar motivou a pesquisa de projetos alternativos que possibilitassem extrair informações referentes a materiais utilizados para promover a retenção do calor no interior da máquina, o mecanismo de injeção utilizado e ainda a utilização de softwares como base para o dimensionamento e estudo de fenômenos físicos.

Durante o projeto buscou-se através de experimentos a obtenção de dados referentes à massa de cocada, pois essa possui características singulares que jamais tinham sido estudadas, como viscosidade e comportamento. Por meio dos experimentos obtiveram-se algumas informações sobre a massa, que permitiram dar início ao projeto, no entanto pela falta de dados referentes à massa de cocada, foram encontradas algumas dificuldades que permitissem um dimensionamento mais preciso do misturador e do reservatório. Com isso, pode-se destacar a importância das análises experimentais durante o desenvolvimento dos projetos acadêmicos.

No decorrer do projeto utilizou-se o programa SolidWorks 2014 para efetuar análises estáticas e térmicas, com intuito de se obter melhores informações da máquina quando submetida a solicitações. Por intermédio dessas análises houve a certeza que os materiais utilizados eram os mais adequados a serem empregados na máquina.

A máquina projetada conseguiu atender as necessidades estipuladas, como por exemplo, a diminuição da transferência de calor para o meio externo, mantendo a qualidade da massa. Além disso, o custo total de matéria prima para a construção da mesma gira em torno de R\$ 12.000,00, o que tornaria o valor final do produto acessível para uma empresa de

médio porte, e ela ainda resulta em um aumento de 81% da produção, dando assim, um retorno financeiro esperado.

Espera-se que o projeto sirva como modelo para a elaboração de projetos de máquinas similares ou a construção da máquina de processamento de cocada, porém é indicado que sejam realizadas novas análises mais detalhadas.

5.2 Sugestões de melhorias e projetos futuros

A continuidade do estudo da máquina de processamento de cocada com açúcar é importante, pois alguns pontos podem ser melhorados, como o estudo das propriedades da massa, da viabilidade e custo dos processos de fabricação sugeridos, além do uso de outros materiais.

Deve-se estudar automação do sistema de injeção e pressurização da máquina, esses não fizeram parte do escopo do projeto e são de extrema importância para implementação em uma indústria.

Propõe-se um estudo mais detalhado da estrutura, com intuito de se obter um novo layout, permitindo com que a máquina se movimente verticalmente para auxiliar o operador no derramamento da massa no reservatório.

Sugere-se o estudo de um sistema automatizado para a alimentação da máquina, com a massa pronta, eliminando assim o esforço físico de um trabalhador, além de acelerar o processo produtivo.

Recomenda-se uma análise da viabilidade da instalação de um sistema de aquecimento com intuito de garantir a manutenção da temperatura da massa de cocada, em virtude de operar a máquina em locais mais frios.

É pertinente estudar uma máquina que possibilite o preparo da massa de cocada diretamente no reservatório, contando com sistema de aquecimento e um agitador que proporcione alcançar “o ponto” de injeção de uma forma automática.

O estudo da alteração do sistema de injeção da máquina com a aplicação de uma bomba dosadora é plausível para possibilitar a instalação de uma máquina semelhante e que não precise contar com a presença de ar comprimido na instalação industrial.

Por fim, sugere-se o estudo da viabilidade da utilização da máquina de processamento de cocada para promover a injeção de outros materiais, conseguindo assim expandir o uso da máquina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Excesso de açúcar industrializado é prejudicial à saúde das crianças.** Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globoeducacao/noticia/2012/06/excesso-de-acucar-industrializado-e-prejudicial-saude-das-criancas.html>>. Acesso em: 10 maio. 2018.
- [2] **nks_mini_mix.pdf.** , [s.d.]. Disponível em: <http://www.nksmaquinas.com.br/uploads/ficha_pdf/nks_mini_mix.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2018.
- [3] **MANUAL_MODELADORA_SR_marca.pdf.** , [s.d.]. Disponível em: <http://smartfoodsolucoes.com.br/ebooks/MANUAL_MODELADORA_SR_marca.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018
- [4] RIBEIRO, D. E. N. **Sala de Máquinas de uma Instalação Frigorífica** p. 106, 2013.
- [5] PAULO, S. **Evolução tecnológica e automação das máquinas injetoras.** p. 78. São Paulo, 2009.
- [6] **Análise de estruturas utilizando o método dos elementos finitos generalizados.** , [s.d.]. Disponível em: <<http://www.confed.org.br/media/contecc2016/civil/an%C3%A1lise%20de%20estruturas%20utilizando%20o%20m%C3%A9todo%20dos%20elementos%20finitos%20generalizados.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2018
- [7] CLUBE DO PROJETISTA. **Método dos elementos finitos, ou você sabe como funciona ou você será sempre um n.n.f.,** 24 nov. 2017. Disponível em: <<http://www.clubedoprojetista.com.br/metodo-dos-elementos-finitos-base-da-tecnologia-cae/>>. Acesso em: 21 out. 2018
- [8] MIRLISENNA, G. **MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS: O QUE É? ESSS,** 22 jan. 2016. Disponível em: <<https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>>. Acesso em: 22 out. 2018
- [9] **Elementos finitos na análise estrutural.** , [s.d.]. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~pava/Lectures/EF1/Cap2.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2018
- [10] MENDONÇA, P. T. R. **Transferência de Calor pelo MEF.** , 28 jun. 2005. Disponível em: <<http://grante.ufsc.br/download/MEF/TrnsCal.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2018
- [11] WADA, C.-C. M. DE Q. DE. **Os motivos da utilização do aço inox na alimentação.** Disponível em: <<http://www.cmqv.org/website/artigo.asp?cod=1461&idi=1&moe=212&id=19985>>. Acesso em: 16 mar. 2018.

- [12] **Conheça o processo de laminação a frio e veja por que escolhê-lo.** urifer.com.br, [s.d.]. Disponível em: <<http://urifer.com.br/blog/processo-de-laminacao-frio-veja-por-que-escolher/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- [13] **Espuma Rígida. WC Isolamento Térmico,** [s.d.]. Disponível em: <<http://www.wcisolamentotermico.com.br/espuma-de-poliuretano/>>. Acesso em: 18 set. 2018
- [14] PURCOM. **Espuma Flexível de Poliuretano.** Disponível em: <<http://www.purcom.com.br/espuma-flexivel-de-poliuretano>>. Acesso em: 18 set. 2018.
- [15] LIMA, A. C. Produção de espumas flexíveis de poliuretano. p. 59. Dissertação (Graduação) Fundação Educacional do Município de Assis, Assis, 2011.
- [16] VERONESE, V. B. **Relação estrutura propriedade de espumas rígidas de poliuretano à base de óleos vegetais.** p. 121. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2009.
- [17] VILAR, W. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos.** Disponível em: <<https://www.poliuretanos.com.br/Cap5/51mp.htm>>. Acesso em: 18 set. 2018.
- [18] ALIMENA, L. A. M. **Estudo comparativo do coeficiente de condutividade térmica de espuma rígida de poliuretano obtida por reciclagem mecânica e química.** p. 56. Dissertação (Mestrado) - Engenharia e Tecnologia de Materiais - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- [19] ALMEIDA, M. I. A. **Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicações na indústria da construção.** p. 185. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil- Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- [20] Silva I. D. L, *et al.* **Construção de um manômetro simples para abordar o conceito de pressão no ensino médio.** Disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R0672-2.pdf>>. Acessado em: 16 set. 2018.
- [21] **Instrumentos de pressão e temperatura.** Disponível em: <<http://www.equicontrol.com.br/wp-content/uploads/catalogos/ashcroft/ashcroft.pdf>> Acesso em: 17 set. 2018.
- [22] MATHIAS, A. C.; **Válvula de segurança e alívio.** Disponível em: <https://www.fluidcontrols.com.br/site/upload/pdf/Apostila_Valvulas_de_Seguranca_e_Alivio.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.
- [23] **Válvulas de bloqueio.** Disponível em: <https://www.aventics.com/pneumatics-catalog/content/internet/pt/pdf/PDF_g52368_pt.pdf> Acesso em: 20 set. 2018.
- [24] MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos da mecânica dos fluidos.** Tradução da quarta edição americana. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

- [25] FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. Tradução da sétima edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- [26] BEER, F. P. *et al.* **Mecânica dos materiais**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- [27] HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [28] **Tabela de Propriedades**. Sid Aço Inox, [s.d.]. Disponível em: <<http://sidacoinox.com.br/tabela-de-propriedades/>>. Acesso em: 30 nov. 2018
- [29] NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- [30] **Análise de Tensões – Ensus**. , [s.d.]. Disponível em: <<http://ensus.com.br/analise-de-tensoes/>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- [31] ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.
- [32] IMCROPERA, F. P. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- [33] PORTAL METÁLICA. **Processos de Soldagem** Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/processos-de-soldagem>>. Acesso em: 17 out. 2018.
- [34] ALUSOLDA. **Processos de Soldagem** - Disponível em: <<http://www.alusolda.com.br/conteudo/processos-de-soldagem.html>>. Acesso em: 17 out. 2018.
- [35] **Terminologia.pdf**. , [s.d.]. Disponível em: <<http://docente.ifsc.edu.br/julio.silveira/MaterialDidatico/Pend%C3%A2ncias/Soldagem/Terminologia.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2018.
- [36] **Apostila Eletrodos Inoxidáveis**. , [s.d.]. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901101rev0_apostilaeletrodosinoxidaveis_nova.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2018
- [37] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR8800**: Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios. Rio de Janeiro, 2018.
- [38] DIRECT INDUSTRY, B. **Puxador de transporte** - Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/steinbach-vollmann-gmbh-cokg/product-165988-1816203.html>>. Acesso em: 22 out. 2018.
- [39] ALIBABA.COM. **Fecho** - Disponível em: <http://www.alibaba.com/product-detail/Hot-sale-latch-for-DJ-coffin_60550690077.html>. Acesso em: 22 out. 2018.

- [40] **Propriedades mecânicas dos aços.** Disponível em: <<http://lgsteel.com.br/propriedades-mecanicas-do-carbono.htm>>. Acesso em: 23 out. 2018.
- [41] **Fecho Case 4000.** Disponível em: <<https://www.rjdiehl.com.br/fecho-case-4000>>. Acesso em: 1 nov. 2018.
- [42] **aco_inox.pdf.** , [s.d.]. Disponível em: <http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/aco_inox.pdf>. Acesso em: 28 out. 2018
- [43] **CatalogoRebites_Macrosul.pdf.** Disponível em: <www.macrosul.com.br/download.php?f=CatalogoRebites_Macrosul.pdf>.
- [44] FLEX, E. S. **Borracha esponjosa para vedação.** Disponível em: <<http://www.esflex.com.br/borracha-esponjosa-vedacao>>. Acesso em: 28 out. 2018
- [45] **Adesivo flexível.** Disponível em: <<https://www.nei.com.br/produto/2013-04-adesivo-flexivel-weicon-gmbh-co-kg?id=6e081b7b-66b0-11e4-800f-0e94104de12e>>. Acesso em: 28 out. 2018.
- [46] **Agitação.** , [s.d.]. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/aulas/aula14_Agitacao.pdf>. Acesso em: 26 out. 2018
- [47] BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley:** projeto de engenharia mecânica. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- [48] SHIGLEY, J. E. **Elementos de máquinas.** [s.l.] LTC, 1984. v. 2
- [49] **Motorredutores: o que são?** Disponível em: <<http://www.redutoresibr.com.br/pt/Noticia/motorredutores--o-que-sao->>. Acesso em: 22 out. 2018.
- [50] WEG, C. **Cat_Magmax.pdf,** [s.d.]. Disponível em: <<http://www.wegcestari.com.br/index.php/pt/produtos/motorredutores/magmax>>. Acesso em: 26 out. 2018
- [51] TOP COMPONENTES. **O que é e para que servem os acoplamentos?**, 4 jan. 2018. Disponível em: <<http://www.topcomponentes.com.br/blog/2018/01/04/o-que-e-e-para-que-servem-os-acoplamentos/>>. Acesso em: 23 out. 2018
- [52] REGAL. **Catálogo de acoplamentos para produtos industriais.** p. 306. Disponível em: <https://www.regalpts.com/PowerTransmissionSolutions/Catalog/Form_8887P.pdf> Acesso em: 23 out. 2018
- [53] PROENÇA, J. F.; UCHIMA, M. K. **Melhorias em sistema de vedação de bombas hidráulicas centrífugas não afogadas de grande porte.** v. 47. Revista DAE, São Paulo 1987.

- [54] **SELO MECÂNICO TIPO 21 | SELO TIPO 21 ULTRASEAL.** Disponível em: <<http://www.ultraseal.com.br/produtos/selos-mecanicos/selo-mecanico-tipo-21/>>. Acesso em: 28 out. 2018.
- [55] **Mancais, você sabe o que são e como funcionam?** Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/o-que-sao-mancais/>>. Acesso em: 22 out. 2018.
- [56] **CIMM. O que é Mancais?** Disponível em: <<https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/468-mancais>>. Acesso em: 22 out. 2018.
- [57] **IMDEPA. Mancais:** para que servem e como realizar a manutenção , [s.d.]. Disponível em: <<http://www.imdepa.com.br/mancais-para-que-servem-e-como-realizar-a-manutencao/>>. Acesso em: 22 out. 2018
- [58] **catalogoBRM.pdf.** , [s.d.]. Disponível em: <<http://www.rolwilson.com.br/CATALOGOS/BRM/catalogoBRM.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2010
- [59] **CASTRO, R. S.; ERIKSSON, K. T. Aplicação de válvulas de controle em processos industriais.** Disponível em: <<http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Rodrigo%20Souza%20Castro.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2018.
- [60] **Catálogo técnico de produtos.** Disponível em: <http://www.bermo.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Catalogo_Tecnico_Produtos_Bermo.pdf?x88542>. Acesso em: 01 out. 2018.
- [61] **HALLIDAY, D.; RESNIK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física.** 8 ed. Vol. 3. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- [62] **Válvulas solenóide.** Disponível em: <http://www.parkerhannifin.be/parkerimages/br/download/cic/pdf/4202_1_br.pdf> Acesso em: 16 out. 2018.
- [63] **Válvula Solenoide - Como Funciona, Para que Serve e Modelos** - Jefferson Engenharia. Disponível em: <<https://www.jefferson.ind.br/conteudo/valvula-solenoide.html>>. Acesso em: 28 out. 2018.
- [64] **Ligações soldadas.** , [s.d.]. Disponível em: <<http://www.estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/05/Cap2-Liga%C3%A7%C3%B5esSoldadas-1.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2018
- [65] **LUÍS, A.; MELO, D.; SANDER, G. RAMOS, P. S. Projeto Esteira Transportadora.** P.45. - Engenharia Mecânica ministrado no Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Arcos, Arcos, 2016.
- [66] **Esteira transportadora de aço inox.** Disponível em: <<http://www.movepackbrasil.com.br/esteira-transportadora-aco-inox>>. Acesso em: 09 out. 2018.

- [67] **Catalogo-consumiveis-esab.pdf**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/catalogo-consumiveis-esab.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2018
- [68] **Catalogo-Tubonasa.pdf**, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.tubonasa.com.br/catalogo-pdf/Catalogo-Tubonasa.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2018

APÊNDICES

APÊNDICE A: Cálculo para o dimensionamento do eixo

Dimensionamento do eixo

Torque máximo nas pás

restart

$A := 0.075 \cdot 0.04$: #Área da superfície de cada pá (m^2)

$h := 0.2002$: #Profundidade da massa de cocada desde a superfície até a parte superior da pá (m)

$v := A \cdot h$: #Volume da massa de cocada (m^3)

$\rho := 1258$: #Massa específica da cocada (kg/m^3)

$m := v \cdot \rho$: #Massa de cocada sobre cada pá (kg)

$g := 9.80665$: #Gravidade (m/s^2)

$R := m \cdot g$: #Resultante exercida pelo volume (N)

$d := 0.0502$: #Distância entre o centro da pá e o centro do eixo (m)

$T := 4 \cdot R \cdot d$ #Torque produzido pelas 4 pás (Nm)

$$1.487819865 \quad (1)$$

$Tm := T \cdot 2$ # Torque máximo produzido pelos dois conjuntos de pás (Nm)

$$2.975639730 \quad (2)$$

Tensão de cisalhamento máxima

$r0 := 0.0127$: # Raio externo do eixo (m)

$r1 := 0.0097$: #Raio interno do eixo (m)

$J := \frac{\pi}{2} (r0^4 - r1^4)$: # Momento polar de inércia da área da seção transversal do tubo (m^4)

$\tau m := \frac{Tm \cdot r0}{J}$ # Tensão de cisalhamento máxima (Pa)

$$1.401870952 \cdot 10^6 \quad (3)$$

Teoria de Falhas

Tensões principais

$\sigma_x := 0$:

$\sigma_y := 0$:

$\tau_{xy} := \tau m$:

$$\sigma_p := \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} \pm \left(\sqrt{\left(\frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2} \right) \pm 1.401870952 \cdot 10^6 \quad (4)$$

$\sigma_1 := 1.401870952 \cdot 10^6$:

$\sigma_2 := -1.401870952 \cdot 10^6$:

Teoria de Tresca

$\sigma_e := 250$: # Tensão de escoamento (MPa)

$\sigma := \sigma_1 - \sigma_2$ # tensão tresca

$$2.803741904 \cdot 10^6 \quad (5)$$

$$|\sigma_1 - \sigma_2| \leq \sigma_e$$

2.80 MPa > 250 MPa. Portanto, não ocorrerá falha.

Teoria de von Mises

$\sigma_e := 62500$: Tensão de escoamento (MPa)

$\sigma_v : (\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2)$ # *tensão von Mises*

$$5.895726498 \cdot 10^{12}$$

(6)

$$(\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2) \leq \sigma_e^2$$

5.90 MPa > 62500 Mpa. Portanto, não haverá falha.

APÊNDICE B: Dimensionamento dos cordões de solda das pás

Dimensionamento dos cordões de solda das pás

Juntas submetidas à flexão

V (N)	7,41	Força cortante
M (Nm)	0,2779	Momento fletor
Ag (m ²)	0,000182406	Área da garganta de solda
τ' (Pa)	40.623,66	Tensão primária de cisalhamento
b (m)	0,04	Largura do cordão de solda
d (m)	0,003	Distância entre os cordões de solda
Iu (m ⁴)	1,845E-07	Segundo momento unitário de área
h (m)	0,003	Tamanho da perna do filete
I (m ⁴)	3,91325E-10	Segundo momento de área
Eletrodo		
Sut (MPa)	600	Resistência à tração do eletrodo
Sy (MPa)	440	Resistência ao escoamento do eletrodo
Metal de base		
Sut (MPa)	515	Resistência à tração do material
Sy (MPa)	250	Resistência ao escoamento do material
σ (Pa)	1.065.228,47	Tensão normal
τ' (Pa)	40.623,66	0,04
σ (Pa)	1.065.228,47	1,07
σ_{med} (Pa)	532.614,24	0,53
R	0,534161219	
	σ_1 (MPa)	1,07
	σ_2 (MPa)	-0,002
		Tensões principais

Teoria da tensão de cisalhamento máxima

Para o metal de solda

σ_e (MPa)	440
Módulo	1,07
FS	411,8606748

Para o metal de base

σ_e (MPa)	250
Módulo	1,07
FS	234,0117471

Nota-se que tanto o metal de base quanto o metal de solda resistirão aos carregamentos.

APÊNDICE C: Dimensionamento dos cordões de solda das barras suporte para o motoredutor

Dimensionamento dos cordões de solda das barras de suporte para o motoredutor

Juntas submetidas à flexão

V (N)	46,58	Força cortante
M (Nm)	0	Momento fletor
Ag (m ²)	0,00016968	Área da garganta de solda
τ' (Pa)	274.516,74	Tensão primária de cisalhamento
b (m)	0,02	Largura do cordão de solda
d (m)	0,02	Distância entre os cordões de solda
Iu (m ⁴)	5,3333E-06	Segundo momento unitário de área
h (m)	0,003	Tamanho da perna do filete (mínimo exigido pela NBR 8800)
I (m ⁴)	1,1312E-08	Segundo momento de área

Eletrodo (OK 48.04)

Sut (MPa)	530	Resistência à tração do eletrodo
Sy (MPa)	393	Resistência ao escoamento do eletrodo*

Metal de base (Aço SAE 1020)

Sut (MPa)	420,51	Resistência à tração do material
Sy (MPa)	351,57	Resistência ao escoamento do material

σ (Pa) - Tensão normal

τ' (Pa)	40.623,66	0,04
σ (Pa)	-	
σ_{med} (Pa)	-	
R (Pa)	0,04062366	
σ_1 (MPa)	0,041	Tensões principais
σ_2 (MPa)	-0,041	

Teoria da tensão de cisalhamento máxima

Para o metal de solda

σ_e (MPa)	393
Módulo	0,08
FS	4837,08219

Para o metal de base

σ_e (MPa)	351,57
Módulo	0,08
FS	4327,15772

Nota-se que tanto o metal de base quanto o metal de solda resistirão aos carregamentos.

* Valor retirado do livro elemento de máquinas de Shigley devido a ausência da informação pelo catálogo do fabricante.

APÊNDICE D: Dimensionamento dos cordões de solda das barras de apoio

Dimensionamento dos cordões de solda das barras de apoio

Juntas submetidas à flexão

V (N)	93,16	Força cortante
M (Nm)	12,58	Momento fletor
Ag (m ²)	0,00033936	Área da garganta de solda
τ' (Pa)	274.516,74	Tensão primária de cisalhamento
b (m)	0,04	Largura do cordão de solda
d (m)	0,04	Distância entre os cordões de solda
Iu (m ⁴)	4,26667E-05	Segundo momento unitário de área
h (m)	0,003	Tamanho da perna do filete (mínimo exigido pela NBR 8800)
I (m ⁴)	9,0496E-08	Segundo momento de área

Eletrodo (OK 48.04)

Sut (MPa)	530	Resistência à tração do eletrodo
Sy (MPa)	393	Resistência ao escoamento do eletrodo*

Metal de base (Aço SAE 1020)

Sut (MPa)	420,51	Resistência à tração do material
Sy (MPa)	351,57	Resistência ao escoamento do material

σ (Pa)	2.779.481,97	Tensão normal
τ' (Pa)	274.516,74	0,27
σ (Pa)	2.779.481,97	
σ_{med} (Pa)	1.389.740,98	1,39
R (Pa)	1,41659431	
σ_1 (MPa)	2,81	Tensões principais
σ_2 (MPa)	-0,027	

Teoria da tensão de cisalhamento máxima

Para o metal de solda

σ_e (MPa)	393
Módulo	2,83
FS	138,7129672

Para o metal de base

σ_e (MPa)	351,57
Módulo	2,83
FS	124,0898673

Nota-se que tanto o metal de base quanto o metal de solda resistirão aos carregamentos.

* Valor retirado do livro elemento de máquinas de Shigley devido a ausência da informação pelo catálogo do fabricante.

APÊNDICE E: Dimensionamento dos cordões de solda das barras de fixação dos mancais

Dimensionamento dos cordões de solda das barras de fixação dos mancais

Juntas submetidas à flexão

V (N)	22,5	Força cortante
M (Nm)	0,00	Momento fletor
Ag (m ²)	0,00033936	Área da garganta de solda
τ' (Pa)	66.301,27	Tensão primária de cisalhamento
b (m)	0,04	Largura do cordão de solda
d (m)	0,04	Distância entre os cordões de solda
Iu (m ⁴)	4,26667E-05	Segundo momento unitário de área
h (m)	0,003	Tamanho da perna do filete (mínimo exigido pela NBR 8800)
I (m ⁴)	9,0496E-08	Segundo momento de área

Eletrodo (OK 48.04)

Sut (MPa)	530	Resistência à tração do eletrodo
Sy (MPa)	393	Resistência ao escoamento do eletrodo*

Metal de base (Aço SAE 1020)

Sut (MPa)	420,51	Resistência à tração do material
Sy (MPa)	351,57	Resistência ao escoamento do material

σ (Pa) - Tensão normal

τ' (Pa)	274.516,74	0,27
σ (Pa)	-	
σ_{med} (Pa)	-	0,00
R (Pa)	0,274516737	
σ_1 (MPa)		0,275
σ_2 (MPa)		-0,275

Tensões principais

Teoria da tensão de cisalhamento máxima

Para o metal de solda

σ_e (MPa)	393
Módulo	0,55
FS	715,8033491

Para o metal de base

σ_e (MPa)	351,57
Módulo	0,55
FS	640,3434693

Nota-se que tanto o metal de base quanto o metal de solda resistirão aos carregamentos.

* Valor retirado do livro elemento de máquinas de Shigley devido a ausência da informação pelo catálogo do fabricante.

APÊNDICE F: Dimensionamento dos cordões de solda das colunas de apoio

Dimensionamento dos cordões de solda das colunas de apoio

Dimensionamento do cordão de solda

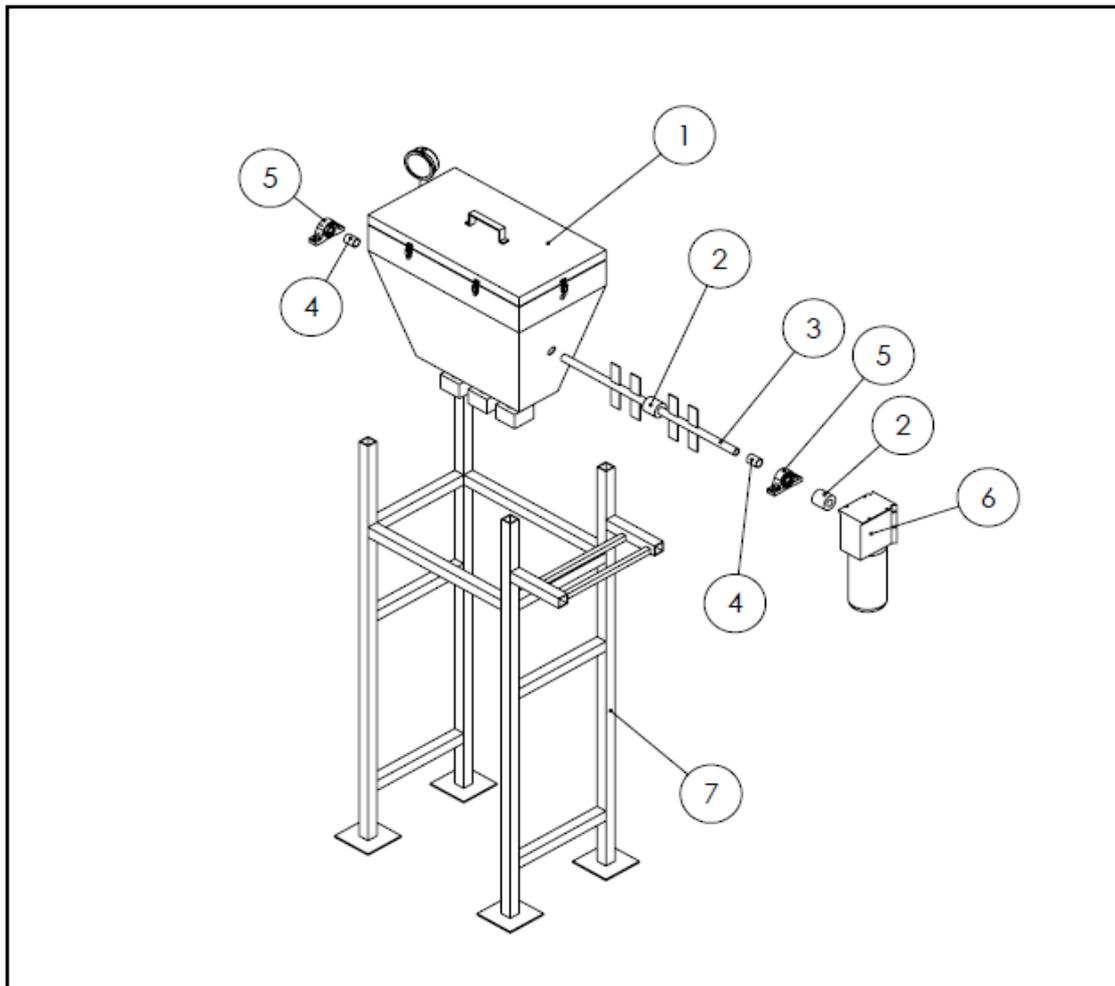
Eletrodo (OK 48.04)

Sut (MPa)	530	Resistência à tração do eletrodo
Sy (MPa)	393	Resistência ao escoamento do eletrodo*
τ_{adm}(Pa)	159.000.000,00	Resistência admissível através de 30% do eletrodo
F (N)	305,26	Carregamento (peso do reservatório + massa)
Acis (m ²)	0,000001920	Área em cisalhamento na garganta necessária para limitar a tensão com esse valor.
L (m)	0,2501	Comprimento total do cordão de solda
t(m)	0,000007676	Dimensão da garganta
cos 45	0,707106781	
w (m)	0,000010856	Dimensão da perna da solda de filete
w (m)	0,003	Tamanho mínimo da perna de filete segundo a NBR 8800
Afu1 (m ²)	0,0006303	Área de fusão das laterais maiores
Afu2 (m ²)	0,00012	Área de fusão da lateral menor
ΣA_{fus} (m ²)	0,0007503	Somatório das áreas de fusão
τ_{xy}(Pa)	406.850,59	Resistência mínima ao escoamento do material da chapa
Metal de base (Aço SAE 1020)		
Sut (MPa)	420,51	Resistência à tração do material
Sy (MPa)	351,57	Resistência ao escoamento do material
Ssy (Pa)	202.855.890,00	Energia de distorção de von Mises
FS	498,60	Fator de segurança ao escoamento
t	0,00212132	Dimensão da garganta para w=0,003
A (m ²)	0,000530542	Área do cordão de solda
σ (Pa)	575.373,63	Resistência da alma contra falha por tração
FS	611,03	Fator de segurança ao escoamento

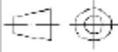
Não ocorrerá falha no cordão de solda

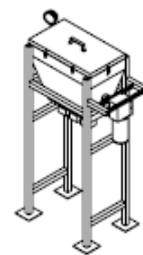
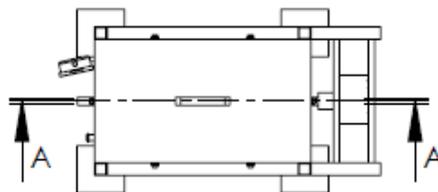
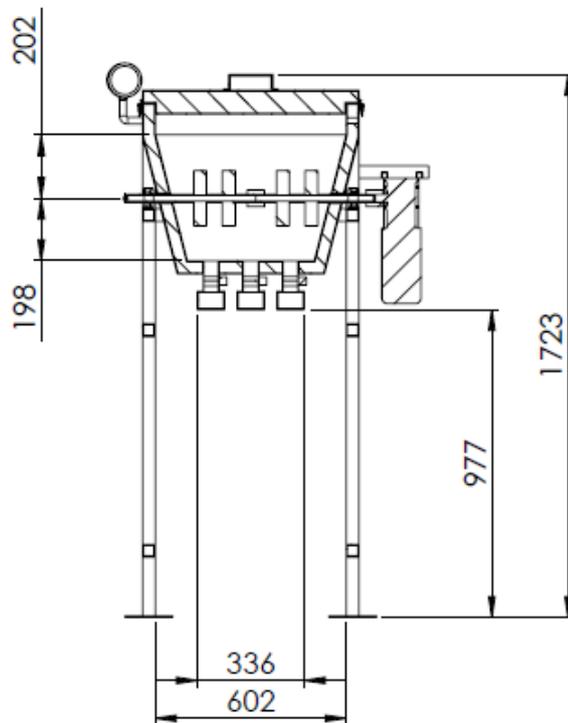
* Valor retirado do livro elemento de máquinas de Shigley devido a ausência da informação pelo catálogo do fabricante.

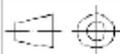
APÊNDICE G: Desenhos técnicos



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MATERIAL	QTD.	Nº DA FOLHA
1	Mont. reservatório	AISI 316 E PUR	1	3
2	Acoplamento	AÇO INÓXIDÁVEL		
3	Eixo com pás	AISI 316	2	15
4	Selo Mecânico	AÇO INOXIDÁVEL	2	
5	Mancal	FERRO FUNDIDO	2	
6	Motoredutor		1	
7	Mont. estrutura	SAE 1020	1	16

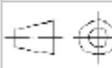
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.	 CEFET/RJ	
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	04/11/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA Nº
1:20	DESENHO DE CONJUNTO DA MÁQUINA	0	1
			

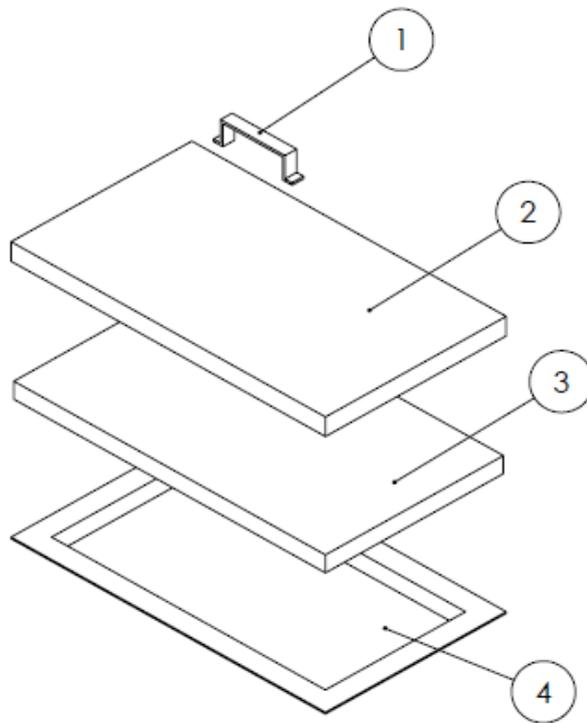


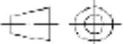
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.	 CEFET/RJ	
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	04/11/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA Nº
1:20	CORTE A-A DO CONJUNTO DA MÁQUINA	0A	2
			

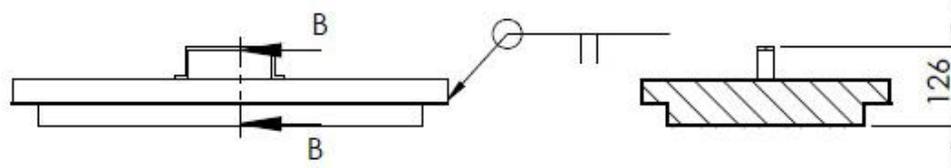
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MATERIAL	QTD.
1	Mont. da tampa	AISI 316 E PUR	1
2	Trinco		6
3	Aro	AISI 316	1
4	Parede interna	AISI 316	1
5	PUR	ESPUMA DE POLIURETANO	1
6	Parede externa	SAE 1020	1
7	Tubo de descida	AISI 316	3
8	Val. bloqueio com solenóide	AISI 316	3
9	Injetor	AISI 316	3
10	Válvula de alívio	R412007521	1
11	Manômetro	NWR 100 2 0/2 XFF	1

ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.		 CEFET/RJ
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	04/11/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA Nº
1:20	MONTAGEM EXPLODIDA DO RESERVATÓRIO	1	3

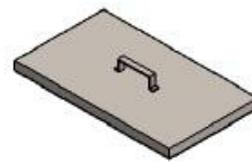


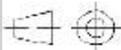


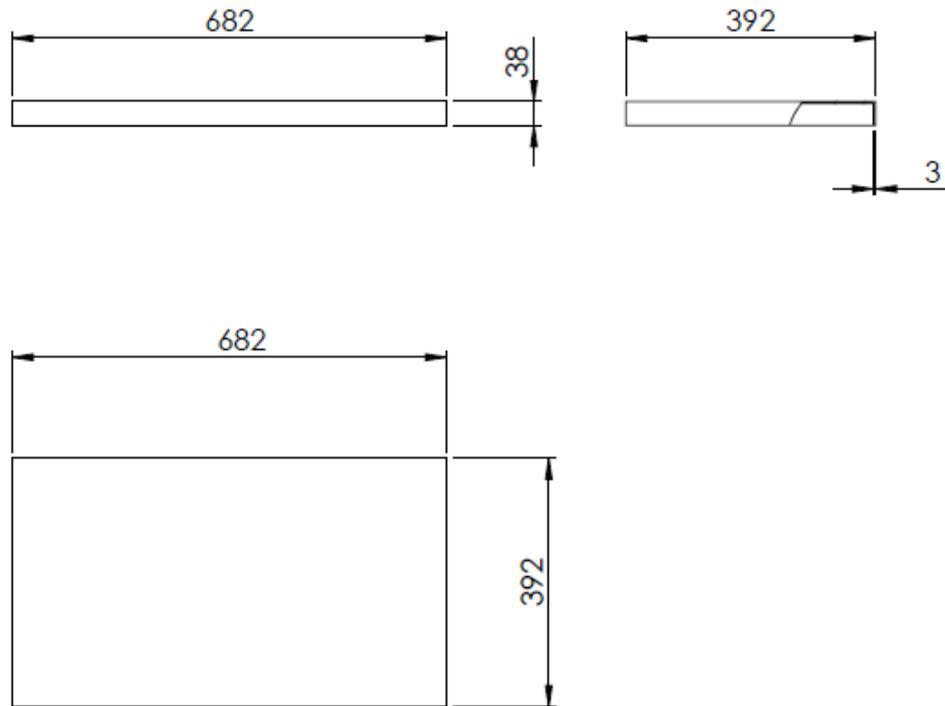
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MATERIAL	QTD.
1	Puxador da tampa	Alumínio	1
2	Tampa externa	AISI 316	1
3	Tampa PU	Espuma de poliuretano	1
4	Tampa interna	AISI 316	1
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.		 CEFET/RJ
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	04/11/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA Nº
1:20	MONTAGEM EXPLODIDA DA TAMPA	1/1	4
			

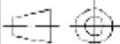


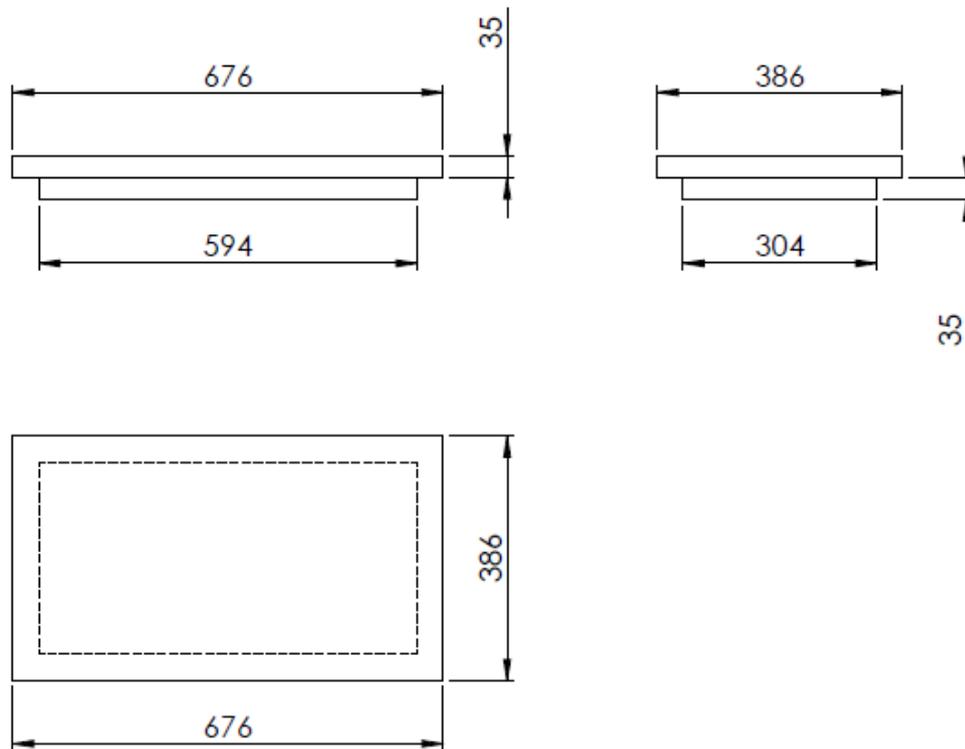
SEÇÃO B-B
 ESCALA 1 : 10

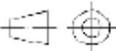


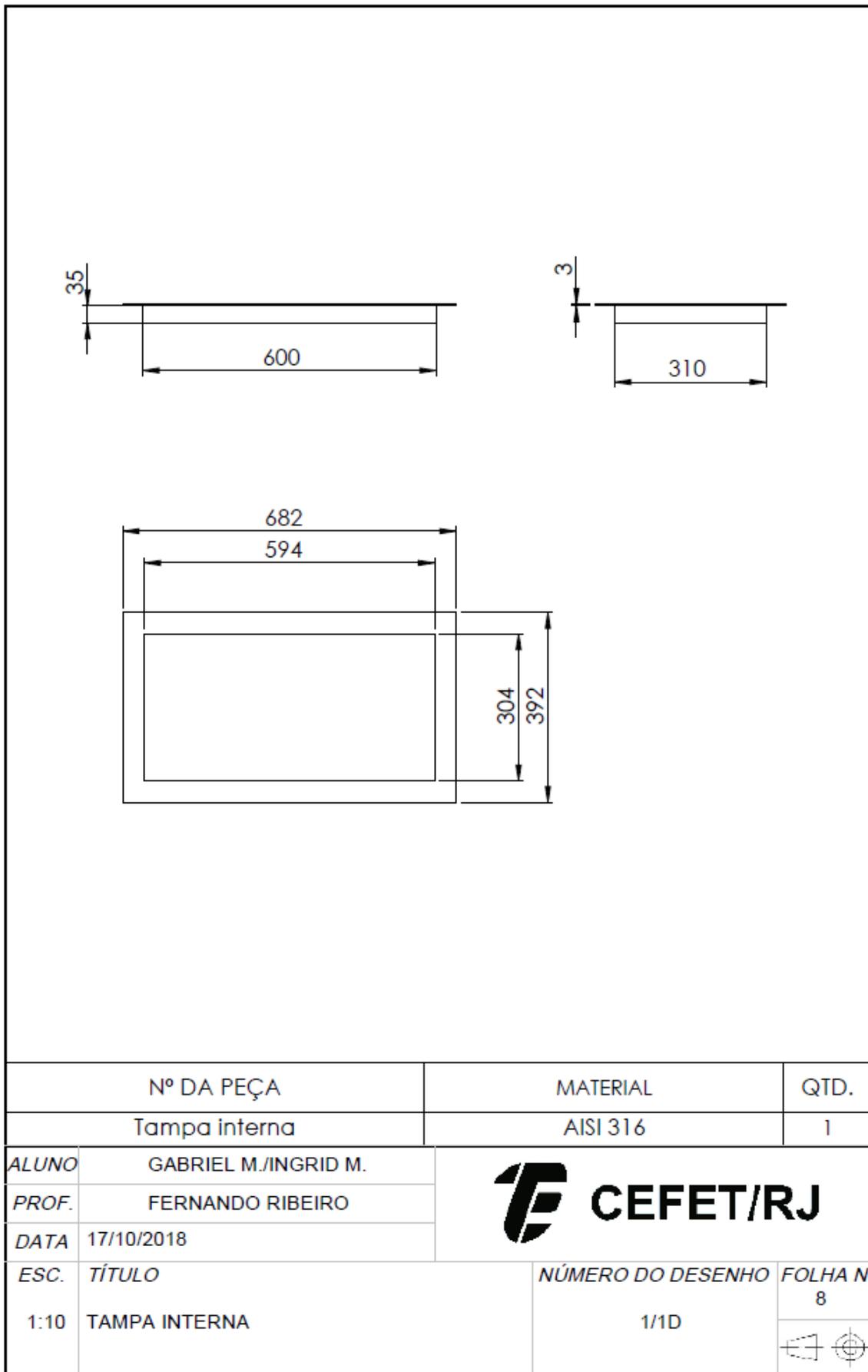
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.	 CEFET/RJ	
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	04/11/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA Nº
1:10	CORTE B-B DA TAMPA	1/1A	5
			

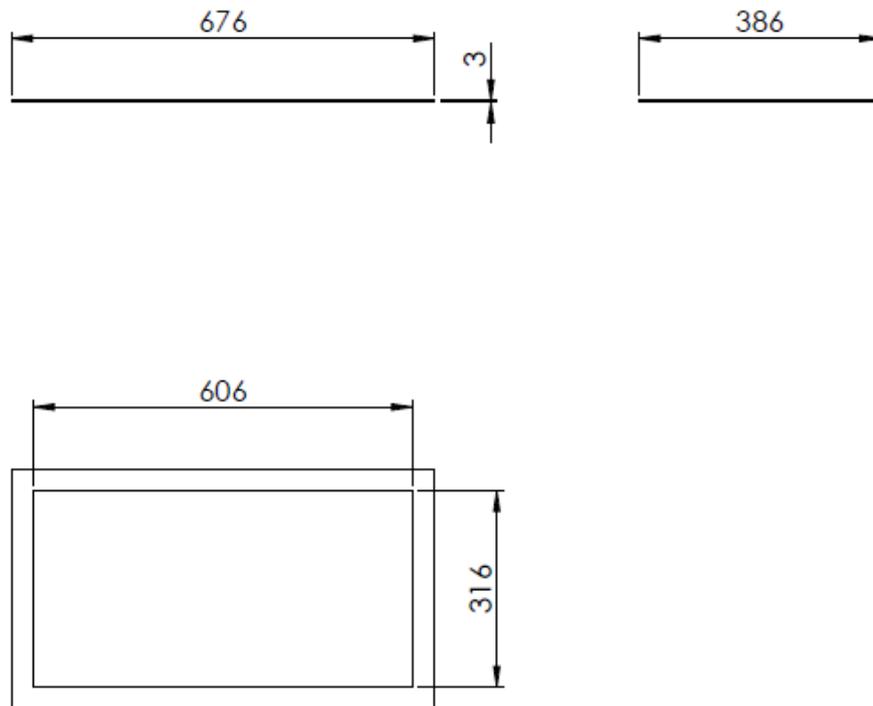


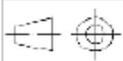
N° DA PEÇA		MATERIAL	QTD.
Tampa externa		AISI 316	1
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.		 CEFET/RJ
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	17/10/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA N°
1:10	TAMPA EXTERNA	1/1B	6
			

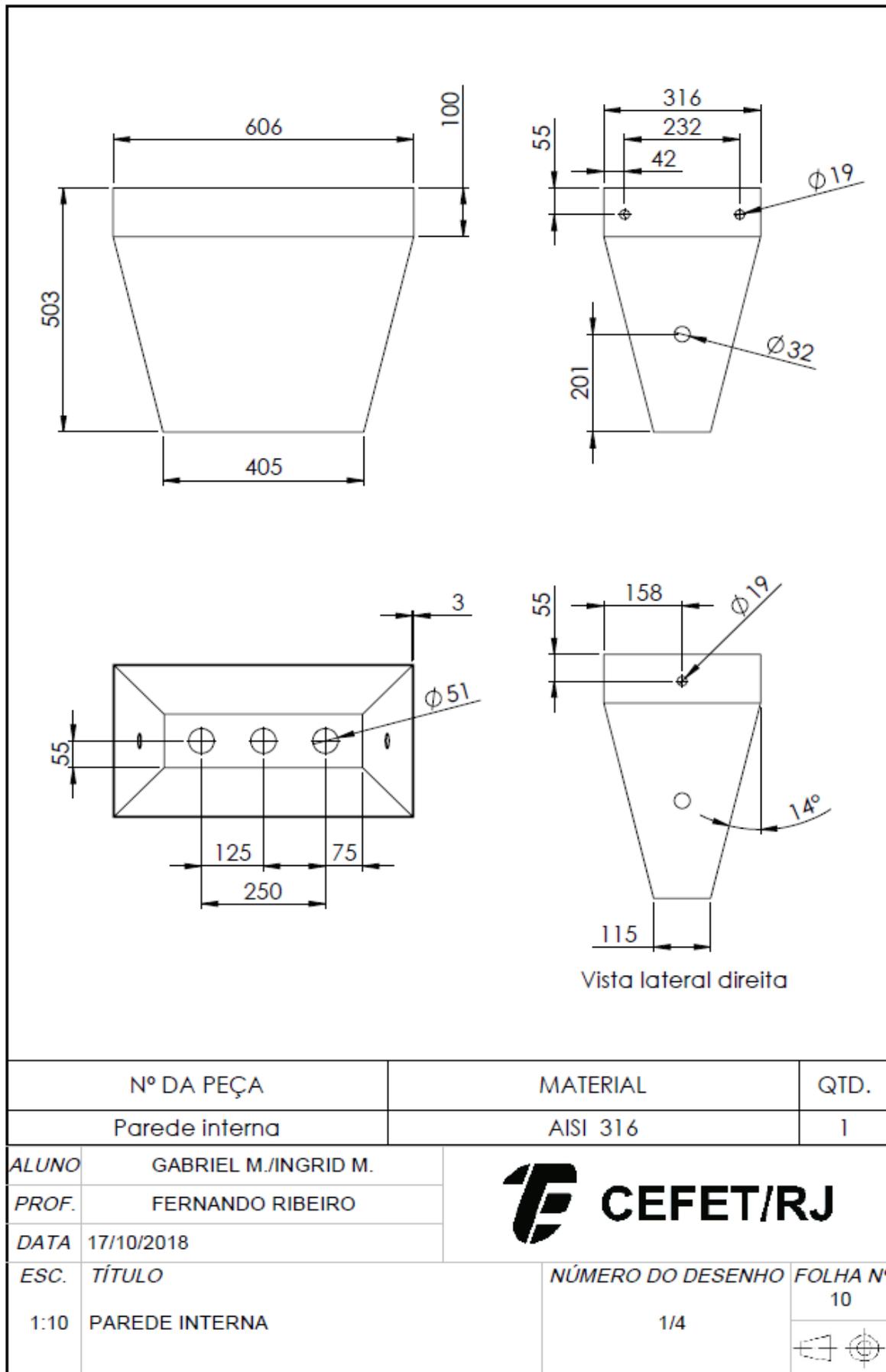


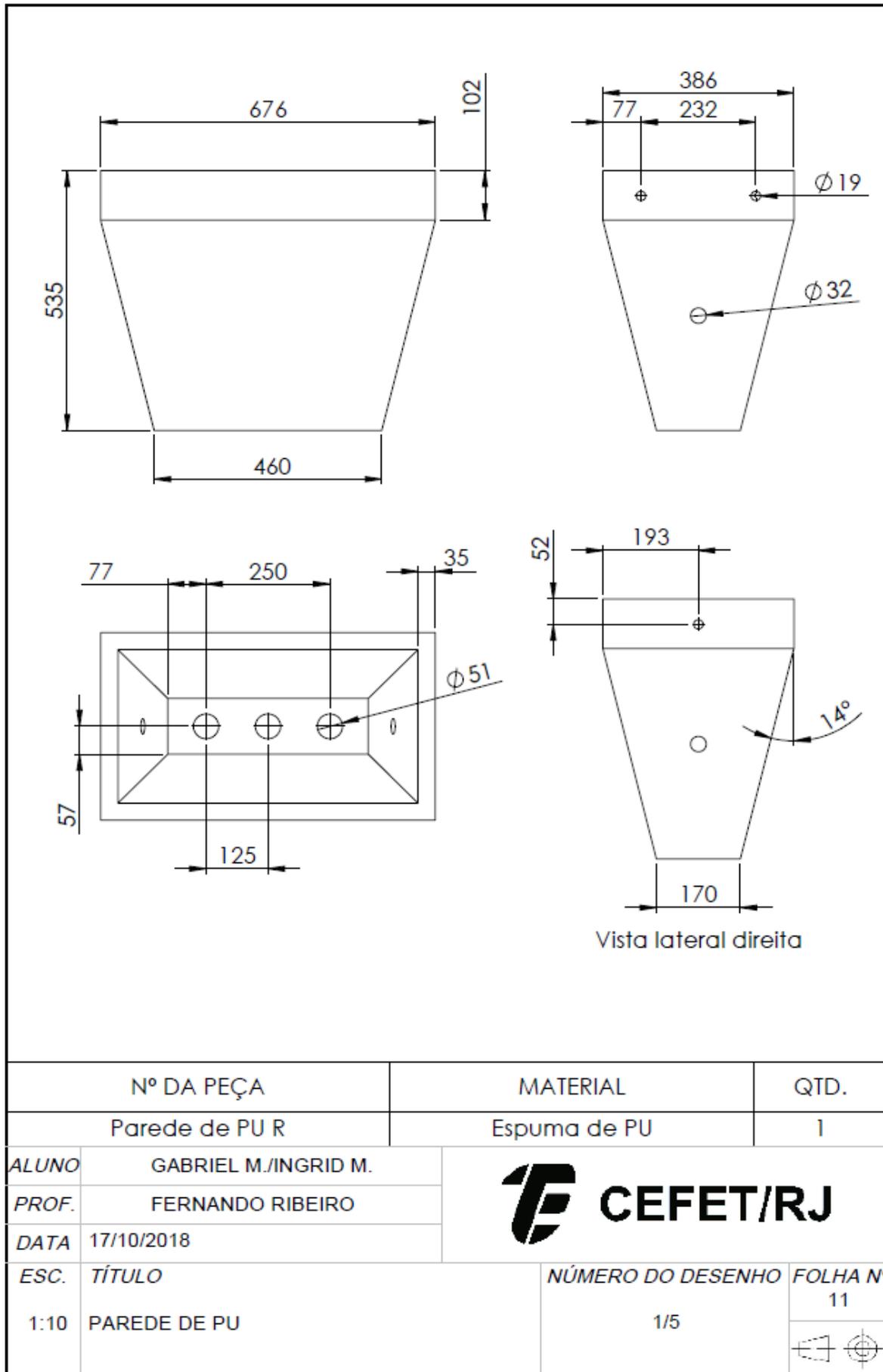
N° DA PEÇA		MATERIAL	QTD.
Tampa PUR		Espuma PUR	1
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.		 CEFET/RJ
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	17/10/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA N°
1:10	TAMPA PU	1/1C	7
			

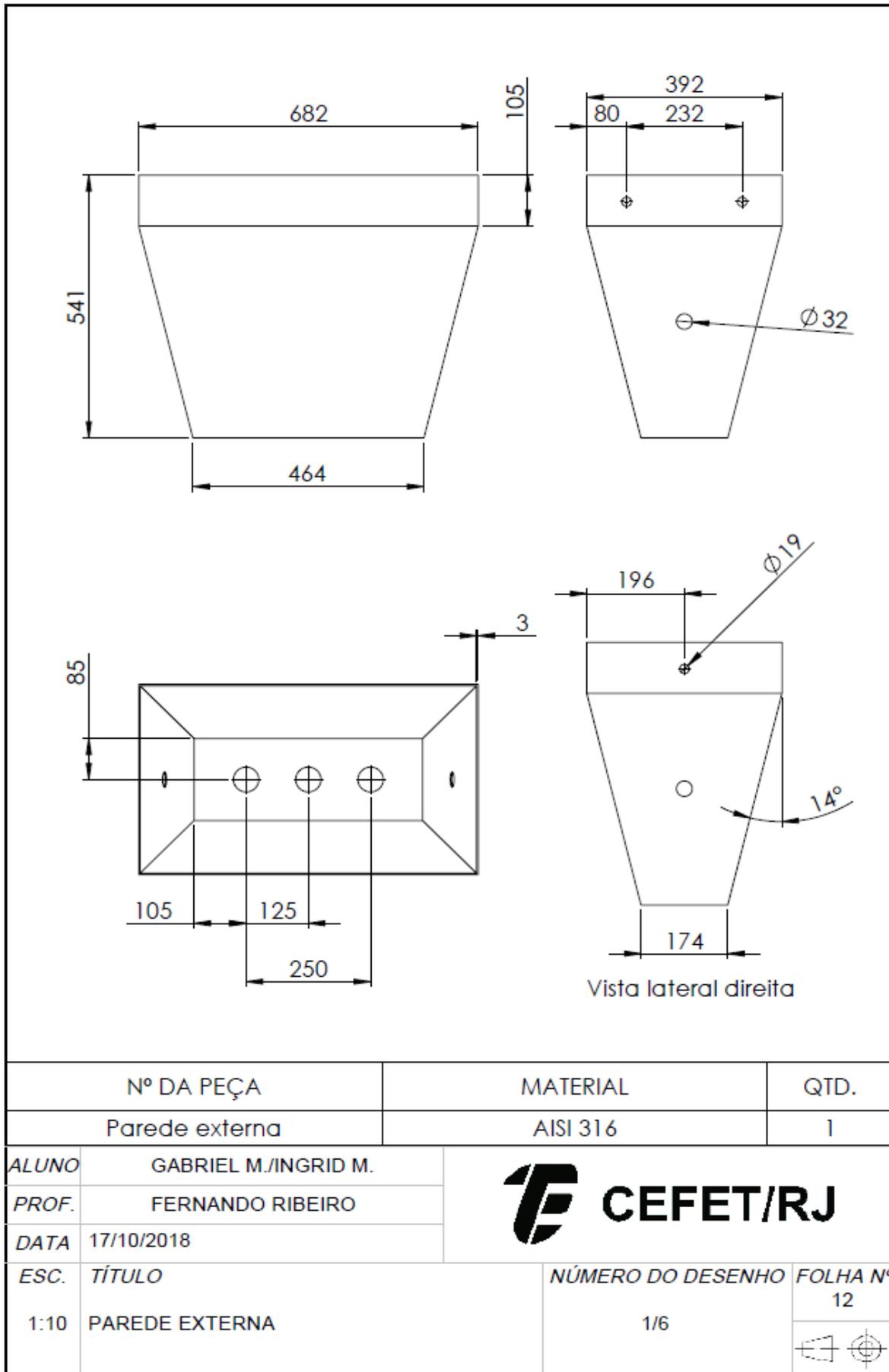


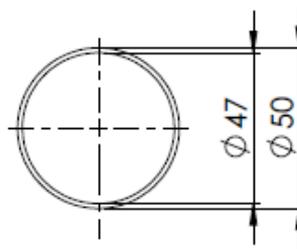
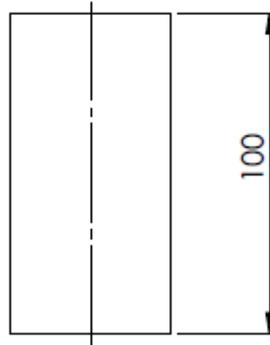


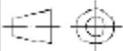
N° DA PEÇA		MATERIAL	QTD.
Aro		AISI 316	1
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.		
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	17/10/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA N°
1:10	ARO	1/3	9
			

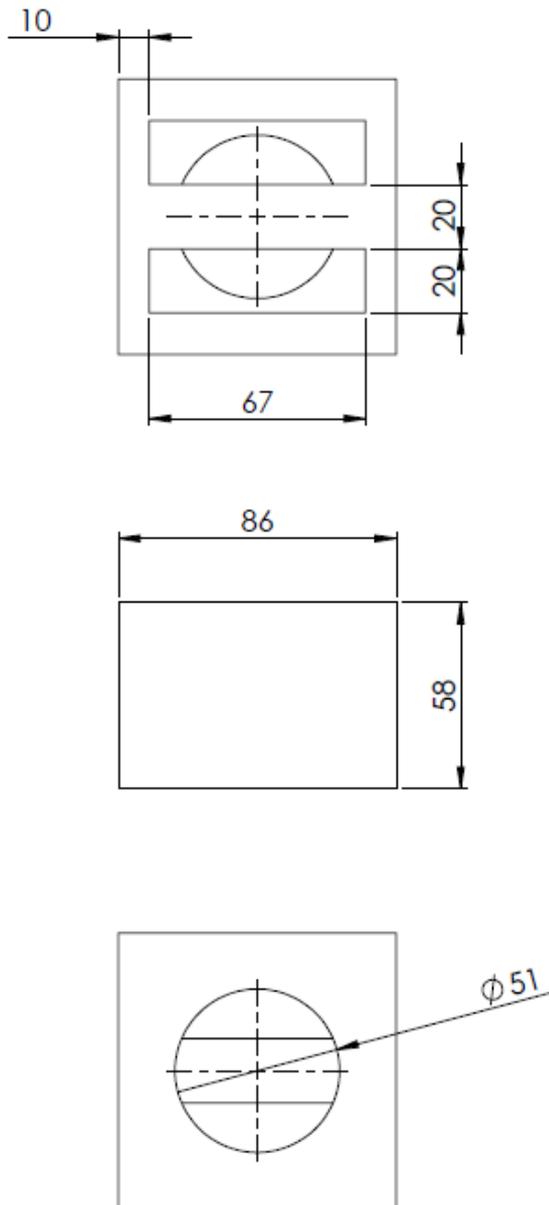




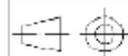


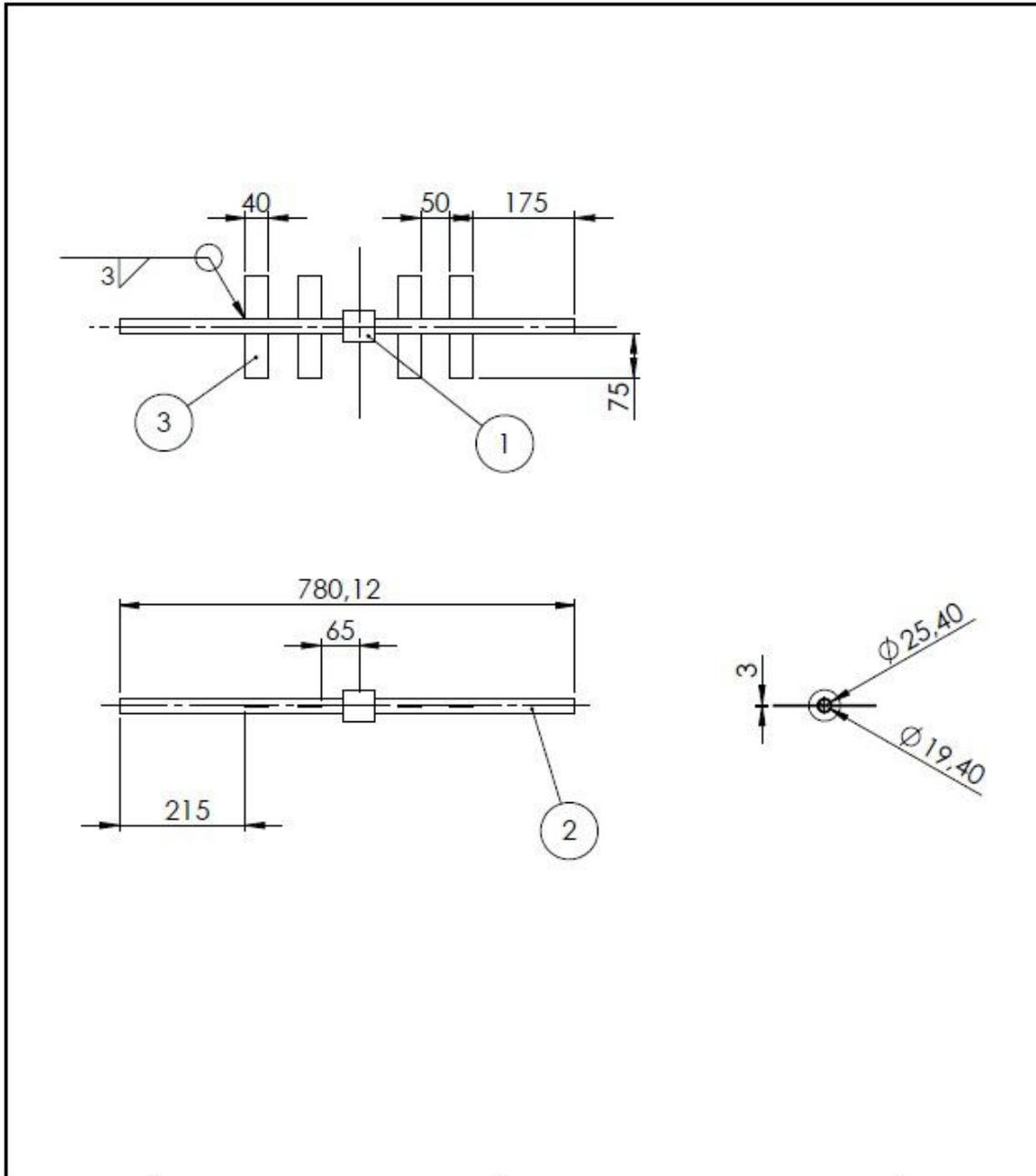


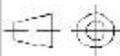
N° DA PEÇA		MATERIAL	QTD.
Tubo de descida		AISI 316	3
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.		 CEFET/RJ
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	17/10/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA N°
1:2	TUBO DE DESCIDA	1/7	13
			

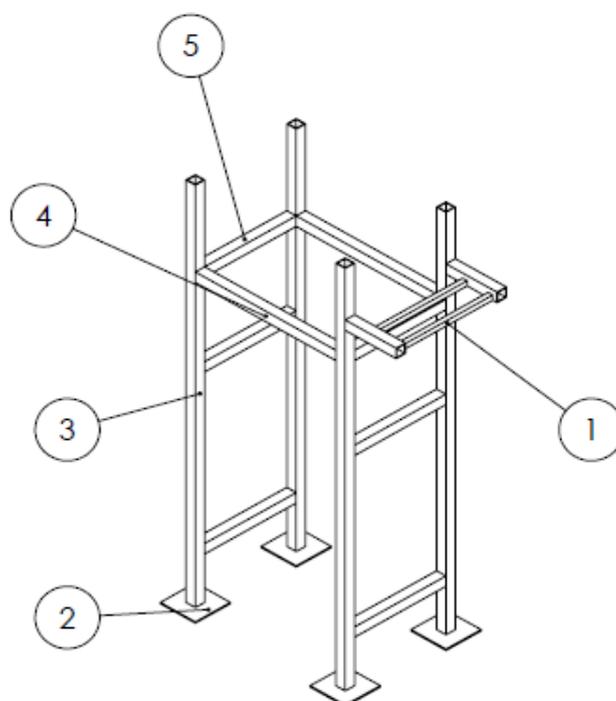


N° DA PEÇA		MATERIAL	QTD.
Injetor		AISI 316	3
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.		
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	17/10/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA N°
1:2	INJETOR	1/8	14

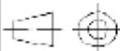
CEFET/RJ


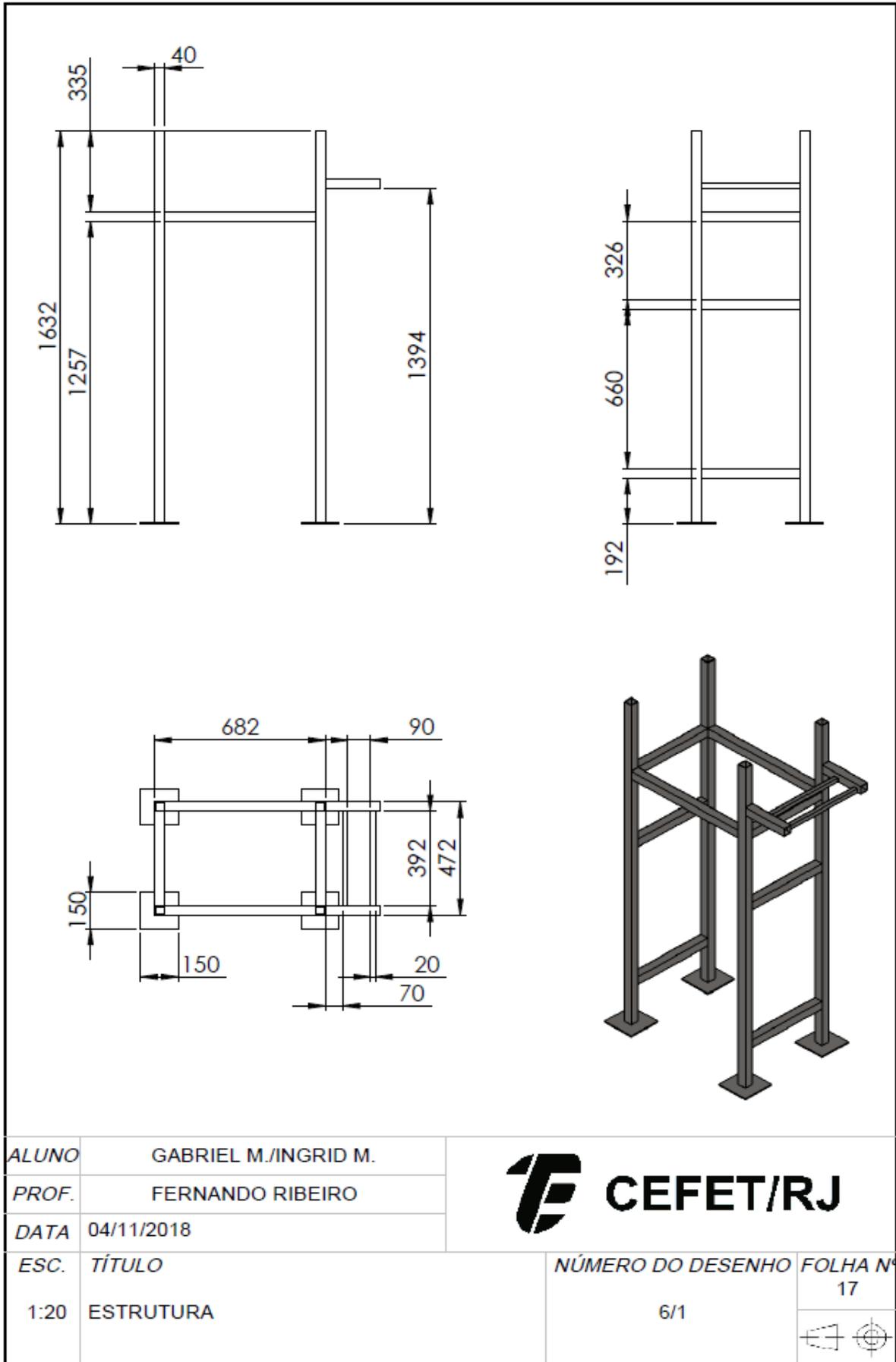


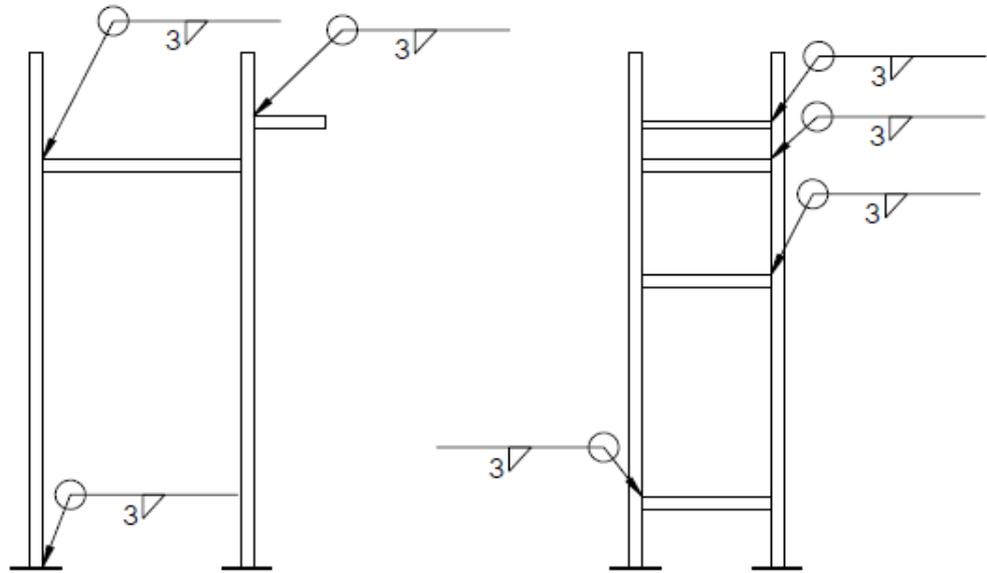
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MATERIAL	QTD.
1	Acoplamento	Aço inoxidável	1
2	Eixo cortado	AISI 316	2
3	Pás	AISI 316	8
ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.		 CEFET/RJ
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	04/11/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA Nº
1:10	EIXO COM PÁS	2	15
			

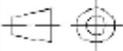


Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	MATERIAL	QTD.
1	Barra de suporte	SAE 1020	2
2	Pés	SAE 1020	4
3	Coluna	SAE 1020	4
4	Barra de apoio	SAE 1020	8
5	Barra de fix. mancal	SAE 1020	2

ALUNO	GABRIEL M./INGRID M.	 CEFET/RJ	
PROF.	FERNANDO RIBEIRO		
DATA	04/11/2018		
ESC.	TÍTULO	NÚMERO DO DESENHO	FOLHA Nº
1:20	CONJUNTO ESTRUTURA	6	16
			





<i>ALUNO</i>	GABRIEL M./INGRID M.	 CEFET/RJ	
<i>PROF.</i>	FERNANDO RIBEIRO		
<i>DATA</i>	04/11/2018		
<i>ESC.</i>	<i>TÍTULO</i>	<i>NÚMERO DO DESENHO</i>	<i>FOLHA Nº</i>
1:20	ESTRUTURA (SOLDAS)	6/2	18
			

ANEXOS

ANEXO A: Catálogo das chapas do reservatório

Produtos > Chapas



Tipos de aço:

AISI 304, 304L, 316, 316L, 410, 420 e 430

Acabamentos:

Nº 1, 2B, BA e Nº 4

Tipo	Descrição	Aparência
Nº 1	material laminado à quente, recozido (solubilizado) e decapado.	superfície cinza clara e fosca. é a "bq branca".
2B	material laminado à frio, recozido (solubilizado) e decapado, mas que recebe um pequeno passe e laminação com cilindros polidos (brilhantes)	superfície com brilho, sendo muito reflexiva nos aços inox ferríticos e pouco nos austeníticos e martensíticos.
BA	material laminado à frio com cilindros polidos e recozido (solubilizado) em forno com atmosfera inerte controlada	superfície com brilho e refletividade.
Nº 4	material lixado em uma direção com abrasivos de granulometria fina (2).	"escovado" menos rugoso que o anterior.

OBS.: 1 . Normalmente são empregadas lixas de granulometria em torno de 100.
OBS.: 2 . Normalmente são empregadas lixas de granulometria entre 120 e 150.

Espessuras		Chapas de Aço Inoxidável							
Nominais mm	Polegadas	No U.S.G.	Dimensões						
			2000 mm x 1000 mm	2000 mm x 1220 mm	2000 mm x 1250 mm	3000 mm x 1000 mm	3000 mm x 1220 mm	3000 mm x 1250 mm	
0,30	...	30	4,800	5,856	6,000	7,200	8,784	9,000	
0,40	1/64"	28	6,400	7,808	8,000	9,600	11,712	12,000	
0,50	...	26	8,000	9,760	10,000	9,600	14,640	15,000	
0,60	...	24	9,800	11,712	12,000	14,400	17,588	18,000	
0,80	1/32"	22	12,800	15,616	19,200	19,200	23,424	24,000	
1,00	...	20	16,000	19,520	20,000	24,000	29,280	30,000	
1,20	...	18	19,200	23,424	24,000	28,800	35,136	36,000	
1,50	1/16"	16	24,000	29,280	30,000	36,000	43,920	45,000	
2,00	5/64"	14	32,000	39,040	40,000	48,000	58,560	60,000	
2,50	...	13	40,000	48,800	50,000	60,000	73,200	75,000	
3,00	1/8"	11	48,000	58,580	60,000	72,000	87,840	90,000	
3,50	9/64"	10	56,000	68,320	70,000	84,000	102,480	105,000	
4,00	5/32"	9	64,000	78,080	80,000	96,000	117,120	120,000	

Catálogo de chapas Mutinox, disponível em:<
http://www.mutinox.com.br/produtos_chapas.html>

ANEXO B: Catálogo do puxador

STUV

Produtos

Características

- Tipo: com trinco
- Forma: em U
- Aplicações: de transporte
- Outras características: de parafuso
- Material: em alumínio
- Tamanho: 140 mm

Descrição

Handle 140 mm
1.63.0420.0
With screws holes for 4 mm, counterbore DIN 74 - A4
For a special request, we can delivery in colour powder coated

Direct Industry - Disponível em: <http://www.directindustry.com/pt/prod/steinbach-vollmann-gmbh-cokg/product-165988-1816203.html>

ANEXO C: Trinco

[Início](#) / [Ferragens e Acessórios](#) / [Produtos p/ Case](#) / [Fecho Case 4000](#)

Fecho Case 4000

Imagens



Detalhes do Produto

Unidade: PEÇA Acabamento: Niquelado

Quantidade

- 1 +

Adicionar ao carrinho

Descrição

Fecho utilizado para confecção de cases. Engate rápido.

R. J. DIEHL – Disponível em: <https://www.rjdiehl.com.br>

ANEXO D: Catálogo de tubos de aço

TUBOS INOX PADRÃO OD



A Norma OD (em inglês outside diameter), refere-se a tubos de diâmetro externo que provém da medidad de 1" = 25,40mm, de formato redondo. Podem ser fornecidos em diversos acabamentos, como decapado, escovados e polidos interno e/ou externo.

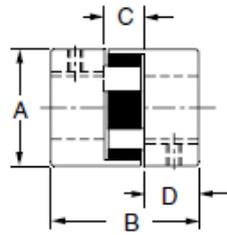
DIAMETRO		ESPESSURA PAREDE (Mm)									
EXTERNO											
pol.	mm	0,90	1,00	1,20	1,50	1,65	2,00	2,11	2,50	2,77	3,00
1/4"	6,35	0,123	0,134	0,155	0,183	-	-	-	-	-	-
5/16"	7,93	0,159	0,171	-	-	-	-	-	-	-	-
3/8"	9,53	0,195	0,214	0,260	0,303	-	-	-	-	-	-
7/16"	11,11	0,223	0,249	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2"	12,70	0,267	0,294	0,347	0,422	0,458	0,538	-	-	-	-
9/16"	14,29	0,302	0,333	-	-	-	-	-	-	-	-
5/8"	15,87	0,339	0,374	0,442	0,542	0,590	-	-	-	-	-
3/4"	19,05	0,410	0,450	0,537	0,660	0,719	0,854	0,896	-	-	-
7/8"	22,22	-	0,533	0,659	0,781	-	1,017	-	-	-	-
1"	25,40	-	0,613	0,730	0,901	0,985	1,176	1,235	1,408	1,575	1,689
1.1/4"	31,75	-	0,773	0,921	1,140	1,248	1,495	1,572	1,803	2,017	2,168
1.1/2"	38,10	-	0,933	1,110	1,376	1,507	1,809	1,908	2,193	2,459	2,647

Tubos redondos – SID Aço Inox – Disponível em: <http://sidacoinox.com.br/produtos/inox-2/>

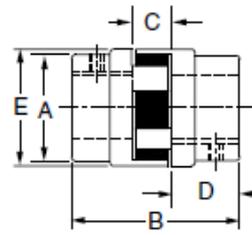
ANEXO E: Catálogo do acoplamento mandíbula



ACOPLAMENTOS DE MANDÍBULA DO TIPO "L"



Tipo 1



Tipo 2

TABELA 1

CUBOS DO ACOPLAMENTO										INSERTOS				
Tamanho do acoplamento	Tipo	Dimensões em polegadas					Peso - libras		Buna-N	Polegadas	HYTREL**	Bronze	Peso Libras	
		A	B	C	D	E	Dímetro interno mín.	Dímetro interno máx.	N° da peça	N° da peça	N° da peça	N° da peça	Peso Libras	
L035	1	5/8	13/16	9/32	17/64	-	.01	-	L035N	-	-	-	.01	-
L050	1	1 5/84	1 23/32	15/32	5/8	-	.29	.24	L050N	-	L050H	L050B	.07	.17
L070	1	1 23/64	2	1/2	3/4	-	.59	.54	L070N	L070 U	L070 H	L070B	.03	.13
L075	1	1 3/4	2 1/8	1/2	13/16	-	1.00	.86	L075N	L075 U	L075 H	L075B	.03	.13
L090	2	2 7/64	2 1/8	1/2	13/16	-	1.48	1.32	L090/095N	L090/095 U	L090/095 H	L090/095B	.03	.29
L095	2	2 7/64	2 1/2	1/2	1	-	1.75	1.52	L090/095N	L090/095 U	L090/095 H	L090/095B	.03	.29
L099	2	2 17/32	2 7/8	3/4	1 1/16	-	2.50	2.17	L099/100N	L099/100 U	L099/100 H	L099/100B	.07	.45
L100	2	2 17/32	3 1/2	3/4	1 3/8	-	3.42	2.92	L099/100N	L099/100 U	L099/100 H	L099/100B	.07	.45
L110	2	3 5/16	4 1/4	7/8	1 11/16	-	6.45	5.61	L110N	L110 U	L110 H	L110B	.13	.89
L150	2	3 3/4	4 1/2	1	1 3/4	-	8.95	7.73	L150N	L150 U	L150 H	L150B	.24	1.10
L190	2	4	5 1/4	1	2 1/8	4 1/2	8.83	7.04	L190N	L190 U	L190 H	L190B	.28	1.64
L225	2	4 1/4	6	1	2 1/2	5	12.28	9.60	L225N	L225 U	L225 H	L225B	.37	2.24

TABELA 2

Material do inserto	Tamanho do acoplamento	Dímetro interno máximo	Vel. máx. * RPM	Torque pol.-lb	Capacidades de potência nas velocidades indicadas (RPM)							
					50	100	300	600	900	1200	1800	3600
BUNA-N	L035	3/8"	31000	3.52	.0028	.0056	.017	.034	.05	.067	.10	.20
	L050	5/8	18000	25.8	.0205	.041	.123	.25	.37	.49	.74	1.48
	L070	3/4	14000	44.1	.035	.07	.21	.42	.63	.84	1.26	2.52
	L075	7/8	11000	88.2	.070	.14	.38	.76	1.26	1.68	2.52	5.04
	L090	1	9000	145	.115	.23	.69	1.38	2.07	2.76	4.14	8.28
	L095	1 1/8	9000	189	.150	.30	.90	1.80	2.70	3.60	5.40	10.8
	L099	1 3/16	7000	315	.250	.50	1.50	3.00	4.50	6.00	9.00	18.0
	L100	1 3/8	7000	416	.330	.66	1.98	3.96	5.94	7.92	11.9	23.8
	L110	1 5/8	5000	788	.630	1.25	3.75	7.50	11.3	15.0	22.5	45.0
	L150	1 7/8	5000	1260	1.00	2.00	6.00	12.0	18.0	24.0	36.0	72.0
L190	2 1/8	5000	1702	1.35	2.70	8.10	16.2	24.3	32.4	48.6	97.2	
L225	2 3/8	4200	2332	1.85	3.70	11.1	22.2	33.3	44.4	66.6	133.2	
URETANO	L070	3/4	14000	66.2	.053	.105	.32	.63	.95	1.26	1.89	3.78
	L075	7/8	11000	132	.105	.210	.63	1.26	1.89	2.52	3.78	7.56
	L090	1	9000	217	.173	.345	1.04	2.07	3.11	4.14	6.21	12.4
	L095	1 1/8	9000	284	.225	.450	1.35	2.70	4.05	5.40	8.10	16.2
	L099	1 3/16	7000	473	.375	.750	2.25	4.50	6.75	9.00	13.5	27.0
	L100	1 3/8	7000	624	.495	.990	2.97	5.94	8.91	11.9	17.8	35.6
	L110	1 5/8	5000	1182	.938	1.875	5.63	11.3	16.9	22.5	33.8	67.5
	L150	1 7/8	5000	1891	1.50	3.00	9.00	18.0	27.0	36.0	54.0	108.0
	L190	2 1/8	5000	2553	2.03	4.05	12.2	24.3	36.5	48.6	72.9	145.8
	L225	2 3/8	4200	3498	2.78	5.55	16.7	33.3	50.0	66.6	99.9	199.8
HYTREL** e BRONZE*	L050	5/8	18000*	50.4	.04	.08	.24	.48	.72	.96	1.44	2.88
	L070	3/4	14000*	113	.09	.18	.54	1.08	1.77	2.16	3.24	6.48
	L075	7/8	11000*	227	.18	.36	1.08	2.16	3.24	4.32	6.48	13.0
	L090	1	9000*	391	.31	.62	1.86	3.72	5.58	7.44	11.2	22.3
	L095	1 1/8	9000*	567	.45	.90	2.70	5.40	8.10	10.8	16.2	32.4
	L099	1 3/16	7000*	788	.63	1.25	3.75	7.50	11.3	15.0	22.5	45.0
	L100	1 3/8	7000*	1134	.90	1.80	5.40	10.8	16.2	21.6	32.4	64.8
	L110	1 5/8	5000*	2269	1.80	3.60	10.8	21.6	32.4	43.2	64.8	129.6
	L150	1 7/8	5000*	3706	2.94	5.88	17.6	35.3	52.9	70.6	105.8	211.7
	L190	2 1/8	5000*	4683	3.72	7.43	22.3	44.6	66.9	89.2	133.7	267.5
L225	2 3/8	4200*	6303	5.00	10.0	30.0	60.0	90.0	120.0	180.0	360.0	

Catálogo de acoplamento para produtos industriais. Disponível em:

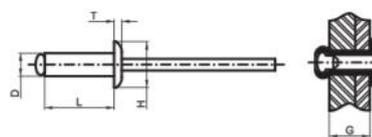
https://www.regalpts.com/PowerTransmissionSolutions/Catalog/Form_8887P.pdf

ANEXO F: Catálogo de rebites



REBITE DE REPUXO ABERTO - INOX

BLIND RIVET OPEN END - STAINLESS STEEL
REMACHE ABIERTO - ACERO INOXIDABLE

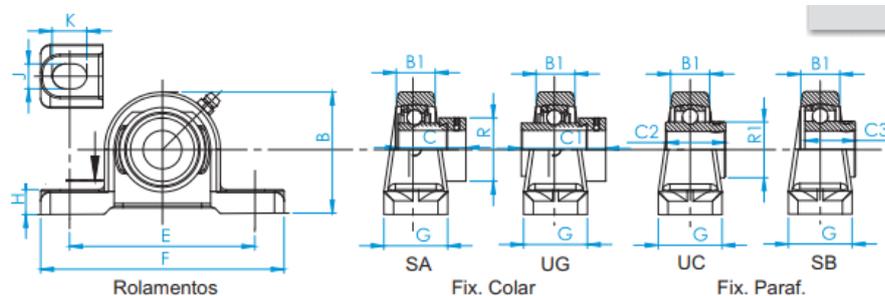


D	F	L	G	H	T	CISALHAMENTO SHEAR CORTE	TRACÃO TENSILE TRACCIÓN	CÓDIGO PART REFERENCIA
3,2	3,3 - 3,4	8	3 - 5	5,8 - 6,5	1,2 max.	1.870 N min.	2.360 N min.	13313208
		10	5 - 7					13313210
		12	7 - 9					13313212
		14	9 - 11					13313214
4	4,1 - 4,2	10	4 - 6	7 - 8	1,5 max.	2.890 N min.	3.650 N min.	13314010
		12	6 - 8					13314012
		14	8 - 10					13314014
		16	10 - 12					13314016
4,8	4,9 - 5	12	5,5 - 7,5	8,5 - 9,5	1,6 max.	4.230 N min.	5.340 N min.	13314812
		14	7,5 - 9,5					13314814
		16	9,5 - 11,5					13314816
		18	11,5 - 13,5					13314818
		20	13,5 - 15,5					13314820
25	15,5 - 20,5	13314825						

Catálogo de rebites – Macrosul – Disponível em:

www.macrosul.com.br/download.php?f=CatalogoRebites_Macrosul.pdf

ANEXO G: Catálogo de mancais



BRM																	
EIXO		Mancal	A	B	B1	C	C1	C2	C3	E	F	G	H	J	K	R	R1
mm	Pol.		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
12 15 17	1/2 9/16 5/8 11/16	RAS 15	30,2	57,1	18	28,6	37,3	27,4	23,8	92,1	124	31	11,9	11,1	22,2	28,6	24,5
20	3/4	RAS 20	33,3	65,1	19	31	43,7	31	27	96	127	34,1	13,5	11,1	19,8	33,3	27,6
25	13/16 7/8 15/16 1	RAS 25	36,5	71,4	21	31	44,4	34,1	28,2	105	140	35,7	15,1	11,1	20,6	38,1	33,8
30	1 1/16 1 1/8 1 3/16	RAS 30	42,9	84,1	25	35,7	48,4	38,1	32,5	118	157	44,4	16,7	14,3	23,8	44,4	40,3
35	1 1/4 1 5/16 1 3/8 1 7/16	RAS 35	47,6	93,7	27	38,9	51,2	42,9	36,5	127	171	44,4	18,3	14,3	22,2	54	46,8
40	1 1/2 1 9/16	RAS 40	49,2	100	30	43,7	56,4	49,2	38,3	137	181	49,2	19	14,3	25,4	60,3	52,3
45	1 5/8 1 11/16 1 3/4	RAS 45	54	106	32	43,7	56,4	49,2	-	144	187	50,8	19	14,3	23	63,5	57,9
50	1 13/16 1 7/8 1 15/16	RAS 50	57,2	114	34	43,7	62,7	51,6	-	157	203	55,6	19	17,5	23,8	69,8	62,8

Catálogo de mancais – BRM – Disponível em:
<http://www.rolwilson.com.br/CATALOGOS/BRM/catalogoBRM.pdf>

ANEXO H: Catálogo de tubos quadrados para a estrutura da máquina

TUBOS QUADRADOS



Dimensões			Dimensões			Dimensões					
mm	mm	kg	mm	mm	kg	mm	mm	kg			
15,00	15,00	0,90	2,42	40,00	40,00	4,25	29,28	75,00	75,00	4,25	57,25
		1,20	3,17			4,75	32,38			4,75	63,63
		1,50	3,90			1,20	11,07			6,35	83,56
20,00	20,00	0,90	3,26	50,00	50,00	1,50	13,77	80,00	80,00	8,00	103,31
		1,20	4,30			2,00	18,21			1,50	22,23
		1,50	5,31			2,25	20,40			2,00	29,49
		2,00	6,93			2,65	23,87			2,25	33,09
25,00	25,00	0,90	4,11	60,00	60,00	3,00	26,87	90,00	90,00	2,65	38,81
		1,20	5,43			3,35	29,83			3,00	43,78
		1,50	6,72			3,75	33,17			3,35	48,72
		2,00	8,81			4,25	37,27			3,75	54,31
		2,25	9,82			4,75	41,31			4,25	61,24
		2,65	11,41			6,35	53,72			4,75	68,09
30,00	30,00	3,00	12,77	70,00	70,00	1,20	13,32	90,00	90,00	6,35	89,53
		0,90	4,96			1,50	16,59			8,00	110,83
		1,20	6,55			2,00	21,97			1,50	25,04
		1,50	8,13			2,25	24,63			2,00	33,25
		2,00	10,69			2,65	28,85			2,25	37,32
		2,25	11,94			3,00	32,51			2,65	43,80
		2,65	13,91			3,35	36,12			3,00	49,42
		3,00	15,59			3,75	40,22			3,35	55,02
35,00	35,00	3,35	17,23	70,00	70,00	4,25	45,26	90,00	90,00	3,75	61,36
		3,75	19,07			6,35	65,65			4,25	69,23
		0,90	5,80			1,20	15,58			4,75	77,02
		1,20	7,68			1,50	19,41			6,35	101,47
		1,50	9,54			2,00	25,73			8,00	125,87
		2,00	12,57			2,25	28,86			9,52	147,65
		2,25	14,05			2,65	33,83			2,00	37,01
		2,65	16,40			3,00	38,14			2,25	41,55
		3,00	18,41			3,35	42,42			2,65	48,78
		3,35	20,38			3,75	47,26			3,00	55,06
3,75	22,59	4,25	53,25	3,35	61,31						

Catálogo de tubos de aço carbono – Tubonasa Aços – Disponível em:
<http://www.tubonasa.com.br/catalogo-pdf/Catalogo-Tubonasa.pdf>