



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

André Carvalho Moreira

Desenvolvimento de uma máquina hidráulica semiautomática, componente mecânica, para o fabrico de componentes a partir de derivados de madeira



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

André Carvalhido Moreira

Desenvolvimento de uma máquina hidráulica
semiautomática, componente mecânica, para
o fabrico de componentes a partir de
derivados de madeira

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor António Costa Marques Pinho

e co-orientação do
Professor Doutor Jaime Cruz Fonseca

DECLARAÇÃO

Nome: André Carvalho Moreira

Correio eletrónico: acmoreira25@gmail.com

Tlm.: 969908020

Número do Bilhete de Identidade: 13797105

Título da dissertação: Desenvolvimento de uma máquina hidráulica semiautomática, componente mecânica, para o fabrico de componentes a partir de derivados de madeira

Ano de conclusão: 2013

Orientador(es): António Costa Marques Pinho, Jaime Francisco Cruz Fonseca

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia

Área de Especialização: Concepção de Estruturas

Escola: Engenharia

Departamento: Engenharia Mecânica

3. De acordo com a legislação em vigor, não é permitida a reprodução de qualquer parte desta dissertação

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar e atenciosamente, agradeço ao meu orientador Professor Doutor António Costa Marques Pinho pelo incansável apoio, pelas produtivas conversas nas reuniões de tutoria e com a empresa, pelo incentivo ao longo do trabalho.

Ao Engenheiro António Oliveira, representante da empresa Tabolima, Lda., Engenheiro com um carisma empreendedor e inovador, uma das principais razões para aceitar este desafio. Obrigado pelos esclarecimentos técnicos prestados, pelo seu apoio e aconselhamento.

Ao Professor Doutor Jaime Fonseca (DEI) pelos esclarecimentos e aconselhamento prestados na área de sistemas eletrónicos do equipamento.

Ao técnico do Laboratório de Ensaio de Materiais, Sr. Fernando Araújo pela prontidão e acompanhamento à realização de ensaios para o trabalho.

Aos meus colegas da Universidade do Minho pelos bons momentos que me proporcionaram e apoio ao longo da minha jornada académica nestes últimos anos.

Aos Pai e Mãe, Família e Amigos, que de uma forma mais ou menos presente não deixaram de dar o seu contributo para que fosse possível a execução deste trabalho.

A todos estes, um Muito Obrigado.

RESUMO

Desenvolvimento de uma máquina hidráulica semiautomática, componente mecânica, para o fabrico de componentes a partir de derivados de madeira.

Este trabalho incide sobre a necessidade gerada de criação de um equipamento que permita produzir pequenas peças de aglomerado de partículas com reaproveitamento de resíduos de madeira, especialmente a serradura de pinho, resultante da serração de toros de pinheiro.

A inexistência ou total desconhecimento da existência de um equipamento que possa servir de base para o atual projeto, levou à necessidade de inovar e realizar de um projeto de raiz em que a Engenharia de Produto existente, obtida de uma forma mais artesanal, produz parte dos requisitos necessários ao projeto do equipamento.

O modelo escolhido de equipamento criado foi dimensionado satisfazendo os requisitos, com recurso a métodos analíticos, validados ao longo do trabalho a partir de diversas ferramentas informáticas e ensaios experimentais.

Para análises pelo método dos deslocamentos foi utilizado o software *CYPE* e para análises pelo método de elementos finitos foi utilizado o software *Solidworks Simulation*.

Palavras-chave:

Máquina; aglomerados de madeira; organização da produção; dimensionamento analítico; simulação FEM.

ABSTRACT

Development of a hydraulic machine semi-automatic, mechanical component, for the manufacture of components from derived wood.

This work focuses on the need to create a generated equipment to produce small pieces of agglomerate particles with reuse of waste wood, especially pine sawdust, resulting from sawing pine logs.

The lack or total ignorance of the existence of a device that can serve as the basis for the current project, led to the need to innovate and perform a root project where the existing Product Engineering, obtained a more handmade, produces some of the requirements for the equipment design.

The model chosen equipment created was initially dimensioned meeting the requirements, using analytical methods, validated over the work from various computer tools and experimental tests.

For analysis by the displacement method was used CYPE software and analyzes by finite element method was used SolidWorks Simulation software.

Keywords:

Machine; wood agglomerates; organization of production; analytical design; FEM simulation.

ÍNDICE

<i>AGRADECIMENTOS</i>	II
<i>RESUMO</i>	IV
<i>ABSTRACT</i>	VI
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	XII
<i>LISTA DE SÍMBOLOS</i>	XVIII
<i>LISTA DE TABELAS</i>	XX
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	2
1.2. MOTIVAÇÃO.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	2
2. ESTADO DA ARTE.....	5
2.1. ANÁLISE DO PRODUTO.....	5
2.2. ANÁLISE DA MATÉRIA-PRIMA.....	7
2.2.1. Partículas de madeira.....	7
2.2.2. Adesivos.....	8
2.3. ANÁLISE DA PRODUÇÃO.....	10
2.4. NORMALIZAÇÃO.....	12
2.4.1. A Diretiva 2006/42/CE.....	12
3. PROJETO CONCETUAL.....	15

3.1.	O PRODUTO.....	15
3.2.	A PRODUÇÃO.....	16
3.2.1.	Processo	16
3.3.	OS REQUISITOS	17
3.4.	ORGANIZAÇÃO DO PROJETO	18
3.5.	EQUIPAMENTO DE PRODUÇÃO	18
3.5.1.	Opção 1	19
3.5.2.	Opção 2	20
3.5.3.	Opção 3	21
3.5.4.	Opção 4	23
3.5.5.	Opção 5	25
3.5.6.	Tomada de decisão	26
3.6.	MOLDES.....	27
3.6.1.	Opção 1	28
3.6.2.	Opção 2	28
3.6.3.	Tomada de decisão	29
3.7.	ALIMENTADOR.....	29
3.7.1.	Opção 1	30
3.7.2.	Opção 2	30
3.7.3.	Tomada de decisão	31
3.8.	MISTURADOR.....	31

4.	PROJETO DETALHADO.....	35
4.1.	EQUIPAMENTO DE PRODUÇÃO	36
4.1.1.	Moldes	37
4.1.2.	Mesa Basculante.....	41
4.1.3.	Estrutura de suporte da mesa basculante	58
4.1.4.	Sistema de Aquecimento.....	66
4.1.5.	Sistema de Prensagem.....	77
4.2.	ALIMENTADOR.....	80
4.3.	MISTURADOR.....	81
4.3.1.	Dimensões da casca	82
4.3.2.	Projeto do rotor	82
4.3.3.	Projeto do sistema de escoamento.....	86
4.3.4.	Projeto da bomba de alimentação	87
4.3.5.	Projeto da estrutura de suporte do misturador	88
4.3.6.	Modelo 3d Final.....	89
4.3.7.	Outros elementos	92
4.4.	MODELAÇÃO 3D DO EQUIPAMENTO	93
5.	IMPLANTAÇÃO DO EQUIPAMENTO	95
5.1.	INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO	95
5.2.	OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO	97
5.2.1.	Arranque	97

5.2.2.	Normal funcionamento.....	98
5.2.3.	Operação de encerramento.....	99
5.3.	MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	100
5.4.	INDICAÇÕES COMPLEMENTARES.....	101
6.	CONCLUSÕES.....	103
7.	REFERÊNCIAS.....	105
8.	BIBLIOGRAFIA.....	107
	ANEXO A - RESUMO DA DIRECTIVA 2006/42/CE.....	109
	ANEXO B – DESENHOS DE CONJUNTO.....	117
	ANEXO C – CARACTERÍSTICAS DA PRENSA HIDROLINKSAN HD 60 TON.....	139
	ANEXO D – DESENHOS DE MONTAGEM.....	143
	ANEXO D1 – Molde (G1).....	145
	ANEXO D2 – Mesa (G2).....	146
	ANEXO D3 – Mesa Basculante (G2.1).....	147
	ANEXO D4 – Estrutura de suporte da Mesa Basculante (G2.2).....	148
	ANEXO D5 – Sistema de Aquecimento (G3).....	149
	ANEXO D6 – Sistema de Prensagem (G4).....	150
	ANEXO D7 – Alimentador (G5).....	151
	ANEXO D8 – Misturador (G6).....	152
	ANEXO D9 – Bomba (G6.4).....	154
	ANEXO D10 – Conjunto da placa superior (G6.5).....	155

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Evolução da produção mundial de painéis de aglomerado de partículas (Adaptado de Food and Agriculture Organization of the United Nations)	1
Figura 1.2 - Produção de Painéis de aglomerado de partículas, 1992-2002 (Adaptado de European panel Federation) [3]	1
Figura 2.1 - Principais tipos de painéis de derivados europeus	5
Figura 2.2 - Painel de aglomerado de partículas de derivado de madeira	6
Figura 2.3 - Vigas de aglomerados de madeira com perfil em I.....	7
Figura 2.4 - Resíduos provenientes de operações mecânicas	8
Figura 2.5 - Linha de produção de placas aglomeradas de partículas [4]	11
Figura 3.1 - O produto.....	16
Figura 3.2 - Ilustração do processo de fabrico de aglomerados de partículas de madeira [7]	16
Figura 3.3 - Módulos do projeto	18
Figura 3.4 - Esboço da organização da Opção 1 para a produção (vista superior)	20
Figura 3.5 - Esboço da organização da Opção 2 para a produção (vista superior)	21
Figura 3.6 - Esboço da organização da Opção 2 para a produção (vista frontal)	21
Figura 3.7 - Esboço da organização da Opção 3 para a produção (vista superior)	22
Figura 3.8 - Esboço da organização da Opção 3 para a produção (vista frontal)	22
Figura 3.9 - Esboço da Opção 3.....	23
Figura 3.10 - Esboço da organização da Opção 4 para a produção (vista superior)	24
Figura 3.11 - Esboço da organização da Opção 4 para a produção (vista frontal)	24
Figura 3.12 - Esboço 3D da Opção 4	25
Figura 3.13 - Modelo 3D da Opção 5.....	26
Figura 3.14 - Primórdio do Conjunto Molde	27
Figura 3.15 - Base do molde.....	27
Figura 3.16 - Casca do molde.....	27
Figura 3.17 - Esboço da Opção 1 para molde.....	28
Figura 3.18 - Vista explodida da Opção 1	28
Figura 3.19 - Esboço da Opção 2 para molde.....	29

Figura 3.20 - Vista de corte da Opção 2.....	29
Figura 3.21 - Ilustração da Opção 1 para alimentador	30
Figura 3.22 - Ilustração da Opção 2 para alimentador	31
Figura 3.23 - Misturador com estrutura do tipo cônica.....	32
Figura 3.24 - Diagrama de critério de seleção de misturadores contínuos	32
Figura 3.25 - Rotor de lâminas [8]	33
Figura 3.26 - Rotor de espiral [8]	33
Figura 3.27 - Esboço do Misturador (vista lateral)	33
Figura 4.1 - Estrutura do projeto	35
Figura 4.2 - Prensa semelhante à selecionada no projeto	36
Figura 4.3 - Organização da área de prensagem.....	37
Figura 4.4 - Modelo 3D em CAD do Molde.....	38
Figura 4.5 - Molas de chapa	38
Figura 4.6 - Demonstração do sistema de auxílio à desmoldagem (Aliviado).....	39
Figura 4.7 - Demonstração do sistema de auxílio à desmoldagem (Comprimido)	39
Figura 4.8 - Ilustração da aplicação de fixações e pressões no molde	40
Figura 4.9 - Mesa Basculante.....	41
Figura 4.10 - Ilustração da Mesa Basculante integrando a estrutura de suporte	41
Figura 4.11 - Organização da área da Mesa Basculante	42
Figura 4.12 - Parafusos com carregamento igual à massa do molde.....	43
Figura 4.13 - Ilustração do carregamento da mesa.....	45
Figura 4.14 - Ilustração do carregamento do eixo da mesa	48
Figura 4.15 - Diagrama de esforços transversos do eixo da mesa.....	48
Figura 4.16 - Diagrama de momentos fletores do eixo da mesa	48
Figura 4.17 - Ilustração da mesa basculante integrando o eixo e as cantoneiras frontal e traseira	49
Figura 4.18 - Ilustração do carregamento da cantoneira frontal e traseira	50
Figura 4.19 - Ilustração da aplicação de guias na mesa basculante.....	50
Figura 4.20 - Cotagem do perfil de Guia	51
Figura 4.21 - Modelo 3D das guias da mesa basculante.....	51
Figura 4.22 - Ilustração do sistema de bloqueio dos moldes na mesa basculante	52

Figura 4.23 - Ilustração das placas de compensação da mesa basculante	52
Figura 4.24 - Fecho frontal da mesa basculante	53
Figura 4.25 - Detalhe da manivela no extremo do eixo da mesa basculante	53
Figura 4.26 - Vista Superior da mesa basculante em modelo 3D CAD	54
Figura 4.27 - Vista Inferior da mesa basculante em modelo 3D CAD	54
Figura 4.28 - Ilustração da aplicação de fixações e carregamento da mesa basculante (posição normal)	56
Figura 4.29 - Ilustração da aplicação de fixações e esforços na mesa basculante (posição invertida)	57
Figura 4.30 - Cotagem da estrutura lateral de suporte da mesa basculante	58
Figura 4.31 - Diagrama de esforços transversos da cantoneira 3-4	60
Figura 4.32 - Diagrama de momentos fletores da cantoneira 3-4	60
Figura 4.33 - Divisão da secção transversal da cantoneira	60
Figura 4.34 - Unidade rolamento SKF	62
Figura 4.35 - Ilustração 3D CAD da unidade rolamento aplicada	62
Figura 4.36 - Perno de fixação RS	62
Figura 4.37 - Ilustração 3D CAD da aplicação de um perno fixador	62
Figura 4.38 - Modelo 3D CAD dos pés da estrutura de suporte da mesa basculante	63
Figura 4.39 - Modelo 3D CAD da estrutura de suporte da mesa basculante	63
Figura 4.40 - Ilustração da aplicação da cantoneira 3-4	64
Figura 4.41 - Modelo da estrutura de suporte da mesa basculante em CYPE CAD	65
Figura 4.42 - Cotagem da estrutura de suporte da mesa basculante	65
Figura 4.43 - Ensaio prático de transferência de calor	67
Figura 4.44 - Ilustração do suporte do excerto da placa de aquecimento	69
Figura 4.45 - Ilustração do carregamento do excerto da placa de aquecimento em análise	70
Figura 4.46 - Diagrama de esforços transversos do excerto da placa de aquecimento em análise	70
Figura 4.47 - Diagrama de momentos fletores do excerto da placa de aquecimento em análise	70
Figura 4.48 - Detalhe da extremidade das guias em 3D CAD	71
Figura 4.49 - Aplicação das barras de alinhamento das guias	71
Figura 4.50 - Modelação da resistência elétrica	72
Figura 4.51 - Fixação da resistência elétrica	73

Figura 4.52 - Desenho 3D do módulo Sistema de Aquecimento (vista superior)	73
Figura 4.53 - Desenho 3D do módulo Sistema de Aquecimento (vista inferior)	74
Figura 4.54 - Ilustração da aplicação de fixações e carregamento do sistema de aquecimento .	75
Figura 4.55 - Ilustração dos esforços do sistema de aquecimento (simulação final e vista inferior)	77
Figura 4.56 - Vista parcial do molde em 3D CAD	78
Figura 4.57 - Ilustração 3D CAD do sistema de prensagem	78
Figura 4.58 - Ilustração da aplicação de fixações e carregamento dos punções	79
Figura 4.59 - Ilustração parcial 3D CAD do alimentador	80
Figura 4.60 - Vista pormenorizada do sistema de regulação do volume da câmara de alimentação	80
Figura 4.61 - Misturador	82
Figura 4.62 - Misturador de cimento cola	83
Figura 4.63 - Modelo 3D CAD do rotor do misturador	83
Figura 4.64 - Ensaio experimental para auxílio à determinação do coeficiente de resistência	84
Figura 4.65 - Sistema de transmissão de movimento do rotor	85
Figura 4.66 - Sistema de escoamento de matéria-prima do misturador para a bomba (posição em aberto)	86
Figura 4.67 - Sistema de escoamento de matéria-prima do misturador para a bomba (posição em fechado).....	86
Figura 4.68 - Alavanca de controlo do sistema de escoamento de matéria-prima do misturador para a bomba	86
Figura 4.69 - Bomba do misturador	87
Figura 4.70 - Bomba do Misturador (corpo em transparência).....	87
Figura 4.71 - Estrutura de suporte para misturador	88
Figura 4.72 - Módulo misturador com a estrutura de elevação	89
Figura 4.73 - Ilustração da aplicação de fixações e carregamento da estrutura de elevação do misturador	91
Figura 4.74 - Ponte de passagem superior	93
Figura 4.75 - Manga flexível reforçada	93
Figura 4.76 - Modelação 3D da componente mecânica da máquina.....	94

Figura 5.1 - Vista pormenorizada da lateral da estrutura mesa basculante e prensa.....	101
Figura 5.2 - Modelo 3D do molde projetado.....	102

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Definição	Unidade [S.I.]
ρ	<i>Massa Volúmica</i>	kg/m ³
V	<i>Volume</i>	m ³
m	<i>Massa</i>	kg
E	<i>Módulo de Elasticidade</i>	GPa
σ	<i>Tensão</i>	MPa
P	<i>Carga de Ação Gravítica</i>	N
F	<i>Força</i>	N
A	<i>Área</i>	m ²
l	<i>Comprimento</i>	m
b	<i>Largura</i>	m
e ou a	<i>Espessura</i>	m
c ou y	<i>Centroide</i>	m
$\sigma_{cedência}$	<i>Tensão de Cedência do Material</i>	MPa
M	<i>Momento</i>	N.m
δ	<i>Deformação</i>	m
p	<i>Pressão</i>	Pa
C_d	<i>Coefficiente de Segurança</i>	—
k	<i>Fator</i>	—
v	<i>Velocidade linear</i>	m/s
w	<i>Velocidade angular</i>	rad/s

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Principais elementos estruturais do molde	38
Tabela 4.2 - Características das molas de chapa escolhida para os moldes	39
Tabela 4.3 - Resultados obtidos na simulação estática do molde.....	40
Tabela 4.4 - Massa das cargas no equipamento	42
Tabela 4.5 - Excerto de folha de cálculo Excel com valores máximos de Carga P	44
Tabela 4.6 - Excerto da folha de cálculo Excel para determinação da espessura de placa	45
Tabela 4.7 - Lista de componentes do módulo Mesa Basculante.....	55
Tabela 4.8 - Resultados obtidos na simulação estática da mesa basculante (posição normal)...	56
Tabela 4.9 - Resultados obtidos na simulação estática da mesa basculante (posição invertida)	57
Tabela 4.10 - Massa dos diversos elementos do módulo Mesa Basculante	59
Tabela 4.11 - Tabela de comparação entre valores de Inércia necessária e Inércia real para vários tamanhos de cantoneiras.....	61
Tabela 4.12 - Lista de componentes do módulo Estrutura de suporte da Mesa Basculante	64
Tabela 4.13 - Dados obtidos durante a execução do ensaio prático de transferências de calor .	67
Tabela 4.14 - Lista de componentes do módulo Sistema de aquecimento.....	74
Tabela 4.15 - Resultados obtidos na simulação estática do sistema de aquecimento (simulação preliminar)	76
Tabela 4.16 - Resultados obtidos na simulação estática do sistema de aquecimento (simulação final).....	76
Tabela 4.17 - Lista de componentes do módulo Sistema de Prensagem	78
Tabela 4.18 - Resultados obtidos na simulação estática dos punções	79

Tabela 4.19 - Lista de componentes do módulo Alimentador.....	81
Tabela 4.20 - Volume de mistura para diferentes tamanhos de chapa.....	82
Tabela 4.21 - Resultados dos cálculos efetuados para determinar a potência do motor do rotor	85
Tabela 4.22 - Lista de componentes do módulo Misturador.....	90
Tabela 4.23 - Lista de componentes do módulo Misturador (Estrutura de suporte)	91
Tabela 4.24 - Resultados obtidos na simulação estática da estrutura de elevação do misturador	92

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de madeira destinam-se essencialmente a uma valorização energética, destinando-se a caldeiras de biomassa que servem para aquecer estufas de secagem de madeira, edifícios e linhas de pintura e envernizamento. Podem também ser utilizados em explorações animais. Em Portugal, os atuais e principais destinos industriais destes resíduos são algumas empresas que laboram na área de produção de painéis de aglomerado ou gestão de resíduos de madeira.

A produção de painéis aglomerados de partículas (Particle board) é desenvolvida desde os anos 60 do século XX [1], tendo vindo a aumentar a sua importância ao longo dos anos (Figura 1.1), derivada do melhoramento dos processos de produção, aumento das necessidades de consumidor, melhoramento das suas propriedades face a outros produtos, entre outros. A Europa apresenta um crescimento de mercado de produção de painéis de aglomerados de partículas (Figura 1.2), atingindo em 2007 uma produção pico de 37,8 milhões de metros cúbicos [2].

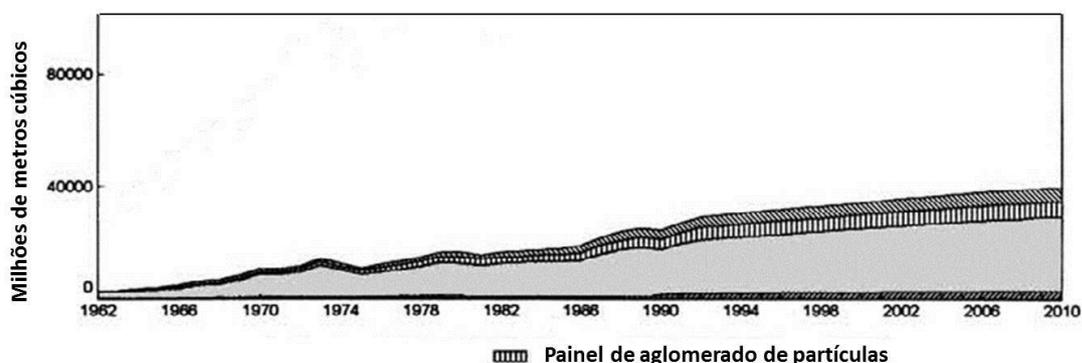


Figura 1.1 - Evolução da produção mundial de painéis de aglomerado de partículas (Adaptado de Food and Agriculture Organization of the United Nations)

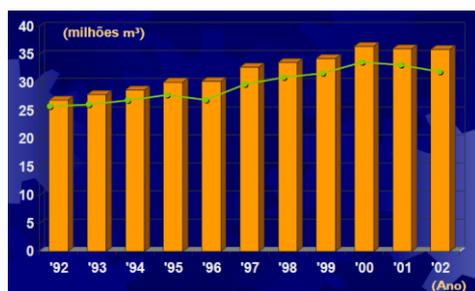


Figura 1.2 - Produção de Painéis de aglomerado de partículas, 1992-2002 (Adaptado de European panel Federation) [3]

1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo de alargar a gama de produtos possíveis de fabricar com recurso a uma matéria-prima disponível, serrim de pinho, levou à necessidade de projeção de um equipamento semiautomatizado. Espera-se que exista um aumento elevado da eficiência de produção de pequenas peças de aglomerado, em comparação com a produção manual, sem que ocorra quebra na qualidade e preenchendo os requisitos necessários à sua utilização.

1.2. MOTIVAÇÃO

Com este equipamento espera-se que a empresa não só fique dotada com um equipamento que seja capaz de responder a algumas necessidades de mercado, mas também se espera reduzir custos de aquisição e logística de madeira maciça, para o mesmo de volume de peças em comparação com a produção de madeira maciça.

Com esta metodologia de projeto procura-se também dar utilidade aos resíduos produzidos pela empresa.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se estruturado por capítulos, associando-se cada a temas específicos.

No presente capítulo é realizada uma breve introdução ao tema da dissertação, enquadrando-o nas necessidades e motivação à sua execução.

Na laboração no projeto, a principal referência utilizada para o processo de produção foi o dos painéis de aglomerado de partículas (Capítulo 2) com intenção de determinar características que possam, diretamente, especificar condicionamentos ao projeto geral do equipamento e de alguns dos seus componentes. A partir do nível de produção mundial é possível constatar a elevada rentabilidade e eficiência do uso de resíduos de madeira para obtenção de produtos comerciais. A normalização do equipamento é também um ponto abordado no capítulo.

No Capítulo 3 é apresentada uma análise ao produto que se pretende produzir, definindo-se o processo de produção e requisitos do equipamento projetado, organizado o projeto, criados de modelos de possível implementação para o equipamento capazes de responder às atuais e futuras necessidades, concluindo com escolha das alternativas mais vantajosas para o projeto.

Para além da grande incidência do projeto sobre o modelo a executar, é dada também grande importância à estrutura dos componentes do equipamento (Capítulo 4), tendo sido dimensionados vários elementos e validados computacionalmente para garantir fiabilidade do equipamento.

No Capítulo 5 são produzidas indicações para implementação da máquina projetada, integrando um manual de instalação, de operação para as funções de arranque, normal funcionamento e encerramento, plano de manutenção e indicações complementares para aplicação do equipamento.

Para finalizar, no Capítulo 6 são tecidas as conclusões à dissertação onde se debate a evolução do projeto e são apresentadas as propostas para melhorias e novos desenvolvimentos para o equipamento.

2. ESTADO DA ARTE

É ambição da empresa alargar a sua gama de produtos comercializáveis e o aproveitamento de resíduos do módulo de produção representa a base para este projeto encontrando na produção de pequenas peças de aglomerados de partículas, recorrendo a um equipamento que cumpra as etapas e requisitos de produção, uma forma de responder a carência. Na fase inicial do projeto, a necessidade de compreender a produção, leva a que seja necessário recolher diversas informações nos recursos existentes, de forma a obter base de conhecimentos suficiente para garantir o correto funcionamento do equipamento projetado e obtenção de produtos desejados. Para tal são analisados os produtos, a matéria-prima e a produção de derivados de madeira que se enquadram no projeto.

2.1. ANÁLISE DO PRODUTO

O termo "derivados de madeira" geralmente significa produtos feitos em forma de painel a partir de matéria-prima intermediária, obtida a partir da madeira proveniente de árvores. Os produtos mais conhecidos deste tipo na Europa são mais facilmente categorizados de acordo com os termos "contraplacado", "aglomerado de partículas" e "aglomerado de fibras" (Figura 2.1).

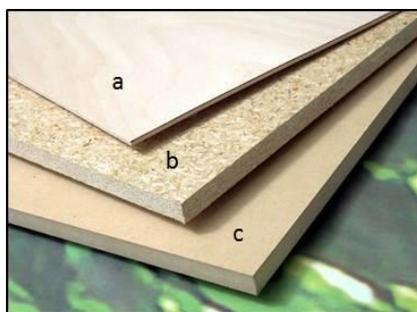


Figura 2.1 - Principais tipos de painéis de derivados europeus

(a – contraplacado, b – aglomerado de partículas, c – aglomerado de fibras)

Estando as principais diferença no tamanho ou na orientação do elemento madeira, o material que mais combina com o projeto desenvolvido é o aglomerado de partículas.

A forma mais fácil de ser encontrados os produtos de aglomerados de partículas de madeira é sob forma de painéis (Figura 2.2) ou componentes que facilmente podem ser obtidos a partir do corte de painéis. Este método é a forma de produção mais rentável, permitindo que se possa facilmente estruturar uma linha de produção automatizada e possuir uma produção em série. Estes produtos são obtidos a partir da redução mecânica da madeira em pequenas partículas, aplicando adesivo e consolidando as partículas com calor e pressão.



Figura 2.2 - Painel de aglomerado de partículas de derivado de madeira

Neste grupo podem ser encontrados variados produtos que se caracterizam não só pelo aspeto superficial do painel (macio, uniforme e plano), seja com um acabamento a cru, com uma fina folha colada ou faces pintadas, mas também pelas suas boas propriedades (resistência mecânica, resistência à humidade, homogeneidade do material, isolamento acústico e resistência ao fogo), pela sua fácil maquinabilidade e pelo seu custo. Estes são fatores predominantes para a boa comercialização destes produtos, seja na indústria do mobiliário ou na construção.

Para fabricar aglomerado com boa resistência e superfícies lisas, os fabricantes preferem usar uma matéria-prima homogênea (proveniente do mesmo tipo de madeira). As faces de aglomerados consistem geralmente de partículas de madeira finas e o núcleo é feito de material mais grosseiro, resultando uma superfície mais lisa para a laminação ou pintura.

Além dos tradicionais painéis de aglomerados de partículas, produtos em forma de viga de perfil retângular ou produtos compostos, como vigas de aglomerados de perfil em I (Figura 2.3), já foram desenvolvidos para compensar a diminuição da disponibilidade de madeira maciça de alta qualidade.



Figura 2.3 - Vigas de aglomerados de madeira com perfil em I

2.2. ANÁLISE DA MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima usada para o fabrico de aglomerados de madeira é constituída por uma mistura de partículas e material adesivo. Esta mistura é posteriormente curada com calor e pressão num intervalo mínimo de tempo.

2.2.1. Partículas de madeira

O principal componente de materiais derivados de madeira é o elemento de madeira, muitas vezes 94% ou mais em massa.

As propriedades da madeira natural variam entre espécies, entre as árvores da mesma espécie e entre as partes da mesma árvore, não devendo ser esperado nos produtos a que dão origem exista uma uniformidade e gama de propriedades específicas. Na produção de aglomerados de partículas estas podem ser controladas, obtendo-se boa resistência, superfícies lisas e comportamento mais homogéneo em comparação com a madeira maciça.

Esperando-se que a única fonte de partículas de madeira seja os resíduos industriais, as pequenas partículas são produzidas a partir da redução mecânica da madeira, podendo possuir um diversificado tamanho, existindo dificuldade em classificá-los. A sua classificação baseia-se principalmente no aspeto físico e na operação que lhes deu origem do que na sua composição. A Figura 2.4 apresenta 4 tipos de resíduos que podem ser facilmente encontrados na empresa.



Figura 2.4 - Resíduos provenientes de operações mecânicas

(adaptado de Artigo “Produção de Compósito com Resíduo de Madeira no Contexto da Ecologia industrial”)

Elemento de tamanho e geometria em grande parte ditam o produto fabricado e desempenho do produto.

2.2.2. Adesivos

A introdução comercial de adesivos sintéticos para madeira obtidos a partir de polímeros sintéticos foi introduzida na década de 1930. Estes adesivos são os mais utilizados por poderem ser mais fortes, mais rígidos e mais duráveis que a madeira, e geralmente possuem uma maior resistência à água que os adesivos obtidos por meios naturais.

Os adesivos sintéticos podem ser classificados de acordo com dois grupos: os adesivos termoendurecíveis e os adesivos termoplásticos. Os primeiros possuem geralmente mais resistência ao calor, à humidade e à carga estática de longo prazo do que os adesivos termoplásticos.

Os adesivos termoendurecíveis são excelentes adesivos estruturais porque sofrem uma transformação química irreversível quando curado, e no reaquecimento, eles não amolecem ou fluem novamente. Para além de poderem ter alta resistência mecânica, tem resistência à humidade e a outros produtos químicos, sendo suficientemente rígido para suportar elevadas cargas estáticas, a longo prazo, sem deformar. A colagem, na maioria dos derivados à base de madeira é fornecida por resinas termoendurecíveis. Os adesivos termoendurecíveis fenol-

-formaldeído, ureia-formaldeído e melamina-formaldeído são uns dos mais utilizados industrialmente.

Muitos fatores devem ser considerados ao selecionar o melhor adesivo para uma aplicação particular. O adesivo deve ser aplicado, banhar a superfície, penetrar na madeira, curar e manter a força durante tempo suficiente e sob diferentes cargas e condições ambientais. Desta forma é importante selecionar o adesivo tendo em atenção as seguintes atributos:

- Força – A quantidade de carga que o adesivo será obrigado a ser sujeito durante o processo de cura;
- Durabilidade – O tipo de ambiente a que a ligação será exposta (humidade, calor, frio, produtos químicos) e o tempo de exposição;
- Adesão – A ligação sólido-adesivo deve ser conseguida;
- Temporização – Diversos fatores temporais devem ser considerados. Vida da mistura representa a duração de tempo antes de adesivo ser aplicado às partículas de madeira. Tempo em Aberto é o tempo de mistura do adesivo com as partículas. Tempo fechado é o tempo de aplicação da mistura. Tempo de fixação é o tempo de união das partículas, sobre pressão até à cura final da peça. Aumentando a temperatura geralmente se consegue encurtar o tempo de cura;
- Consistência – A viscosidade do adesivo deve ser compatível com o equipamento de mistura e aplicação. Deve ser ainda suficientemente fluido para que se possa introduzir nos espaços vazios da madeira, mas não em excesso para durante o processo de compressão não ser “cuspidor” para fora da mistura;
- Mistura – Água, agente endurecedor, catalisador ou diluente podem ser misturados com o adesivo, devendo ser realizada num equipamento adequado;
- Pressão - A pressão é aplicada às juntas para assegurar um contacto estreito entre as partes. A maioria dos adesivos para partículas não preenchem os vazios de aplicação e assim exigem a aplicação de alta pressão. A pressão também ajuda o adesivo a banhar a superfície e penetrar na madeira, forçando-a a fluir para os espaços vazios. No entanto, deve ser evitada uma pressão demasiado elevada, de tal forma que o adesivo esprema para fora dos moldes;

-
- Temperatura - O adesivo deve funcionar sob diferentes condições de temperatura. A temperatura do meio circundante pode influenciar a vida de adesivo, a duração do tempo em abertura e de cura;
 - Teor de água – A maior parte dos adesivos precisam de baixo teor de água da madeira para penetrar eficazmente na madeira;
 - Custo – Sabendo que os adesivos são mais caros que a madeira, o custo dos adesivos devem ser considerados na aplicação e funcionamento dos equipamentos associados;
 - Segurança e meio ambiente – Muitos adesivos curam por meio de reações químicas e por isso podem representar perigo no estado não curado. Os adesivos à base de água podem ter componentes químicos orgânicos que evaporam, causando problemas de saúde, refletindo-se na pele dos trabalhadores e consumidores. Podem também emitir gases tóxicos.

2.3.ANÁLISE DA PRODUÇÃO

A produção industrial de aglomerados de partículas é um processo que possui a sua complexidade, envolvendo diversas etapas, que representam uma grande parte do custo destes produtos, mesmo sendo estes considerados de baixo custo.

Fabricação de aglomerados de partículas é um processo seco. As etapas envolvidas no fabrico incluem a operações de preparação, a classificação e a secagem das partículas, mistura, acondicionamento do material, compactação e alívio.

As fábricas padrão de aglomerado combinam o uso de trituradores, fragmentadoras e moinhos para obter as partículas. As partículas são classificadas e separadas para minimizar o efeito negativo sobre o produto final. As partículas muito pequenas aumentam a área de superfície das partículas, e assim, aumentam as necessidades de adesivo. Grandes partículas podem afetar adversamente a qualidade do produto final, podendo provocar falhas internas.

Enquanto algumas partículas são classificadas através da utilização de fluxos de ar, os métodos de classificação no tapete são os mais comuns. Na classificação no tapete, as partículas são alimentadas sobre um tapete plano em vibração ou numa série de tapetes. Os tapetes podem ser pano de fio ou placas com buracos e fendas. As partículas são tipicamente transportadas por

meios mecânicos. Por vezes, são criadas condições de humidade para reduzir a dissolução de partículas durante o transporte. É desejável que as partículas possuam um aspeto fibroso (compridas e finas), não possuindo lascas e pó.

As matérias-primas não costumam chegar à fábrica com um baixo teor de água, suficiente para uso imediato. Para utilização com resinas líquidas, o teor de água deve ser reduzido para cerca de 2% a 7%. O teor de água das partículas é fundamental durante as operações de prensagem a quente e depende da resina a ser adicionado. O teor de matérias que saem dos secadores é normalmente na gama de 4% a 8%.

Após as partículas terem sido preparadas, elas são colocadas num tapete resistente para ser prensada em painel. Isto é realizado de modo descontínuo, em que o sistema de doseador de matéria-prima aplicado tradicionalmente é um tabuleiro de bater em quadro. A quantidade de matéria-prima é controlada volumetricamente. Muitas vezes a matéria-prima é pré-pressionada para reduzir o volume e ajudar a consolidar para a prensagem.

Após a pré-prensagem, os tapetes são prensados a quente. As prensas podem ser divididas em dois tipos: as de cilindro e as contínuas. Um maior desenvolvimento da indústria tornou possível a construção de prensas para produzir tamanhos de painéis cada vez maiores em ambas as prensas.

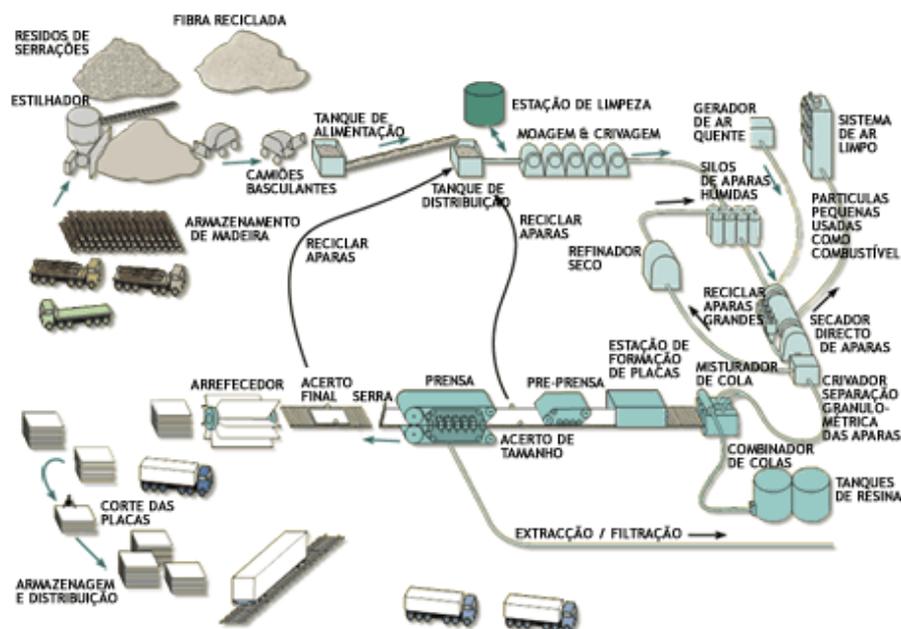


Figura 2.5 - Linha de produção de placas aglomeradas de partículas [4]

A Figura 2.5 ilustra a organização simplificada da linha de produção de painéis de aglomerados de uma dos maiores produtores mundial de painéis derivados de madeira, a Sonae Industria.

2.4. NORMALIZAÇÃO

O objetivo da normalização é estabelecer unanimidade entre agentes ativos dos mercados, por consenso das partes interessadas para assuntos de carácter idêntico, impondo assim as normas como referências idóneas dos mercados para a legislação, acreditação, certificação, metrologia e de informação técnica. A organização e cooperação entre diferentes organizações nacionais e internacionais na procura de regularização para proteger a saúde e segurança humana, em busca de melhores índices de produtividade, conservar os recursos naturais, minimizar o desperdício, apoiar a evolução tecnológica e facilitar o comércio, vêm-se revelar que a normalização é a base para a garantia de qualidade.

O equipamento do projeto possui uma componente hidráulica, sendo operado semiautomáticamente e integrando sistemas que executem as etapas mencionadas durante a análise de produção, podendo ser implementada normalização, contribuindo para a prevenção de perigos para operadores e para o correto funcionamento do equipamento. Esta condição leva à necessidade de ser analisadas e implementadas as seguintes normas:

- NP EN 292 – Conceitos fundamentais
- EN 60204-1 – Segurança de máquinas – Equipamentos elétricos de máquinas
- EN 979 – Definições e dimensões do corpo humano
- EN 614 – Princípios ergonómicos de projeto
- EN 563 – Superfícies quentes
- EN 982 – Hidráulica

2.4.1. A Diretiva 2006/42/CE

Os novos equipamentos estão obrigados à implementação da Diretiva 2006/42/CE [5] pelo Decreto-Lei 103/2008 de 24 de Junho [6], que estabelece as regras relativas à colocação no mercado e entrada em serviço dos equipamentos e dos componentes de segurança. Esta

normalização condiciona o equipamento na sua criação, desenvolvimento e laboração, estabelecendo exigências essencialmente associadas à segurança e saúde dos utilizadores e de terceiros que interfiram como equipamento. Para se proceder ao cumprimento destas exigências e necessário conhecimento das especificações de funcionamento do equipamento e os princípios específicos que são descritos na diretiva (Anexo A).

3. PROJETO CONCETUAL

O projeto concetual é a fase mais abstrata e aberta do processo, no qual vários conceitos e esquemas são gerados para atingir os objetivos dos clientes. Nesta define-se uma orientação para o projeto definindo, não só o projeto geral mas também, alguns dos seus elementos constituintes.

Nesta fase de Projeto Concetual devem ser realizadas as seguintes tarefas:

- Estabelecimento de funções: Análise funcional para identificar o que o equipamento deve fazer;
- Estabelecimento de requisitos (Especificações de funções): análise dos requisitos impostos e necessários para que respondam à funcionalidade, segurança e fiabilidade;
- Estabelecimento de meios para as funções: elaboração de formas a responder às funções e requisitos do equipamento;
- Geração de alternativas de projeto: criação de modelos de possível implementação para o equipamento;
- Avaliação de alternativas geradas de projeto: reunião de valores, em cada modelo definido, sobre vários fatores de importância para o projeto, como capacidade de cumprir as funções requeridas, segurança, velocidade de funcionamento, potência requerida, custo de fabrico, dimensões, facilidade de montagem e manutenção;
- Escolha de um projeto: avaliação e seleção do modelo a desenvolver.

3.1.0 PRODUTO

Adaptado de um modelo de produção em madeira maciça, o produto (Figura 3.1) serve exclusivamente a aplicações na indústria têxtil. É requerido que possua uma resistência mecânica razoável e dimensões semelhantes às do modelo maciço, definidas pelo cliente.

A sua dimensão não excede os 150 mm de diâmetro e os 30 mm de altura, existindo um furo central de 30 mm de diâmetro. A aresta de uma das faces possui uma curvatura seguindo-se de uma face em ângulo, para desmoldagem.



Figura 3.1 - O produto

O produto caracteriza-se como um de aglomerado de partículas, com uma estrutura muito compacta e resistente, apresentando um acabamento superficial liso e macio.

3.2.A PRODUÇÃO

O método de produção foi desenvolvido pela empresa associada (Tabolima Lda.), apresentando algumas semelhanças ao processo de produção de placas de aglomerado. A necessidade de existir um correto condicionamento dos resíduos de madeira, aparas com uma granulometria não muito diferenciada, correta preparação da mistura resina/serradura de madeira, a existência de pré-prensagem do molde e de prensagem final são passos do processo que podem ser generalizados para a obtenção destes produtos.

3.2.1. Processo

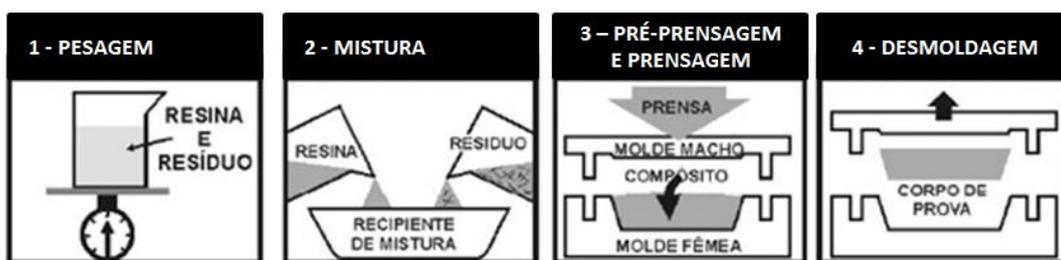


Figura 3.2 - Ilustração do processo de fabrico de aglomerados de partículas de madeira [7]

A preparação da mistura (Etapa 1) deve ser preparada a partir de serradura de madeira com um teor de água igual ou inferior a 12% e em que a resina representa 10% da massa da mistura. De preferência devem ser usadas partículas da mesma espécie de madeira.

A mistura dos elementos (Etapa 2) deve ser o mais homogênea possível, contrariando a tendência de formação de aglomerados de resina no composto. Deve ser evitado que encontre num estado de repouso num tempo superior a 30 minutos.

Na alimentação dos moldes (Etapa 3) tem de ser evitado o descarregamento do composto de forma desordenada e descontínua, para evitar a formação de agregados de ar de difícil extração e obter uma melhor homogeneidade das propriedades mecânicas em toda a peça. Tem ainda de existir uma selagem entre o alimentador e o molde, evitando a desordenada libertação de resíduos para a mesa de acondicionamento dos moldes.

Após a alimentação, a operação de pré-prensagem é necessária para que depois da sua execução, com o alívio da pressão sobre o material do molde, possa ocorrer o escoamento de ar que eventualmente exista na peça.

A operação de Prensagem Final deve ser executada, continuamente, num período de 5 a 10 minutos, a uma pressão de 22kg.f/cm², de acordo com os dados obtidos durante o controlo de qualidade. A prensagem tem de ser efetuada sobre uma placa de aquecimento que tem por finalidade acelerar o processo de cura das peças nos moldes. A temperatura do prato deve estar compreendida entre os 65 °C e 75 °C.

Por fim, a desmoldagem da peça (Etapa 4) deve ser auxiliada, dada a tendência do produto final se agregar às faces internas do molde.

3.3. OS REQUISITOS

Pelo que foi analisado, pretende-se o desenvolvimento de um equipamento semiautomatizado em que funções de maior complexidade devem ser realizadas pelo operador, de forma a garantir o correto funcionamento do equipamento e ciclo de fabrico. Sinteticamente, o equipamento deve misturar homogeneamente a serradura com adesivo, doseando-a posteriormente para os conjuntos de moldes. Estes moldes devem depois ser aquecidos a uma temperatura entre 65 °C e 75 °C durante um processo de prensagem a uma pressão de 22 kg.f/cm² por molde. Para terminar deve ser facilitada ou até realizada a desmoldagem e reiniciação do processo de produção.

O equipamento precisa de uma estrutura robusta e ergonómica a ser manuseada por apenas um único operador, possuindo mecanismos de prevenção de erros de operação e apresentando um aumento de eficiência de produção e polivalência para novos produtos. É tomado facto de ser concebido para fácil de instalação, montagem e manutenção, integrando uma operação de encerramento de atividade, bem como um controlo de custos e dimensões.

3.4. ORGANIZAÇÃO DO PROJETO

Para facilitar a tomada de decisões, o projeto é dividido em quatro principais conjuntos: Equipamento de produção, Moldes, Alimentador, e Misturador. A Figura 3.3 apresenta uma divisão do projeto, ilustrando a forma como o projeto evolui e qual a precedência de decisões para os conjuntos.

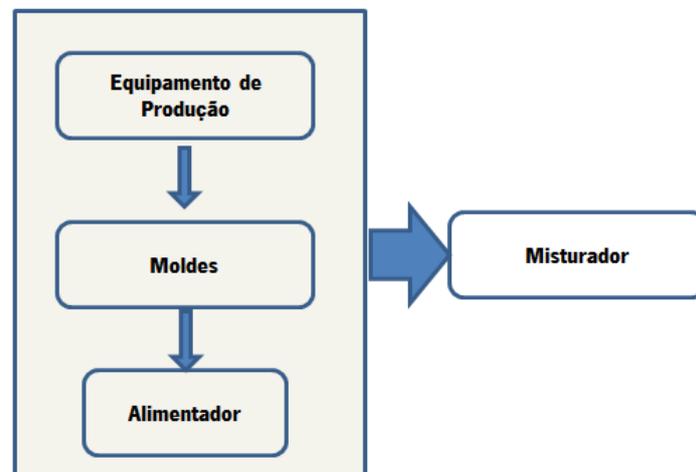


Figura 3.3 - Módulos do projeto

3.5. EQUIPAMENTO DE PRODUÇÃO

O equipamento de produção é determinado como a base para definir a nossa máquina, pois é sobre ele que serão realizadas as etapas da produção. Este conjunto tem de ser robusto com o objetivo comportar os moldes, executar as etapas de prensagem, cura do produto e facilitar a desmoldagem.

Para tal definem-se modelos de dois tipos de alternativas: produção circular e produção vai-e-
-vem.

A produção circular caracteriza-se por o projeto do equipamento definir uma sequência de operações ou etapas, cuja última a executar é precedente da primeira, com exceção da operação de encerramento. Este processo permite uma mais fácil transposição das etapas para a produção real, permitindo tratar ou melhorar as funções de determinado conjunto com independência de outras que não sejam as etapas precedente e posterior. São diversas as criações de soluções, sendo diferenciadas por algumas formas de operar. As opções que integram este grupo são: Opção 1, Opção 2, Opção 3 e Opção 4.

A produção vai-e-vem é caracterizada por possuir conjuntos de moldes que estão filiados a determinadas disposições da máquina e que são restritamente movimentados apenas segundo uma direção. A opção que integra este grupo é a Opção 5.

3.5.1. Opção 1

A Opção 1 (Figura 3.4) apresenta a integração de vários elementos auxiliares, que facilitam a sequência de operações e minimizam a operação humana no processo. O processo desenrola-se com o operário a preparar inicialmente os moldes e alinhando-os corretamente no tapete rolante de alimentação. Autonomamente, os moldes são alimentados diretamente do misturador e avançados por um cilindro pneumático. Por cada conjunto de dois moldes alimentados, o anterior cilindro pneumático ao avançar os posteriores moldes, posiciona o conjunto para a etapa de pré-prensagem. Após pré-prensagem, um novo cilindro pneumático avança o conjunto para a posição de prensagem final. Quando existirem dois conjuntos de moldes (quatro moldes) na posição de prensagem final, é fechada a prensa e procede-se à cura dos moldes. Após a cura dos moldes, é aberta a prensa e um terceiro cilindro pneumático avança os conjuntos para um prato deslizante onde, por ação humana, se procede à desmoldagem e preparação dos moldes para um novo ciclo.

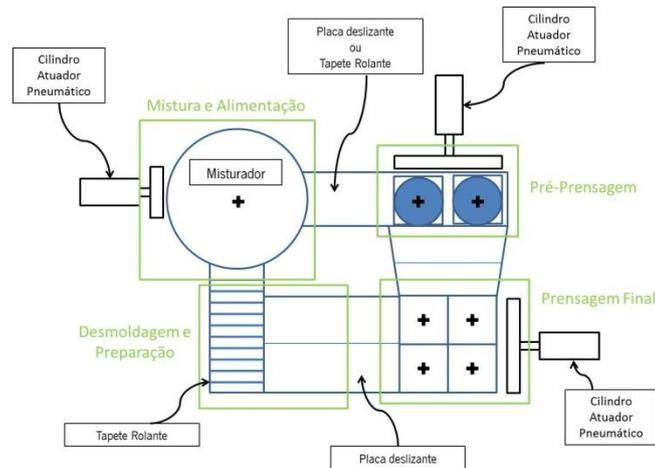


Figura 3.4 - Esboço da organização da Opção 1 para a produção (vista superior)

Para além da necessidade de sistema hidráulico e placa de aquecimento que é comum a todas as opções, esta opção carece de um sistema pneumático e de tapetes rolantes, o que representa custos adicionais não só de aquisição, mas também de operação e manutenção. Podem ser também levantadas questões quanto ao correto posicionamento dos moldes e fiabilidade do funcionamento do equipamento.

Estima-se que com este modelo se produza cerca de 4 peças em cada 6 minutos (40 peças/hora).

3.5.2. Opção 2

A Opção 2 (Figura 3.5 e Figura 3.6) apresenta uma estrutura ligeiramente diferente da Opção 1, tendo em consideração que a etapa de alimentação do molde pode durar cerca de metade da etapa de pré-prensagem, esta opção difere da primeira ao possuir dois cilindros hidráulicos para pré-prensagem.

Para iniciar o ciclo de funcionamento, o operador deve colocar manualmente os moldes no alimentador e por cada conjunto de dois moldes alimentados, estes serão empurrados, por meio de um cilindro pneumático, para a etapa de pré-prensagem. Após o decurso da etapa de pré-prensagem, o conjunto de moldes posteriores empurram os primeiros para um tapete rolante onde se aguarda a acumulação e preparação de quatro moldes, e a libertação da prensagem

final. Encontrando-se as condições anteriores, os quatro moldes são avançados para a prensagem final. Após a cura das peças, a prensa é aberta e um cilindro pneumático avança os moldes para uma mesa onde se procede à desmoldagem e preparação dos moldes para novo início do ciclo de produção.

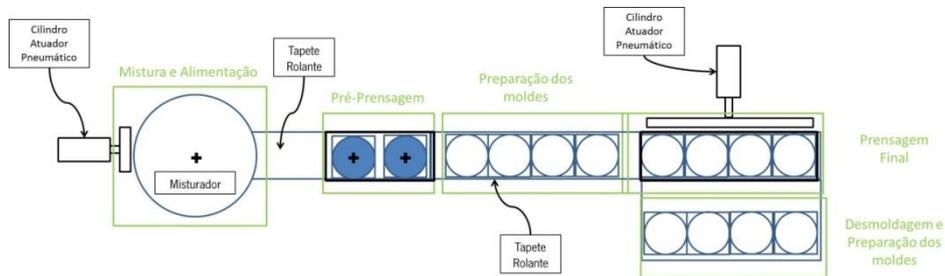


Figura 3.5 - Esboço da organização da Opção 2 para a produção (vista superior)

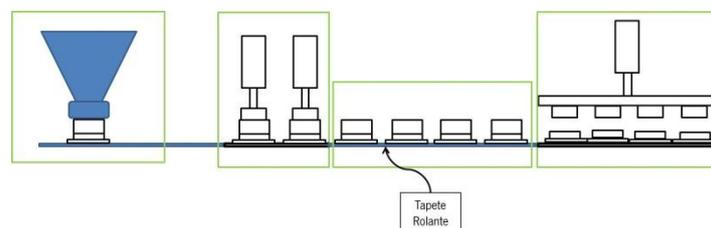


Figura 3.6 - Esboço da organização da Opção 2 para a produção (vista frontal)

Neste modelo é evidenciado a facilidade de posicionamento do operador perante todas as operações do equipamento. Contudo existe a necessidade de os moldes serem transferidos manualmente da etapa final para a etapa inicial, o que de um ponto de vista ergonómico, ao fim de várias horas de trabalho pode originar problemas de saúde para o operador.

Estima-se que com este modelo se produza cerca de 4 peças em cada 6 minutos (40 peças/hora).

3.5.3. Opção 3

A Opção 3 (Figura 3.7, Figura 3.8 e Figura 3.9) possui uma estrutura mais elaborada, pensada num maior nível de produção e na facilidade de futuramente automatizar do equipamento. A cura de doze moldes na mesma etapa apresenta uma evolução da criação, para a qual são necessários mais elementos para concretizar as restantes etapas e a transição entre as

mesmas. Existe ainda uma evolução do misturador que tem possuir uma saída intermutável de dois alimentadores.

Na estrutura é clara a existência de uma simetria que permite um dobro de eficiência do equipamento na sua generalidade. No seu funcionamento é previsível que os moldes previamente preparados são colocados manualmente no tapete para alimentação. Após a alimentação, o molde precedente realiza o avanço do molde para posição de pré-prensagem, onde depois de esta ser executada, o molde precedente novamente avança o molde para o tapete rolante onde são preparados para ir para a prensagem final. Reunidos doze moldes no tapete rolante e estando a prensagem final aberta, são empurrados os moldes para a prensagem final, permanecendo assim durante o estágio de cura. Concluído o estágio de prensagem final, é aberta a prensa e deslocados os moldes para ser efetuada a desmoldagem e preparação para novo ciclo.

Estima-se que com este modelo se produza cerca de 12 peças em cada 6 minutos (120 peças/hora).

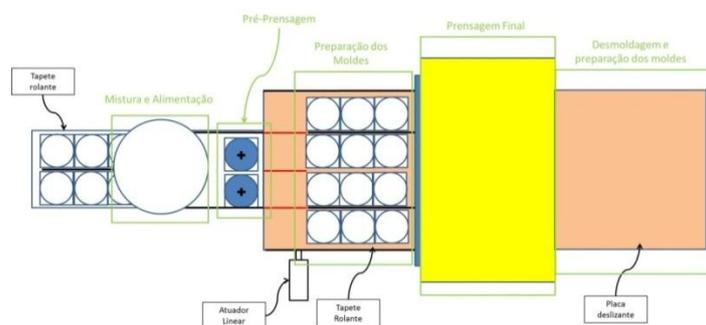


Figura 3.7 - Esboço da organização da Opção 3 para a produção (vista superior)

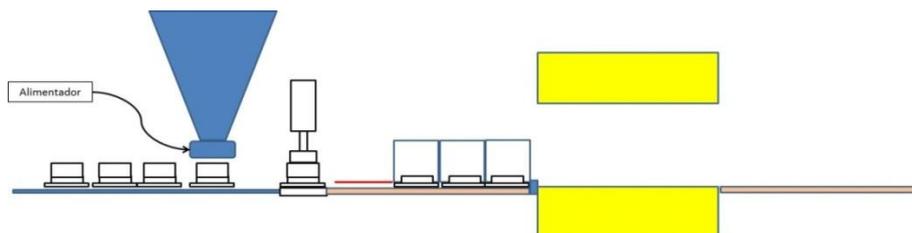


Figura 3.8 - Esboço da organização da Opção 3 para a produção (vista frontal)

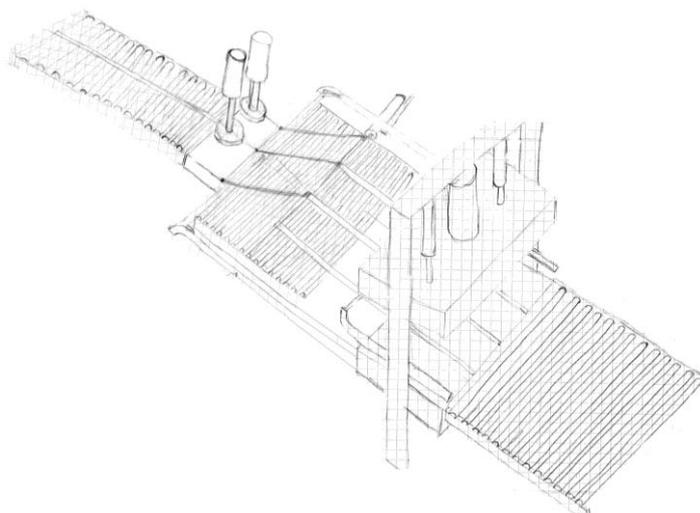


Figura 3.9 - Esboço da Opção 3

3.5.4. Opção 4

A Opção 4 (Figura 3.10, Figura 3.11 e Figura 3.12) é uma criação muito semelhante à Opção 3. Com esta opção é procurada uma alternativa a aplicação da Opção 3, reduzindo ligeiramente o atravancamento do equipamento.

Um conjunto de seis moldes (três + três) são preparados e posicionados na placa de deslizamento, onde o cilindro pneumático os fará avançar, em pares, para a posição de alimentação. Após serem alimentados, os moldes posteriores empurram os moldes alimentados para a posição de pré-prensagem. Depois da pré-prensagem, os moldes posteriores, provenientes da alimentação empurrarão os moldes para a placa de preparação dos moldes. Combinando seis moldes em cima da placa de preparação, estes são empurrados para o outro extremo da mesa, com recurso a um cilindro pneumático e são posicionados outros seis moldes provenientes das mesmas operações. São preparados os moldes, é aguardada a libertação da prensa e avançam-se para a cura durante a prensagem final. Após a cura do produto, é aberta a prensa e são deslocados os moldes com recurso ao posicionamento do conjunto de moldes seguintes. Por fim procede-se à desmoldação e preparação dos moldes para reinício do ciclo de produção.

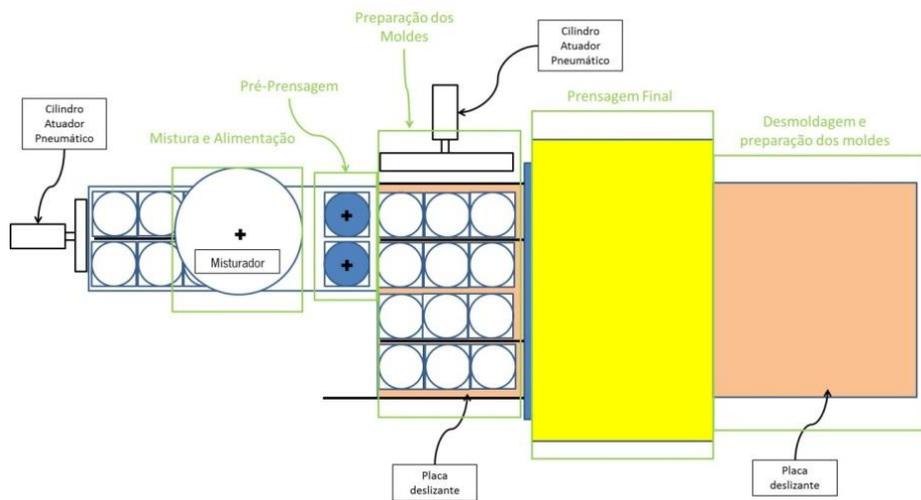


Figura 3.10 - Esboço da organização da Opção 4 para a produção (vista superior)

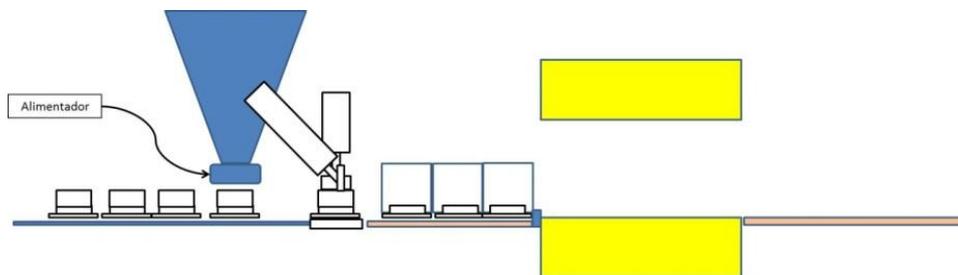


Figura 3.11 - Esboço da organização da Opção 4 para a produção (vista frontal)

A diferença da Opção 3 é a forma de posicionamento dos moldes para alimentação, que é feita com recurso a um cilindro pneumático, o deslocamento dos moldes na mesa de preparação, que é uma placa deslizante, e a forma de deslocamento dos moldes para a posição de prensagem final, em que é recorrido a dois cilindros pneumáticos ligados a uma barra.

Estima-se que com este modelo se produza cerca de 12 peças em cada 6 minutos (120 peças/hora).

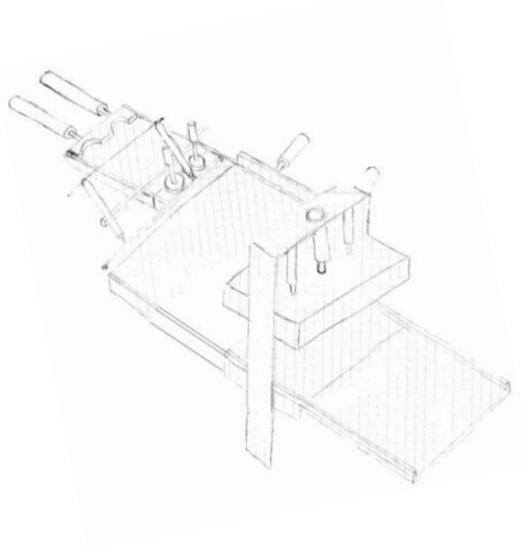


Figura 3.12 - Esboço 3D da Opção 4

3.5.5. Opção 5

A Opção 5 (Figura 3.13) diferencia-se das outras arquiteturas, sendo a única criação do modelo de produção vai-e-vem. Ao haver uma simetria do equipamento, é considerável existir dois conjuntos de moldes (filiados a cada extremidade da prensa), a serem preparados manualmente e alternadamente. Esta opção é pensada para reduzir o tempo de inoperacionalidade do manuseador do equipamento, permitindo que durante a cura um conjunto de moldes na prensa, o outro conjunto possa ser preparado.

A opção consiste na existência de uma prensa que serve de base ao projeto, capaz de albergar um determinado número de moldes e com uma capacidade de compressão igual ou superior à requerida por um conjunto de moldes. Nas duas extremidades da prensa encontram-se acopladas duas mesas basculantes, cada uma com o seu conjunto de moldes associado, para execução das operações de desmoldagem (rodagem da mesa a 180°) e alimentação dos moldes. Após a alimentação de um conjunto de moldes e com a prensa livre, este é deslizado para a placa inferior da prensa, sobre a qual se encontra uma estrutura que servirá para aquecer os moldes e, na placa superior, uma estrutura de punções para realizar a compressão da matéria-prima nos moldes. Após cura, é retornado o conjunto para a mesa basculante procedendo-se à desmoldagem e reiniciação do ciclo de produção. A não descrição inicial do

misturador, alimentador e moldes deve-se à inexistência de algumas especificações da opção que tem influência na tomada de decisões destes conjuntos.

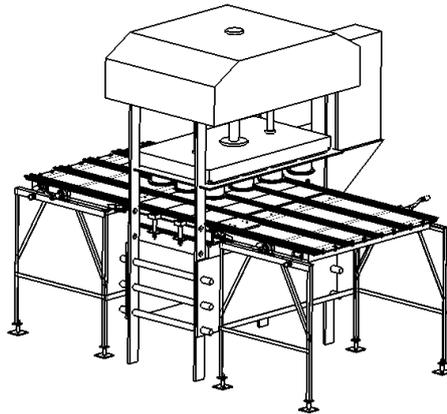


Figura 3.13 - Modelo 3D da Opção 5

É ainda refletido sobre a ergonomia da opção (não existe a necessidade de o operador carregar independente cada molde), liberdade dos moldes (existência de guiamento para os molde, de forma a garantir uma tolerância posicional aceitável para as operações) e atravancamento (redução do espaço de ocupação do equipamento, relativizando a outras opções para uma produção de nível semelhante)

Estima-se que com este modelo se produza cerca de 12 peças em cada 6 minutos (144 peças/hora).

3.5.6. Tomada de decisão

Excluindo as típicas regras de avaliação de projeto, a tomada de decisão é feita pelos intervenientes no projeto, tendo base não só nas especificações de todas as opções, mas também na coerência de funcionamento e na prevenção de eventuais erros de funcionamento.

Assim, a opção escolhida é Opção 5, pelo que foi valorizado nesta decisão:

- Estrutura mais simples (diminuição dos custos de aquisição);
- Atravancamento (equipamento ligeiramente mais pequeno que o das outras opções);

-
- Facilidade de desmoldagem (melhoramento da ergonomia e minimização do tempo de etapa de desmoldagem);
 - Inexistência de sistemas mecânicos de avanço de moldes (diminuição de custos de aquisição, operação e manutenção);
 - Inexistência de unidade pneumática (diminuição de custos de aquisição, operação e manutenção);
 - Disposição acessível de todos os elementos funcionais (melhoramento da ergonomia e minimização do tempo das etapas);
 - Maior polivalência de produção do equipamento (possibilidade de no futuro se possa produzir placas de aglomerados)

3.6.MOLDES

Os moldes são os elementos que dão forma às peças a produzir.

Não podendo desenvolver no âmbito deste projeto, os moldes eram elementos que já se encontravam desenvolvidos pela empresa no arranque do trabalho. A Figura 3.14 representa uma ilustração do modelo de moldes. Essencialmente constituído por 2 elementos [base (Figura 3.15) e casca (Figura 3.16)], a base possui quatro furos que são tapados com pequenas chapas finas que condicionam o escoamento de matéria-prima e que servem para auxiliar a desmoldagem. A casca serve para acondicionar a matéria-prima na alimentação até se executar a pré-compressão. O processo de cura do produto é já efetuado sem casca.

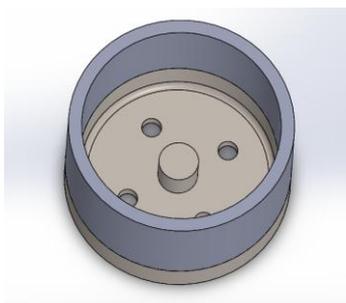


Figura 3.14 - Primórdio do Conjunto Molde

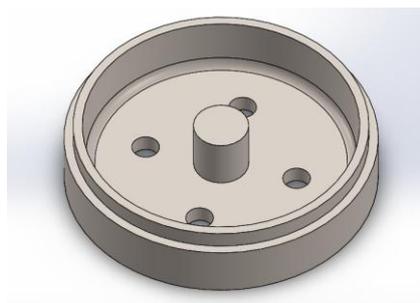


Figura 3.15 - Base do molde

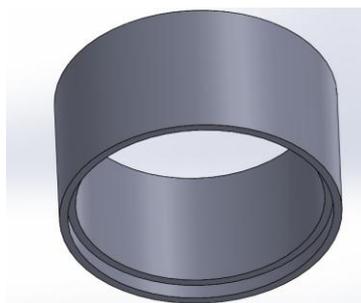


Figura 3.16 - Casca do molde

Constatando que as chapas que selam os quatro furos da base possuem um movimento livre e a sua reposição entre ciclos de produção é de difícil automatização e com fraca fiabilidade, este modelo de moldes representa um condicionante à produção do equipamento semiautomatizado. É ainda verificada a inexistência de apoios para restringir o movimento vertical do conjunto.

Para ultrapassar este problema foram projetados 2 diferentes modelos de moldes.

3.6.1. Opção 1

A Opção 1 (Figura 3.17) é constituída por 3 elementos móveis (base, camisa inferior e camisa superior).

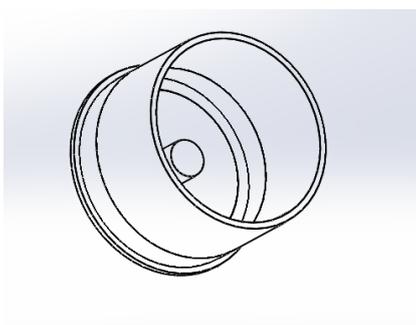


Figura 3.17 - Esboço da Opção 1 para molde

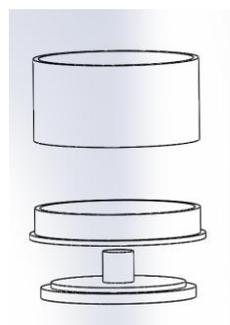


Figura 3.18 - Vista explodida da Opção 1

Para execução do processo de fabrico, o conjunto tem de estar inicialmente montado (Figura 3.18), sendo após os processos de enchimento e pré-compressão retirada a casca superior. Depois de ser executada a compressão final e cura do produto, o sistema de guiamento dos moldes deslocam verticalmente a casca inferior, promovendo o processo de desmoldagem.

3.6.2. Opção 2

A Opção 2 (Figura 3.19) consiste num modelo bastante diferente dos restantes. Constituído principalmente por elementos que estão fixos a uma base quadrada (Figura 3.20), o único sistema com movimento restrito é o sistema de desmoldagem, constituído por cilindros acoplados a molas de chapa, e com furos roscados para, com a aplicação de um parafuso, ser possível limitar o deslocamento livre do componente.

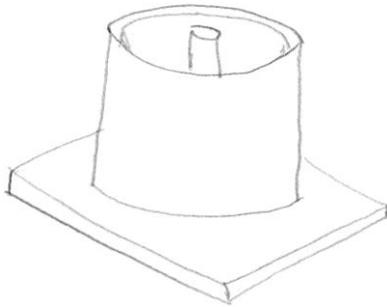


Figura 3.19 - Esboço da Opção 2 para molde

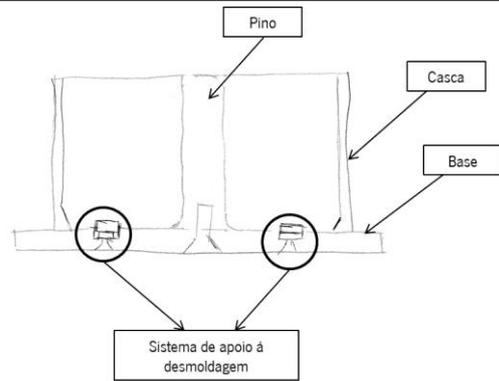


Figura 3.20 - Vista de corte da Opção 2

3.6.3. Tomada de decisão

Para aplicação no equipamento de produção escolhido, a seleção de um modelo de molde que não possui elementos soltos é valorizado, evitando assim tempo para preparação dos moldes e para enchimento e preparação dos moldes para prensagem, mesmo que represente a necessidade de um maior de curso do prato de prensagem.

Assim, o modelo de moldes que melhor responde às necessidades do equipamento é o modelo da Opção 2.

3.7.ALIMENTADOR

O alimentador é um elemento essencial ao projeto cuja sua função é vaziar corretamente a matéria-prima, proveniente do misturador, para os moldes. Segundo o modelo de produção, está previsto este elemento ser de manuseamento manual, devendo ser leve, fácil de manusear e eficiente.

Para responder a esta necessidade são criadas duas opções.

3.7.1. Opção 1

A Opção 1 (Figura 3.21) caracteriza-se pela sua simplicidade e leveza, sendo capaz de garantir de uma forma básica o cumprimento das suas funções.

A sua estrutura define-se por um cone inferior que facilita a acoplamento do alimentador ao molde e que está soldado ao tubo que liga a manga flexível de alimentação. Ligada à junta do tubo com o cone, está uma chapa circular que serve para condicionar o vazamento.

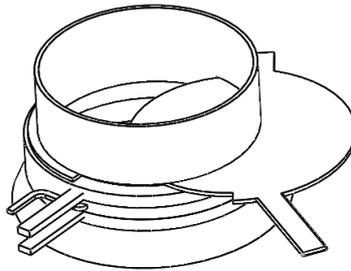


Figura 3.21 - Ilustração da Opção 1 para alimentador

3.7.2. Opção 2

A Opção 2 (Figura 3.22) representa uma estrutura mais evoluída da Opção 1, que comporta uma câmara de gestão do material a vazar.

Para funcionamento, ao tubo superior estará ligada uma manga flexível de onde prevenirá a matéria-prima. A chapa de restrição superior condiciona a movimentação de matéria para a câmara que gere o volume de material a encher no molde a partir da variação da altura e com o auxílio de três parafusos. A base da câmara é uma chapa de restrição inferior que impede o deslocamento livre da matéria para o molde. A base do alimentador é ligeiramente cônica, de forma a permitir o fácil acoplamento do alimentador no molde, e detém um sistema de junção por atrito para restringir o deslocamento livre vertical, em relação ao molde, durante as operações de alimentação.

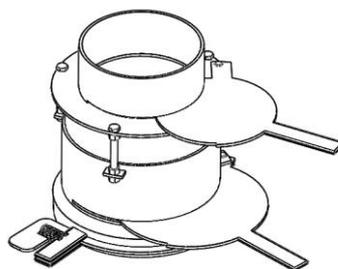


Figura 3.22 - Ilustração da Opção 2 para alimentador

O manuseamento manual será com a interação da mão esquerda numa pega a gerir o sistema de junção por atrito, enquanto a mão direita faz a gestão das duas chapas de restrição, a partir de pegas presentes nas chapas. Com ambas as mãos em pegas é possível movimentar facilmente o alimentador de molde em molde.

3.7.3. Tomada de decisão

A decisão do modelo de alimentador a projetar recai sobre a opção 2 e é realizada pelos intervenientes no projeto. Para esta decisão foi relevante a existência de uma câmara de gestão de matéria-prima, mesmo que se revele uma opção ligeiramente mais pesada, requerendo um maior esforço do operador e uma ação mais lenta para a etapa de alimentação.

3.8.MISTURADOR

Na falta de um equipamento no mercado capaz de responder à necessidade, o misturador é um equipamento que se revela complexo pela existência de várias arquiteturas para a estrutura e para o rotor.

A nível estrutural é requerido que o seu corpo seja estático e que o material misturado seja vazado para uma única saída. Deve ser tido em conta que um dos materiais a misturar é viscoso e tem tendência a dificultar a fluência da matéria por gravidade. Das várias arquiteturas existentes a que pode melhor responder à função requerida é a estrutura cónica (Figura 3.23).

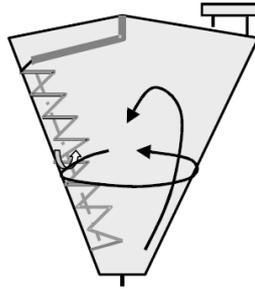


Figura 3.23 - Misturador com estrutura do tipo cônica

O rotor tem por objetivo obter uma mistura homogênea e eliminar os agregados de adesivo. Para definir os elementos constituintes deste sistema recorreu-se a um diagrama (Figura 3.24) presente em uma obra da especialidade [8].

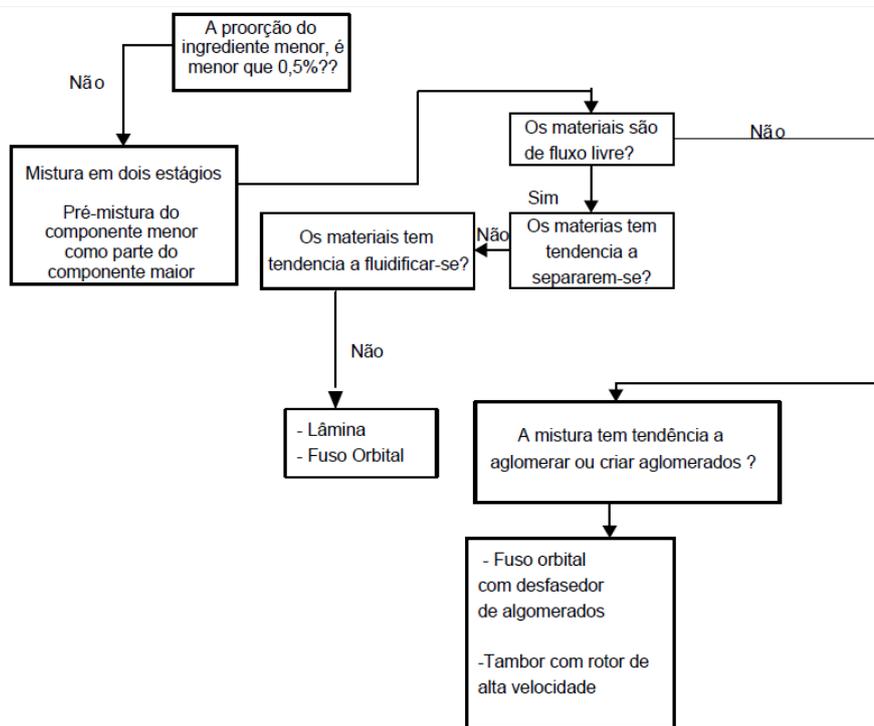


Figura 3.24 - Diagrama de critério de seleção de misturadores contínuos

(adaptado de Handbook Of Industrial Mixing)

Assim deve ser projetado um rotor combinado de lâminas (Figura 3.25) com espiral (Figura 3.26).



Figura 3.25 - Rotor de lâminas [8]



Figura 3.26 - Rotor de espiral [8]

Para agregar os dois sistemas, esboçou-se a forma que possuirá o misturador (Figura 3.27).

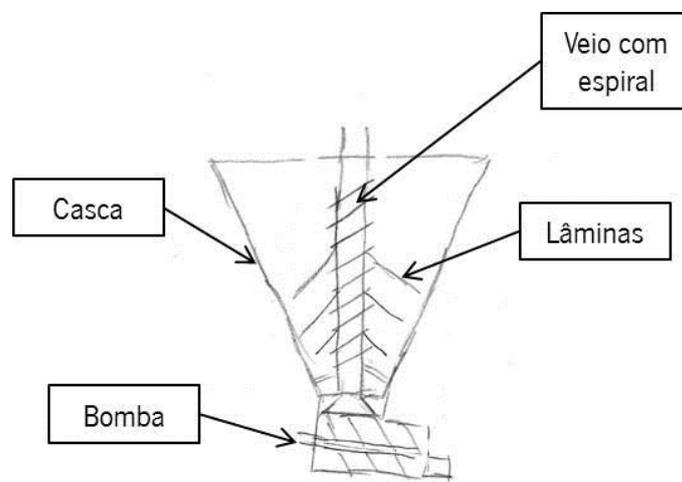


Figura 3.27 - Esboço do Misturador (vista lateral)

4. PROJETO DETALHADO

No Projeto Detalhado procura-se a materialização e desenvolvimento do projeto escolhido na fase de projeto concetual, integrando a informação necessária, para que do ponto de vista de engenharia se possa produzir o equipamento. São dimensionados e selecionados subsistemas com base nas funções e requisitos do projeto. São também dimensionadas peças, selecionados materiais e os elementos normalizados.

Nesta fase de Projeto Detalhado devem ser realizadas as seguintes tarefas:

- Modelar e materializar o projeto escolhido: divisão do equipamento em módulos, projeto desenho dos mesmos e agregação final;
- Testar e avaliar o projeto escolhido: verificação das funções e requisitos dos subconjuntos e do projeto geral;
- Refinar e otimizar o projeto escolhido: detalhe dos elementos constituintes.

Para facilitar a gestão do projeto, foram criados mais alguns módulos como ilustra a Figura 4.1.

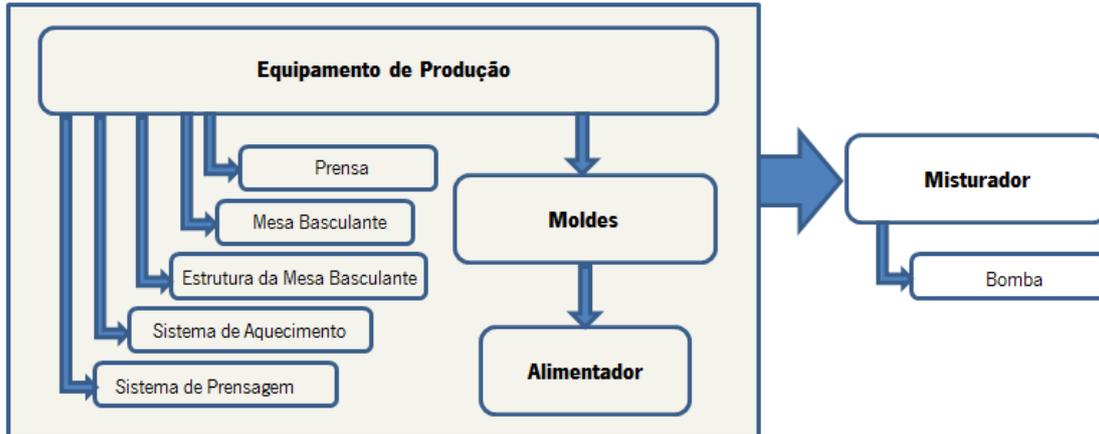


Figura 4.1 - Estrutura do projeto

Para o projeto, é usado preferencialmente elementos estruturais normalizados em aço pela sua facilidade de obtenção, preço mais baixo e melhor resistência mecânica em relação a elementos de outros materiais estruturais.

4.1.EQUIPAMENTO DE PRODUÇÃO

De acordo com o definido na fase de Projeto Concetual, a base para se iniciar o projeto é a seleção de uma prensa hidráulica que seja capaz de comportar um conjunto de moldes e executar as condições de fabrico.

De acordo com o definido nos requisitos, a força mínima de compressão do material no molde terá de ser 22 kg.f/cm². Sabendo que a área de força de compressão é uma face com 150 mm de diâmetro e excluindo a área do furo com 30 mm de diâmetro, calcula-se que a força requerida comprimir o material seja de 36,6 kN (3,75 Toneladas) por molde.

Após a consulta e análise de algumas prensas do mercado, a prensa escolhida é da empresa portuguesa Tecmacal, com uma estrutura e sistema hidráulico base do fabricante Hidroliksan (Figura 4.2).

Esta prensa possui duas placas com dimensão de 1000 milímetros de largura por 600 milímetros de comprimento e capacidade de compressão de 60 Toneladas, capaz de suportar a cura de 12 moldes. O prato superior, para além do cilindro hidráulico, possui duas guias para prevenir eventuais desalinhamentos ou empenos do prato durante o funcionamento. As suas características encontram-se descritas no Anexo C.



Figura 4.2 - Prensa semelhante à selecionada no projeto

Sendo o guiamento dos moldes um elemento integrante no projeto, nesta fase, é necessário definir a disposição dos moldes na prensa, a área da placa de base dos moldes e o espaço para introduzir o guiamento. Admitindo que a base de cada molde deva ser quadrada e ocupe os 600 mm de largura da prensa, a base de cada molde deve possuir uma área de 200 x 200 mm², garantindo espaço para o posicionamento da casca, com cerca de 170 mm e espaço para guiamento em cada um dos lados (15 mm em cada lado). Para disposição nos 1000 mm, é admitido que cada molde possui 200 mm de largura e uma folga com a guia de 1 mm em cada lado da base do molde, calculando assim que cada guia terá 38 mm de largura (Figura 4.3).

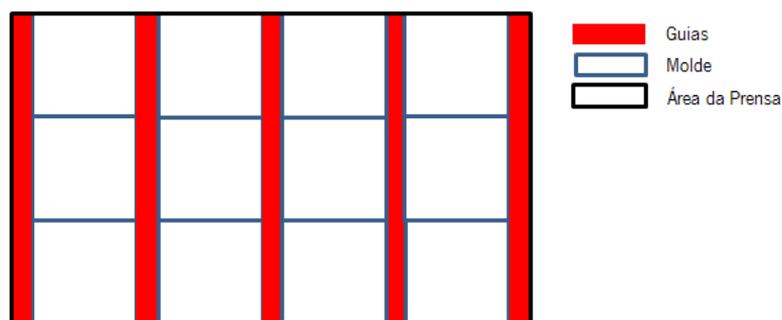


Figura 4.3 - Organização da área de prensagem

Selecionada a prensa e organizada a disposição dos moldes, encontram-se condições para iniciar o projeto dos restantes módulos.

4.1.1. Moldes

A Figura 4.4 representa o modelo CAD do molde. Segundo a empresa, os primeiros moldes de aço que dão forma ao produto possuem um diâmetro interno com cerca de 152 mm e uma altura de 110 mm, possuindo um volume de depósito de matéria-prima de 1,92 dm³. Refletindo sobre uma otimizar os custos deste módulo é procurado a integração de elementos estruturais normalizados em aço para os principais componentes do molde, sendo descritos na Tabela 4.1.

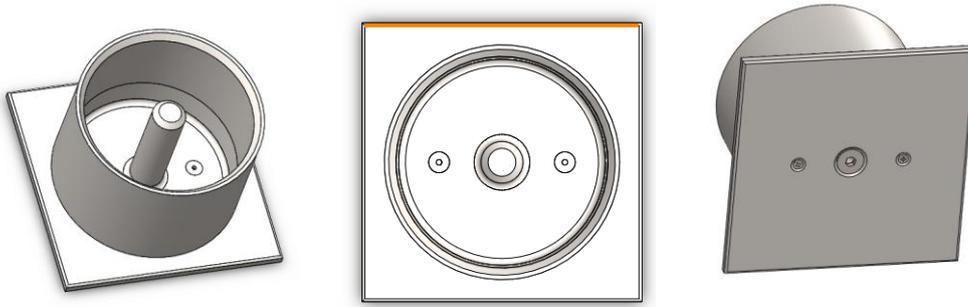


Figura 4.4 - Modelo 3D em CAD do Molde

Tabela 4.1 - Principais elementos estruturais do molde

Base	Chapa com 200 x 200 mm ² e 15 mm de espessura
Pino	Varão maciço de diâmetro 32 mm e comprimento de 113 mm
Casca	Tubo estrutural Gama IV, com diâmetro externo de 168,3 mm, espessura de parede de 10 mm e comprimento de 110 mm

Após execução de operações de maquinagem e soldadura de acordo com o fabrico, é necessário a integração do sistema auxiliar de desmoldagem. Prevendo-o integrar na base com 10 mm de altura, é necessário fazer uma boa gestão de espaço, achando-se indicado o uso de molas de chapa, aplicadas em castelo (Figura 4.5) pelos bons deslocamentos que possam ser obtidos e pela sua baixa espessura.



Figura 4.5 - Molas de chapa

Este dimensionamento foi realizado empiricamente consultando um catálogo normalizado segundo a norma DIN 2093, e procurando um modelo que possuísse uma boa deformação, resistência inferior à carga a efetuar no sistema e sua dimensão de acordo com o atravancamento do molde. A Tabela 4.2 apresenta as dimensões do modelo de mola a usar.

Tabela 4.2 - Características das molas de chapa escolhida para os moldes

Diâmetro interno (Di)	Diâmetro externo (D)	Espessura (t)	Altura máxima (h0)	Força mínima para deformação (F)
4,2 [mm]	12 [mm]	0,4 [mm]	0,8 [mm]	179 [N]

Ao ser colocadas 4 molas do modelo escolhido em castelo, vai ser possível obter um deslocamento de 1,6 milímetros, não descuidando que o seu apoio deve possuir pelo menos o dobro desta dimensão. O uso de parafusos de estrela com cabeça cônica M4 é uma boa opção para fazer a limitação de movimento do sistema. As Figura 4.6 e Figura 4.7 demonstram a cotagem do sistema. A massa do molde é de aproximadamente 8 kg,

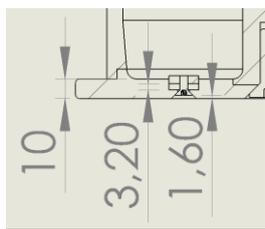


Figura 4.6 - Demonstração do sistema de auxílio à desmoldagem (Aliviado)

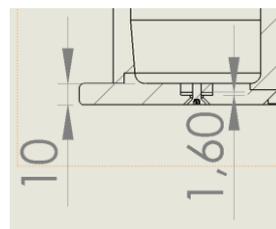


Figura 4.7 - Demonstração do sistema de auxílio à desmoldagem (Comprimido)

O desenho de conjunto deste elemento é apresentado é apresentado no Anexo B, desenho G1, e o seu desenho de montagem no Anexo D1

4.1.1.1. Validação Computacional

A validação computacional é parte integrante do projeto e foi realizada para validar simplificações analíticas dos dimensionamentos e presunções. O método usado é a análise estática por método de elementos finitos do software Solidwoks Simulation. Para a análise é considerada a face inferior da placa de 200mm x 200mm se encontra fixa, sendo carregado o molde, nas faces internas, a uma pressão de 33 kg.f/cm² ($C_D \times 22 \text{ kg. f/cm}^2$), (Figura 4.8).

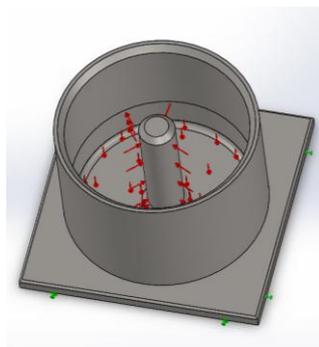
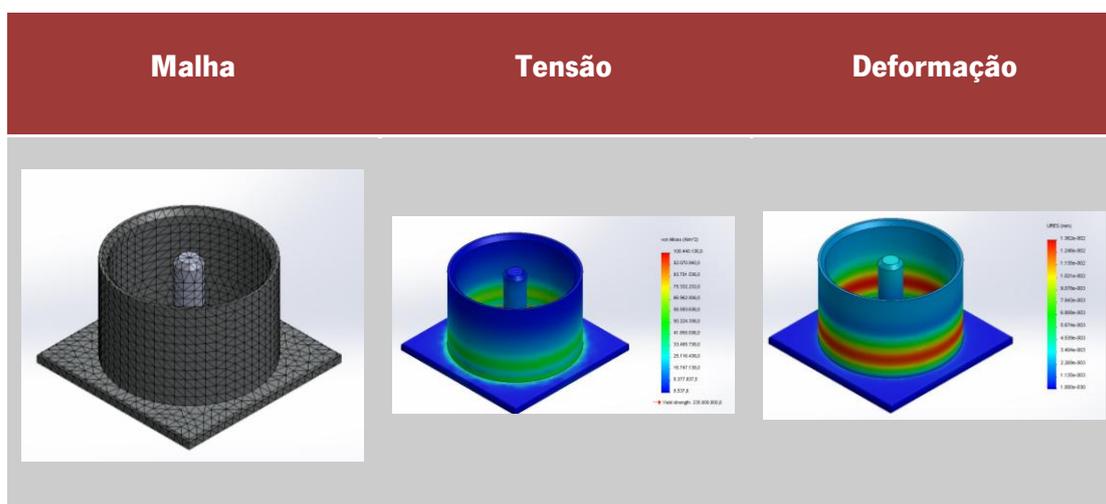


Figura 4.8 - Ilustração da aplicação de fixações e pressões no molde

A Tabela 4.3 apresenta o parâmetro de malha aplicado e os resultados obtidos na simulação estática do molde. A tensão máxima a que cada molde será sujeito é de 100 MPa e deformação máxima é de 0,001mm, ocorrendo ambas na zona inferior da casca, e a um nível próximo da face superior dos produtos produzidos na etapa de prensagem.

Tabela 4.3 - Resultados obtidos na simulação estática do molde



4.1.2. Mesa Basculante

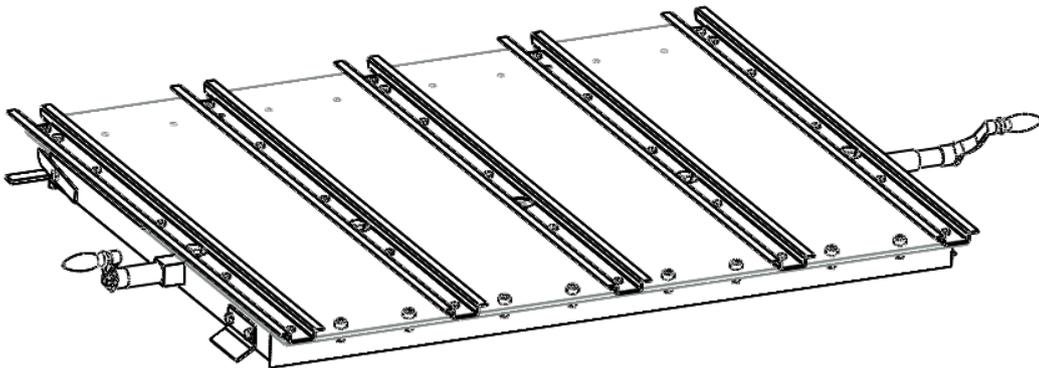


Figura 4.9 - Mesa Basculante

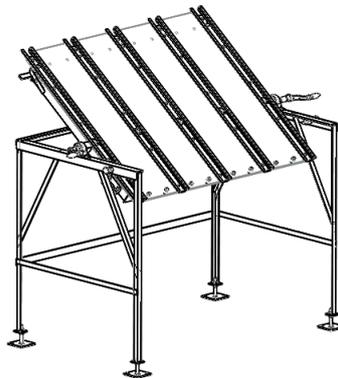


Figura 4.10 - Ilustração da Mesa Basculante integrando a estrutura de suporte

A mesa basculante (Figura 4.9) é o módulo integrante da mesa do equipamento (Figura 4.10) e que alberga os moldes no processo de desmoldagem e alimentação, tendo de ser compatível com estas etapas e com a organização da área de prensagem. A sua estrutura é dimensionada para garantir desalinhamentos ou deformações mínimas, estando suportada principalmente em duas partes extremas do eixo da mesa que a sustenta. A organização da mesa basculante é disposta na Figura 4.11.

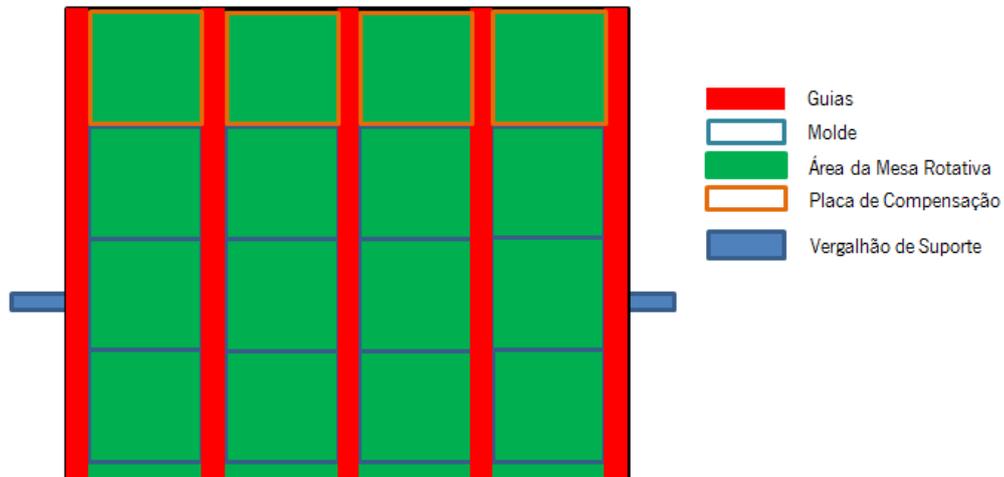


Figura 4.11 - Organização da área da Mesa Basculante

Para o dimensionamento da Mesa Basculante considerou-se que será sujeita ao peso dos moldes, peso do produto e eventuais esforços do operador, cujos valores empregues podem ser encontrados na Tabela 4.4

Tabela 4.4 - Massa das cargas no equipamento

	Massa [kg]
Molde (m_m)	8
Produto (m_p)	0,25
Operador (m_o)	75

Para este dimensionamento é realizado uma sequência de dimensionamentos dos elementos constituintes da mesa basculante.

4.1.2.1. Dimensionamento dos Parafusos de suporte das guias

Na posição invertida da mesa, 25 parafusos serão os elementos que ligarão as guias à placa da mesa, tendo de suportar a carga toda a carga produzida pelos moldes.

O dimensionamento dos parafusos é realizado de acordo com uma análise estática dos esforços axiais, existindo necessidade de escolha do tamanho de parafuso que suporte os esforços dos elementos e de pré-tensão. A distribuição de carga dos moldes nos parafusos que fixam as guias é calculada, existindo 6 parafusos que comportam a carga máxima produzida pelos moldes, sendo esta de 100% da carga de um molde. A Figura 4.12 ilustra quais os parafusos que possuem um carregamento máximo.

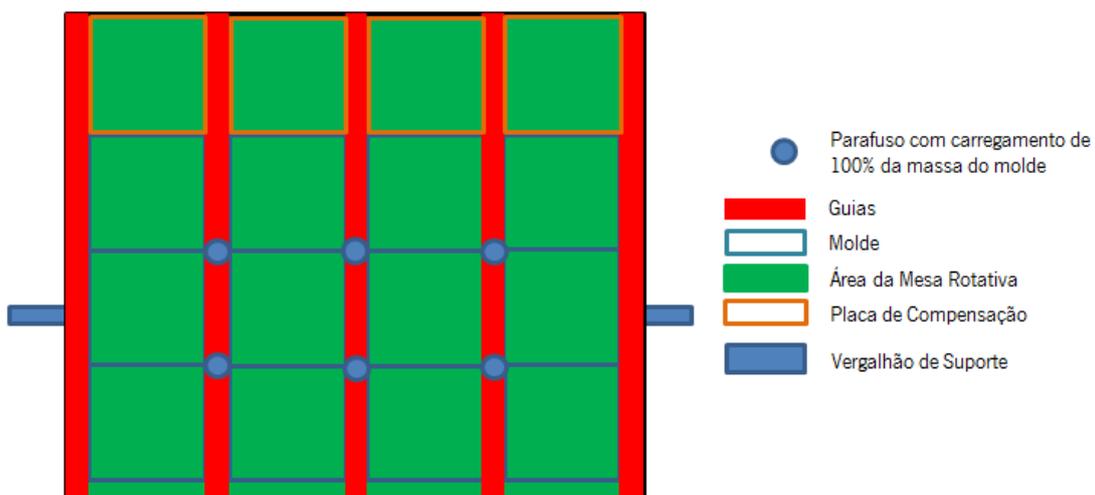


Figura 4.12 - Parafusos com carregamento igual à massa do molde

Assim, é considerada que o carregamento máximo de um parafuso C_p será de:

$$C_p = (m_m + m_p) \times a_g \times C_s = (8 + 0.25) \times 9,8 \times 1.5 = 121.28 \text{ [N]} \quad (4.1)$$

em que C_s é o coeficiente de segurança aplicado, sendo de 1,5. O cálculo da carga de pré-tensão F_i é realizado pela aplicação da expressão (4.2) [9]

$$F_i = 0,75 \times F_p = 0,75 \times (A_t \times S_p) \quad (4.2)$$

em que A_t é área de tensão do parafuso e S_p é a tensão mínima de prova. Convencionando a aplicação de um parafuso de classe 4.6, o valor de S_p é de 225 Mpa, encontrando-se tabelado [9]. O valor de A_t varia com o tamanho de parafuso, encontrando-se também tabelado [9].

Para seleção do tamanho de parafuso recorreu-se a uma folha de cálculo Excel (Tabela 4.5) para determinar as cargas máximas P a que vários tamanhos de parafusos de rosca métrica podem estar sujeitos.

Tabela 4.5 - Excerto de folha de cálculo Excel com valores máximos de Carga P

Parafuso	A [mm ²]	S _p [Mpa]	F _p [N]	F _i [N]	P [N]
M6	20,10	225	4522,5	3392	1131
M8	36,60	225	8235	6176	2059
M10	58,00	225	13050	9788	3263
M12	84,30	225	18967,5	14226	4742

De forma a otimizar a espessura da placa da mesa, é realizada uma comparação entre a área do parafuso do projeto A_t e a área de rosca do parafuso A_r , calculando o número de passes i necessários para não existir falência da ligação parafuso-mesa.

$$i = \frac{A_{tp}}{A_r} \quad (4.3)$$

Para suportar o carregamento dos moldes a área do parafuso do projeto é calculada pela expressão 4.4 e a área da rosca do parafuso de projeto pela expressão 4.5.

$$A_{tp} = \frac{F_b}{S_p} = \frac{C_p + F_i}{S_p} \quad (4.4)$$

$$A_p = A - A_t \quad (4.5)$$

O valor mínimo de espessura da chapa para a mesa, l , é calculada em folha de cálculo Excel (Tabela 4.6) que integrando os passes p , e admitindo, por segurança, será contabilizado na ligação, para além dos 2 passes extremos (não produzem a resistência prevista), o dobro dos passes necessários.

Tabela 4.6 - Excerto da folha de cálculo Excel para determinação da espessura de placa

Parafuso	C _p [Mpa]	F _b [N]	S _p [Mpa]	A _{tp} [mm ²]	D [mm]	A _p [mm ²]	i	p [mm]	L [mm]
M6	121,28	3513	225	15,61	6	9,28	1,681	1	5,36
M8	121,28	6297	225	27,98	8	16,60	1,685	1,25	6,71
M10	121,28	9909	225	44,03	10	23,43	1,878	1,5	8,64
M12	121,28	14347	225	63,76	12	32,88	1,939	1,75	10,29

Concluindo, o tamanho de parafuso métrico que mais se apropria ao projeto é o M6 e a chapa que dá origem à mesa (pela consulta de catálogos de comercialização de elementos estruturais) terá 6mm.

4.1.2.2. Placa da Mesa

A placa da mesa é dimensionada inicialmente segundo o plano XY ou plano lateral, averiguando se a necessidade de integração de elementos estruturais que minimizem a deformação da mesa.

Considerando que o maior esforço na mesa ocorre acidentalmente quando o operador faça um elevado esforço e a mesa se encontre bloqueada (Figura 4.13), é dimensionada a metade da mesa sujeita a maiores cargas, considerando-a encastrada no seu ponto de apoio. A deformação máxima é calculada pela soma das deformações ocorrentes pela natureza dos dois tipos de esforço, a carga pontual, aplicada no extremo, e a massa dos moldes e da mesa, distribuídas sobre a face da mesa.

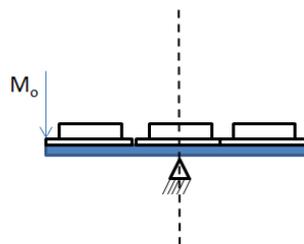


Figura 4.13 – Ilustração do carregamento da mesa

$$\delta_{\text{Total}} = \delta_{\text{Placa}} + \delta_{\text{Moldes}} + \delta_{\text{Operador}} \quad (4.6)$$

A deformação resultante pela massa da mesa e massa dos moldes é dado pela expressão 4.7.

$$\delta_{Placa} + \delta_{Moldes} = \frac{(F_{Moldes} + F_{Placa}) \cdot l^3}{8 \cdot E \cdot I} \quad (4.7)$$

$$F_{Moldes} = \left[\left[(m_m + m_p) \cdot 4 + \left(\frac{(m_m + m_p)}{2} \right) \cdot 4 \right] \cdot a_g \right] \cdot C_s$$

$$= \left[\left[(8 + 0,25) \cdot 4 + \left(\frac{(8+0,25)}{2} \right) \cdot 4 \right] \cdot 9,8 \right] \cdot 1,5 = 727,65 \text{ [N]} \quad (4.8)$$

$$F_{Placa} = m \cdot a_g = (\rho \cdot V_{placa}) \cdot a_g$$

$$= (7800 \times 0,3 \times 1 \times 0,006) \times 9,8 = 137,6 \text{ [N]} \quad (4.9)$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1 \times 0,006^3}{12} = 18 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]} \quad (4.10)$$

$$\Leftrightarrow \delta_{Placa} + \delta_{Moldes} = 0,77 \text{ [mm]}$$

em que F_{Placa} representa a carga, pela ação gravítica, da mesa, F_{Moldes} a força exercida pelos parte dos do conjunto de moldes que se situam nessa área da mesa, l o comprimento de 0,3m entre a face extrema e o encastrado, E o módulo de elasticidade do aço da mesa (210 GPa), ρ a massa volúmica do aço (7800 kg/m³) e I a inércia do elemento em estudo para a posição descrita.

A deformação produzida pelo esforço do operador é dada pela seguinte expressão:

$$\delta_{Operador} = \frac{F_{Operador} \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (4.11)$$

$$F_{Operador} = m_o \cdot a_g = 75 \times 9,8 = 735 \text{ [N]} \quad (4.12)$$

$$\Leftrightarrow \delta_{Operador} = \frac{735 \times 0,3^3}{3 \times 210 \times 10^9 \times 18 \times 10^{-9}} = 1,75 \text{ [mm]}$$

Avaliando, conclui-se a δ_{Total} pode ser de 2,52 mm, o se pode considerar um pouco excessiva para um elemento que integra um sistema de guiamento que procura rigor no deslizamento e na ligação ao sistema de prensagem. Admitindo que 1mm de deformação é o máximo aceitável, o reforço da placa com aplicação de cantoneiras de abas iguais nos extremos apresenta-se como

uma solução sendo necessário calcular o valor da inércia das mesmas para garantir a deformação máxima desejada.

$$\delta_{1\text{mm}} = \left(\frac{(F_{\text{Moldes}} + F_{\text{Placa}})}{8} + \frac{F_{\text{Operador}}}{3} \right) \cdot \frac{l^3}{E.I} = \left(\frac{727,65 + 137,6}{8} + \frac{735}{3} \right) \cdot \frac{0,3^3}{210 \times 10^9 \cdot I} \quad (4.13)$$

$$\Leftrightarrow I = 4,54 \text{ [cm}^4\text{]}$$

Segundo catálogo, o modelo de cantoneira de abas iguais que apresenta o valor de inércia mais próximo superior é o de tamanho 40x40x5.

4.1.2.3. Eixo da mesa

O eixo da mesa é o elemento maciço que promove a ligação da mesa basculante com a estrutura que a suportará, revelando-se um dos mais importantes componentes para o projeto. Sendo mais longo que a largura da mesa, atribui-se 50 mm, em cada lado, para efetuar a ligação com os elementos rolantes da estrutura. Este elemento é de perfil quadrado, facilitando a sua fixação na placa da mesa e extremidades maquinadas para penetrar o rolamento, integrar uma engrenagem e manivelas para facilitar a rotação da mesa. A integração de uma engrenagem tem em vista uma posterior automatização do módulo.

Para o seu dimensionamento é calculada o módulo de resistência W (4.14) necessário para selecionar a largura das faces b do eixo da mesa.

$$W = \frac{|M_{\text{Max}}|}{\sigma_{\text{cedência material}}} = \frac{b^3}{6} \quad (4.14)$$

em que $\sigma_{\text{cedência material}}$ é a tensão de cedência do material estrutural (235 MPa) e $|M_{\text{Max}}|$ é o módulo do momento máximo no eixo da mesa.

O carregamento é representando pela Figura 4.14, sendo o carregamento distribuído P existente calculado pela equação 4.15, com massa da placa calculada pela expressão 4.16, e massas das cantoneiras de cada lateral da mesa de 1,8 kg. A carga pontual exercida pelo operador F_o é calculada na expressão 4.12.

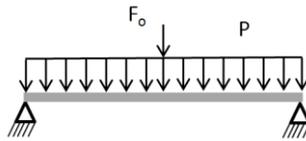


Figura 4.14 – Ilustração do carregamento do eixo da mesa

$$P = [(12 \times (m_{\text{molde}} + m_{\text{produto}}) \times 1,5) + m_{\text{placa}} + 2 \times m_{\text{Cantoneiras}}] \times a_g$$

$$= [(12 \times (8 + 0,25) \times 1,5) + m_{\text{placa}} + 2 \times 1,8] \times 9,8 \quad (4.15)$$

$$m_{\text{placa}} = V \cdot \rho = (1 \times 0.006 \times 0.829) \times 7800 = 38,79 \text{ [kg]} \quad (4.16)$$

$$\Leftrightarrow P = 1870,72 \text{ [N]}$$

Existindo uma simetria no carregamento do eixo da mesa, as reações normais dos pontos de apoio ao rolamento RA e RB são metade do somatório do carregamento. Traçado o diagrama de esforços transversos (Figura 4.15) e posteriormente o diagrama de momentos fletores (Figura 4.16).

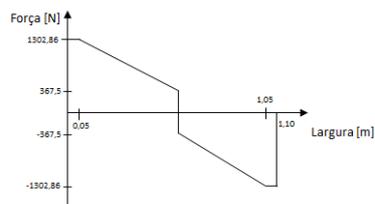


Figura 4.15 - Diagrama de esforços transversos do eixo da mesa

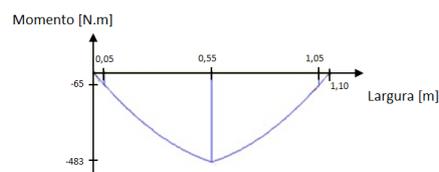


Figura 4.16 - Diagrama de momentos fletores do eixo da mesa

O momento fletor máximo no eixo, M_{Max} , é de 483 N.m.

Aplicando a equação 4.14, obtém-se um valor de largura b de 23 mm, sendo o tamanho em catálogo mais próximo superiormente com largura b de 30mm. Selecionado o tamanho do eixo da mesa, é calculada a inércia do elemento, pela equação 4.17 e verificada a deformação máxima δ_{max} que pode ocorrer, pela equação 4.18.

$$I_{\text{eixo da mesa 30mm}} = \frac{b^4}{12} = 6,75 \cdot 10^{-8} [\text{m}^4] \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= \frac{P \cdot l^3}{\left(\frac{384}{5}\right) \cdot E \cdot I} + \frac{F_0 \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{1870,72 \times 1,10^3}{\left(\frac{384}{5}\right) \times 210 \times 10^9 \times 6,75 \cdot 10^{-8}} + \frac{735 \times 1,10^3}{48 \times 210 \times 10^9 \times 6,75 \cdot 10^{-8}} \\ &= 2,29 + 1,44 = 3,73 [\text{mm}] \end{aligned} \quad (4.18)$$

Desenvolvida a equação 4.18 e desprezando os efeitos da resistência dos restantes elementos da mesa basculante, é esperado que a deformação obtida no elemento em análise nunca seja superior a 3,73 mm.

4.1.2.4. Cantoneiras frontais e traseira

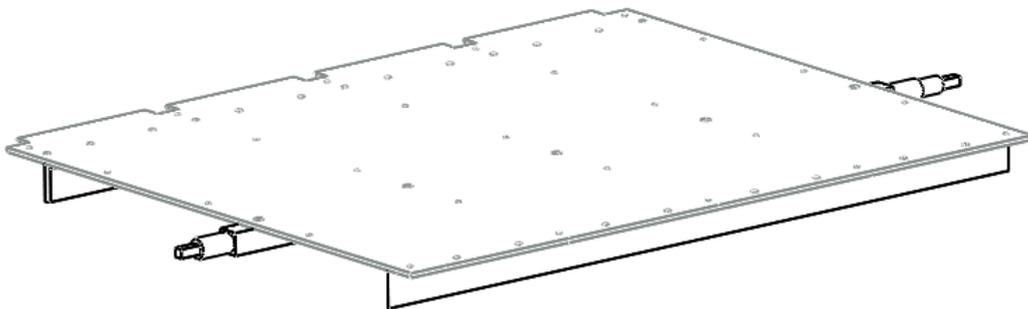


Figura 4.17 - Ilustração da mesa basculante integrando o eixo e as cantoneiras frontal e traseira

Para a seleção do tamanho de cantoneiras frontal e traseira de 1 m de comprimento (Figura 4.17), admite-se que apenas poderá existir uma deformação de 1 mm e parte-se do princípio

que os principais esforços a que se encontrarão sujeitas serão a força do operador e o peso dos 4 moldes que se situam na linha frontal e traseira (Figura 4.18). A seleção do tamanho é realizada pela determinação da inércia I necessária para o elemento desenvolvendo a equação 4.19 e carga P pela equação 4.20.

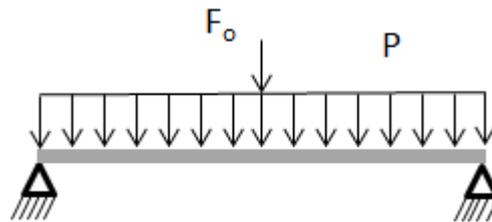


Figura 4.18 - Ilustração do carregamento da cantoneira frontal e traseira

$$\delta_{1\text{mm}} = \left(\frac{P}{\frac{384}{5}} + \frac{F_0}{48} \right) \cdot \frac{l_{\text{mesa}}^3}{E \cdot I} = \left(\frac{1870,72}{\frac{384}{5}} + \frac{735}{48} \right) \times \frac{1^3}{210 \times 10^9 \times I} \quad (4.19)$$

$$P = 4 \times (M_{\text{molde}} + M_{\text{produto}}) \times C_S \times a_g = 4 \times (8 + 0,25) \times 1,5 \times 9,8$$

$$= 485,1 \text{ [N]} \quad (4.20)$$

Consultando catálogo de elementos estruturais em aço, para a inércia calculada ($10,3 \text{ cm}^4$), o tamanho de cantoneira a utilizar é $50 \times 50 \times 5$.

4.1.2.5. Guias

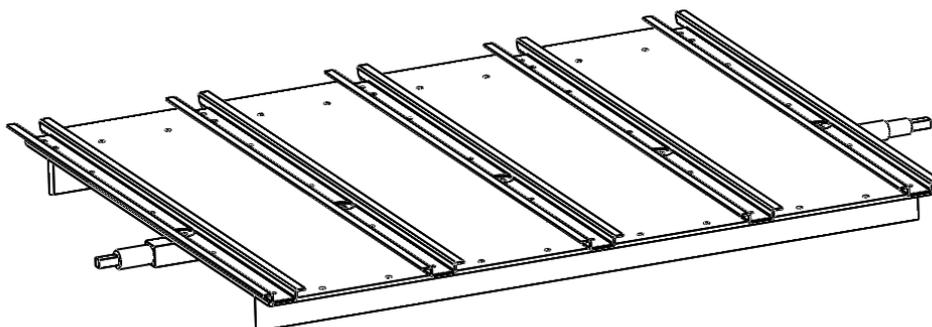


Figura 4.19 - Ilustração da aplicação de guias na mesa basculante

As guias são os elementos que orientam o guiamento dos moldes, sendo fixadas à mesa nos espaços de 38 mm anteriormente decididos na fase de organização (Figura 4.19).

O seu perfil (Figura 4.20) é definido procurando fazer o elemento corresponder às necessidades do equipamento, em que as 2 abas, obtidas por conformação de chapa de 2mm, previamente cortada e furada, são capazes de suportar parte do peso dos moldes em duas colunas.

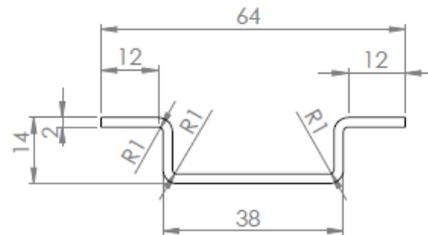


Figura 4.20 - Cotação do perfil de Guia

As guias são produzidas por processos de conformação, apresentando furações que possibilitam a sua fixação e de outros elementos à placa da mesa basculante. A sua validação é realizada posteriormente, juntamente com o subconjunto e com recurso à análise de métodos de elementos finitos.

A Figura 4.21 apresenta um modelo 3D da guia com o comprimento de 844mm.

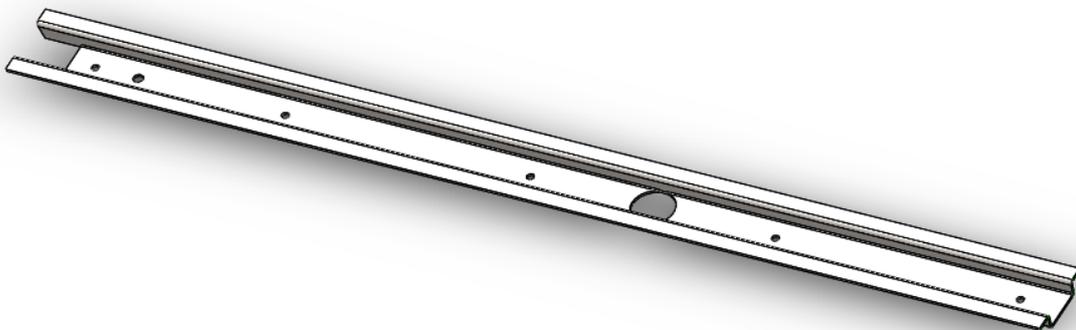


Figura 4.21 - Modelo 3D das guias da mesa basculante

4.1.2.6. Outros elementos

A compreensão da forma de funcionamento da máquina veio revelar a possível ocorrência de novos problemas durante a ação. O não bloqueio do movimento dos moldes é um desses problemas, verificando-se que se a rotação da mesa for executada a uma velocidade mais elevada haveria tendência dos moldes se deslocarem, ou até mesmo saírem da mesa, inviabilizando o normal funcionamento previsto. Para eliminar esta anomalia é integrado um sistema de bloqueio (Figura 4.22) da mesa que é ativo ou desativado mediante o contacto com a parte posterior da estrutura de suporte da mesa basculante. Este sistema é constituído principalmente por elementos normalizados (molas, parafusos sextavados e porcas sextavadas), aplicados a uma barra, em que parafusos na ação de bloqueio encaixam nas placas de compensação (Figura 4.23).

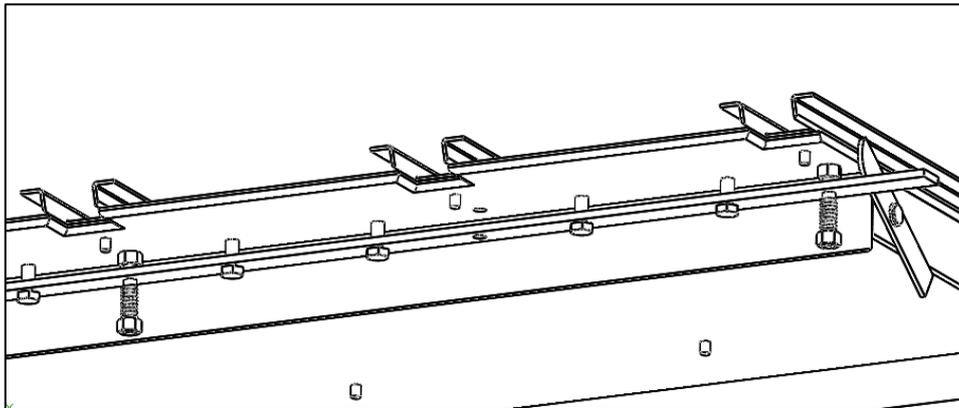


Figura 4.22 - Ilustração do sistema de bloqueio dos moldes na mesa basculante

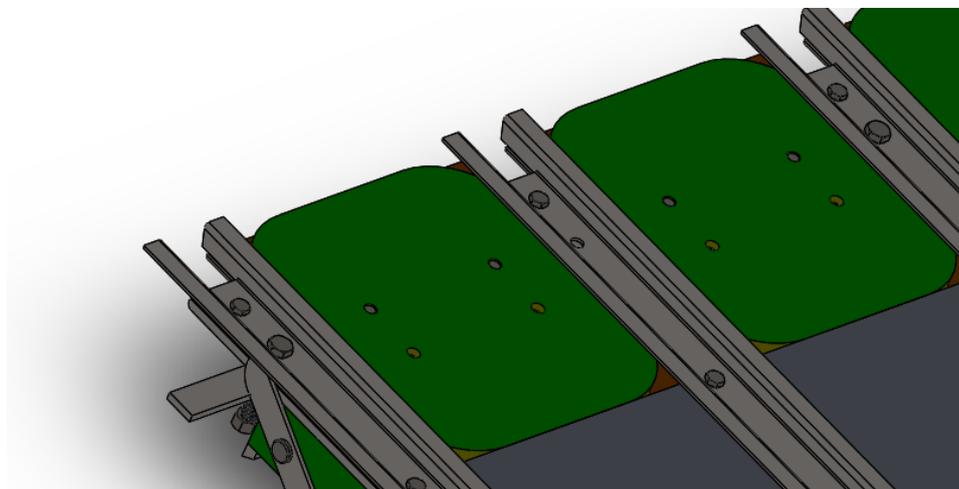


Figura 4.23 - Ilustração das placas de compensação da mesa basculante

Outro problema previsto é o condicionamento dos moldes na mesa, sempre que seja necessário retirar-los ou colocar-los. A solução foi aumentar ao comprimento a placa da mesa e aplicar parafusos com cabeça cilíndrica de sextavado interno em cada coluna de moldes, permitindo, sempre que retirados, fácil substituição ou reparação dos moldes (Figura 4.24).

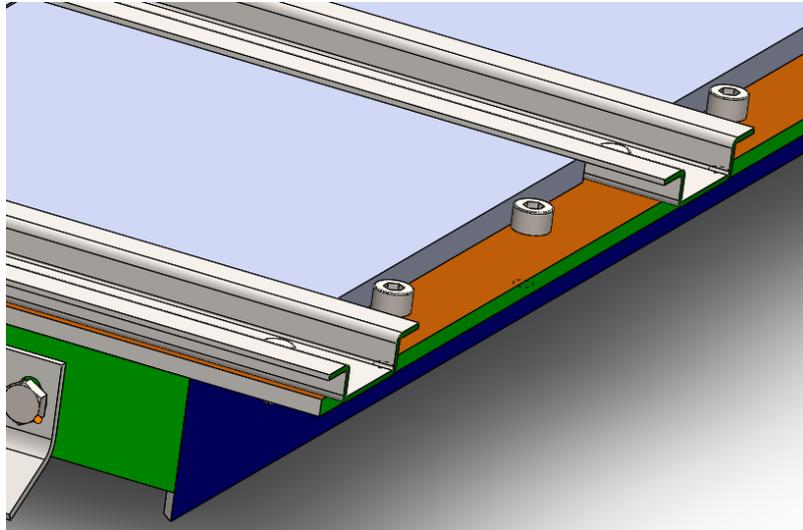


Figura 4.24 - Fecho frontal da mesa basculante

Na rotação da mesa, é recomendado que o operador a faça pelo eixo da mesa, permitindo-o se encontrar numa zona mais segura da mesa durante a ação. Para que esta seja facilitada, são integradas manivelas nos extremos do eixo da mesa basculante (Figura 4.25), sendo escolhidas do vendedor RS com braço de raio 100mm e orifício quadrado de 12mm x 12mm.

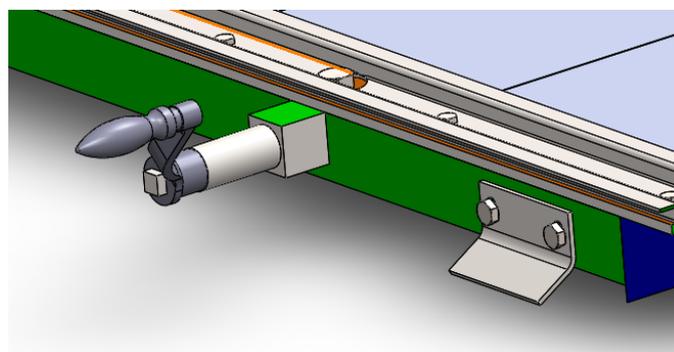


Figura 4.25 - Detalhe da manivela no extremo do eixo da mesa basculante

4.1.2.7. Modelação 3D da Mesa Basculante

As Figura 4.26 e Figura 4.27 apresentam o modelo 3D da mesa basculante projetada, possuindo os elementos projetados ou seleccionados. O seu comprimento total é de 827mm e largura de 1430mm. A Tabela 4.7 apresenta a lista de componentes que constituem este módulo, referenciado o desenho técnico correspondente e a quantidade, sendo apresentado o desenho de conjunto no Anexo B, desenho técnico G2.1 e o desenho de montagem no Anexo D3.

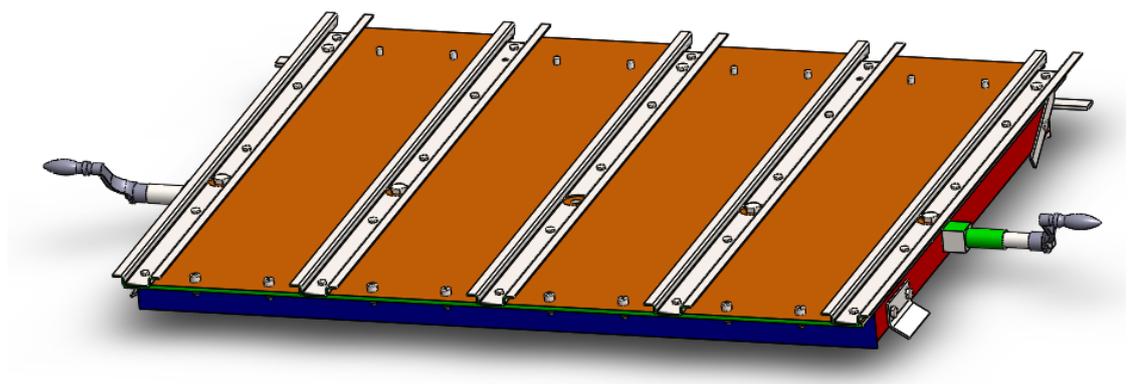


Figura 4.26 - Vista Superior da mesa basculante em modelo 3D CAD

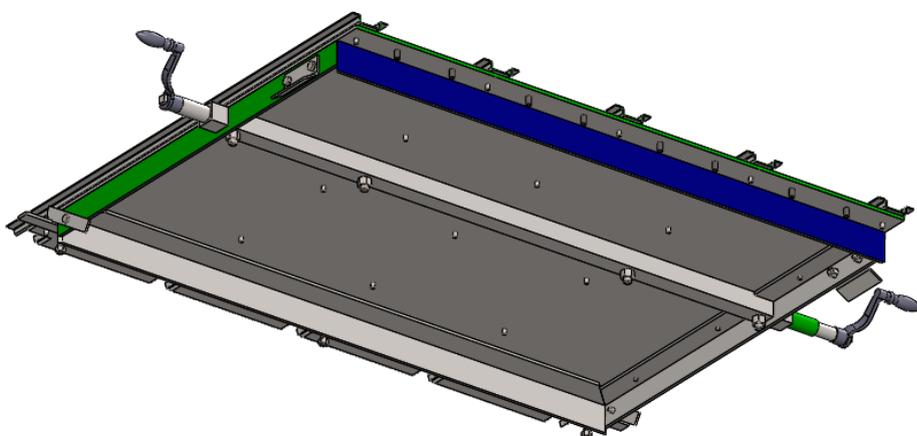


Figura 4.27 - Vista Inferior da mesa basculante em modelo 3D CAD

Tabela 4.7 - Lista de componentes do módulo Mesa Basculante

	Componentes	Desenho Técnico	Quantidade
1	Placa da Mesa Basculante	G2.1.1.1	1
2	Cantoneira direita	G2.1.1.2	1
3	Cantoneira frente/trás	G2.1.1.3	2
4	Cantoneira esquerda	G2.1.1.4	1
5	Eixo da Mesa Basculante	G2.1.2	1
6	Guias dos moldes	G2.1.3	5
7	Apoio do fixador	G2.1.4	1
8	Acionador de destravamento dos moldes	G2.1.5	2
9	Manivela RS 237-261		2
10	Parafuso sextavado M6 x 16		25
11	Parafuso sextavado M12 x 55 x 33		4
12	Porca sextavada M12		4
13	Parafuso sextavado M8 x 20		4
14	Porca sextavada M8		12
15	Pino de engate RS 338-934		2
16	Barra de travamento dos Moldes	G2.1.6	1
17	Parafuso sextavado M8 x 60		3
18	Parafuso sextavado M8 x 30		8
19	Mola RS 751-534		3
20	Parafuso de cabeça cilíndrica sextavada M8 x 20		10
21	Freio de imobilização tipo mola		2

4.1.2.8. Validação Computacional

Para simplificar o cálculo do numérico, substituiu-se o modelo do molde por uma placa de 200mm x 200mm x 10mm, reduzindo o número de iterações de cálculo que poderiam ser produzidas pela integração dos moldes. As fixações são aplicadas nas áreas do eixo da mesa que serão fixadas ao rolamento e é simulado o pré-esforçamento das ligações aparafusadas não permanentes aplicando valores de pré-tensão F_i da Tabela 4.5.

Posição normal

Na posição em estudo, o carregamento é colocado sobre a placa que substitui o molde, com direção perpendicular à placa da mesa, sentido descendente e aplicando uma força de 121,2 N em cada uma. A Figura 4.28 ilustra a aplicação das forças e fixações na simulação e a Tabela 4.8 apresenta figuras do parâmetro de malha, da tensão e da deformação, das vistas da parte superior e da parte inferior, obtidas na atual simulação.

Tabela 4.8 - Resultados obtidos na simulação estática da mesa basculante (posição normal)

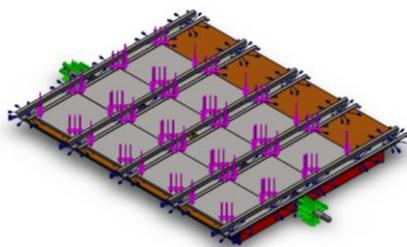
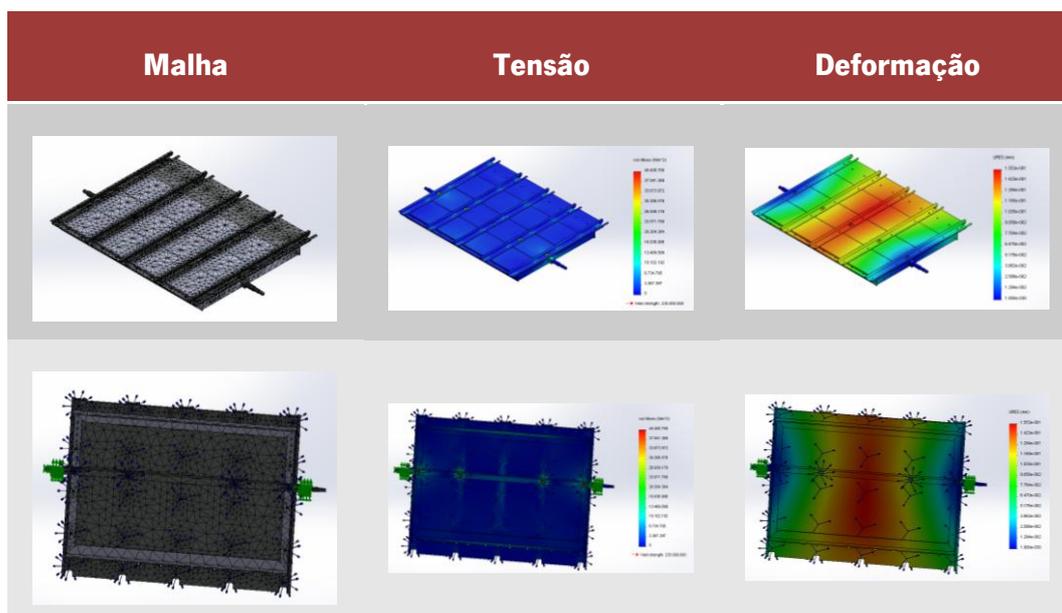


Figura 4.28 - Ilustração da aplicação de fixações e carregamento da mesa basculante (posição normal)

A tensão máxima produzida pelo carregamento é de 40,4 MPa, ocorrendo no eixo da mesa basculante na zona da ligação M12 deste elemento com a placa da mesa. A deformação máxima é de 0,15mm, ocorrendo na zona da mesa em que se aplica a guia central, apresentando um valor muito inferior ao previsto inicialmente.

Posição invertida

Na posição invertida, o carregamento é colocado sobre a placa que substitui o molde, com direção perpendicular à placa da mesa, sentido ascendente e aplicando uma força de 121,2 N em cada uma. A Figura 4.29 ilustra a aplicação dos esforços e fixações da simulação e a Tabela 4.9 apresenta figuras do parâmetro de malha, da tensão e da deformação, de vistas da parte superior e da parte inferior, obtidas na atual simulação.

Tabela 4.9 - Resultados obtidos na simulação estática da mesa basculante (posição invertida)

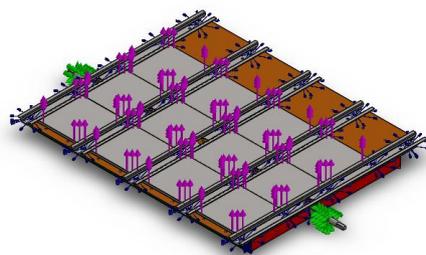
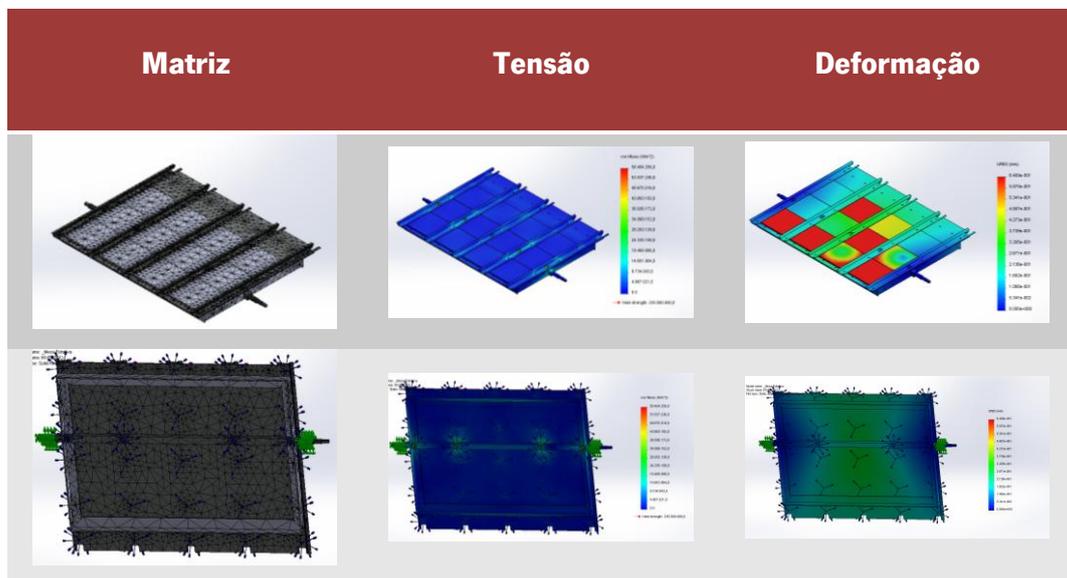


Figura 4.29 - Ilustração da aplicação de fixações e esforços na mesa basculante (posição invertida)

A tensão máxima produzida pelo carregamento é de 58,4 MPa, ocorrendo no eixo da mesa basculante na zona da ligação M12 deste elemento com a placa da mesa. A deformação máxima é de 0.47mm, ocorrendo na guia central, apresentando um valor muito inferior ao previsto inicialmente.

4.1.3. Estrutura de suporte da mesa basculante

A estrutura de suporte da mesa basculante é o módulo que suportará toda a carga efetuada pelo módulo mesa e pelo conjunto de moldes. Constituído essencialmente por um conjunto soldado de cantoneiras de abas iguais, é ilustrado na Figura 4.30 as dimensões e nós das partes laterais que comportam, no ponto de aplicação da força F , o rolamento do eixo da mesa anteriormente selecionado.

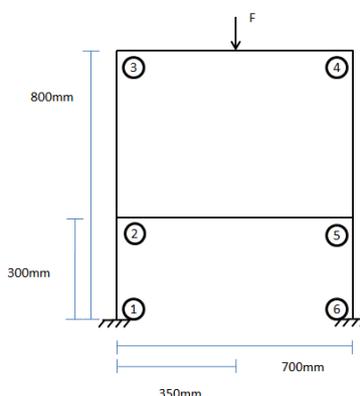


Figura 4.30 – Cotagem da estrutura lateral de suporte da mesa basculante

O projeto deste módulo encontra-se principalmente na necessidade de dimensionar a cantoneira 3-4 e as pernas 1-3 e 6-4 para controlar o abaixamento da mesa com o carregamento.

Para determinar o carregamento F a que o módulo está sujeito é determinada toda a carga produzida pelo módulo da mesa basculante (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 - Massa dos diversos elementos do módulo Mesa Basculante

Elemento	Quantidade	Carga Unitária [kg]	Carga [kg]
Moldes	12	8	96
Produtos	12	0,25	3
Placa da mesa	1	38	38
Guias	5	1	5
Cantoneiras laterais	2	1,8	3,6
Cantoneira frontal	1	3,6	3,6
Cantoneira traseira	1	3,6	3,6
Eixo da mesa basculante	1	7,8	7,8
Operador	1	75	75
		Total	235,6

$$F = \frac{235.6 \times a_g \times C_s}{2} = \frac{235.6 \times 9,8 \times 1,5}{2} \quad (4.21)$$

A expressão 4.21 representa o cálculo da força máxima F a que o módulo será sujeito, resultando em 1176 N.

4.1.3.1. Seleção da cantoneira 3-4

Como realizado com anteriores elementos, a seleção do tamanho da cantoneira consiste num elemento que possua uma inércia superior à inércia necessária para comportar a carga. O cálculo da inércia é realizado pela expressão 4.22,

$$I = \frac{|M_{m\acute{a}x}| \cdot c}{\sigma_{cedencia\ material}} \quad (4.22)$$

em que $\sigma_{cedencia\ material}$ é a tensão de cedência do aço estrutural (235 Mpa), c é o centroide da cantoneira e $|M_{m\acute{a}x}|$ é o módulo do momento fletor máximo na cantoneira. Traçado o diagrama de esforços transversos (Figura 4.31) e posteriormente o diagrama de momentos

fletores (Figura 4.32), o momento fletor máximo, durante a normal atividade do equipamento, é de 205,8 N.m.

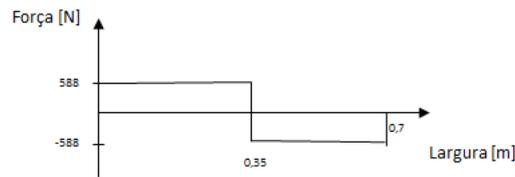


Figura 4.31 - Diagrama de esforços transversos da cantoneira 3-4

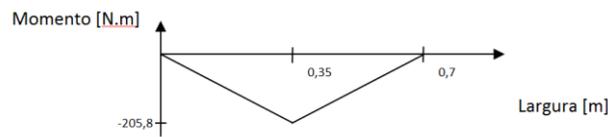


Figura 4.32 - Diagrama de momentos fletores da cantoneira 3-4

O centroide da cantoneira é calculado pela expressão 4.23, variando com o tamanho de cantoneira:

$$c = \frac{\sum \bar{y} \cdot A}{\sum A} \quad (4.23)$$

em que $\sum \bar{y} \cdot A$ é o somatório dos produtos centros geométricos com as áreas das duas partes ilustradas na Figura 4.33, e $\sum A$ a área de secção da cantoneira. Com recurso a folha de cálculo Excel (Tabela 4.11) integra-se as expressões 4.22 e 4.23 calculando-se o centroide e qual o valor da inércia necessária para que as cantoneiras não entre em rotura durante a atividade da máquina. A cantoneira selecionada é a de tamanho 35mm x 35mm x 5mm.

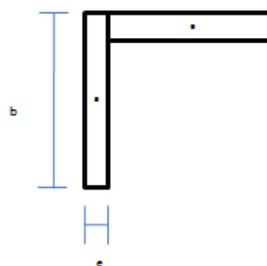


Figura 4.33 - Divisão da secção transversal da cantoneira

Tabela 4.11 - Tabela de comparação entre valores de Inércia necessária e Inércia real para vários tamanhos de cantoneiras

b [mm]	e [mm]	c [mm]	b-c [m]	I (necessário) [m ⁴]	I (Tabelado) [m ⁴]
30	3	0,97	0,029	2,54	1,40
30	4	1,20	0,029	2,52	1,80
30	5	1,41	0,029	2,50	2,16
35	3,5	1,09	0,034	2,97	2,63
35	4	1,20	0,034	2,96	2,95
35	5	1,42	0,034	2,94	3,56
40	3	0,98	0,039	3,42	3,45
40	4	1,21	0,039	3,40	4,47
40	5	1,43	0,039	3,38	5,43

4.1.3.2. Seleção das cantoneiras 1-3 e 6-4

No dimensionamento de uma coluna, como no caso dos elementos em estudo, a tensão admissível do elemento não pode exceder a tensão produzida pelo carregamento. Respeitando esta condição e aplicando a expressão 4.24 é calculada a área mínima, A, necessária para a secção das cantoneiras.

$$A = \frac{\frac{F}{2}}{\sigma_{\text{cedência material}}} \quad (4.24)$$

O tamanho de cantoneira selecionado é 25mm x 25mm x 3mm, por ser o que possui uma área de secção mais próxima do valor de A obtido (0,025 cm²).

4.1.3.3. Outros Elementos

Para apoiar o eixo da mesa basculante no módulo em estudo são escolhidos elementos rolantes pela elevada carga a que estas ligações estão sujeitas e pela necessidade de um baixo atrito na rotação da mesa. Os elementos rolantes são escolhidos a partir da lista presente no vendedor RS, selecionando-se o rolamento SKF P 25 TF (Figura 4.34) pelo seu baixo preço, suportar a

carga requerida e pelo diâmetro interno do elemento rolante capaz de integrar o eixo da mesa de perfil quadrado (Figura 4.35).



Figura 4.34 - Unidade rolamento SKF

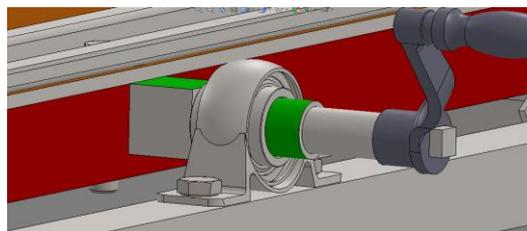


Figura 4.35 - Ilustração 3D CAD da unidade rolamento aplicada

A fixação da mesa basculante é projetada recorrendo a aplicação de um fixador em cada lado da estrutura em estudo para o operador libertar o bloqueio do movimento rotativo. Os fixadores escolhidos são do vendedor RS, modelo 237-413 (Figura 4.36) com curso de 69 mm, integrando na mesa placas dobradas que, para além de permitir os fixadores alcançarem a mesa, permitem o ajuste da fixação, minimizando as folgas do bloqueio da mesa. A Figura 4.37 representa a sua aplicação no projeto.



Figura 4.36 - Perno de fixação RS

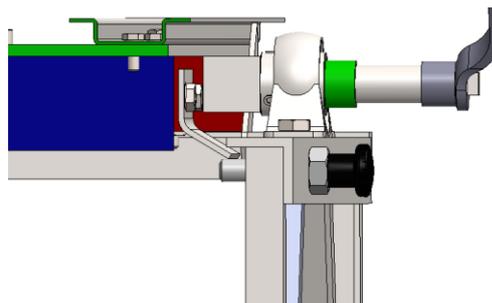


Figura 4.37 - Ilustração 3D CAD da aplicação de um perno fixador

Para fixação e regulação em altura da mesa basculante, é projetado um conjunto de elementos que são associados às pernas da estrutura e que são denominados de pés. A fixação da estrutura é realizada por uma pequena placa com quatro furos para fixação ao solo e um furo para colocação de um parafuso de cabeça cônica, sextavada interna. Neste parafuso são aplicadas duas porcas sextavadas (uma inferior e outra superior a uma placa soldada às pernas

da mesa) com as quais será possível a regulação em altura da mesa basculante. A Figura 4.38 ilustra os pés da mesa em desenho 3D, exibindo um conjunto simples e barato como o é procurado para o projeto.

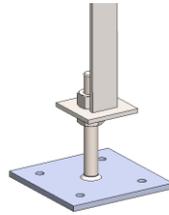


Figura 4.38 - Modelo 3D CAD dos pés da estrutura de suporte da mesa basculante

4.1.3.4. Modelo 3D final

A Figura 4.39 apresenta o modelo final 3D da estrutura de suporte da mesa basculante, possuindo os elementos anteriormente projetados ou selecionados. A estrutura possui 1135 mm de largura, 700 mm de comprimento e uma altura que pode variar entre 870 mm e 910 mm.

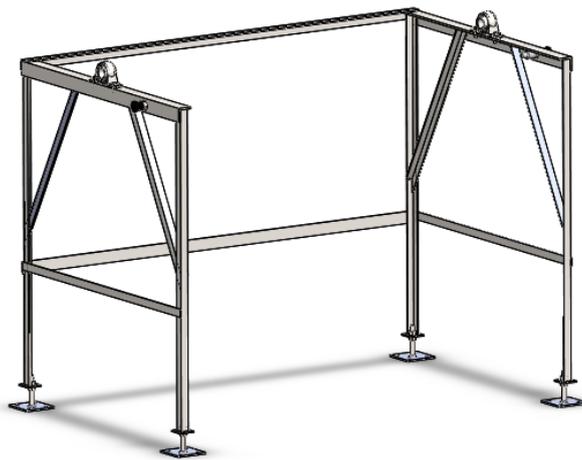


Figura 4.39 - Modelo 3D CAD da estrutura de suporte da mesa basculante

A Figura 4.40 apresenta mais pormenorizadamente as fixações da cantoneira que integra o rolamento e o fixador. A Tabela 4.12 apresenta a lista de componentes que constituem este módulo, referenciado o desenho técnico correspondente e a quantidade, sendo apresentado o desenho de conjunto no Anexo B, desenho G2.2 e o desenho de montagem no Anexo D4.

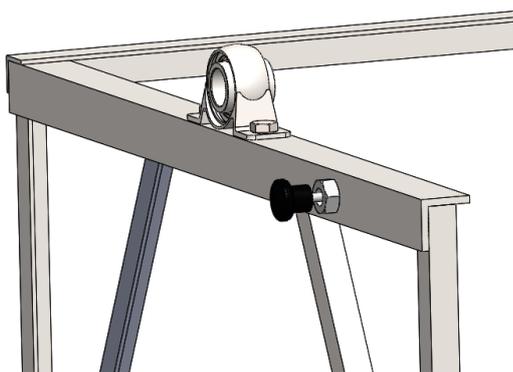


Figura 4.40 - Ilustração da aplicação da cantoneira 3-4

Tabela 4.12 - Lista de componentes do módulo Estrutura de suporte da Mesa Basculante

	Componentes	Desenho Técnico	Quantidade
1	Barra lateral	G2.2.1	2
2	Perna	G2.2.2	4
3	Placa da base	G2.2.3.1	4
4	Barra traseira	G2.2.4	1
5	Cantoneira traseira	G2.2.5	1
6	Apoio cantoneira do rolamento (Tipo 1)	G2.2.6	2
7	Apoio cantoneira do rolamento (Tipo 2)	G2.2.7	2
8	Cantoneira do rolamento (lado direito)	G2.2.8.1	1
9	Cantoneira do rolamento (lado esquerdo)	G2.2.9.1	1
10	Fixador RS 237-413		2
11	Parafuso de cabeça cônica sextavada M10 x 80		4
12	Porca M10		8

4.1.3.5. Validação Computacional

A análise da estrutura foi realizada, na sua integridade, com recurso ao método dos deslocamentos no programa CYPE 2010, na aplicação Metal 3D Clássico. A Figura 4.41 representa a estrutura final em CYPE e a Figura 4.42 a cotagem dos elementos.

4.1.4. Sistema de Aquecimento

O sistema de aquecimento é o módulo que produzirá o aquecimento durante o processo de prensagem, para cura dos moldes. A sua estrutura é pensada em ser ajustada e fixada na prensa pelos rasgos existentes no prato inferior da prensa, integrando elementos estruturais que geram espaço para a integração dos elementos que produzirão calor. Apoiada nestes elementos encontra-se a placa que suportará os moldes e as guias.

Para iniciar o projeto estrutural deste sistema, é inicialmente selecionado a forma de aquecimento a aplicar.

4.1.4.1. Forma de aquecimento

A produção de calor é obtida a partir da energia elétrica, excluindo excessivos custos e riscos adicionais ao projeto, como poderia ser o caso de aquecimento a gás.

As duas principais formas abordadas foram a aplicação de placas de indução e a aplicação de resistências elétricas. As placas de indução são preferidas pelo rápido e fácil aquecimento, conduzindo a energia gasta para elementos magnéticos em contacto com a sua placa e aumento da sua eficiência em relação às resistências elétricas. Os principais inconvenientes são as elevadas dimensões das placas e o elevado preço. As resistências elétricas têm vantagem de poderem ser modeladas e ocuparem pouco espaço.

Para aplicação de placas de indução no projeto, seria necessário prever as diferenças de temperatura entre zonas que se encontram sobre a indução e zonas que aquecem pela condução do material. Para determinar estas diferenças executou-se um ensaio experimental.

O ensaio experimental consistiu na aplicação de placa de indução comercial para aquecimento de uma placa de aço descentrada com 350mm de comprimento e 10mm de espessura. A placa de indução possui 2000w de potência, sendo usado o nível de aquecimento mínimo (90°C) no ensaio para diminuir a diferença de temperatura do centro para a extremidade da placa. Na placa de aço foram analisados termicamente 2 pontos, com recurso a um termopar e a um termómetro laser, um encontrando-se com centro geométrico da placa de indução e o outro a

uma distância de 200 mm, deste centro geométrico. A Figura 4.43 apresenta a montagem do ensaio experimental.



Figura 4.43 - Ensaio prático de transferência de calor

Os resultados obtidos inviabilizam a aplicação da placa de indução, tendo sido inicialmente deixada aquecer a placa de aço durante 5 min, no centro geométrico, até uma temperatura de 91°C. A Tabela 4.13 apresenta os valores obtidos em várias alturas do ensaio, verificando-se que existe sempre uma elevada diferença de temperaturas entre as duas localizações analisadas.

Tabela 4.13 - Dados obtidos durante a execução do ensaio prático de transferências de calor

Anotação	T_{Centro geométrico} [°C]	T_{a 200mm} [°C]
1^a	84	47,7
2^a	91	50,9
3^a	65	49,5
4^a	70	50

A aplicação de resistências revela-se neste caso a única opção.

4.1.4.2. Projeto da estrutura de suporte da placa de aquecimento

Durante a operação de prensagem, o aquecimento da placa que integra as resistências elétricas reduz a resistência do material, acentuando as deformações que ocorrem neste elemento. Para

minimizar este problema é procurado integrar elementos estruturais que gerem um suficiente espaço para verificar e manusear as resistências.

A solução encontrada é aplicação de elementos estruturais IPN 80 colocados sobre as posições que serão ocupadas pelo centro e guias dos moldes. A expressão 4.25 representa a carga P exercida nos elementos.

$$P = \left(\frac{P_{prensagem}}{n_{IPN\ 80}} \right) \times C_s \quad (4.25)$$

em que $P_{prensagem}$ é a carga da prensa (588 MN), $n_{IPN\ 80}$ o número de elementos INP 80 e C_s o coeficiente de segurança (1,5). A verificação da fiabilidade destes elementos é constatada verificando a resistência à encurvadura da alma pela condição 4.26,

$$P < P_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L_e)^2} \quad (4.26)$$

$$I = \frac{b \cdot a^3}{12} \quad (4.27)$$

em que P_{crit} representa a carga crítica do material, E o módulo de elasticidade do material, I a inércia do elemento (calculada pela expressão 4.27), L_e a altura da alma equivalente, a a espessura da alma dos elementos e b o comprimento dos elementos. Para elementos com as extremidades encastradas, como foi considerada a análise, é respeitada a seguinte condição:

$$L_e = 0,5l \quad (4.28)$$

Consultando o Eurocódigo 3, Parte 1-2, pode-se constatar que com o aumento da temperatura do material estrutural, existe uma diminuição da tensão de cedência e do módulo de elasticidade. Admitindo que a intensidade de calor produzida e transferida pelas resistências elétricas não permita que a temperatura das mesmas nunca supere os 400°C, originando zonas de contacto com a placa de aquecimento excessivamente quentes, o módulo de elasticidade E é o produto do módulo de elasticidade do aço estrutural (210 GPa) com o fator de redução $k_{E,\theta}$, que para 400°C é de 0,700. Assim o módulo de elasticidade dos elementos será de 147 GPa.

Desenvolvendo as expressões 4.25 e 4.26, verifica-se que os elementos podem ser aplicados, com carga P (98000 N) é inferior à carga crítica dos elementos P_{crit} (2,69 MN).

4.1.4.3. Projeto da placa de aquecimento

A placa de aquecimento é o elemento que acumula calor proveniente das resistências e o transmite para os moldes. Encontrando-se sujeita à mesma perda de resistência que os elementos IPN que a suportam, o seu dimensionamento são relativos ao excerto da placa entre dois elementos de suporte e sobre apenas parte de um molde (Figura 4.44).

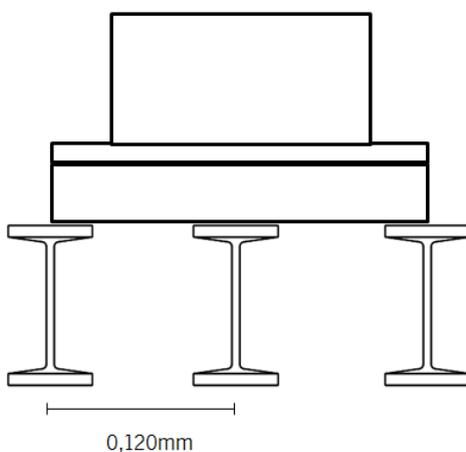


Figura 4.44 - Ilustração do suporte do excerto da placa de aquecimento

Para selecionar a espessura da placa a aplicar, é respeitada a condição 4.29

$$\sigma_{\text{cedência material}} > \sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}} \cdot y_m}{I} \quad (4.29)$$

em que $\sigma_{\text{cedência material}}$ é a tensão de cedência do aço estrutural, incluindo o fator de redução para tensão limite de proporcionalidade $k_{p,\theta}$ para uma temperatura de 400°C (0,420), $M_{\text{máx}}$ é o momento fletor máximo no excerto, y_m é o centroide da placa e I a inércia do excerto.

O excerto é carregado uniformemente, considerando as suas extremidades livres (Figura 4.45), traçando-se o diagrama de esforços transversos (Figura 4.46) e posteriormente o diagrama de momentos fletores (Figura 4.47), o momento fletor máximo, durante a normal atividade do equipamento, é de 735 N.m.

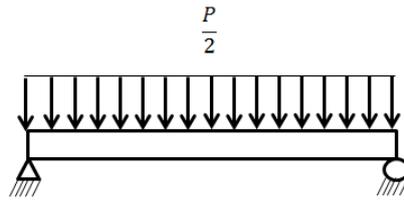


Figura 4.45 - Ilustração do carregamento do excerto da placa de aquecimento em análise

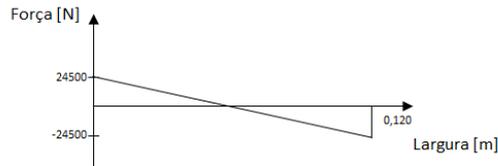


Figura 4.46 - Diagrama de esforços transversos do excerto da placa de aquecimento em análise

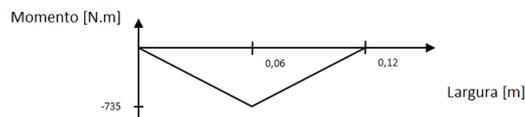


Figura 4.47 - Diagrama de momentos fletores do excerto da placa de aquecimento em análise

A carga exercida na análise é metade da carga exercida, na área de um molde, pela prensa (4.30), e a inércia do elemento é calculada pela expressão 4.31,

$$P = \frac{P_{\text{Prensagem}} \times C_s}{n_{\text{molde}}} = \frac{60000 \times 1,5}{12} = 7500 \quad (4.30)$$

$$I = \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{0,12 \cdot a^3}{12} \quad (4.31)$$

em que $P_{\text{Prensagem}}$ é a capacidade de compressão da prensa, n_{molde} é o número de moldes que a prensa acondiciona, b a largura do excerto e a a espessura da placa. Na necessidade de determinar a espessura da placa, designa-se que a tensão máxima no elemento é igual à tensão de cedência do material, adquirindo-se uma espessura de 12 mm para a placa de aquecimento.

4.1.4.4. Projeto das guias

Com perfil e fabrico semelhante às guias da mesa basculante, as guias da prensa são ligeiramente mais extensas que placa que as suportam apenas sendo fixadas às vigas IPN nas suas extremidades com recurso a parafusos sextavados M10, evitando a furação da placa de aquecimento. Nas extremidades das guias são aplicados alguns ângulos de saída e reduzidos alguns cantos para minimizar os efeitos de pequenos desalinhamentos das mesmas com as guias da mesa basculante. A Figura 4.48 ilustra com mais detalhe a extremidade das guias. O alinhamento das guias é apoiado por duas barras com 30mm x 8 mm x 1000 mm em cada extremidade, servindo também para nivelar a mesa basculante com a placa de aquecimento (Figura 4.49).

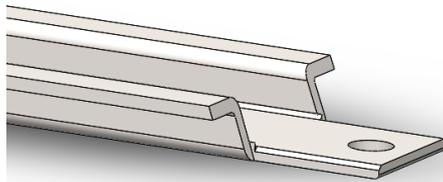


Figura 4.48 - Detalhe da extremidade das guias em 3D CAD

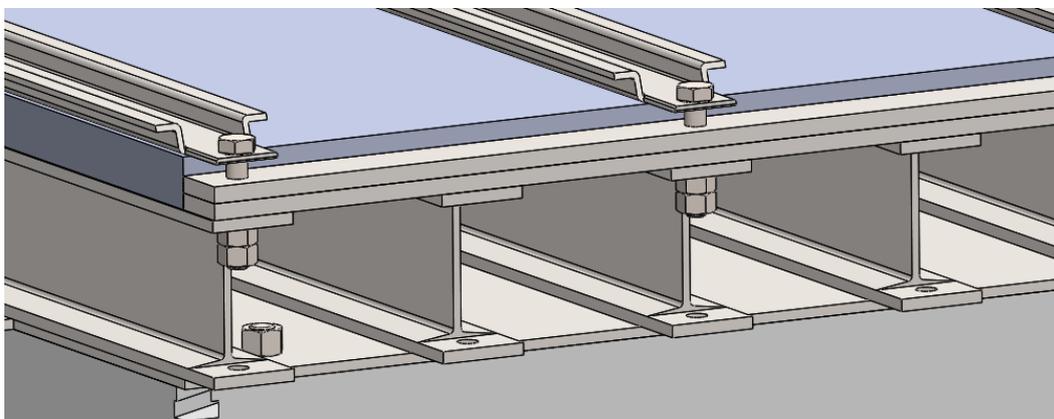


Figura 4.49 - Aplicação das barras de alinhamento das guias

4.1.4.5. Projeto das resistências elétricas

Para uma maior eficiência do aquecimento, as resistências elétricas são orientadas e contactam a placa de aquecimento sobre as posições dos moldes, procurado transmitir mais rapidamente o calor fornecido ao material a curar.

O projeto das resistências elétricas abrange apenas a placa de aquecimento, calculando-se, pela Lei de Fourier (4.32) a taxa de transferência de calor, por condução, necessária para transferir de uma face, que teoricamente se encontra a uma temperatura máxima de 75°C, para uma outra que se encontra a uma temperatura ambiente (20°C).

$$\dot{Q}_{condução} = \frac{k \cdot A}{e} \cdot (T_1 - T_2) \quad (4.32)$$

em que k é a condutividade térmica do aço estrutural (14 W/m.K), e a espessura da placa de aquecimento (25mm)¹ e A a área da superfície da face apoio dos moldes da placa de aquecimento. Desenvolvendo a equação 4.32 e adicionando um coeficiente de perdas de 1,25 vezes a taxa de transferência de calor, o valor de $\dot{Q}_{condução}$ obtido é de 29400 W, que dividido por um período de aquecimento de 5 minutos, originará à seleção de uma resistência de potência de 5900W.

A resistência elétrica escolhida é de energia elétrica trifásica, possuindo um diâmetro de 8 mm e comprimento de 5,8 m, modelada de acordo com a Figura 4.50. A fixação da resistência será feita em 16 suportes que são fixados na placa de aquecimento (Figura 4.51).



Figura 4.50 - Modelação da resistência elétrica

¹ Durante as simulações computacionais, verificou-se que a placa de aço com 12mm de espessura não possui resistência suficiente para as ações a que estaria sujeita. A única que apresentou robustez suficiente para os esforços foi a placa de aço com 25mm de espessura.

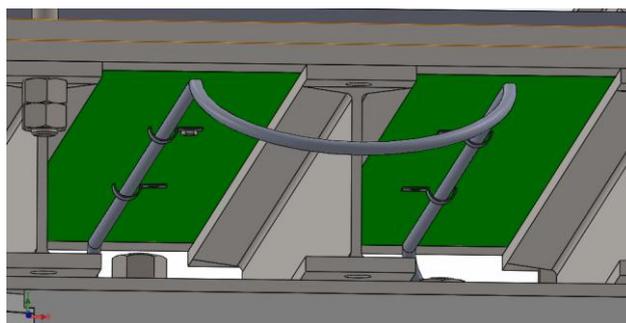


Figura 4.51 - Fixação da resistência elétrica

4.1.4.6. Modelo 3D final

As Figura 4.52 e Figura 4.53 apresentam o modelo final 3D do sistema de aquecimento possuindo os elementos anteriormente projetados ou selecionados. Nestas figuras pode ser verificada que os elementos IPN são soldados na base a uma placa de 5 mm, fixada por 12 conjuntos de parafusos/porcas sextavadas na placa da prensa. Nas extremidades desta placa são ainda sustentados os elementos de fixação da placa de aquecimento, compostos por 4 conjuntos de varões roscados M12 e apertados de porca com contra-porca. Na Tabela 4.14 estão listados os componentes que constituem este sistema, referenciado o desenho técnico correspondente e a quantidade sendo apresentado o desenho de conjunto no Anexo B, desenho técnico G3 e o desenho de montagem no Anexo D5.

A estrutura possui 1100 mm de largura, 660 mm de comprimento e uma altura 190 mm (inclusive placa da prensa).

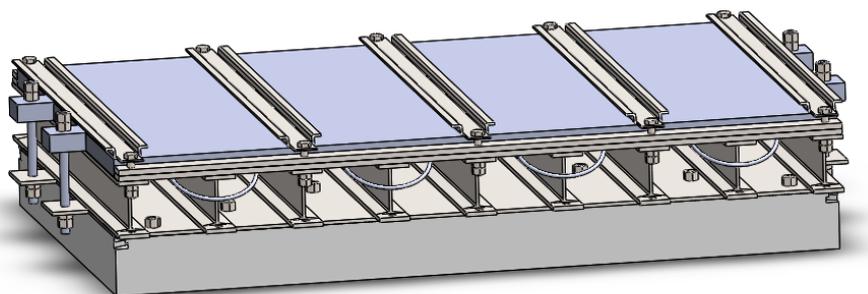


Figura 4.52 - Desenho 3D do módulo Sistema de Aquecimento (vista superior)

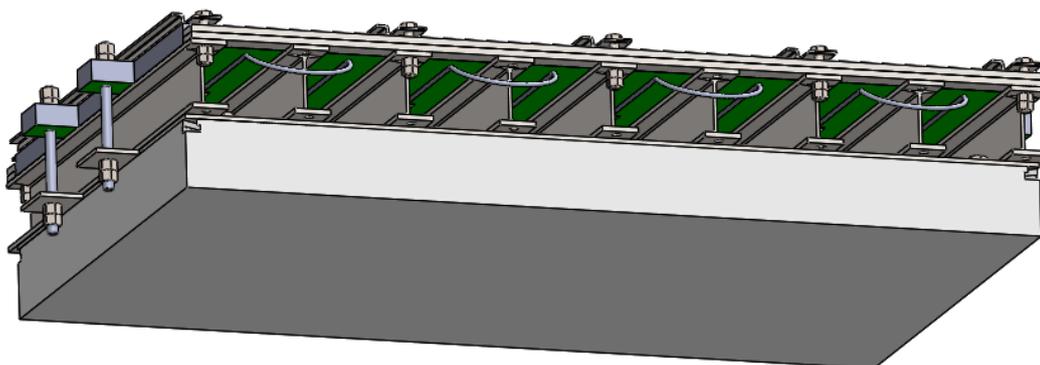


Figura 4.53 - Desenho 3D do módulo Sistema de Aquecimento (vista inferior)

Tabela 4.14 - Lista de componentes do módulo Sistema de aquecimento

	Componentes	Desenho Técnico	Quantidade
1	Prato da Prensa		1
2	Base do Sistema de Aquecimento	G3.1.1	1
3	Apoio da placa de aquecimento	G3.1.2	9
4	Placa de aquecimento	G3.2	1
5	Guia dos Moldes	G3.3	5
6	Barra de alinhamento das guias	G3.4	4
7	Parafuso sextavado M12 x 25		12
8	Porca sextavada M12		23
9	Parafuso sextavado M10 x 55 x 26		10
10	Porca sextavada M10		20
11	Varão roscado M12 x 170		4
12	Suporte resistência	G3.5	16
13	Resistência	G3.6	1
14	Parafuso sextavado M3 x 8		16

4.1.4.7. Validação Computacional

A validação computacional da estrutura projetada foi realizada simplificando e abstraindo o módulo apenas a elementos que possuem elevada relevância na resistência estrutural (Figura 4.54). Na análise são substituídos os moldes por placas de simulação com 200 mm x 200 mm x 10 mm, carregadas com uma força de 54900 N (carga por molde com coeficiente de segurança). As ligações aparafusadas M12 presentes na fixação da placa de aquecimento são pré-tensionadas 14226 N (Tabela 4.5), incluindo-se uma temperatura inicial de 100°C na superfície da placa de aquecimento que se encontra em contacto com as resistências.

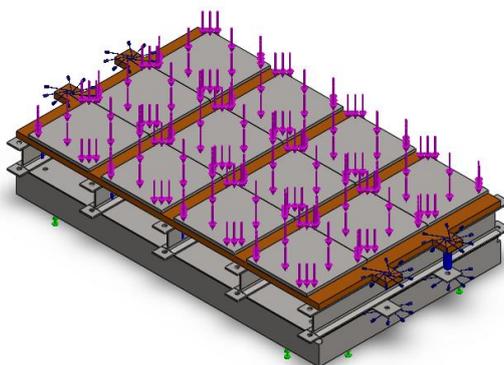
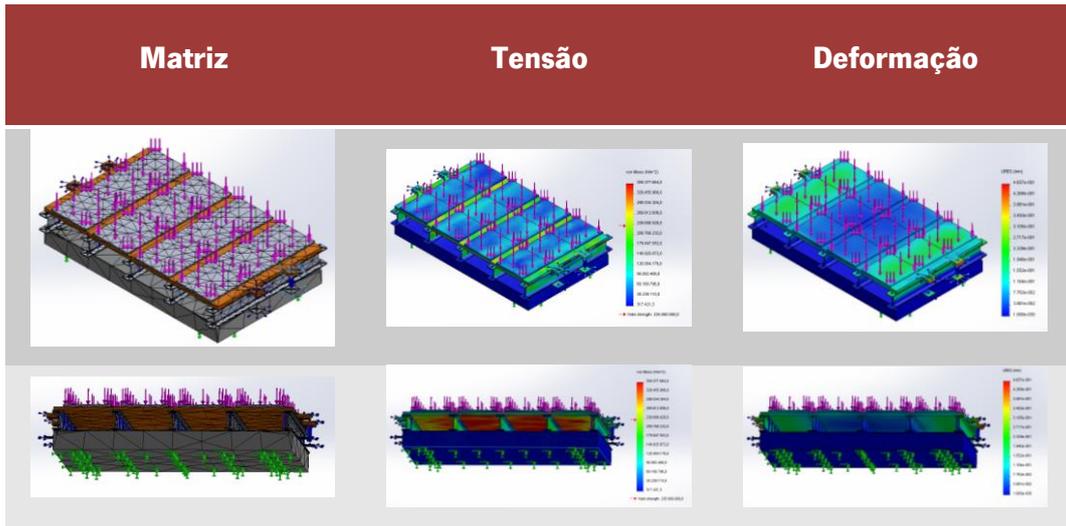


Figura 4.54 - Ilustração da aplicação de fixações e carregamento do sistema de aquecimento

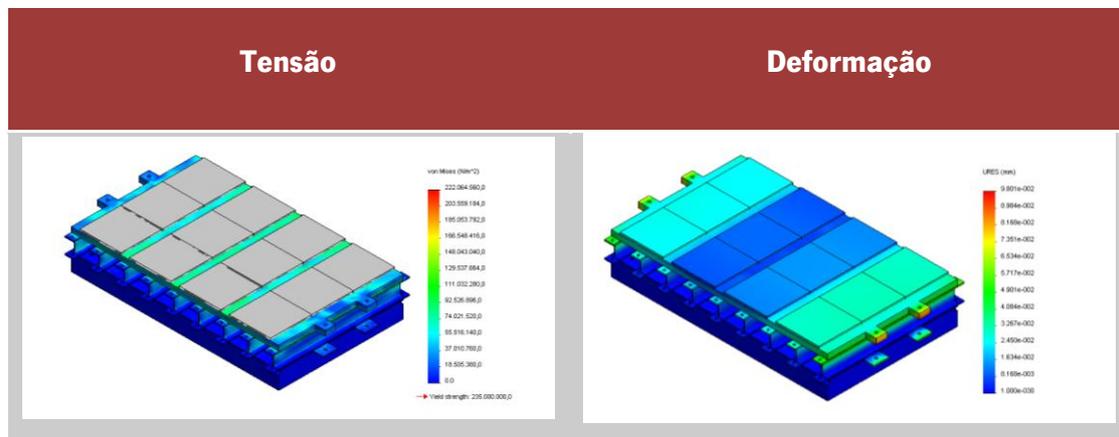
A primeira análise inviabiliza o uso de uma placa de 12mm para a placa de aquecimento, obtendo-se uma tensão máxima de 360 MPa, principalmente na superfície que se encontrará em contacto com as resistências, muito superior à tensão de cedência do material (235 MPa). A Tabela 4.15 apresenta as figuras com os dados obtidos no ensaio.

Tabela 4.15 - Resultados obtidos na simulação estática do sistema de aquecimento (simulação preliminar)



A única opção encontrada foi a mudança de uma placa com espessura de 12 mm para uma com 25 mm, obtendo-se uma tensão máxima de 222 MPa e uma deformação máxima inferior a 0,1mm (Tabela 4.16).

Tabela 4.16 - Resultados obtidos na simulação estática do sistema de aquecimento (simulação final)



Observando a Figura 4.55, verifica-se que a tensão máxima ocorre na face inferior da placa de aquecimento, principalmente nas zonas de furação para apoio dos suportes das resistências.

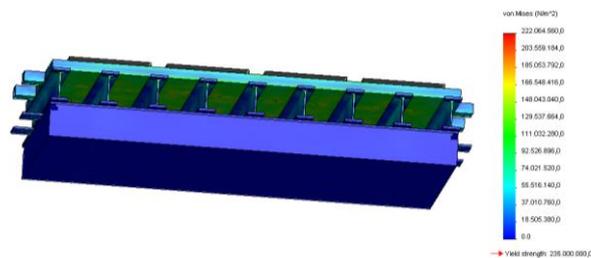


Figura 4.55 - Ilustração dos esforços do sistema de aquecimento (simulação final e vista inferior)

4.1.5. Sistema de Prensagem

O sistema de prensagem é o sistema que integra os elementos que fazem a compactação da matéria-prima nos moldes. Não sendo dimensionados analiticamente, foi procurada uma aplicação equilibrada de elementos estruturais, sendo mínima a deformação dos punções durante a etapa de ação. A Figura 4.56 apresenta um excerto do modelo 3D dos punções, sendo a sua parte inferior uma placa anelar com 10 mm de espessura com um rasgo para uma correta integração de uma casca que é um tubo estrutural com diâmetro externo de 114,3 mm e espessura de 6 mm. Esta casca é soldada internamente e externamente à placa anelar, sendo a 7 mm da outra extremidade soldada outra placa para fixação do conjunto a uma placa de 200 mm x 200 mm x 10 mm com rasgo circular com a intenção da integração da casca do punção. A fixação é realizada por meio de um parafuso de cabeça cônica, sextavada interna, M12 com uma porca sextavada.

A integração dos 12 punções na placa superior é executada numa placa de aço com 5 mm, furada nas posições geométricas dos moldes, fixada em 8 pontos (Figura 4.57). Não é realizado nenhum dimensionamento desta placa de suporte devido ao desconhecimento dos únicos esforços resultantes a que poderá ser sujeita, o esforço de atrito entre a placa anelar inferior e a casca do molde durante o processo de alívio e subida da placa superior da prensa. Na Tabela 4.17 estão listados os componentes que constituem este sistema, referenciado o desenho técnico correspondente e a quantidade sendo apresentado o desenho de conjunto no Anexo B, desenho G4 e o desenho de montagem no Anexo D6.

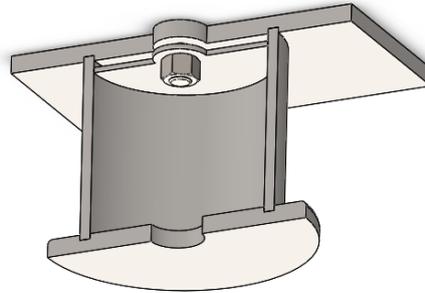


Figura 4.56 - Vista parcial do molde em 3D CAD

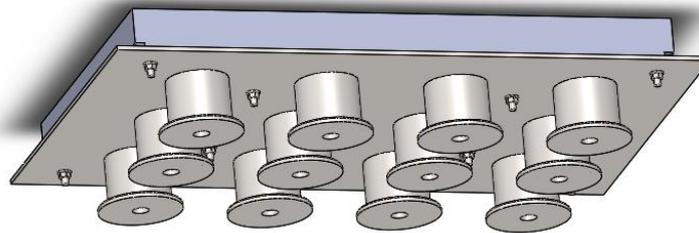


Figura 4.57 - Ilustração 3D CAD do sistema de prensagem

Tabela 4.17 - Lista de componentes do módulo Sistema de Prensagem

	Componentes	Desenho Técnico	Quantidade
1	Prato da Prensa		1
2	Placa de alinhamento dos punções	G4.1	1
3	Parafuso sextavado M12 x 30		8
4	Porca sextavada M12		20
5	Base do Punção	G4.2.1	12
6	Placa anelar do Punção	G4.2.2.1	12
7	Casca do Punção	G4.2.2.2	12
8	Placa de fixação do Punção	G4.2.2.3	12
9	Parafuso de cabeça cónica, sextavado interno, M12 x 30		12

4.1.5.1. Validação Computacional

A análise dos punções é realizada na sua totalidade com recurso ao método de elementos finitos, atribuindo a fixação do conjunto na placa de 200 mm x 200 mm e exercendo uma força de compressão de 54900 N na placa anelar inferior (Figura 4.58). A Tabela 4.18 apresenta os resultados obtidos na análise, atingindo uma tensão máxima de 45 MPa, na zona da placa anelar inferior que exerce a força da casca, e uma deformação máxima de 0,04 mm na proximidade do furo da placa anelar inferior. Segundo esta análise, o conjunto apresenta robustez suficiente para a sua aplicação.

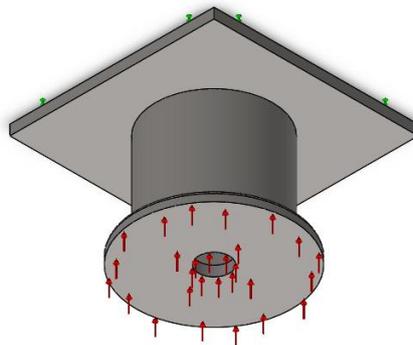
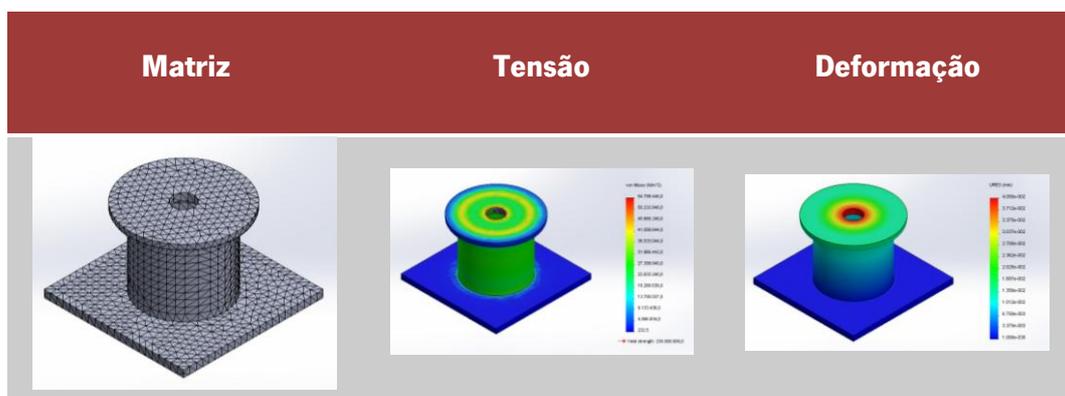


Figura 4.58 - Ilustração da aplicação de fixações e carregamento dos punções

Tabela 4.18 - Resultados obtidos na simulação estática dos punções



4.2.ALIMENTADOR

O alimentador não foi alvo de dimensionamentos analiticamente, aplicando-se os princípios de facilidade de utilização, capacidade de gestão da matéria-prima e leveza.

No projeto do misturador (Figura 4.59), a parte superior é constituída por um tubo com 125 mm de diâmetro externo, para aplicação de uma manga flexível. A câmara alimentação de matéria-prima é constituída por 2 tubos, um inferior com 152 mm de diâmetro interno e outro superior com 152 mm de diâmetro externo, em que a sua posição é gerida com recurso a ligações aparafusadas (Figura 4.60). Ligada à câmara de alimentação encontra-se uma pequena casca de base com 164 mm de diâmetro interno, integrando um elemento que realiza uma resistência por atrito na atividade de alimentação. A câmara de alimentação é selada por duas placas com pegas, uma superior e outra inferior, sendo possível calibra o seu volume entre 2 dm³ e 1,12 dm³. Todos os elementos produzidos a partir de chapa, inclusive a cascas, possuem uma espessura de 3mm. Na Tabela 4.19 estão listados os componentes que constituem este sistema, referenciado o desenho técnico correspondente e a quantidade sendo apresentado o desenho de conjunto no Anexo B, desenho técnico G5 e o desenho de montagem no Anexo D7.

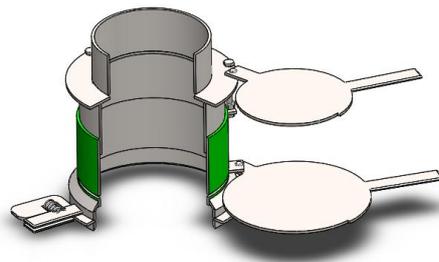


Figura 4.59 - Ilustração parcial 3D CAD do alimentador

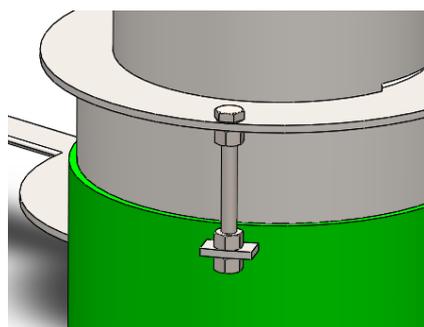


Figura 4.60 - Vista pormenorizada do sistema de regulação do volume da câmara de alimentação

Tabela 4.19 - Lista de componentes do módulo Alimentador

	Componentes	Desenho Técnico	Quantidade
1	Casca do tubo de alimentação	G5.1.1	1
2	Placa de controlo de volume da alimentação	G5.1.2	1
3	Casca superior da câmara de alimentação	G5.1.3	1
4	Casca inferior da câmara de alimentação	G5.2.1	1
5	Casca de apoio no Molde	G5.2.2	1
6	Casca de alinhamento ao Molde	G5.2.3	1
7	Placa de aperto ao Molde	G5.3	1
8	Placa de fecho superior	G5.4	1
9	Placa de fecho inferior	G5.5	1
10	Parafuso sextavado M6 x 60		3
11	Porca sextavada M6		9
12	Pino de engate RS 838-912		3
13	Mola RS 121-179		1
14	Freio de imobilização tipo mola		3

4.3.MISTURADOR

O misturador é o módulo que efetua a mistura dos elementos com que se obtém a matéria-prima, prevendo-se que o seu volume de mistura seja superior ao volume de matéria-prima gasta durante 1 hora² de funcionamento da máquina (276,48 dm³). O seu posicionamento será ao lado da prensa, encontrando-se a uma altura superior, promovendo o auxílio do fluxo de material pela manga flexível até o alimentador. A sua estrutura de suporte é realizada com elementos estruturais, apresentando a robustez necessária para suportar as cargas do misturador.

A Figura 4.61 ilustra o misturador projetado para este trabalho.

² Os adesivos perdem as suas propriedades de adesão em contacto com o ambiente, sendo 1 hora tempo suficiente para existir essa perda.

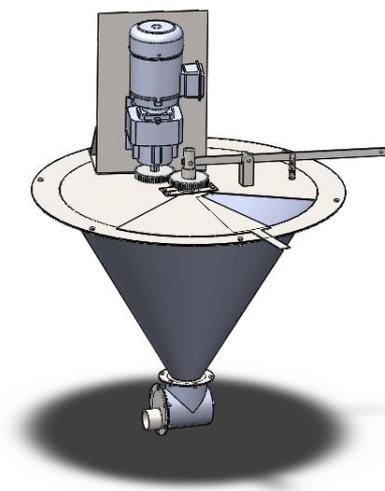


Figura 4.61 - Misturador

4.3.1. Dimensões da casca

As dimensões da casca são procuradas pela aplicação de uma chapa adquirível de dimensões normalizadas, com que se possa formar um cone a 30° com o eixo vertical. A chapa selecionada é de 1500 mm x 3000 mm x 3mm, dimensionando-se a casca com raio superior de 940 mm, raio inferior de 107 mm e altura de 721 mm, obtendo-se uma capacidade de 309,52 dm³ (Tabela 4.20).

Tabela 4.20 - Volume de mistura para diferentes tamanhos de chapa

Chapa [mm x mm]	Diâmetro superior da casca [mm]	Volume [dm ³]
1000 x 2000	636	91,7
1250 x 2500	780	172,42
1500 x 3000	940	309,52

4.3.2. Projeto do rotor

Para dimensionamento do rotor realizada uma analogia com o modelo de mistura artesanal, em que um misturador de cimento cola (semelhante ao da Figura 4.62) adaptado roda a uma velocidade angular de 500 rpm, com raio da espiral de 30 mm. Admitindo que o comprimento

máximo das lâminas aplicadas será de 150 mm, para uma mesma velocidade de corte, calcula-se que a velocidade do elemento será de 94 RPM (1,56 rps).



Figura 4.62 - Misturador de cimento cola

O rotor foi inicialmente modelado em CAD (Figura 4.63), contemplando um veio, com 50mm de diâmetro e 4 mm de espessura, que integra soldadas uma barra espiral e 3 lâminas de tamanhos diferentes (70 mm, 130 mm e 150 mm). As lâminas efetuam um ângulo de 30° com o eixo do veio sendo as suas extremidades externas próximas da casca do corpo do misturador.

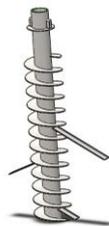


Figura 4.63 - Modelo 3D CAD do rotor do misturador

Para o cálculo da resistência ao movimento das lâminas durante a mistura, são calculadas as forças de arrasto F_D ou de fricção ao movimento, sendo necessário previamente determinar o coeficiente adimensional de arrasto C_D :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A} \quad (4.33)$$

em que ρ é a massa volúmica, V é a velocidade de escoamento e A é a área projetada no plano normal à direção do escoamento.

Para determinação do coeficiente adimensional de arrasto foi realizado um ensaio experimental (Figura 4.64), calculando a diferença de massa numa balança, que suportava um recipiente com

serradura industrial, entre um estado de equilíbrio (3kg) e um estado de penetração de uma espátula com seção de 2,5 mm x 20 mm, a uma velocidade média de 0,15 m/s (15kg). Calculada a massa volúmica ρ da serradura de madeira de 650 kg/m³, e adicionando-se um coeficiente de segurança de 1,25 ao resultado da equação 5.33, obtém-se um coeficiente adimensional de arrasto de 30745.



Figura 4.64 - Ensaio experimental para auxílio à determinação do coeficiente de resistência

A potência do motor é o fator determinante para a aplicabilidade das lâminas, calculando-se pelo desenvolvimento das expressões 4.34 para o cálculo da velocidade média da lâmina, 4.35 para o cálculo da Força de arrasto, 4.36 para o cálculo binário necessário para realizar o movimento da lâmina e 4.37 para cálculo da potência do motor. O Tabela 4.21 apresenta os valores obtidos nos diferentes cálculos.

$$V = \frac{n_{rotor}}{60} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = \frac{n_{rotor}}{60} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{l \cdot \cos 30^\circ}{2} + 0,025 \right) \quad (4.34)$$

$$F_D = C_D \cdot \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A}{2} = C_D \cdot \frac{\rho \cdot V^2 \cdot (l \cdot e)}{2} \quad (4.35)$$

$$B = F_D \cdot r = F_D \cdot \left(\frac{l \cdot \cos 30^\circ}{2} + 0,025 \right) \quad (4.36)$$

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{rotor} \cdot \sum B}{60 \times 1000} \quad (4.37)$$

em que n_{rotor} é número de rotações por minuto (94 RPM), l é o comprimento da lâmina e e a espessura da lâmina.

Tabela 4.21 - Resultados dos cálculos efetuados para determinar a potência do motor do rotor

L [m]	V [m/s]	F _D [N]	B [N.m]	P [kW]
0,150	0,881	2330	160	
0,130	0,796	1649	98	2,66
0,070	0,542	411	13	

O valor de potência requerida encontra-se dentro de valores aceitáveis, sendo o motor escolhido é o modelo DRS 100 M4 com uma potência de 3kW e rotação de 1455 RPM, acoplado a uma caixa redutora de engrenagens helicoidais RM67, com relação de transmissão de 14,6. Ambos os elementos são do fabricante SEW Eurodrive, produzindo no veio motor uma velocidade angular de 94 RPM e um binário de 305 N.m. A transmissão entre o veio motor e veio do rotor é realizado com recurso a duas engrenagens de 56 dentes e de módulo de 2.5

A Figura 4.65 ilustra o sistema de transmissão projetado para transmitir o movimento do motor para o rotor.

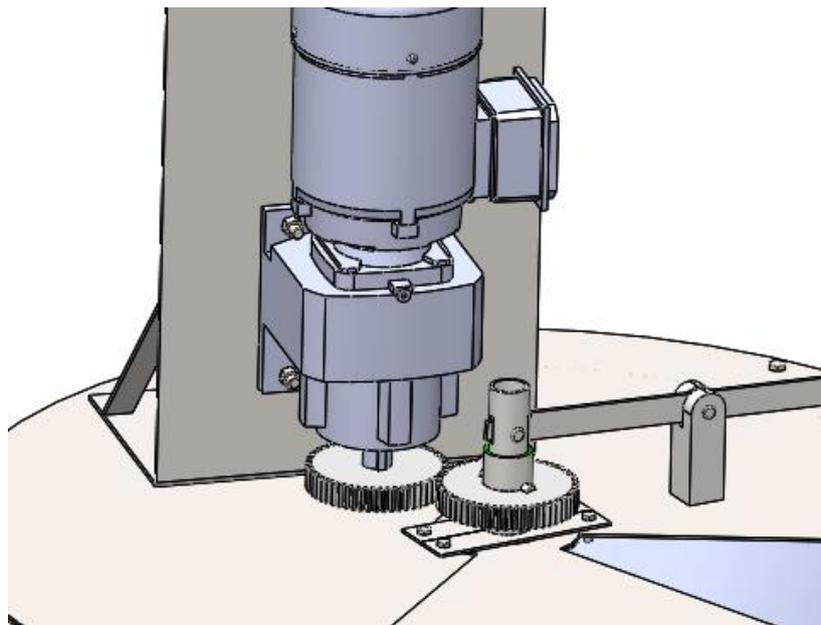


Figura 4.65 - Sistema de transmissão de movimento do rotor

4.3.3. Projeto do sistema de escoamento

O sistema de gestão do escoamento de material para a bomba é controlado por um tubo, com 42 mm de diâmetro e 4 mm de espessura, que se move verticalmente, dentro do veio do rotor e que permite que com um cone em aço, soldado numa das extremidades, faça a gestão de fluência de material na proximidade de uma falange (Figura 4.66 e Figura 4.67). Na parte superior do misturador, o corte do escoamento é realizado por meio de uma alavanca (Figura 4.68), sendo a posição livre do sistema em aberto prevenindo a colagem do sistema após a operação de encerramento.

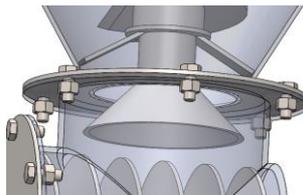


Figura 4.66 - Sistema de escoamento de matéria-prima do misturador para a bomba (posição em aberto)

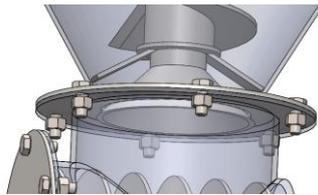


Figura 4.67 - Sistema de escoamento de matéria-prima do misturador para a bomba (posição em fechado)

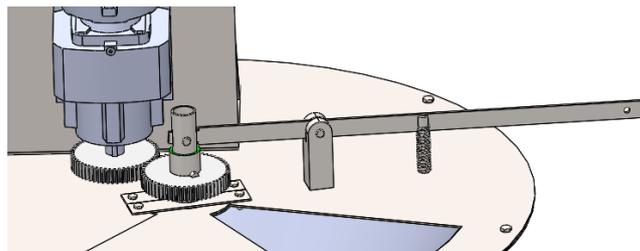


Figura 4.68 - Alavanca de controlo do sistema de escoamento de matéria-prima do misturador para a bomba

4.3.4. Projeto da bomba de alimentação

A bomba de alimentação é constituída por um corpo soldado a partir de dois tubos de 148 mm de diâmetro e espessura de 4 mm, que é fixado à flange do corpo do misturador, por 6 ligações aparafusadas M8, e contém todos os elementos que lhe estão associados (Figura 4.69). No seu interior, o movimento de um fuso com 170 mm de curso cria o fluxo forçado de matéria-prima através do tubo da tampa, unida ao corpo em 6 ligações M8. Ao tubo da tampa é conectada uma manga flexível de 125 mm que liga o misturador ao alimentador (Figura 4.70).

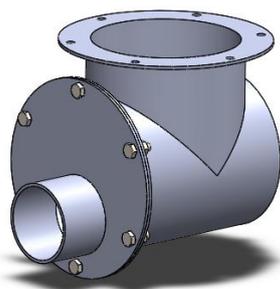


Figura 4.69 - Bomba do misturador

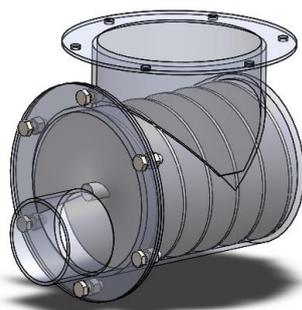


Figura 4.70 - Bomba do Misturador (corpo em transparência)

A semiautomatização deste elemento é executada pelo acoplamento de um motor ao eixo espiral na posição traseira da bomba, com uma ação controlada, que efetua a transferência de matéria-prima da abertura superior para a abertura frontal. Para sua seleção é recomendado esclarecer alguns critérios de funcionamento, como a rapidez de alimentação de um conjunto de moldes e o tempo de transação entre moldes, influenciando em parâmetros como a velocidade angular e funcionamento contínuo ou descontinuo do motor de movimento do eixo espiral.

4.3.5. Projeto da estrutura de suporte do misturador

No projeto da estrutura do suporte (e elevação) do misturador, era requerido que o misturador ficasse a uma altura elevada, superior à prensa para que se consiga mover o alimentador facilmente entre as duas mesas.

A estrutura é composta por 4 pernas, fixadas ao solo, que são cantoneiras de abas iguais com 30 mm x 30 mm x 3 mm. Na parte superior das pernas encontra-se soldado um colar com 810 mm de diâmetro que suporta o corpo do misturador, produzido por uma barra de 30 mm x 3 mm. Abaixo do colar superior, é apoiado outro colar, produzido por o mesmo tipo de barra e fixado às pernas da mesa por 4 barras de suporte. Este colar inferior tem como objetivo suportar ligeiramente o misturador e garantir a sua verticalidade. Para se obter mais resistência da estrutura, são cruzadas e soldadas às pernas 8 cantoneiras de 20 mm x 20 mm x 3 mm. A Figura 4.71 apresenta o desenho da estrutura de suporte do misturador. No Anexo B, desenho tecnico G7 é apresentado o desenho de conjunto deste elemento.

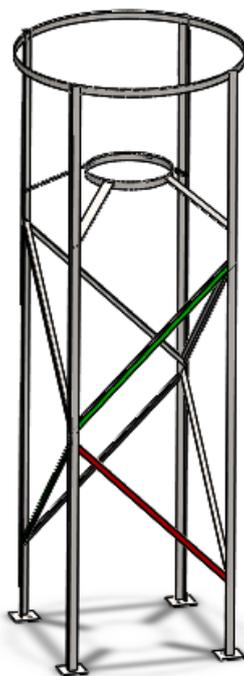


Figura 4.71 - Estrutura de suporte para misturador

4.3.6. Modelo 3d Final

A Figura 4.72 apresenta a ilustração do módulo misturador completo possuindo um atravancamento de 2950 mm x 1150 mm x 1150 mm. Na Tabela 4.22 estão listados os componentes que constituem o módulo misturador, referenciado o desenho técnico correspondente e a quantidade sendo apresentado o desenho de conjunto no Anexo B, desenho técnico G6, o desenho de montagem geral no Anexo D8, desenho de montagem da bomba no Anexo D9 e o desenho de montagem do conjunto da placa superior no Anexo D10. Na Tabela 4.23 estão listados os componentes que constituem o a estrutura de suporte do misturador.

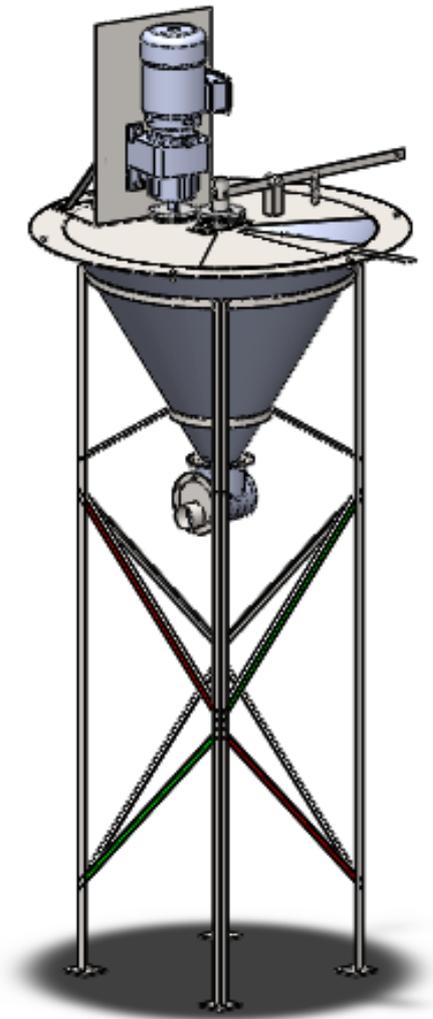


Figura 4.72 - Módulo misturador com a estrutura de elevação

Tabela 4.22 - Lista de componentes do módulo Misturador

	Componentes	Desenho Técnico	Quantidade
1	Veio externo	G6.1.1	1
2	Barra espiral	G6.1.2	1
3	Lâmina nível 1	G6.1.3	1
4	Lâmina nível 2	G6.1.4	1
5	Lâmina nível 3	G6.1.5	1
6	Veio interno	G6.2.1	1
7	Cone de fecho do fundo do Misturador	G6.2.2	1
8	Casca do Misturador	G6.3.1	1
9	Anel de selagem superior	G6.3.2	1
10	Anel de selagem inferior	G6.3.3	1
11	Anel de suporte do veio externo	G6.3.4	1
12	Apoio do anel de suporte do veio externo	G6.3.5	2
13	Corpo da bomba	G6.4.1	1
14	Tampa da bomba	G6.4.2	1
15	Eixo da bomba	G6.4.3	1
16	Parafuso sextavado M8 x 20	G6.4.4	10
17	Porca sextavada M8	G6.4.5	16
18	Placa superior	G6.5.1	1
19	Suporte da alavanca	G6.5.2	1
20	Guia da mola	G6.5.3	1
21	Suporte do motor	G6.5.4	1
22	Parafuso sextavado M10 x 20		4
23	Porca sextavada M10		13
24	Parafuso sextavado M8 x 25		7
25	Alavanca	G6.6	1
26	Apoio superior do eixo externo	G6.7	1
27	Tampa do Misturador	G6.8	1
28	Engrenagem ROLISA m2.5 /z 56		2
29	Parafuso sextavado M10 x 25		6
30	Pino de engate RS 839-000		1
31	Pino de engate RS 838-984		1
32	Motor trifásico com caixa redutora DRS100 M4/ RM67		1
33	Parafuso sextavado M12 x 45		4
34	Porca sextavada M12		4
35	Freio de imobilização tipo mola		2

Tabela 4.23 - Lista de componentes do módulo Misturador (Estrutura de suporte)

	Componentes	Desenho Técnico	Quantidade
1	Colar superior	G7.1	1
2	Colar inferior	G7.2	1
3	Pernas	G7.3	4
4	Suporte do colar inferior	G7.4	4
5	Cantoneira das pernas (Tipo 1)	G7.5	4
6	Cantoneira das pernas (Tipo 2)	G7.6	4
7	Base da perna	G7.7	1

4.3.6.1. Validação computacional

O carregamento da estrutura é estimado com recurso a software CAD usado, verificando-se que a massa do misturador é de aproximadamente 154 kg e a massa de matéria-prima de 180 kg, obtendo-se um carregamento de 3273,2 N.

Simplificando a estrutura (Figura 4.73) e distribuindo o carregamento sobre os 2 colares (75% no colar superior e 25% no colar inferior), é analisada a estrutura, obtendo-se os resultados ilustrados no Tabela 4.24.

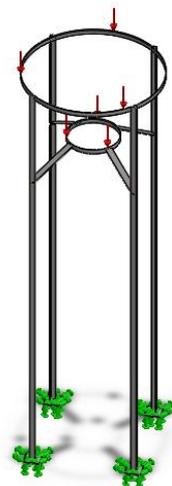


Figura 4.73 - Ilustração da aplicação de fixações e carregamento da estrutura de elevação do misturador

Tabela 4.24 - Resultados obtidos na simulação estática da estrutura de elevação do misturador



A tensão máxima obtida na simulação foi de 187 MPa e é localizada no colar inferior. A deformação máxima obtida é de 1,28 mm e é localizada nas pernas da mesa, estimando-se ser minimizado em consequência da aplicação elementos cruzados nas pernas da estrutura.

4.3.7. Outros elementos

Para acesso à parte superior do misturador é necessário uma estrutura que seja para o operador fácil de subir, não se auxiliando com as mãos, como é previsto para operações de vazamento de material para o misturador. A solução encontrada é aplicação de uma ponte de passagem superior, obtendo-se assim também um duplo acesso ao misturador. A ponte escolhida (Figura 4.74) é do vendedor KaiserKraft possuindo uma altura vertical de 1174 mm.



Figura 4.74 - Ponte de passagem superior

Para o transporte da matéria-prima da bomba para o alimentador é requerida uma manga flexível com resistência suficiente. O modelo escolhido é o TPUPLUHR (Figura 4.75) com diâmetro 130 mm do vendedor BOCK Comércio de Tubos e Acessórios, Lda, sendo uma manga flexível em poliuretano com 1,4 mm de espessura e com espiral de aço.



Figura 4.75 - Manga flexível reforçada

4.4.MODELAÇÃO 3D DO EQUIPAMENTO

A Figura 4.76 apresenta a modelação total do equipamento em software CAD, integrando todos os módulos projetados. As dimensões gerais do equipamento são de 2354 mm de largura, 2735 mm de comprimento e 2945 mm de altura. No Anexo B, desenho técnico G0 apresentado o desenho de conjunto da máquina

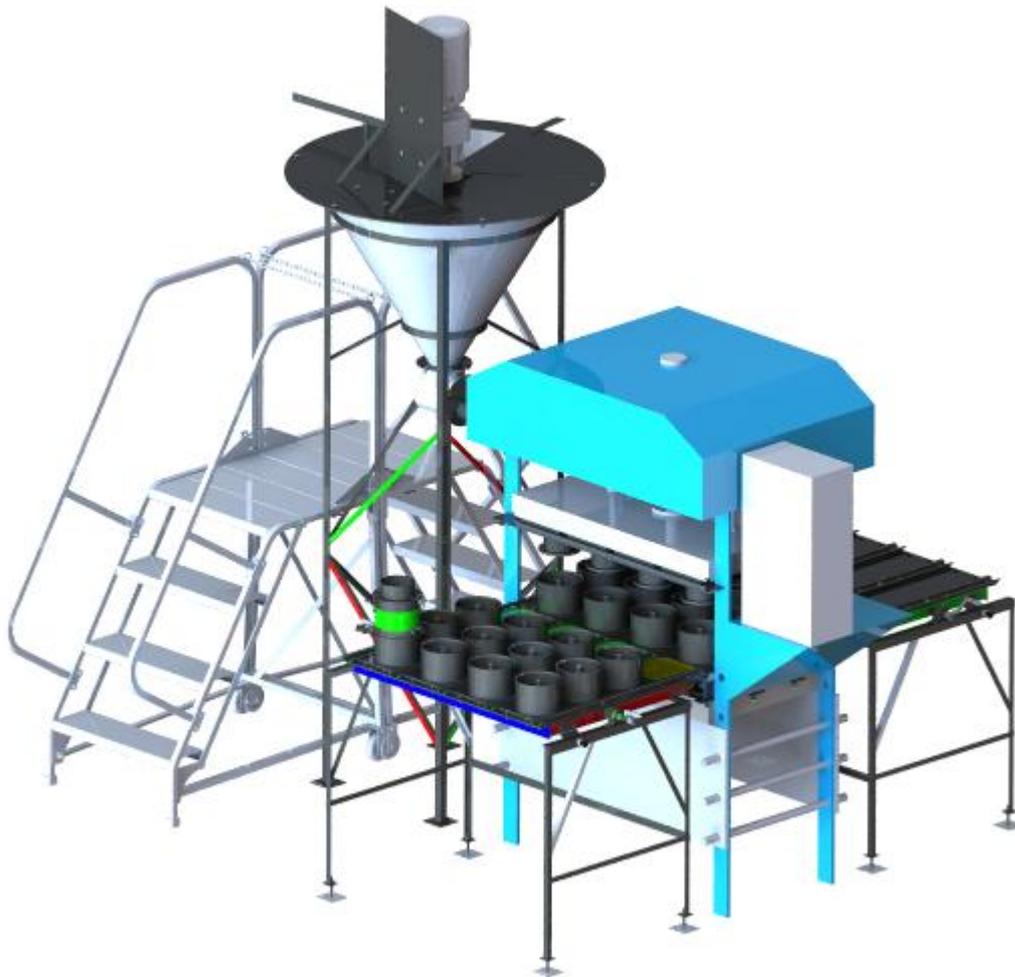


Figura 4.76 - Modelação 3D da componente mecânica da máquina

Apesar de não se encontrar ilustrada, existe ainda a manga flexível com que se realiza o transporte da matéria-prima da bomba do misturador para o alimentador.

5. IMPLANTAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A implantação do equipamento é resultado do projeto, requerendo que sejam tecidas todas as informações possíveis associadas à instalação, operação e manutenção.

5.1. INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A execução da instalação do equipamento é um processo estruturado, correspondendo à necessidade de que todos os elementos do equipamento sejam corretamente posicionados.

Idealmente, a prensa e os módulos de suporte que constituem uma ligação entre o solo e outros módulos do equipamento, devem ser aparafusados a um fundação preferencialmente em cimento, plana e com recurso a parafusos sextavados de rosca soberba.

Sendo o projeto do equipamento repartido por módulos, requer-se que inicialmente sejam reunidos todos os elementos e montados independentemente alguns dos módulos do equipamento, nomeadamente as mesas basculantes e as estruturas de suportes da mesas basculantes, encontrando-se posteriormente na disposição de se iniciar a execução da montagem da máquina segundo os seguintes passos:

1. Posicionamento e fixação da prensa à fundação;
2. Integração do óleo recomendado e execução do teste de funcionamento na prensa;
3. Posicionamento da estrutura suporte da mesa basculante num dos lados da prensa;
4. Integração das unidades rolamento no eixo da mesa da mesa basculante e sua fixação à estrutura de suporte;
5. Regulação em altura do prato inferior da prensa, compensando a altura do sistema de aquecimento;
6. Montagem do módulo sistema de aquecimento na prensa:
 - a. Posicionamento inicial da placa com os elementos IPN 80 e seu aparafusamento aliviado à placa inferior da prensa;
 - b. Com a resistência suportada, fixação da placa de aquecimento à placa com os elementos INP 80;

-
- c. Posicionamento das barras de nivelamento em altura das mesas basculantes e guias da placa de aquecimento;
 - d. Aparafusamento aliviado das extremidades das guias da placa de aquecimento às extremidades dos elementos IPN 80.
 7. Regulação em altura da mesa basculante pelo nível da placa de aquecimento;
 8. Alinhamento das guias da mesa basculante com as guias do sistema de aquecimento;
 9. Fixação da mesa basculante à fundação e à prensa;
 10. Repetição dos passos 2, 3, 6, 7 e 8 para a montagem dos elementos do outro lado da prensa;
 11. Montagem da placa de punções:
 - a. Colocação dos elementos inferiores dos punções sobre a placa de aquecimento;
 - b. Colocação da placa de alinhamento dos moldes;
 - c. Colocação e fixação das bases dos punções nos elementos inferiores dos mesmos;
 - d. Pré-fixação da placa de alinhamento à placa superior da prensa e subida deste conjunto;
 - e. Deslocamento de um conjunto de moldes sobre a placa de aquecimento;
 - f. Alinhamento dos punções sobre os moldes e ajuste da fixação da placa de alinhamento de punções na placa superior da prensa;
 - g. Verificação e validação do alinhamento com o conjunto de moldes da mesa oposta.
 12. Colocação dos conjuntos de moldes nas mesas basculantes e aparafusamento dos parafusos de cabeça cilíndrica, sextavado interno, nas extremidades;
 13. Aperto final da base e guias do sistema de aquecimento;
 14. Ajuste do sensor de fim de curso da prensa;
 15. Posicionamento e fixação da estrutura de suporte do misturador à fundação;
 16. Montagem e fixação da escada de passagem superior;
 17. Montagem do misturador na estrutura de suporte:
 - a. Colocação do corpo do misturador;
 - b. Montagem do eixo interno, do eixo do rotor e colocação da placa superior;
 - c. Montagem da bomba;
 - d. Montagem da tampa e fixação da junta dos eixos;

-
- e. Montagem do sistema de transmissão de movimento e do motor.
18. Montagem do alimentador;
 19. Montagem da manga flexível entre a bomba do misturador e o alimentador;
 20. Verificação final de todos os módulos.

5.2.OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A operação do equipamento tem como objetivo demonstrar o modo de trabalhar com o máquina, refletindo sobre os 3 principais modos de operação: Arranque, Normal funcionamento e Operação de encerramento.

5.2.1. Arranque

A operação de arranque é a sequência de ações a serem realizadas, antes de se iniciar a produção cíclica. É requerido que inicialmente seja verificado e/ou movimentado:

- Fixação da estrutura de suporte do misturador;
- Rotor (Misturador);
- Sistema de escoamento da matéria-prima para a bomba (Misturador);
- Bomba (Misturador);
- Rotatividade e fixação das mesas basculantes;
- Alinhamento das guias de todos os módulos associados no equipamento;
- Fixação das estruturas de suporte das mesas basculantes;
- Inspeção de fugas de fluido no sistema hidráulico ou outras anomalias durante o movimento vertical do prato superior da Prensa;
- Manuseamento das placas de condicionamento da matéria-prima na câmara do Alimentador.

Após verificação dos anteriores elementos, encontra-se na disposição de iniciar os preparativos para a produção. Sequencialmente devem ser respeitados as seguintes ações:

-
- Iniciar o pré-aquecimento da placa de cura dos moldes;
 - Posicionar os conjuntos de moldes sobre as mesas associadas;
 - Posicionamento do alimentador sobre um molde a alimentar;
 - Acionamento do motor da transmissão do rotor do misturador;
 - Fecho do sistema de escoamento de matéria-prima para a bomba no misturador;
 - Pré-Mistura do adesivo com parte da serradura de madeira a utilizar;
 - Vazamento da restante proporção de serradura de madeira para o corpo do misturador;
 - Vazamento da pré-mistura no misturador;
 - Verificação da uniformidade da mistura;
 - Acionamento do motor da bomba;
 - Abertura do sistema de escoamento de matéria-prima para a bomba no misturador;
 - Carregamento da manga flexível de matéria-prima.

Na disposição de terem sido executados os anteriores passos, inicia-se o processo de produção.

5.2.2. Normal funcionamento

O equipamento encontra-se preparado para se funcionar ciclicamente, existindo pouco tempo de desocupação do operador durante o normal funcionamento da máquina, sendo executadas sequencialmente as seguintes ações:

- Alimentação do conjunto de moldes sequencialmente:
 - Comprimir o alicate;
 - Pousar o alimentador sobre o molde;
 - Aliviar o alicate;
 - Abrir a placa de condicionamento superior;
 - Aguardar que seja preenchida a camara de gestão de matéria-prima;
 - Fechar a placa de condicionamento superior;
 - Abrir a placa de condicionamento inferior;
 - Aguardar que a matéria-prima se transfira do alimentador para o molde;
 - Fechar a placa de condicionamento inferior;
 - Comprimir o alicate;

-
- Mudar para o molde seguinte;
 - Colocar os moldes alimentados na prensa;
 - Executar a pré-compressão;
 - Executar a prensagem final;
 - Deslocar o alimentador para a mesa do lado oposto à prensa;
 - Alimentação do conjunto de moldes sequencialmente;
 - Aguardar que o processo de cura dos moldes na prensa termine;
 - Subir a placa superior da prensa;
 - Deslocar o conjunto de moldes para a prensa;
 - Executar a pré-compressão;
 - Executar a prensagem final;
 - Deslocar o alimentador para a mesa do lado oposto à prensa;
 - Soltar os fixadores da estrutura do suporte da mesa basculante;
 - Inverter a mesa basculante pela manivela;
 - Aguardar que os produtos caiam dos moldes;
 - Rodar a mesa para a posição original;
 - Reiniciar os anteriores passos ciclicamente.

5.2.3. Operação de encerramento

A operação de encerramento é um procedimento necessário a ser realizado no equipamento, não podendo ser desrespeitada por se encontrar em causa o correto funcionamento de alguns elementos da máquina nas próximas utilizações. Como tal devem ser seguidos as seguintes indicações após ser terminada a produção:

- Desligar as resistências do prato de aquecimento
- Subir a placa superior da prensa;
- Desligar a prensa;
- Esvaziar toda a matéria-prima no misturador;
- Esvaziar toda a matéria-prima na bomba do misturador;
- Esvaziar, por gravidade, toda a matéria-prima na manga flexível e no alimentador;

-
- Desligar o motor de rotação do rotor apenas após um período superior ao da cura do adesivo à temperatura ambiente;
 - Desligar o motor da bomba apenas após um período superior ao da cura do adesivo à temperatura ambiente.

5.3.MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO

A manutenção define-se como um conjunto de ações que possibilitam manter ou repor um equipamento num determinado estado específico ou com a finalidade de garantir um determinado serviço. Estas ações repartem-se segundo os grupos de manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção melhorativa.

A manutenção corretiva é a forma mais intuitiva e primária de manutenção, consistindo simplesmente num ciclo de avaria-repara, sendo impossível eliminar completamente este tipo de manutenção por não ser possível prever em muitos casos os momentos em que se verificará um defeito e obrigará a uma ação de reparação de emergência. Não se encontrando o equipamento projetado em atividade não pode ser precisada qualquer ação deste tipo.

A manutenção preventiva consiste num conjunto de atividades de prevenção de defeitos que possam originar a paragem ou uma diminuição do rendimento do equipamento em operação. Esta prevenção é fundamentada em estudos estatísticos, no estado do equipamento, no local de instalação, em dados fornecidos pelo fabricante (periodicidade de lubrificação, substituição de elementos, condições ótimas de funcionamento, etc.), entre outros. Na máquina projetada, as principais ações preventivas circunscrevem-se à manutenção do sistema hidráulico da prensa (de acordo com o fabricante), do eixo do rotor do misturador (limpeza das lâminas, espiral e zona inferior interna do eixo), do eixo da bomba (limpeza da espiral), da manga flexível (limpeza ou substituição se necessária) e alimentador (limpeza da câmara e das tampas de restrição), não descartando uma análise periódica de todos os módulos e definição da evolução do desgaste até à necessidade de ações corretivas. Todas estas ações não são quantificadas ou temporizadas principalmente por se desconhecer o grau de desgaste do equipamento durante a sua atividade, devendo ser posteriormente delineada uma periodicidade com a sua necessidade.

A manutenção melhorativa consiste no estudo, projeto e realização de alterações às condições originais do equipamento, no sentido de reduzir ou eliminar ações de manutenção, melhorar os componentes críticos ou alterações de aspetos legais. Não se encontrando em atividade a máquina, não pode ser tecida qualquer atividade associada a este tipo de manutenção.

5.4.INDICAÇÕES COMPLEMENTARES

No projeto por não serem conhecidos corretamente as dimensões ou cotagens dos elementos adquiridos externamente, não foram projetados alguns elementos que possuem uma grande importância no projeto.

Entre estes encontram-se principalmente elementos associados à prensa. A necessidade de existir elementos de ligação entre a prensa e as estruturas de suporte das mesas basculantes (Figura 5.1) é algo indispensável, valorizando a exatidão do posicionamento das guias das mesas basculantes com as guias da placa de aquecimento. Outros elementos são a iluminação e redes de proteção, devendo ser projetadas ou adquiridas posterior à aquisição do equipamento.



Figura 5.1 - Vista pormenorizada da lateral da estrutura mesa basculante e prensa

Outra consideração realizada é associada ao molde. Apesar de terem sido aproximadas cotagens internas às reais, os atuais moldes da empresa associada ao projeto foram alvo de elevado desenvolvimento, devendo-se adaptar-los ao modelo de molde concebido neste projeto (Figura 5.2).

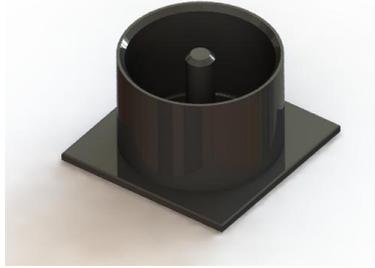


Figura 5.2 - Modelo 3D do molde projetado

Atualmente, as novas máquinas tem de respeitar normas de funcionamento impostas por lei, como a diretiva 2006/42/CE e a Norma EN418 – Paragem de Emergência. Parte do solicitado por estas imposições não é do cariz mecânico ou estrutural do equipamento, mas sim do controlo eletrónico que é projetado para esta máquina, não sendo feita nenhuma presunção ou evolução dos elementos associados a esta área da engenharia.

6. CONCLUSÕES

A produção de aglomerados de partículas de madeira é um processo que tem vindo a ser cada vez mais evoluído, dada aumento da sua importância no mercado, tendo vindo a ser exibidos melhoramentos no seu processo de fabrico ao longo dos anos.

Ao longo do projeto constatou-se que um equipamento para processar um material orgânico granulado e com propriedades viscosas, revela-se complexo, dadas as propriedades da matéria-prima e as etapas para o seu processamento, sendo necessário compreender a formação e aplicação da matéria-prima e elaboração dos seus produtos.

A definição de um modelo de equipamento que apresentasse um aumento da eficiência e um menor custo de aquisição demonstrou-se complicada pelo facto de ser difícil a procura da solução com que melhor se conseguisse associar as várias etapas do processo de produção e uma maior polivalência da produção. As soluções para um equipamento de produção em série apresentaram-se menos vantajosas que a solução para um equipamento de produção por lotes, revelando maiores tempos de espera entre etapas e uma diminuição da produtividade.

O objetivo de projetar a componente mecânica para o equipamento de produção de aglomerados de partículas foi alcançado, tendo sido dimensionados, selecionados e validados computacionalmente vários elementos que constituem a máquina ao longo do desenvolvimento do projeto.

Para desenvolvimentos futuros deve ser desenvolvida a unidade de controlo eletrónico do equipamento, capaz de respeitar os três tipos de procedimentos de atividade que (arranque, normal funcionamento e operação de encerramento), tendo sido redigidos neste trabalho, podendo ser procurada uma evolução para uma automatização integral da máquina. É recomendável também que seja feito um estudo de melhoramento da eficiência de produção, orientado principalmente para a etapa de cura.

Numa segunda fase deve ser implementado o equipamento projetado de acordo com as indicações apresentadas neste trabalho e aplicados elementos os quais não foi possível o seu projeto.

7. REFERÊNCIAS

- [1] D. Zhang, J. Buongiorno e S. Zhu, “FAO Corporate Document Repository,” [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/w7705e/w7705e0j.jpg>. [Acedido em Março 2003].
- [2] L. Döry, “European Panel Federation,” [Online]. Available: <http://www.europanel.org/facts-figures/market-information>. [Acedido em Março 2013].
- [3] J. Guerin, “United Nations Economic Commission for Europe,” [Online]. Available: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/docs/tc-sessions/tc-61/presentations/29-guerin.pdf>. [Acedido em março 2013].
- [4] Sonae Industria, [Online]. Available: <http://www.sonae-industria-tafisa.com/page.php?ctx=2,0,63>. [Acedido em 2013 Janeiro].
- [5] “EUR-Lex União Europeia,” [Online]. Available: http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=PT&numdoc=306L0042&model=guichett. [Acedido em Março 2003].
- [6] “Decreto-Lei n.º 103/2008,” *Ministério da Economia e da Inovação*, 2008.
- [7] “PRODUÇÃO DE COMPÓSITO COM RESÍDUO DE MADEIRA NO CONTEXTO DA ECOLOGIA INDUSTRIAL,” em *10º IBRAMEM*.
- [8] E. Paul, V. Atiemo-Obeng e S. Kresta, *HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING*, Wiley-Interscience, 2004.
- [9] L. Ferreira da Silva, “Órgãos de Máquinas I: Parafusos de Transmissão de Movimento e de Ligação,” 2004.
- [10] *NP EN 1993-1-2: Verificação da resistência ao fogo*.

8. BIBLIOGRAFIA

A. Çengel, Yunus , e Afshin J. Ghajar. “Tranferência de Calor e Massa.” pp 46. MCGraw-Hill, 2011.

Catálogo DRE Gearmotors (IE2). Catálogo, SEW-EURODRIVE, 2009.

Catálogo Técnico de Transmissões. Catálogo, ROLISA, Rolamentos, Peças e Acessórios para a Industria, Lda., 2008.

Dym, Clive , Patrick Little, Elizabeth Orwin, e Erik Spjut. “Introdução à Engenharia: Uma Abordagem Baseada Em Projeto.” pp 42-68. Bookman, 2009.

F. Ashby, Michael . “Materials Selection in Mechanical Design.” pp 376-388. ELSEVIER, 2005.

“Indústrias Transformadoras de Madeira.” IGAOT, Janeiro de 2008.

L. Paul, Edward, Victor A. Atiemo-Obeng, e Suzanne M. Kresta. *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice.* John Wiley & Sons, Inc, 2004.

Manual Técnico de Produtos Siderúrgicos. Catálogo, CHAGAS, 2011.

“NP EN1993-1-2: Regras Gerais: Verificação da resistência ao fogo.” 2010.

NP EN1993-1-8 Projeto de Ligações. 2010.

P. Beer, Ferdinand , E. Russel Johnston Jr, John T. DeWolf, e David F. Mazurek. “Mecânica dos Materiais.” pp 230-239. Bookman, 2008.

Resistências Elétricas. Catálogo, RESITEC - Componentes Industriais, Lda., s.d.

“Wood Handbook: Wood as an Engineering Material.” Madison, Wisconsin: United States Department of Agriculture Forest Service, 2012.

ANEXO A - RESUMO DA DIRECTIVA 2006/42/CE

1. REQUISITOS ESSENCIAIS DE SAÚDE E DE SEGURANÇA

1.1.2. Princípios de integração da segurança

a) As máquinas devem ser concebidas e construídas por forma a cumprirem a função a que se destinam e a poderem ser postas em funcionamento, reguladas e objecto de manutenção sem expor as pessoas a riscos, quando tais operações sejam efectuadas nas condições previstas, mas tendo também em conta a sua má utilização razoavelmente previsível;

As medidas tomadas devem ter por objectivo eliminar os riscos durante o tempo previsível de vida da máquina, incluindo as fases de transporte, montagem, desmontagem, desmantelamento e posta de parte;

1.1.3. Materiais e produtos

Os materiais utilizados não devem estar na origem de riscos para a segurança ou a saúde das pessoas;

Quando se empreguem fluidos, a máquina deve ser concebida e fabricada por forma a prevenir os riscos devidos ao enchimento, à utilização, à recuperação e à evacuação;

1.1.4. Iluminação

A máquina deve ser fornecida com iluminação incorporada, adaptada às operações, sempre que, apesar da existência de iluminação ambiente de intensidade normal, a falta de um dispositivo desse tipo possa provocar riscos;

1.1.5. Conceção da máquina com vista ao seu manuseamento

A máquina, ou cada um dos seus diferentes elementos, devem:

- Poder ser manuseados e transportados com segurança,

- Ser embalados ou concebidos para poderem ser armazenados de forma segura e sem serem danificados;

1.1.6. Ergonomia

Nas condições de utilização previstas, o incómodo, a fadiga e a tensão física e psíquica do operador devem reduzir-se ao mínimo possível, tendo em conta os princípios da ergonomia, nomeadamente:

- Ter em conta as diferenças morfológicas, de força e de resistência dos operadores,
- Prever um espaço suficiente para permitir o movimento das diferentes partes do corpo do operador,
- Evitar que a cadência de trabalho seja determinada pela máquina,
- Evitar uma supervisão que exija uma concentração prolongada,
- Adaptar a interface homem/máquina às características previsíveis dos operadores;

1.1.7. Posto de trabalho

O posto de trabalho deve ser concebido e fabricado de forma a evitar qualquer risco devido a gases de escape e/ou à falta de oxigénio;

Se estiver prevista a utilização da máquina num ambiente perigoso que apresente riscos para a saúde e a segurança do operador, ou se a própria máquina der origem a um ambiente perigoso, devem ser providenciados os meios necessários para garantir que o operador tenha boas condições de trabalho e esteja protegido contra todos os perigos previsíveis;

1.2. SISTEMAS DE COMANDO

- Tem de resistir às tensões de funcionamento previstas e às influências exteriores,
- Falha no equipamento não conduza a situações perigosas,
- Os erros sistema de comando não conduzam a situações perigosas,
- Os erros humanos razoavelmente previsíveis durante o funcionamento não conduzam a situações perigosas,
- A máquina não deve arrancar de forma intempestiva,

-
- Os parâmetros da máquina não devem variar de forma não controlada;

Os dispositivos de comando devem ser

- Claramente visíveis e identificáveis, permitir manobras seguras,
- Dispostos de modo a permitirem manobras seguras,
- Concebidos de modo a que o seu movimento seja coerente com o efeito comandado;

Arranque

- O arranque de uma máquina só deve poder ser efetuado por ação voluntária sobre um dispositivo de comando previsto para o efeito;

Paragem

- A máquina deve estar equipada com um dispositivo de comando que permita a sua paragem total em condições de segurança,
- A ordem de paragem da máquina deve ter prioridade sobre as ordens de arranque;

Paragem de emergência

- A máquina deve estar equipada com um ou vários dispositivos de paragem de emergência por meio do ou dos quais possam ser evitadas situações de perigo iminentes ou existentes;

Este dispositivo deve:

- Conter dispositivos de comando claramente identificáveis, bem visíveis e rapidamente acessíveis,
- Provocar a paragem do processo perigoso num período de tempo tão reduzido quanto possível, sem provocar riscos suplementares,
- Quando se deixa de acionar o dispositivo de paragem de emergência depois de se ter dado uma ordem de paragem, esta ordem deve ser mantida por um bloqueamento do dispositivo de paragem de emergência até ao respetivo desbloqueamento;

Seleção de modos de comando ou de funcionamento

O modo de comando ou de funcionamento selecionado deve ter prioridade sobre todos os outros modos de comando ou de funcionamento, com exceção da paragem de emergência.

Avaria do circuito de alimentação de energia

A interrupção, o restabelecimento após uma interrupção ou a variação, seja qual for o seu sentido, da alimentação de energia da máquina não deve criar situações de perigo.

Deve ser dada especial atenção aos seguintes aspetos:

- A máquina não deve arrancar de forma intempestiva,
- Os parâmetros da máquina não devem variar de forma não controlada;

1.3. MEDIDAS DE PROTECÇÃO CONTRA PERIGOS DE NATUREZA MECÂNICA

Risco de perda de estabilidade

A máquina, bem como os seus elementos e equipamentos, deve ser suficientemente estável para evitar o seu capotamento, queda ou movimentos descontrolados durante o transporte, a montagem e a desmontagem, e qualquer outra ação que envolva a máquina.

Risco de rutura em serviço

As diferentes partes da máquina, bem como as ligações entre elas, devem poder resistir às solicitações a que são submetidas durante a utilização.

Riscos devidos a superfícies, arestas e ângulos

Os elementos da máquina normalmente acessíveis não devem ter, na medida em que a respetiva função o permita, arestas vivas, ângulos vivos ou superfícies rugosas suscetíveis de causar ferimentos.

Riscos ligados aos elementos móveis

Os elementos móveis da máquina devem ser concebidos e fabricados de modo a evitar riscos de contacto que possam provocar acidentes ou, quando subsistirem riscos, ser munidos de protetores ou de dispositivos de proteção.

Escolha da proteção contra os riscos provocados pelos elementos móveis

Os protetores ou os dispositivos de proteção concebidos para a proteção contra os riscos provocados pelos elementos móveis devem ser escolhidos em função do tipo de risco. As indicações dadas a seguir devem ser utilizadas para permitir a escolha.

Riscos devidos a movimentos não comandados

Quando o movimento de um elemento da máquina tiver sido parado, qualquer deslocação do mesmo a partir da posição de paragem, por qualquer razão que não seja uma ação sobre os dispositivos de comando, deve ser impedida ou ser de molde a não constituir um perigo.

1.4. CARACTERÍSTICAS EXIGIDAS PARA OS PROTECTORES E OS DISPOSITIVOS DE PROTECÇÃO

Os protetores e os dispositivos de proteção:

- Devem ser robustos,
- Devem ser solidamente mantidos em posição,
- Não devem constituir perigos suplementares,
- Não devem poder ser facilmente escamoteados ou tornados inoperantes,
- Devem estar situados a uma distância suficiente da zona de perigo,
- Não devem limitar mais do que o necessário a observação do ciclo de trabalho,
- Devem permitir as intervenções indispensáveis à colocação e/ou substituição das ferramentas, bem como aos trabalhos de manutenção, limitando o acesso exclusivamente ao sector em que o trabalho deve ser realizado e, se possível, sem remoção do protetor ou neutralização do dispositivo de proteção.

1.5. RISCOS DEVIDOS A OUTROS PERIGOS

A máquina deve ser concebida e fabricada de modo a permitir evitar ocorrências inconvenientes e associadas a:

- Energia elétrica,
- Eletricidade estática,
- Outras fontes de energia que não a eletricidade,
- Erros de montagem,
- Temperaturas extremas,
- Incêndio,
- Explosão,
- Ruído,
- Vibrações,
- Radiações,
- Radiações exteriores,
- Radiações laser,
- Emissões de materiais e substâncias perigosos,
- Risco de aprisionamento numa máquina,
- Risco de escorregar, tropeçar ou cair,
- Descargas atmosféricas.

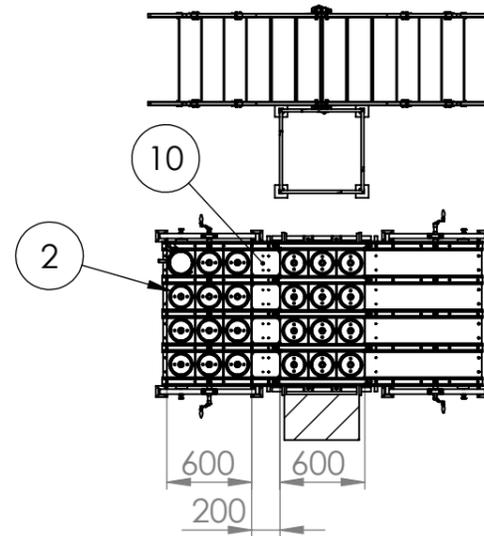
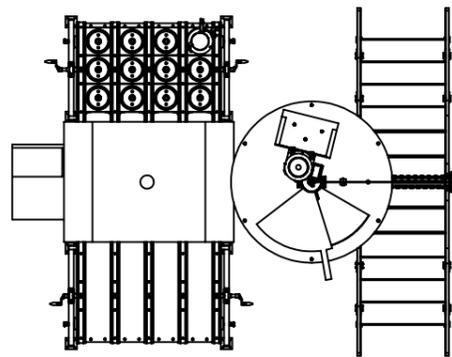
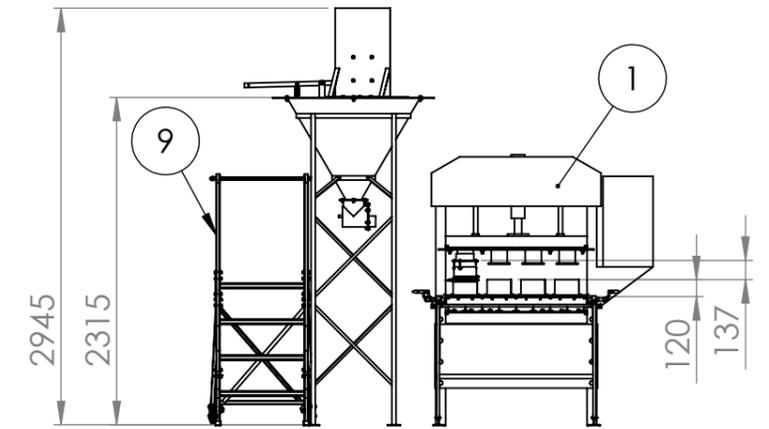
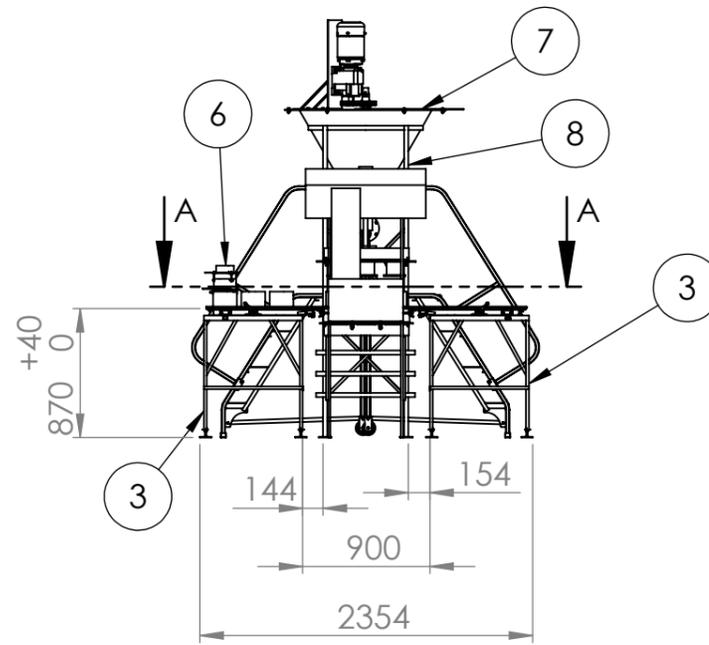
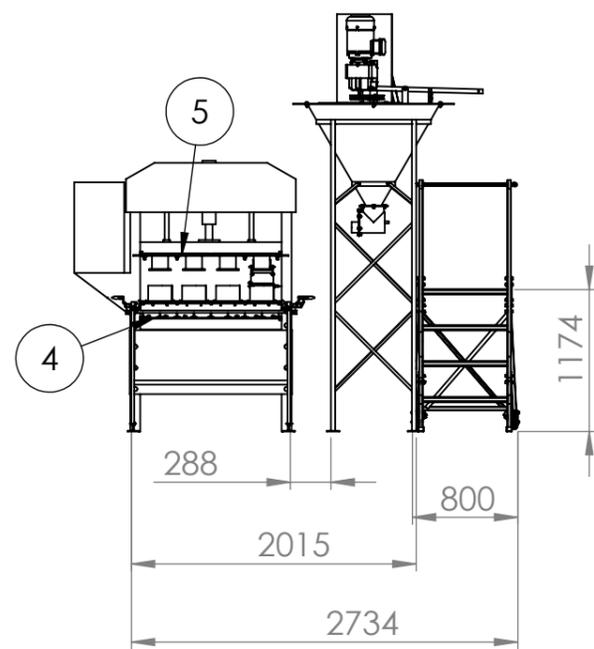
1.6. MANUTENÇÃO

Manutenção da máquina

Os pontos de regulação e de manutenção devem estar situados fora das zonas perigosas. As operações de regulação, manutenção, reparação e limpeza da máquina, bem como outras intervenções na máquina, devem poder ser efetuadas com a máquina parada.

Se pelo menos uma das condições precedentes não puder, por razões técnicas, ser satisfeita, deverão ser tomadas medidas para garantir que essas operações possam ser efetuadas com segurança.

ANEXO B - DESENHOS DE CONJUNTO



SECTION A-A

10	Placa de Compensação	G8			4		
9	Ponte de passagem superior				1		
8	Estrutura de Suporte do Misturador	G7			1		
7	Misturador	G6			1		
6	Alimentador	G5			1		
5	Sistema de Prensagem	G4			1		
4	Sistema de Aquecimento	G3			1		
3	Mesa	G2			1		
2	Molde	G1			24		
1	Prensa				1		
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES

Proj. 24/9/2013
Des. 24/9/2013
Copiou
Visto

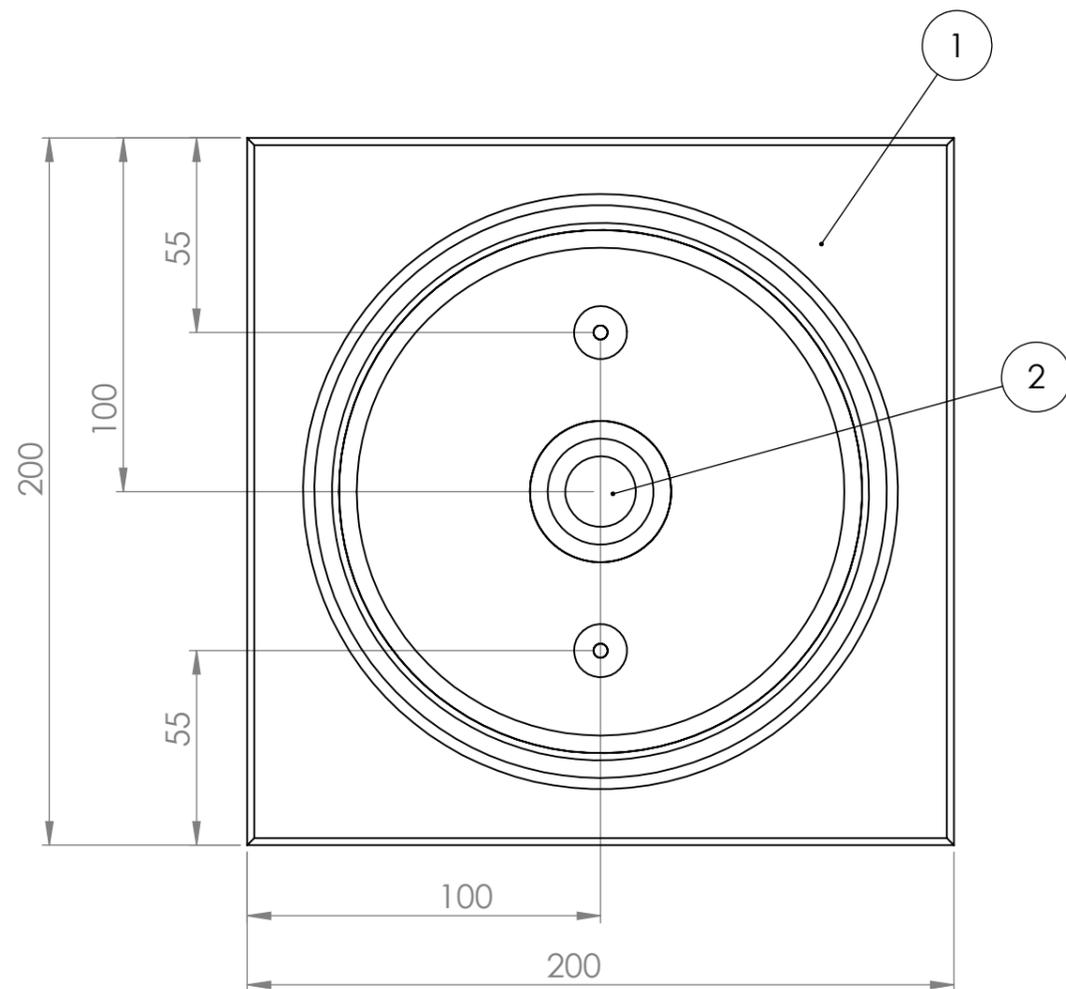
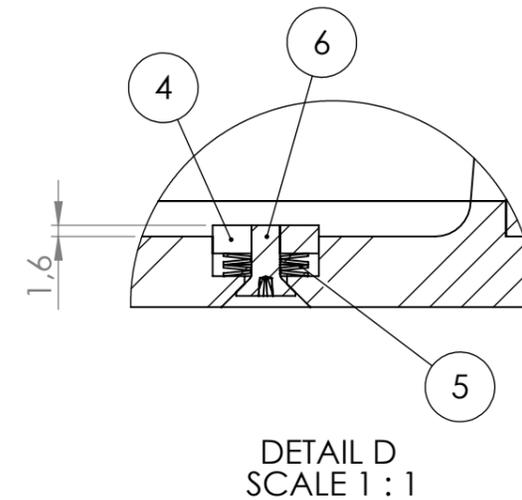
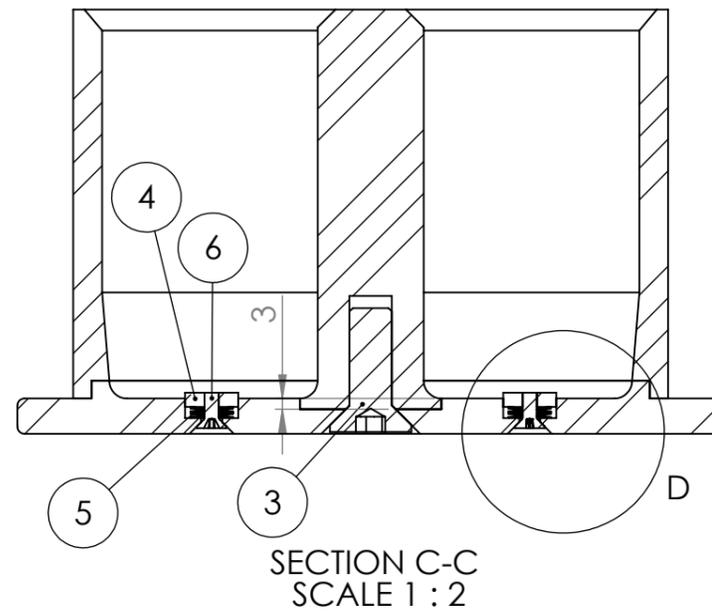
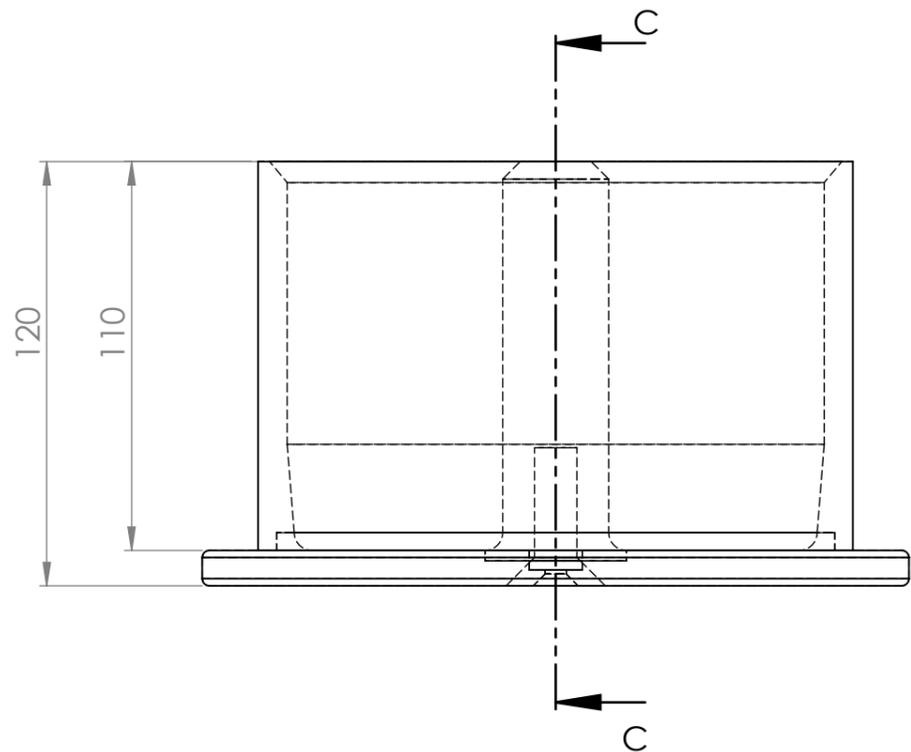
Equipamento de Produção
de Aglomerados de Madeira

Departamento de
Engenharia
Mecânica

Escala
1:50

Equipamento de
Produção

G0



6	Parafuso M4 de cabeça cruzada cónica				2		M4 x 10
5	Mola de chapa				8		12 x 4,2 x 0,4
4	Apoio da mola de chapa	G1.3	Aço		2		
3	Parafuso M12 de cabeça cónica sextavada		Aço		1		M12 x 35
2	Pino do Molde	G1.2	Aço		1	0,6 Kg	
1	Corpo do Molde	G1.1	Aço		1	6,7 Kg	
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES

Proj. 18/7/2013
Des. 18/7/2013
Copiou
Visto

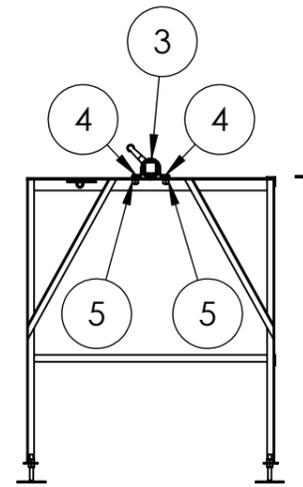
Equipamento de Produção de Aglomerados de Madeira

Departamento de Engenharia Mecânica

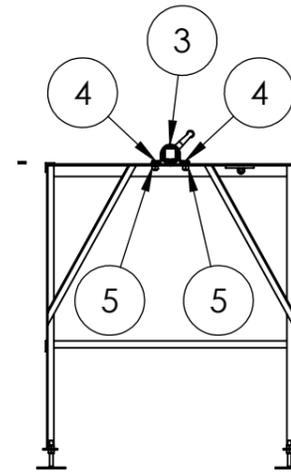
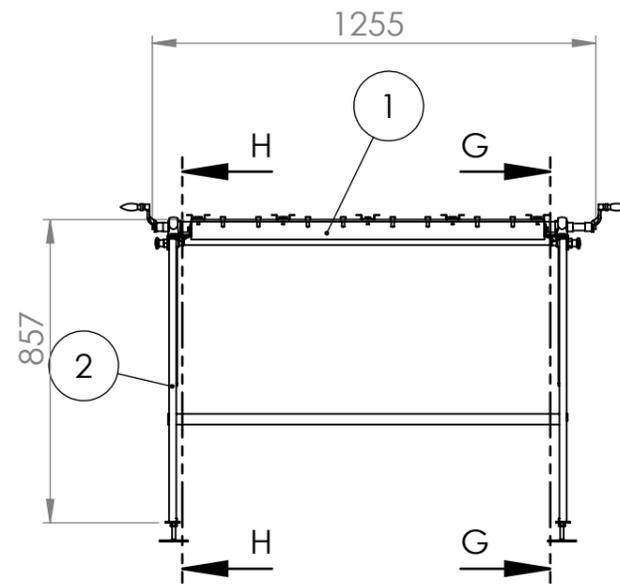
Molde

G1

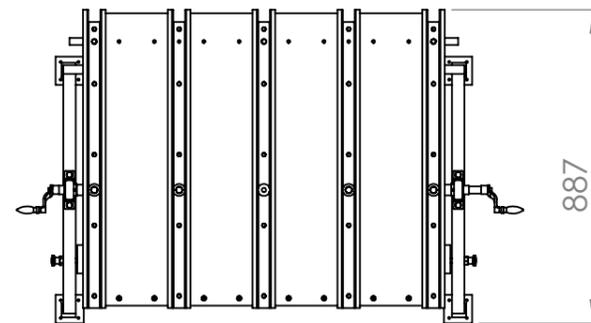
Escala 1:2



SECTION H-H



SECTION G-G



5	Porca sextavada M10				4		
4	Parafuso sextavado M10				4	M10 x 20	
3	Unidade rolamento				2	SKF P_25_TF	
2	Estrutura de suporte da Mesa Basculante	G2.2			1		
1	Mesa Basculante	G2.1			1		
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES

Proj. 24/6/2013
Des. 24/6/2013
Copiou
Visto

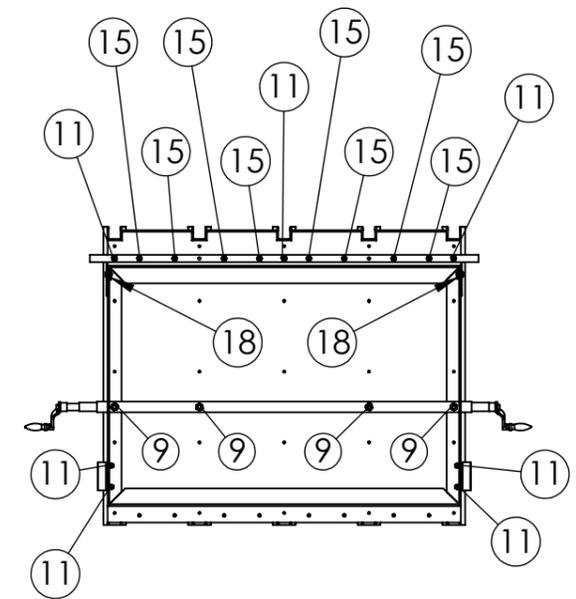
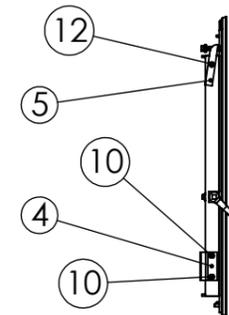
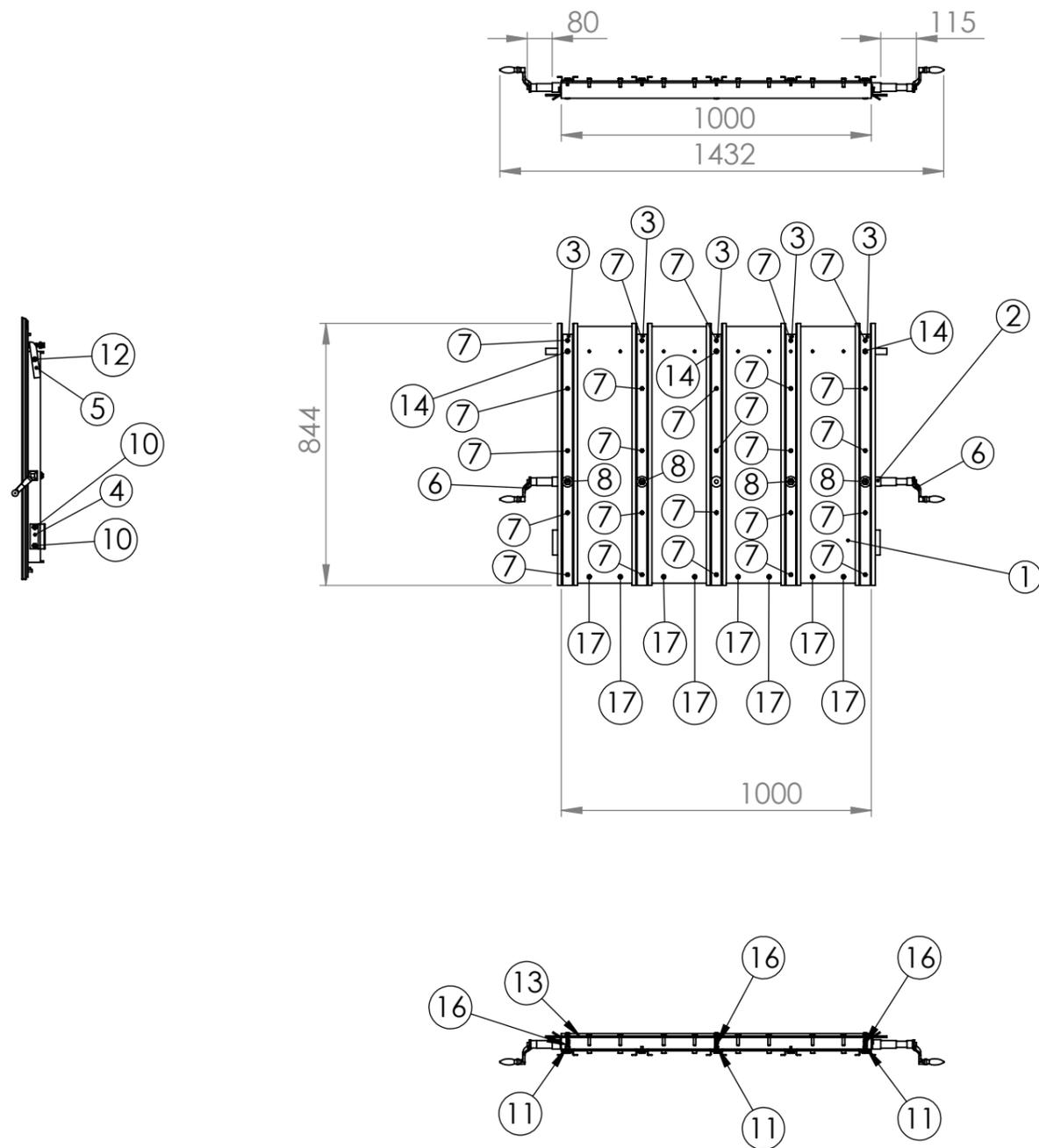
Equipamento de Produção
de Aglomerados de Madeira

Departamento de
Engenharia
Mecânica

Escala
1:20

Mesa

G2



18	Freio de imobilização tipo mola				2		
17	Parafuso de cabeça cilíndrica sextavada M8				10	M8 x 20	
16	Mola				3	RS 751-584	
15	Parafuso sextavado M8				8	M8 x 30	
14	Parafuso sextavado M8				3	M8 x 60	
13	Barra de travamento dos Moldes	G2.1.6	Aço		1	0,8 Kg	
12	Pino de engate				2		RS 838-984
11	Porca sextavada M8				10		
10	Parafuso sextavado M8				4	M8 x 20	
9	Porca sextavada M12				4		
8	Parafuso sextavado M12				4	M12 x 55 x 33	
7	Parafuso sextavado M6				25	M6 x 16	
6	Manivela				2	RS 237-261	
5	Acionador do destravamento dos moldes	G2.1.5	Aço		2		
4	Apoio do fixador	G2.1.4	Aço		1	0,1 Kg	
3	Guias dos moldes	G2.1.3	Aço		5	1 Kg	
2	Eixo da Mesa Basculante	G2.1.2	Aço		1	7,9 Kg	
1	Corpo da Mesa Basculante	G2.1.1			1		
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES

Proj. 24/6/2013
Des. 24/6/2013
Copiou
Visto

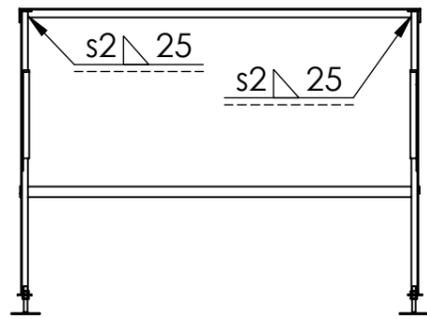
Equipamento de Produção de Aglomerados de Madeira

Departamento de Engenharia Mecânica

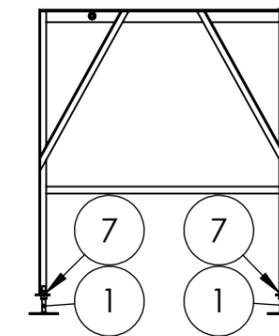
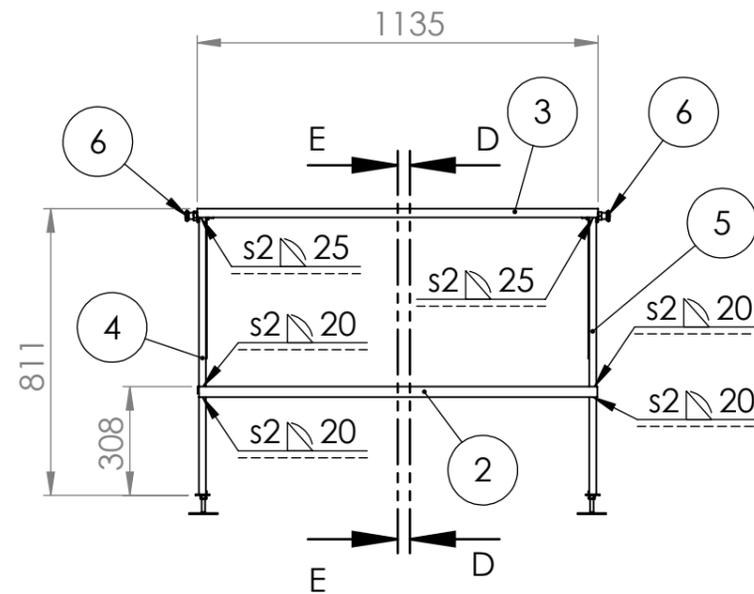
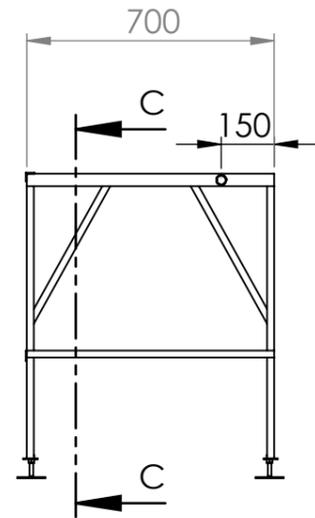
Escala 1:20

Mesa Basculante

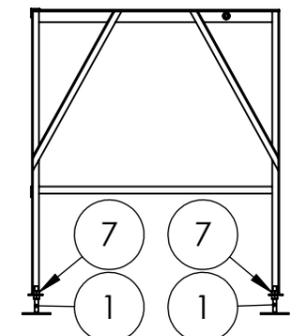
G2.1



SECTION C-C



SECTION E-E



SECTION D-D

7	Porca sextavada M10				4		
6	Fixador				2		RS 237-413
5	Lateral esquerda	G2.2.9	Aço		1		
4	Lateral direita	G2.2.8	Aço		1		
3	Cantoneira traseira	G2.2.5	Aço		1	1,3 Kg	
2	Barra traseira	G2.2.4	Aço		1	0,8 Kg	
1	Conjunto pé	G2.2.3	Aço		4		
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES

Proj. 24/6/2013
Des. 24/6/2013
Copiou
Visto

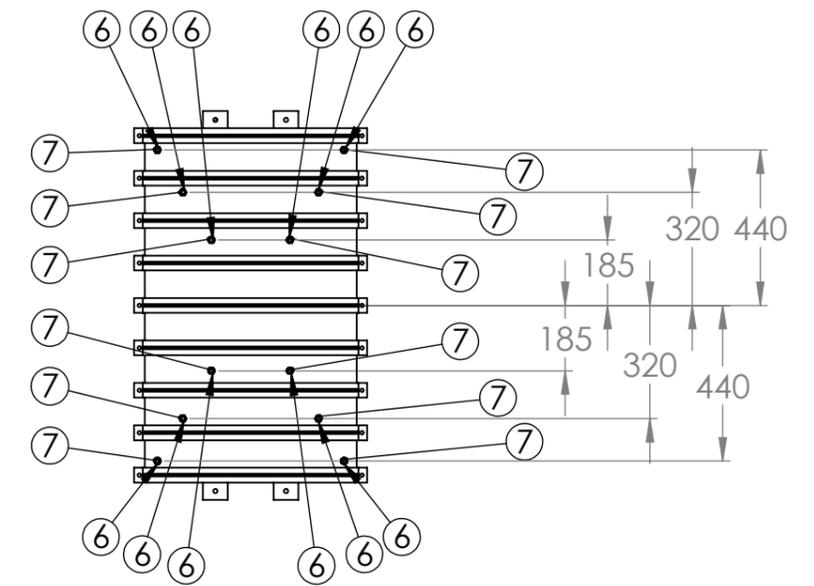
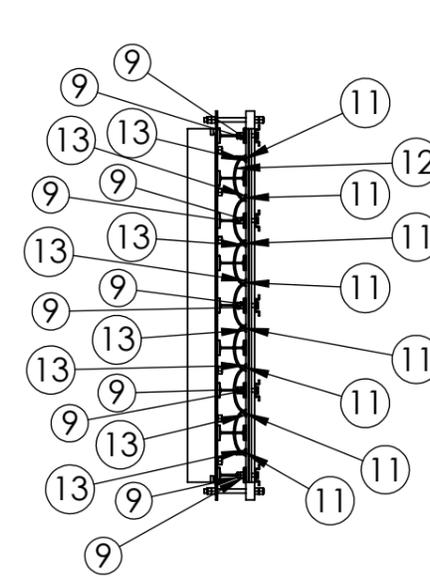
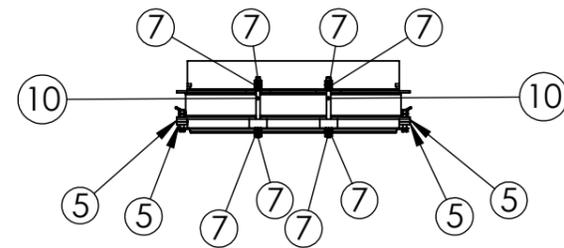
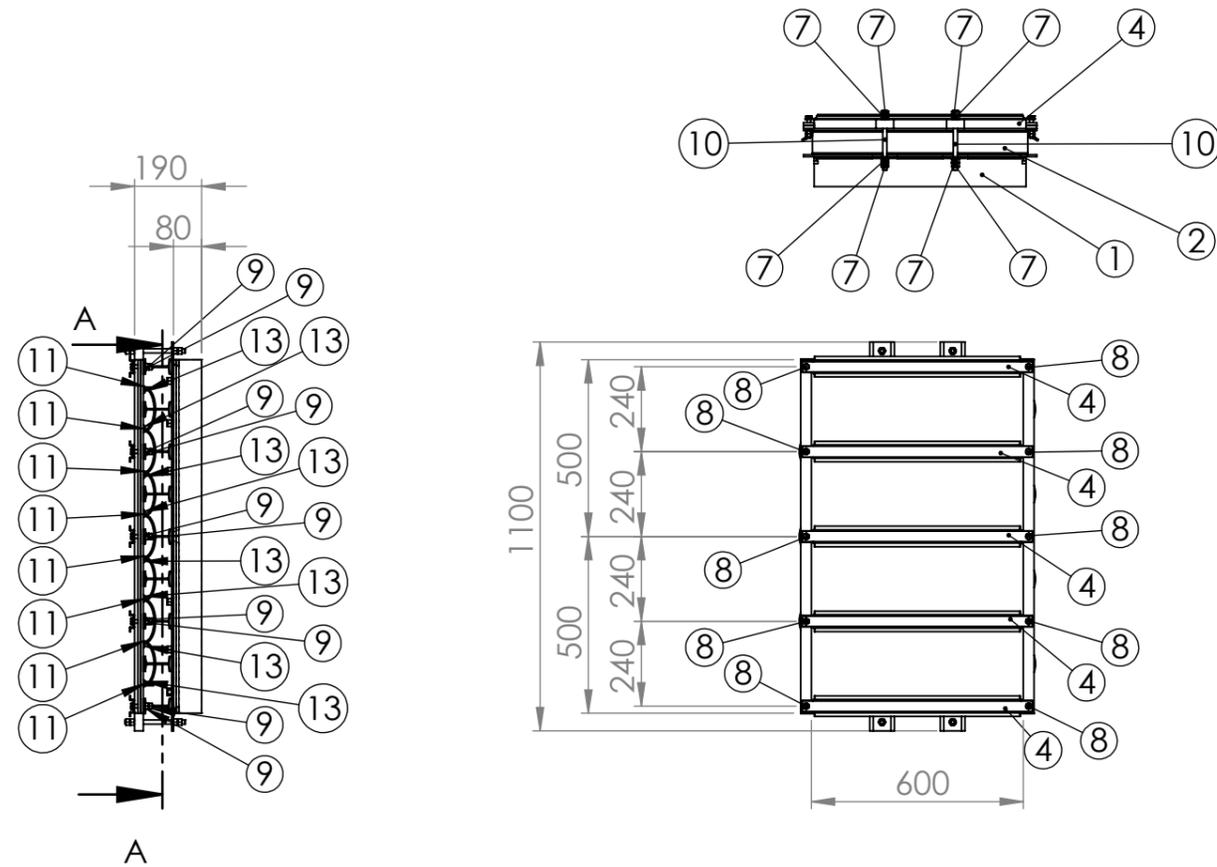
Equipamento de Produção
de Aglomerados de Madeira

Departamento de
Engenharia
Mecânica

Escala
1:20

Estrutura de suporte da
Mesa Basculante

G2.2



SECTION A-A
SCALE 1 : 20

13	Parafuso sextavado M3				16		M3 x 8
12	Resistência	G3.6			1		
11	Suporte resistência	G3.5	Aço		16		
10	Varão roscado M12				4		M12 x 170
9	Porca sextavada M10				20		
8	Parafuso sextavado M10				10		M10 x 55 x 26
7	Porca sextavada M12				28		
6	Parafuso sextavado M12				12		M12 x 25
5	Barra de alinhamento das guias	G3.4	Aço		4	1,8 Kg	
4	Guia dos Moldes	G3.3	Aço		5	1,1 Kg	
3	Placa de aquecimento	G3.2	Aço		1	119 Kg	
2	Apoio do Sistema de Aquecimento	G3.1			9		
1	Prato da Prensa				1		

Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES
----	------------	------------------------------	----------	--------	------------	------	-------------

Proj. 24/6/2013
Des. 24/6/2013
Copiou
Visto

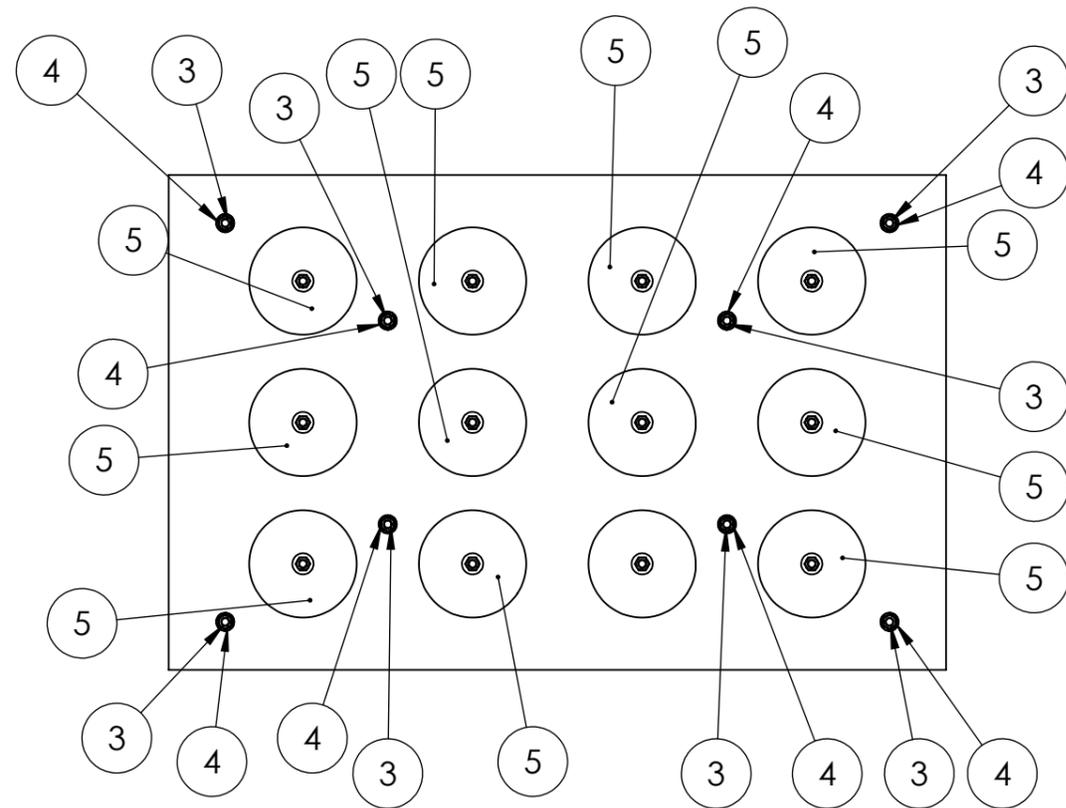
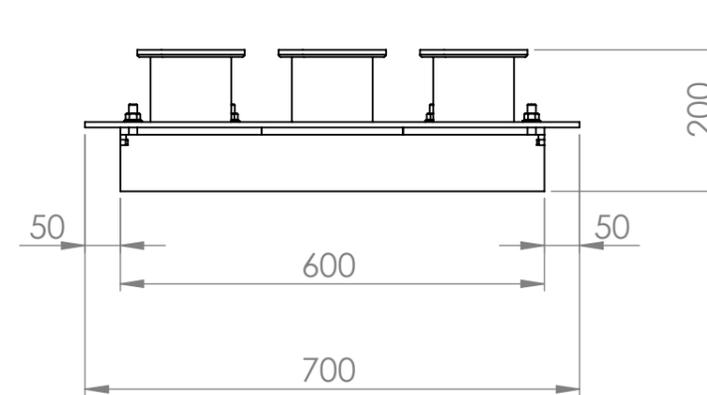
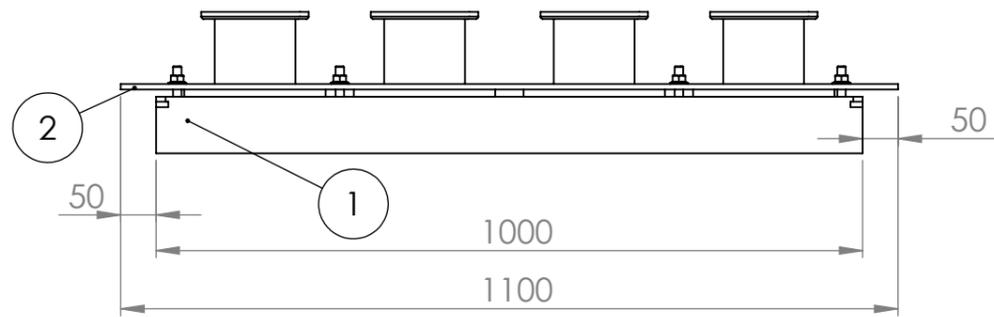
Equipamento de Produção
de Aglomerados de Madeira

Departamento de
Engenharia
Mecânica

Sistema de Aquecimento

G3

Escala
1:20



5	Punção	G4.2			12		
4	Porca sextavada M12				8		
3	Parafuso sextavado M12				8		M12x30
2	Placa de alinhamento dos Punções	G4.1	Aço		1	40.3Kg	
1	Prato da Prensa				1		
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES

Proj. 18/7/2013
Des. 18/7/2013
Copiou
Visto

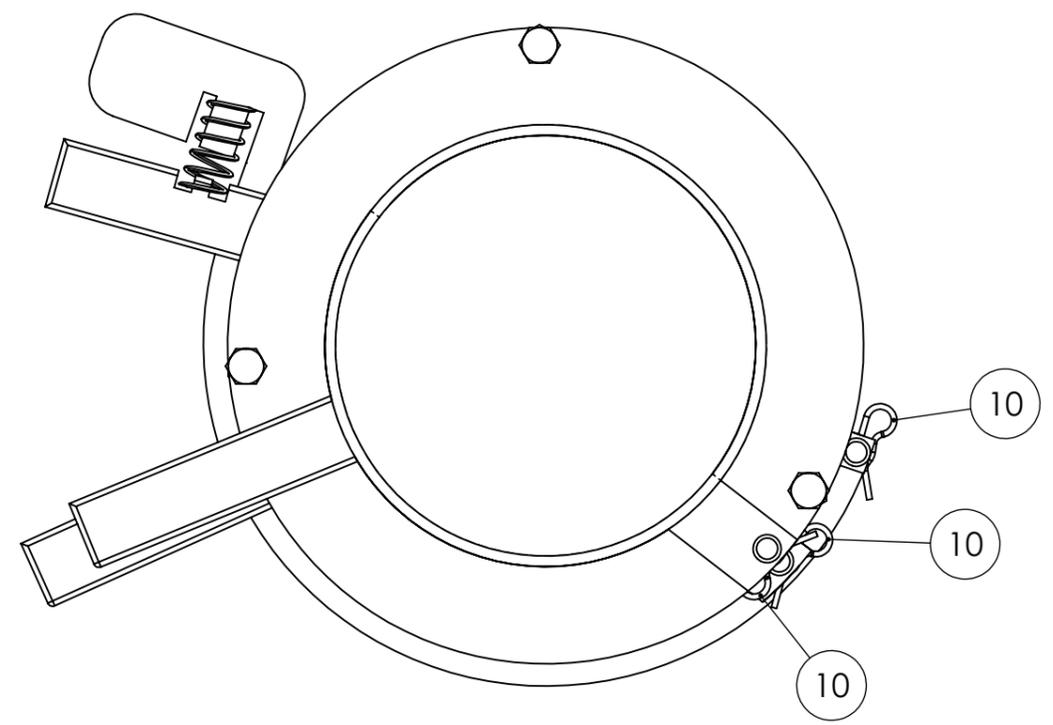
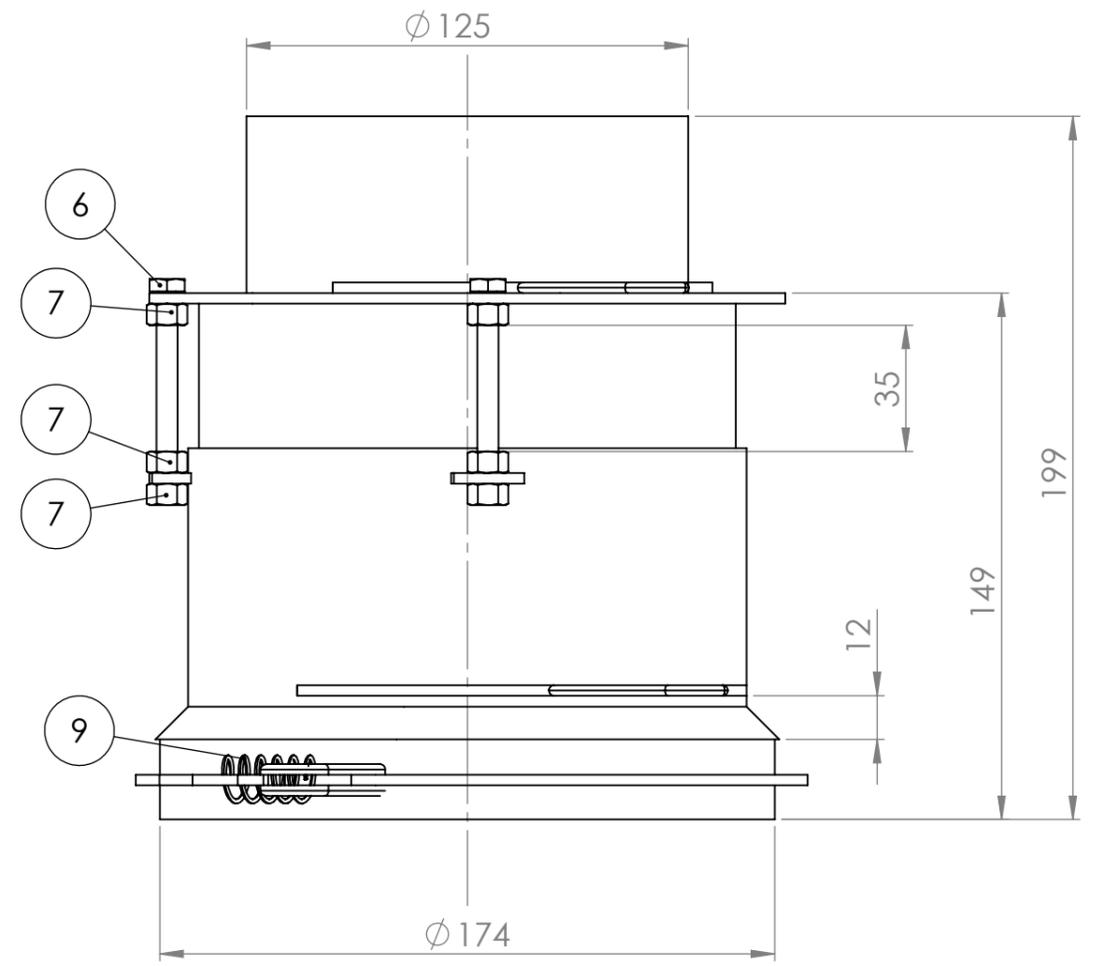
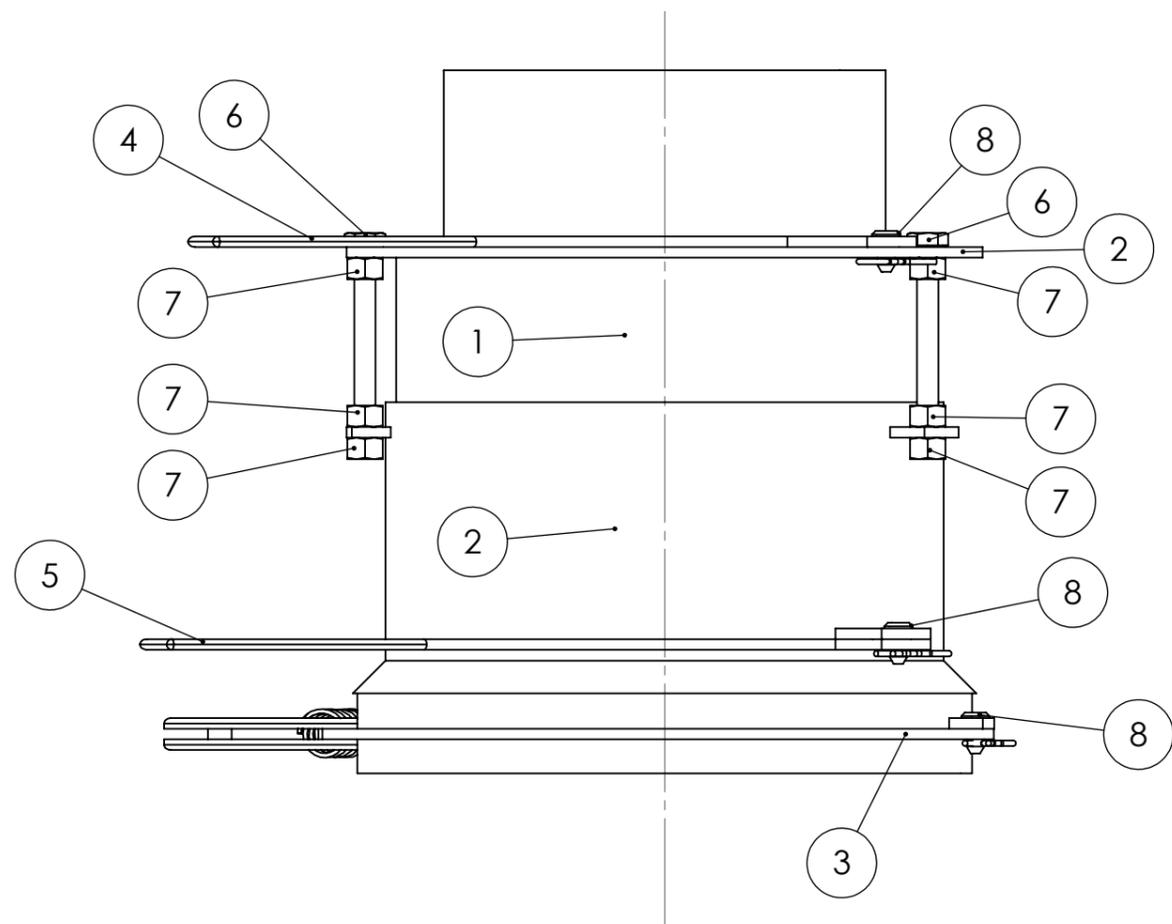
Equipamento de Produção
de Aglomerados de Madeira

Departamento de
Engenharia
Mecânica

Sistema de Prensagem

G4

Escala
1:10



10	Freio de imobilização tipo mola				3		
9	Mola				1		RS 121-179
8	Pino de engate				3		RS 838-912
7	Porca sextavada M6				9		
6	Parafuso sextavado M6				3		M6 x 60
5	Placa de fecho inferior	G5.5	Aço		1		
4	Placa de fecho superior	G5.4	Aço		1		
3	Placa de aperto ao Molde	G5.3	Aço		1	0,5 Kg	
2	Corpo inferior do Alimentador	G5.2			1	0,3 Kg	
1	Corpo superior do Alimentador	G5.1			1	0,1 Kg	
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES

Proj. 18/7/2013
Des. 18/7/2013
Copiou
Visto

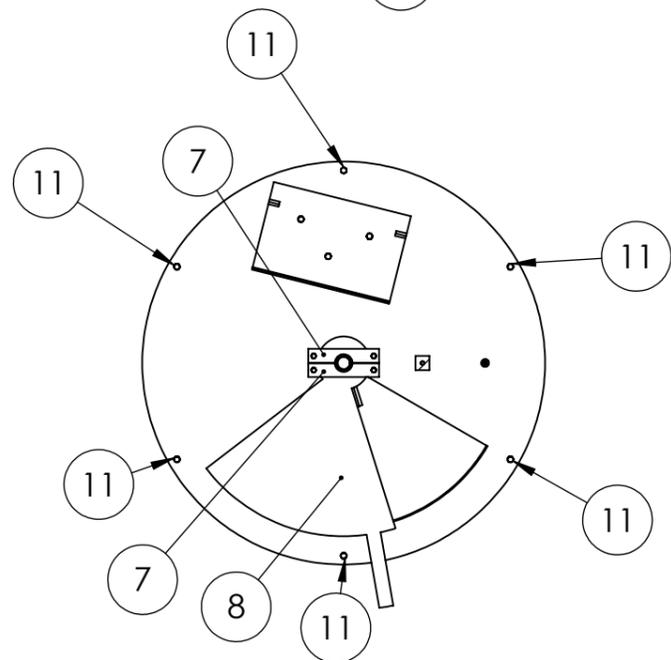
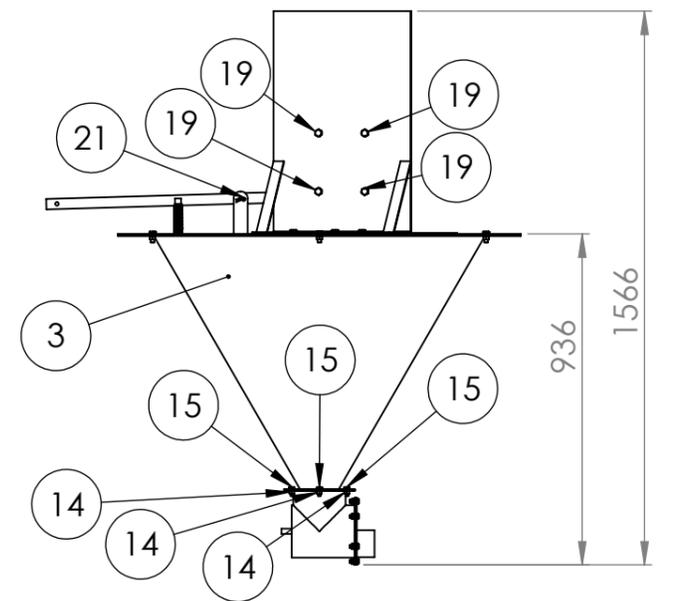
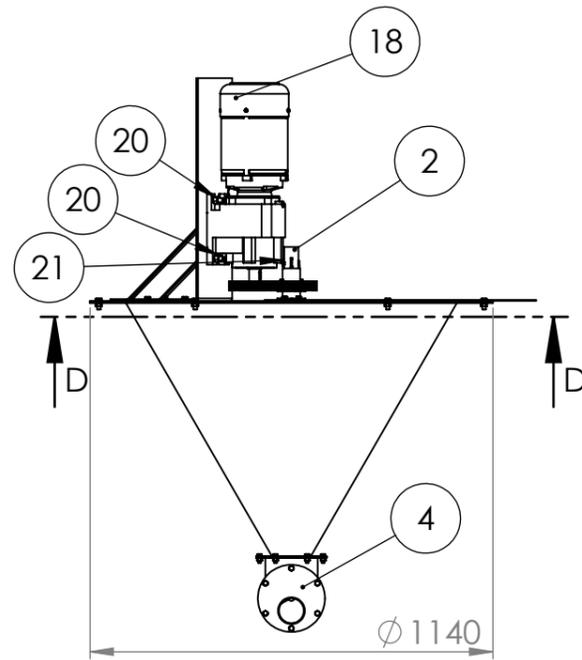
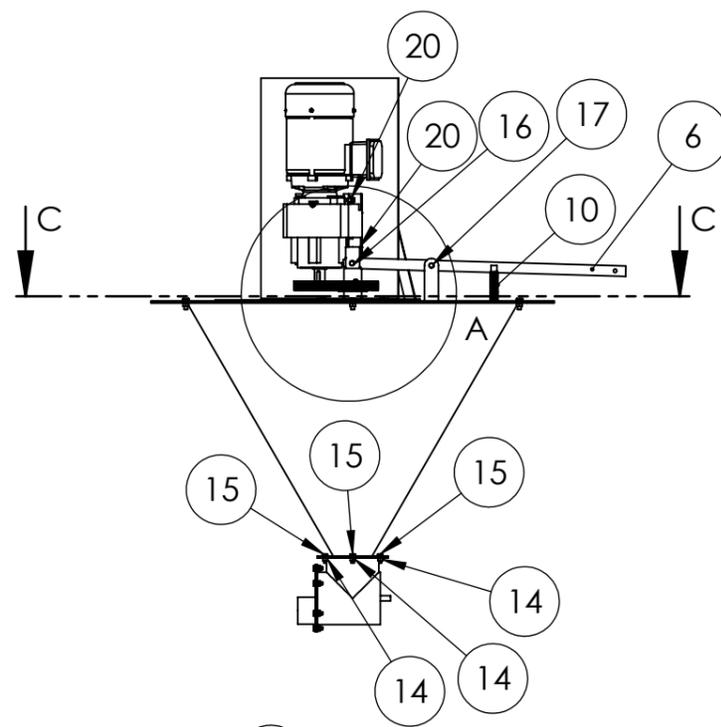
Equipamento de Produção
de Aglomerados de Madeira

Departamento de
Engenharia
Mecânica

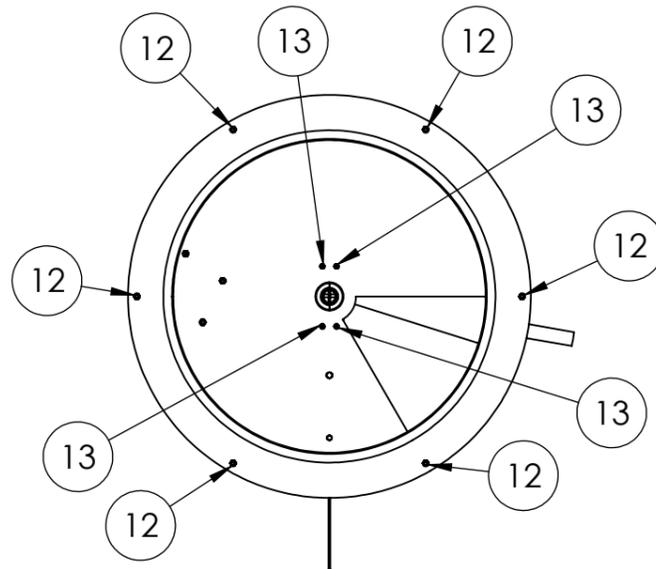
Alimentador

G5

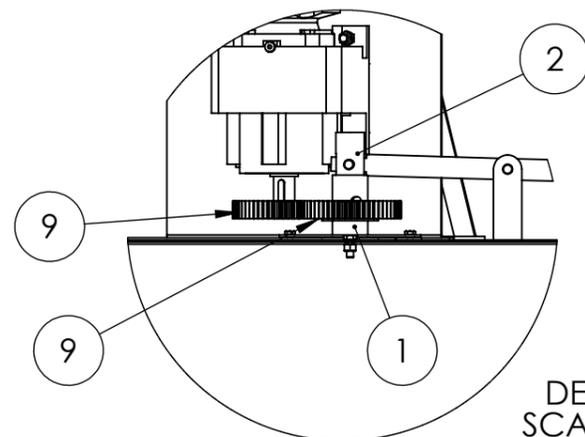
Escala
1:2



SECTION C-C
SCALE 1 : 20



SECTION D-D
SCALE 1 : 20



DETAIL A
SCALE 1 : 10

21	Freio de imobilização tipo mola				2		
20	Porca sextavada M12				4		
19	Parafuso sextavado M12				4	M12 x 45	
18	Motor trifásico com caixa redutora				1	DRS100 M4/ RM67	
17	Pino de engate				1	RS 838-984	
16	Pino de engate				1	RS 839-000	
15	Parafuso sextavado M8				6	M8 x 25	
14	Porca sextavada M8				10		
13	Parafuso sextavado M8				4	M8 x 20	
12	Porca sextavada M10				6		
11	Parafuso sextavado M10				6	M10 x 25	
10	Mola				1	RS 121-242	
9	Engrenagem 56				2	ROLISA m2.5 /z 56	
8	Tampa do Misturador	G6.8			1		
7	Apoio superior do eixo externo	G6.7			2		
6	Alavanca	G6.6			1		
5	Conjunto superior do Misturador	G6.5			1		
4	Bomba	G6.4			1		
3	Corpo do Misturador	G6.3			1		
2	Eixo interno	G6.2			1		
1	Eixo externo	G6.1			1		

Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES
----	------------	---------------------------	----------	--------	------------	------	-------------

Proj. 6/8/2013
Des. 6/8/2013
Copiou
Visto

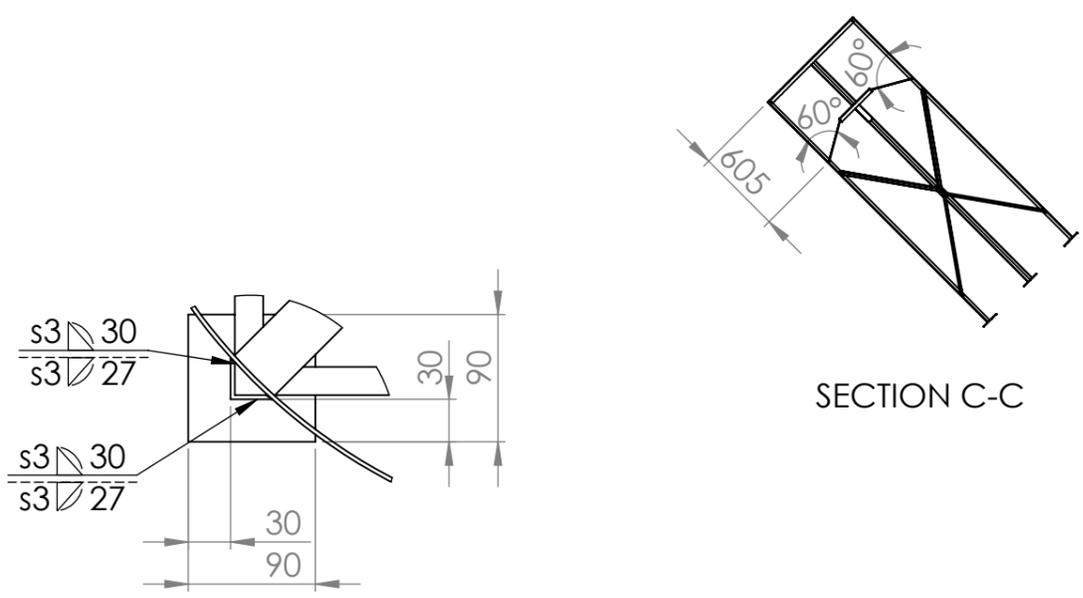
Equipamento de Produção de Aglomerados de Madeira

Departamento de Engenharia Mecânica

Escala 1:20

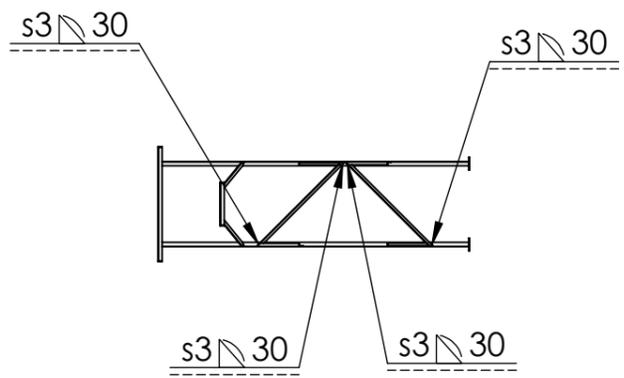
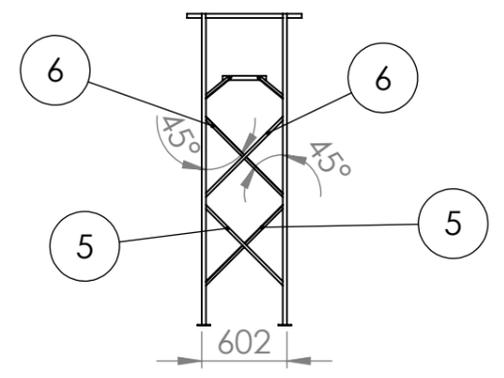
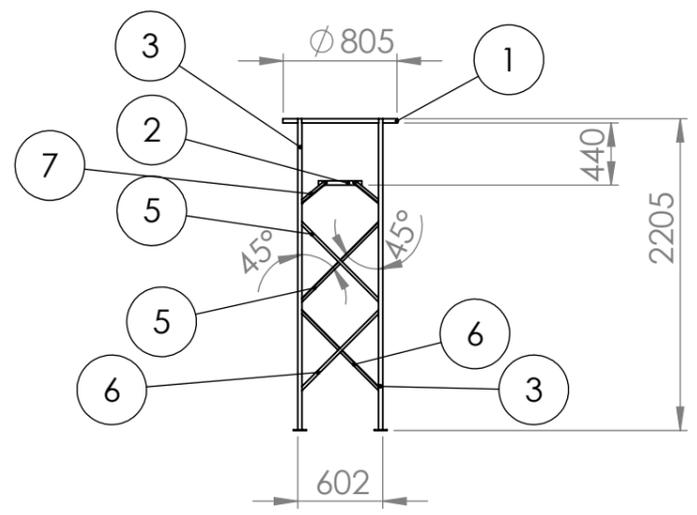
Misturador

G6

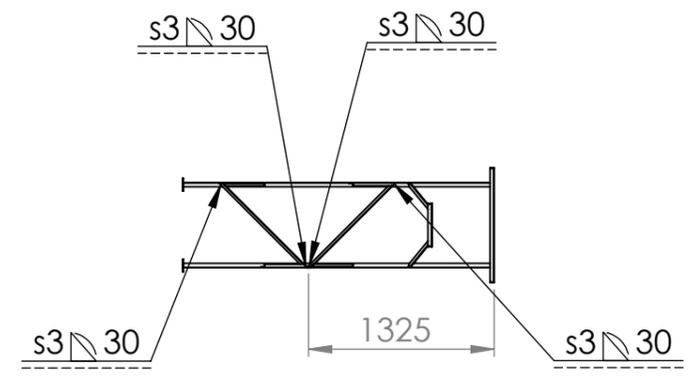
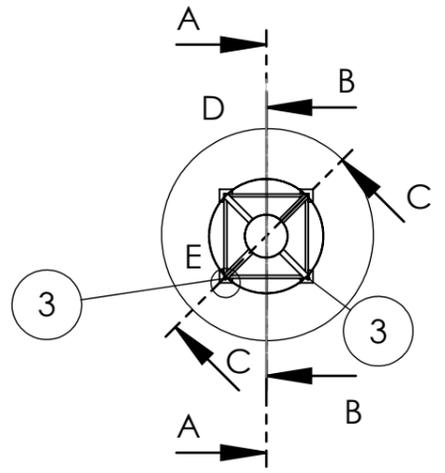


SECTION C-C

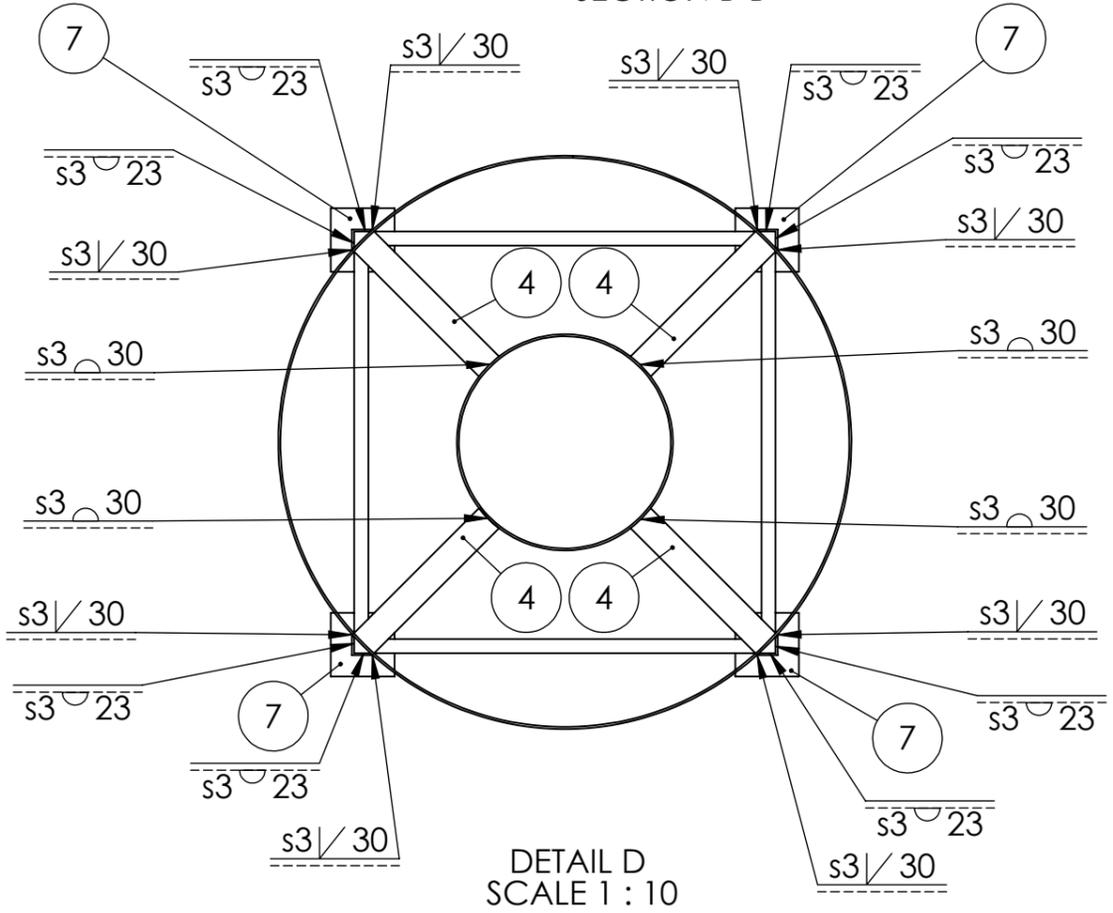
DETAIL E
SCALE 1 : 5



SECTION B-B



SECTION A-A



DETAIL D
SCALE 1 : 10

7	Base da perna	G6.6.7	Aço		4	0,31 Kg	
6	Cantoneira das pernas (Tipo 2)	G6.6.6	Aço		4	0,71 Kg	
5	Cantoneira das pernas (Tipo 1)	G6.6.5	Aço		4	0,71 Kg	
4	Suporte do colar inferior	G6.6.4	Aço		4	0,21 Kg	
3	Pernas	G6.6.3	Aço		4	3,34 Kg	
2	Colar inferior	G6.6.2	Aço		1	0,61 Kg	
1	Colar superior	G6.6.1	Aço		1	1,62 Kg	
Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA Nº DO DESENHO	MATERIAL	Nº REF	QUANTIDADE	PESO	OBSERVAÇÕES

Proj.	5/8/2013	Equipamento de Produção de Aglomerados de Madeira	Departamento de Engenharia Mecânica
Des.	5/8/2013		
Copiou			
Visto			

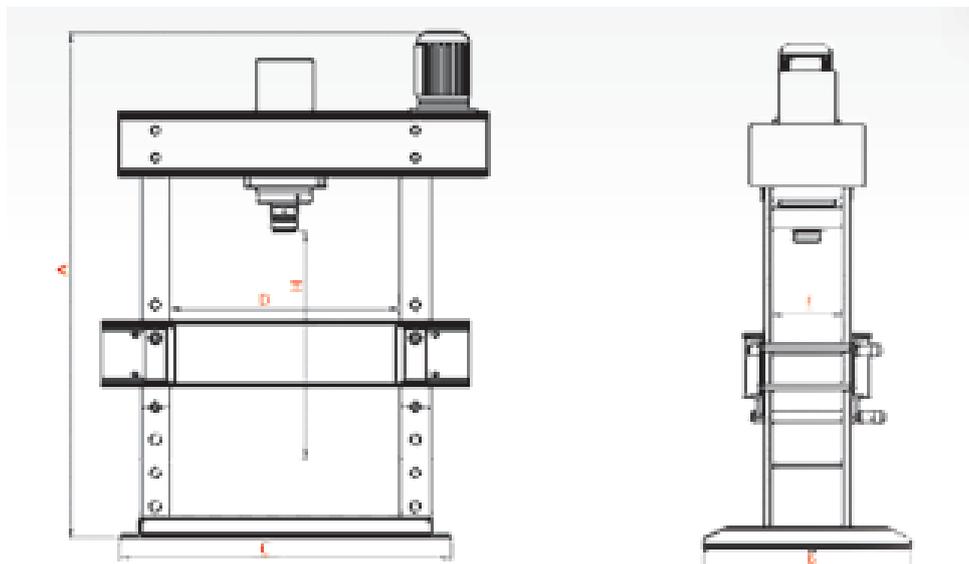
Escala	1:10	Estrutura de suporte do Misturador	G7

**ANEXO C - CARACTERÍSTICAS DA PRENSA HIDROLINKSAN HD 60
TON**

Prensa Hidrolinksan HD 60 Ton

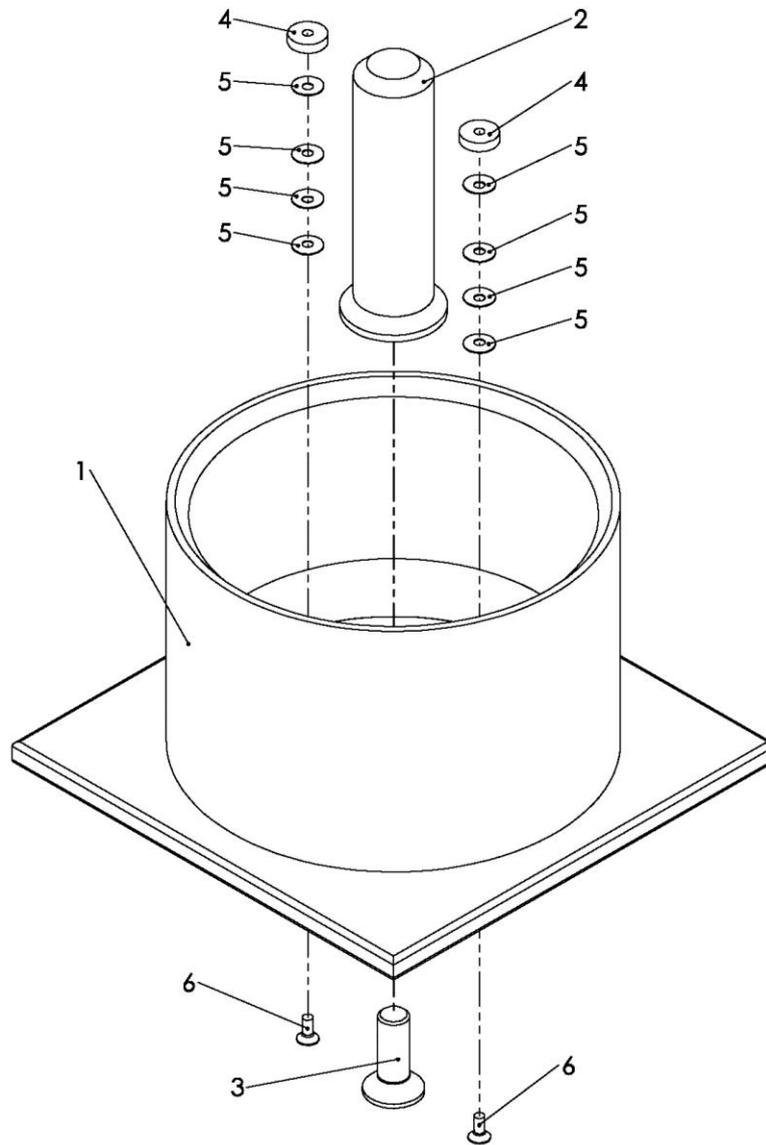
- Corpo da prensa muito robusto e a soldadura muito resistente;
- Cilindros reforçados e cromados;
- Placa de topo e de fundo 1000 x 600 x 80 mm;
- Operação de duas mãos;

Dados técnicos e dimensões:	
Capacidade/Força	60 Toneladas
Diâmetro do cilindro	95 mm
Motor	2,2 PS
Movimento máximo do Cilindro	400 mm
Altura máxima do trabalho	800 mm
Velocidade do avanço	3 até 9,5 mm/seg.
Area da mesa	1000 x 600 mm
A (mm)	2100 mm
B (mm)	850 mm
C (mm)	1200 mm
D (mm)	820 mm
E (mm)	300 mm
H (mm)	800 mm



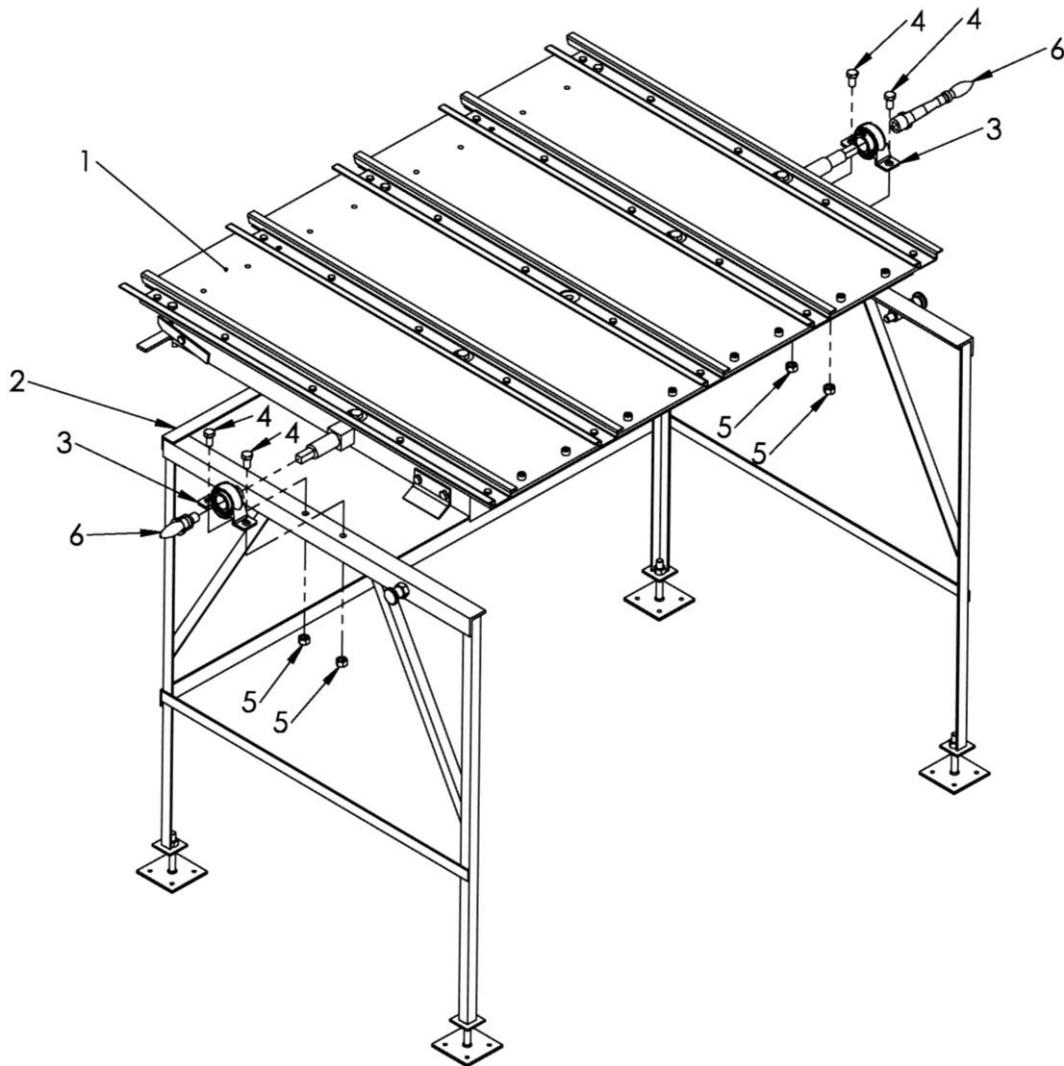
ANEXO D - DESENHOS DE MONTAGEM

ANEXO D1 - Molde (G1)



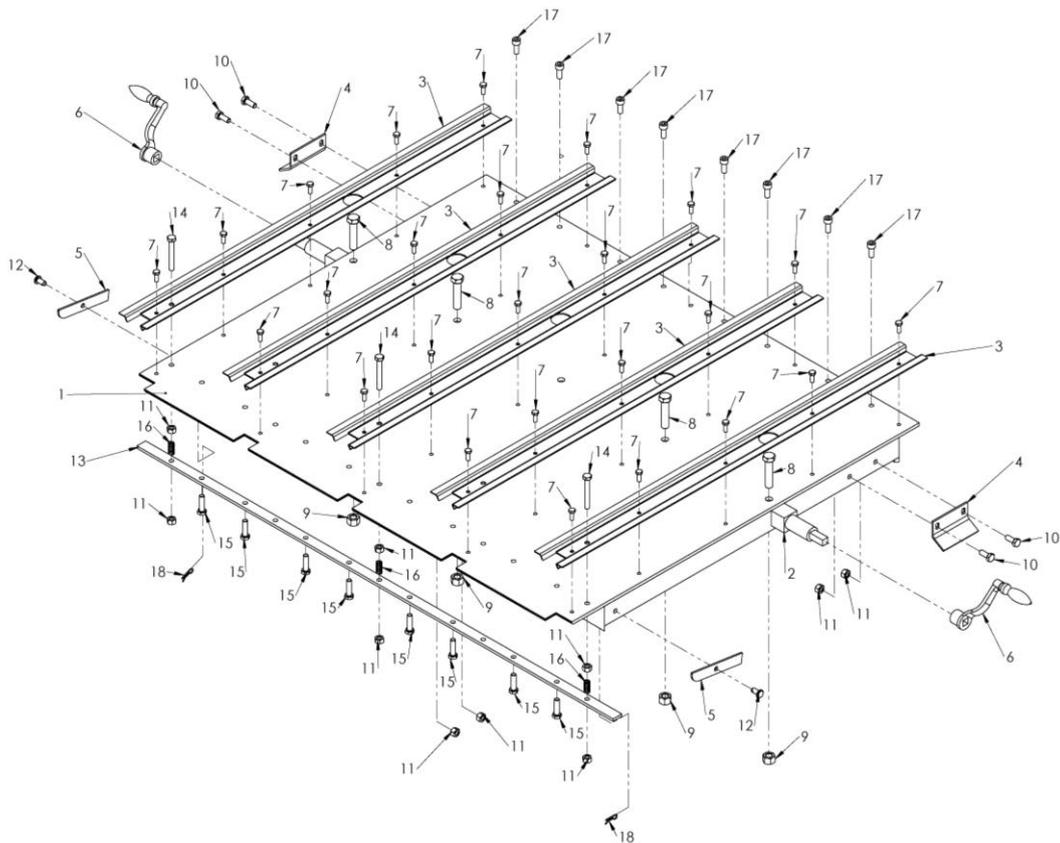
Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1	G1.1	Corpo do Molde	1
2	G1.2	Pino do Molde	1
3		Parafuso de cabeça cônica, sextavado interno, M12 x 35	1
4	G1.3	Apoio da mola de chapa	2
5		Mola de chapa 12 x 4,2 x 0,4	8
6		Parafuso de cabeça cônica, sextavado interno, M4 x 10	2

ANEXO D2 - Mesa (G2)



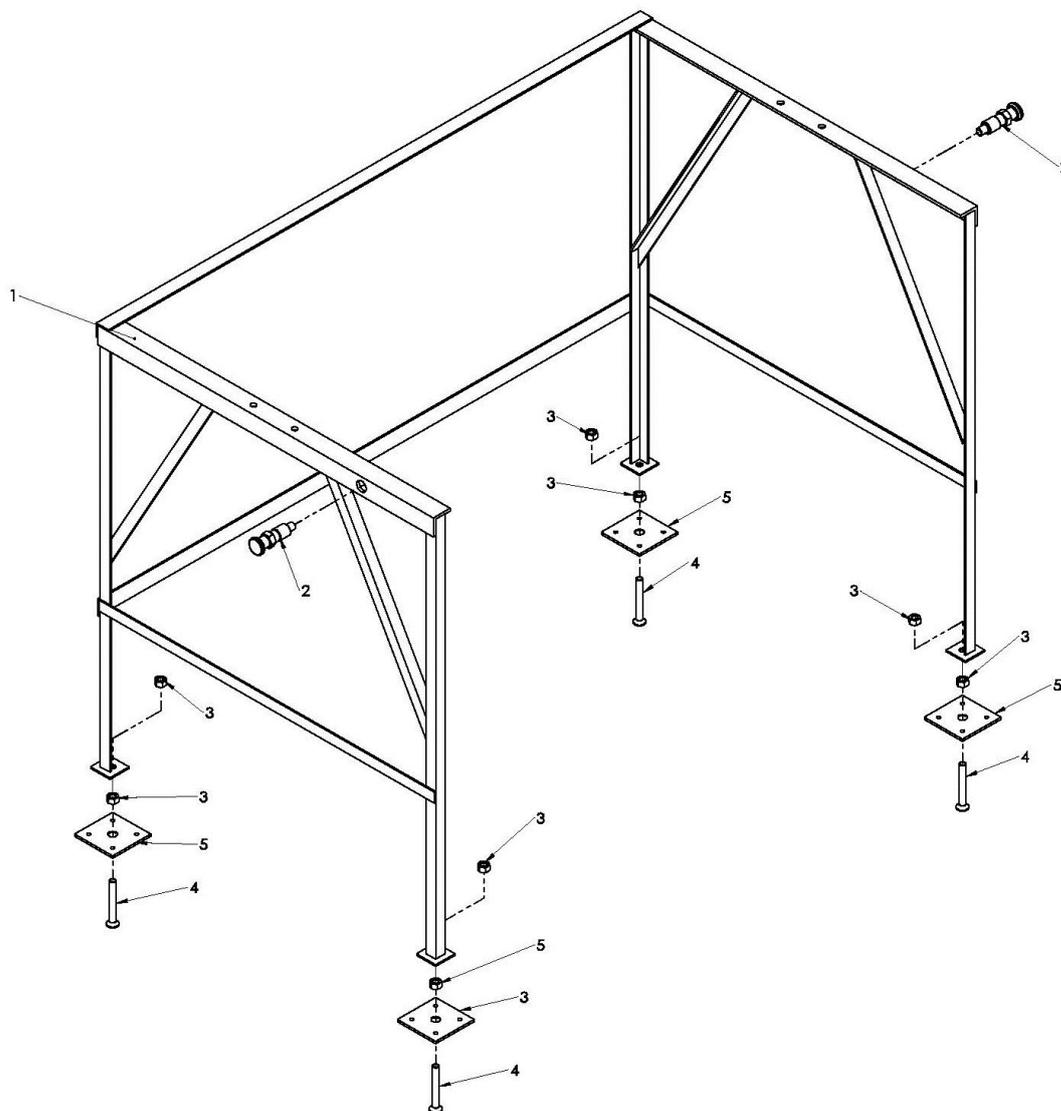
Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1	G2.1	Mesa Basculante	1
2	G2.2	Estrutura de suporte da Mesa Basculante	1
3	SKF P_25_TF	Unidade rolamento	2
4		Parafuso sextavado M10 x 20	4
5		Porca sextavada M10	4
6	RS 237-261	Manivela	2

ANEXO D3 - Mesa Basculante (G2.1)



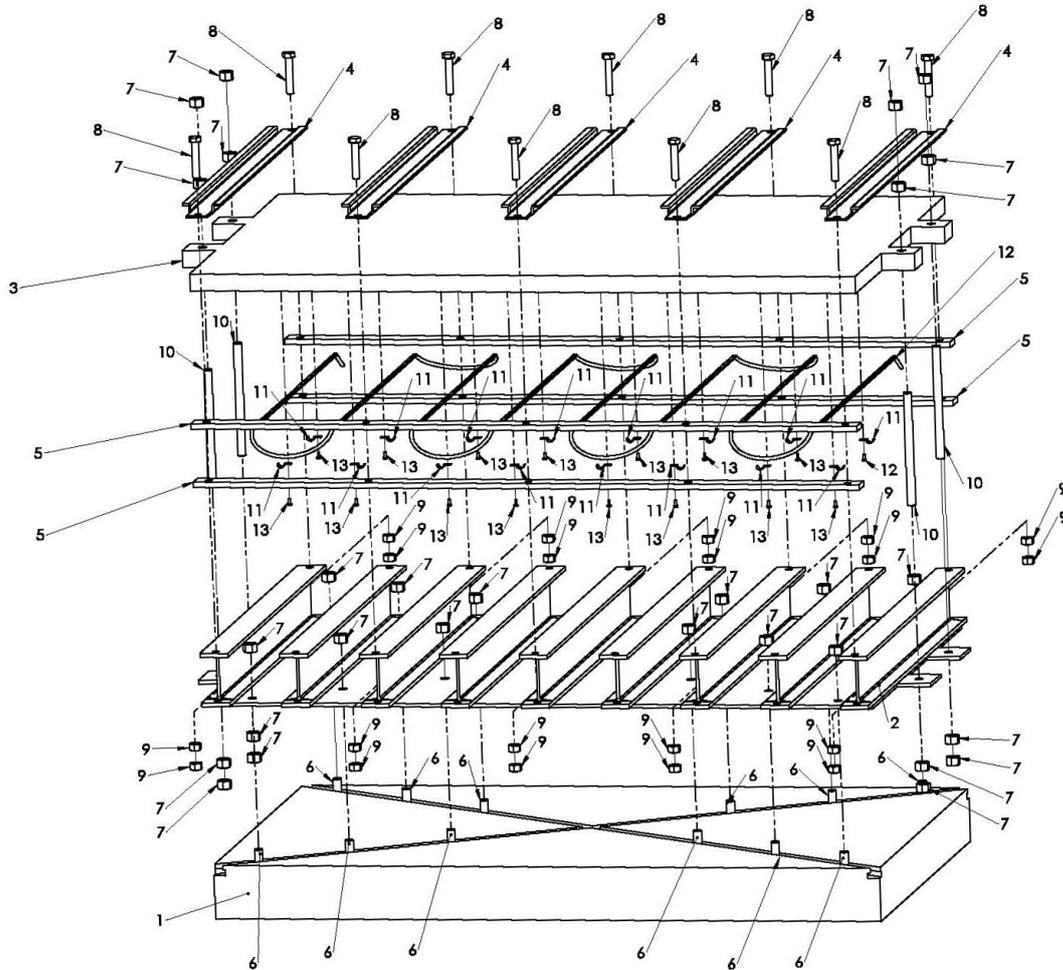
Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1	G2.1.1	Corpo da Mesa Basculante	1
2	G2.1.2	Eixo da Mesa Basculante	1
3	G2.1.3	Guias dos moldes	5
4	G2.1.4	Apoio do fixador	1
5	G2.1.5	Acionador do destravamento dos moldes	2
6	RS 237-261	Manivela	2
7		Parafuso sextavado M6 x 16	25
8		Parafuso sextavado M12 x 55 x 33	4
9		Porca sextavada M12	4
10		Parafuso sextavado M8 x 20	4
11		Porca sextavada M8	12
12	RS 838-984	Pino de engate	2
13	G2.1.6	Barra de travamento dos Moldes	1
14		Parafuso sextavado M8 x 60	3
15		Parafuso sextavado M8 x 30	8
16	RS 751-584	Mola	3
17		Parafuso de cabeça cilíndrica, sextavada interna, M8 x 20	10
18		Freio de imobilização tipo mola	2

ANEXO D4 - Estrutura de suporte da Mesa Basculante (G2.2)



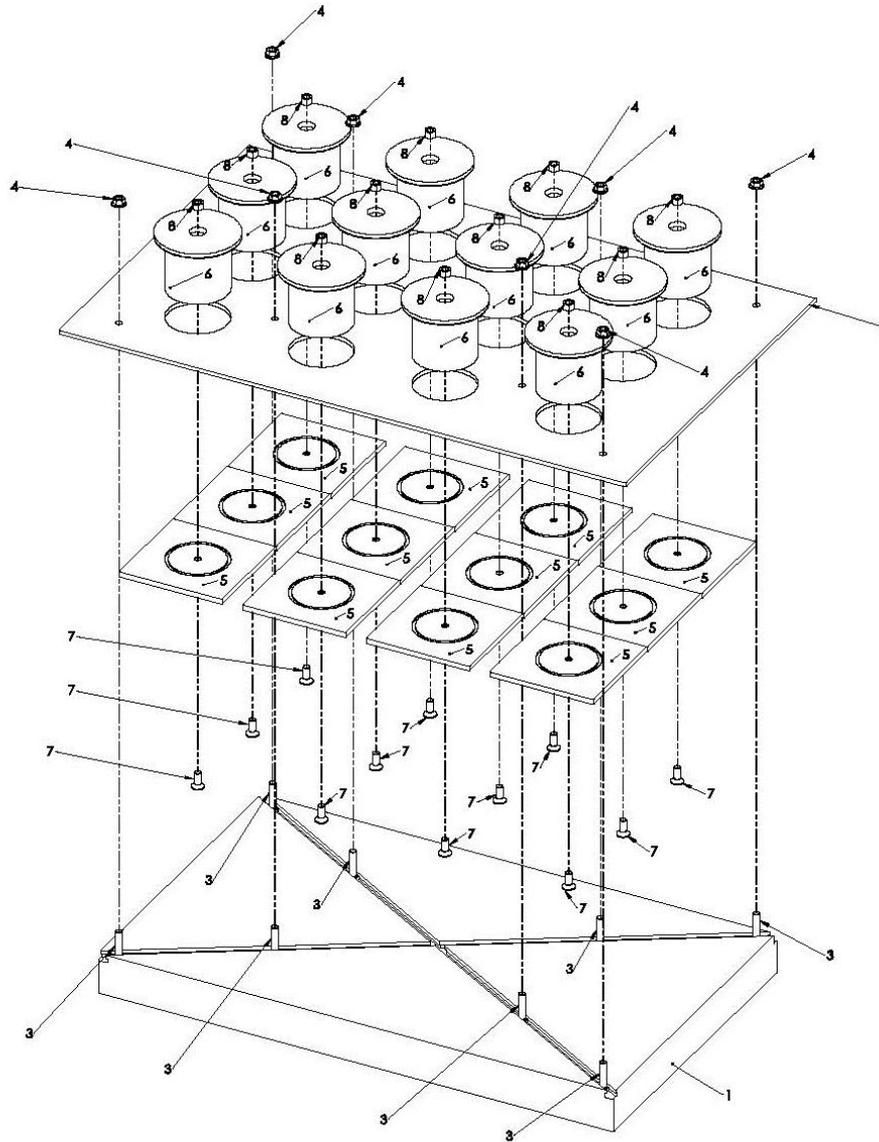
Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1	2.2	Estrutura de suporte da mesa basculante	1
2	RS 237-413	Fixador	2
3		Porca sextavada M10	8
4		Parafuso de cabeça cônica, sextavado interno, M10 x 80	4
5	2.2.3.1	Pé da mesa	4

ANEXO D5 - Sistema de Aquecimento (G3)



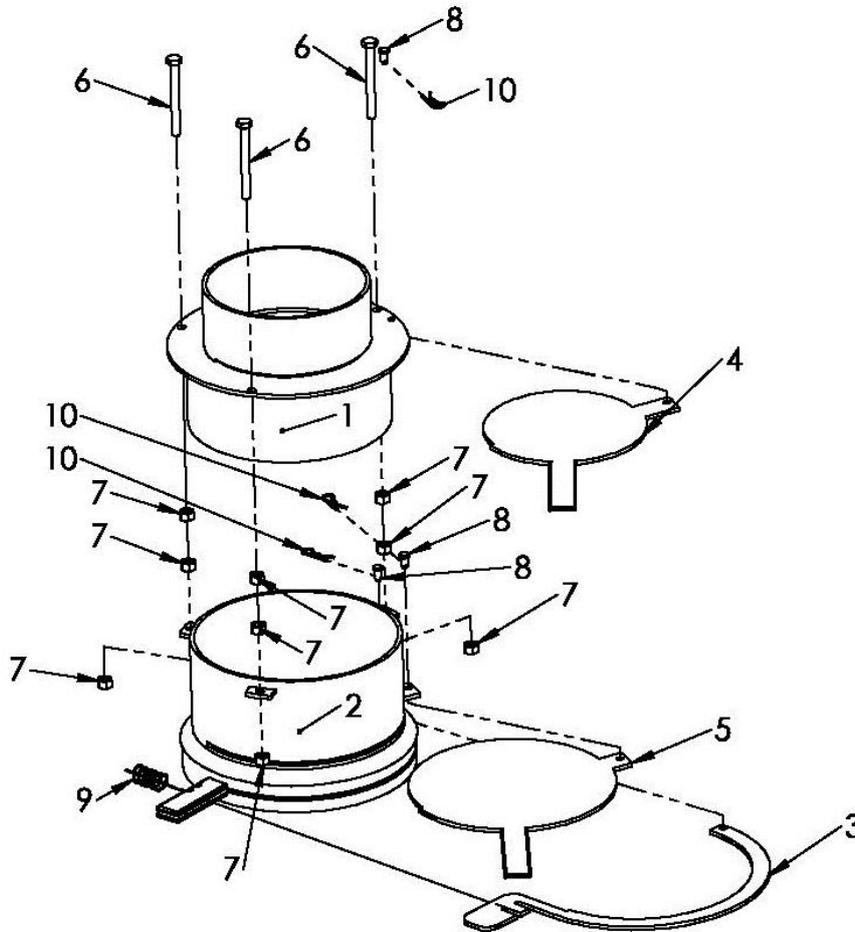
Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1		Prato da Prensa	1
2	G3.1	Apoio do Sistema de Aquecimento	9
3	G3.2	Placa de Aquecimento	1
4	G3.3	Guias dos Moldes	5
5	G3.4	Barra de alinhamento das guias	4
6		Parafuso sextavado M12 x 25	12
7		Porca sextavada M12	28
8		Parafuso sextavado M10 x 55 x 26	10
9		Porca sextavada M10	20
10		Varão roscado M12 x 170	4
11	G3.5	Suporte resistência	16
12	G3.6	Resistência	1
13		Parafuso sextavado M3 x 8	16

ANEXO D6 - Sistema de Prensagem (G4)



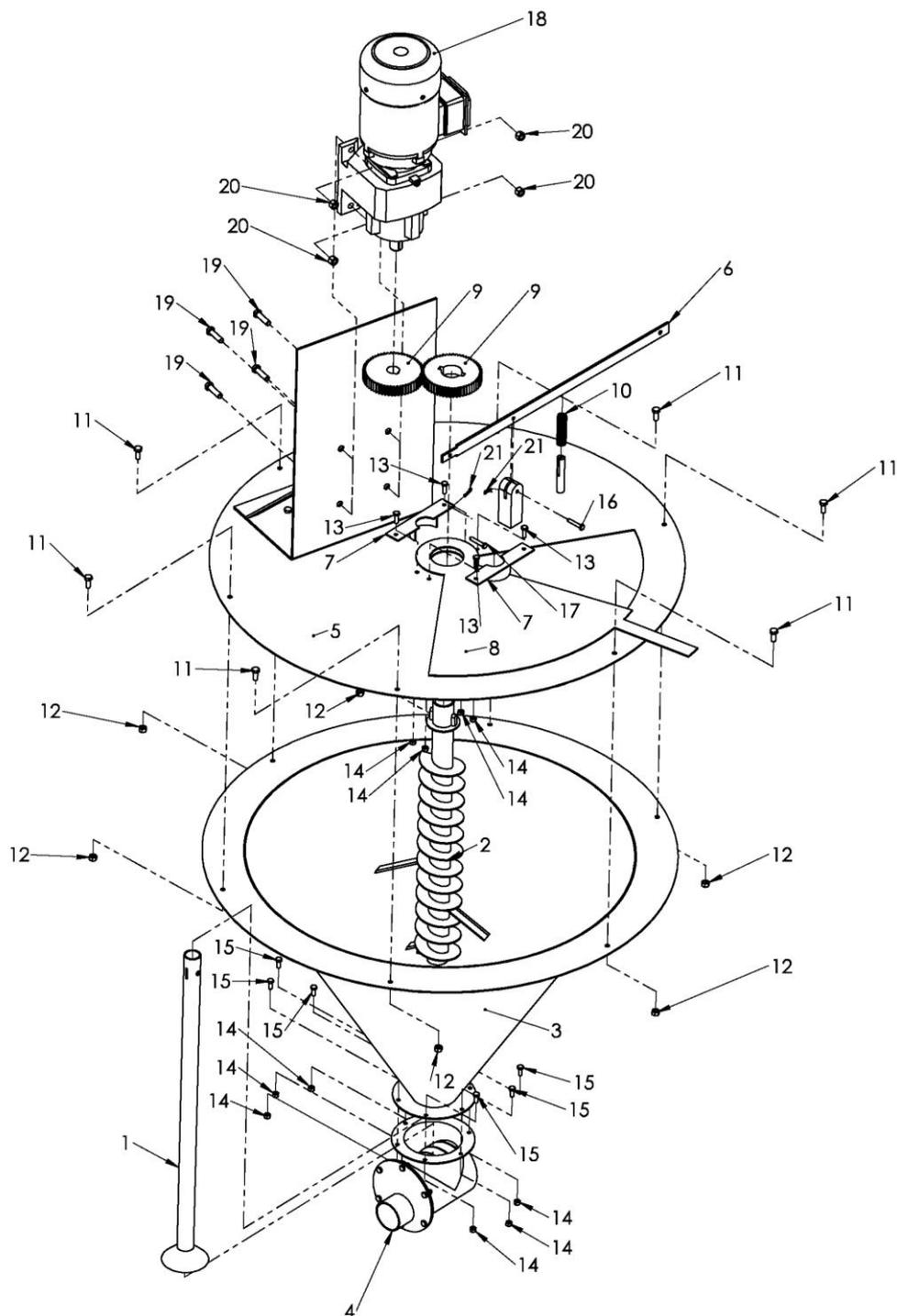
Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1		Prato da Prensa	1
2	G4.1	Placa de alinhamento dos Punções	1
3		Parafuso sextavado M12 x 30	8
4		Porca sextavada M12	20
5	G4.2.2	Base do Punção	12
6	G4.2.1	Corpo do Punção	12
7		Parafuso de cabeça cônica, sextavado interno, M12 x 30	12

ANEXO D7 - Alimentador (G5)



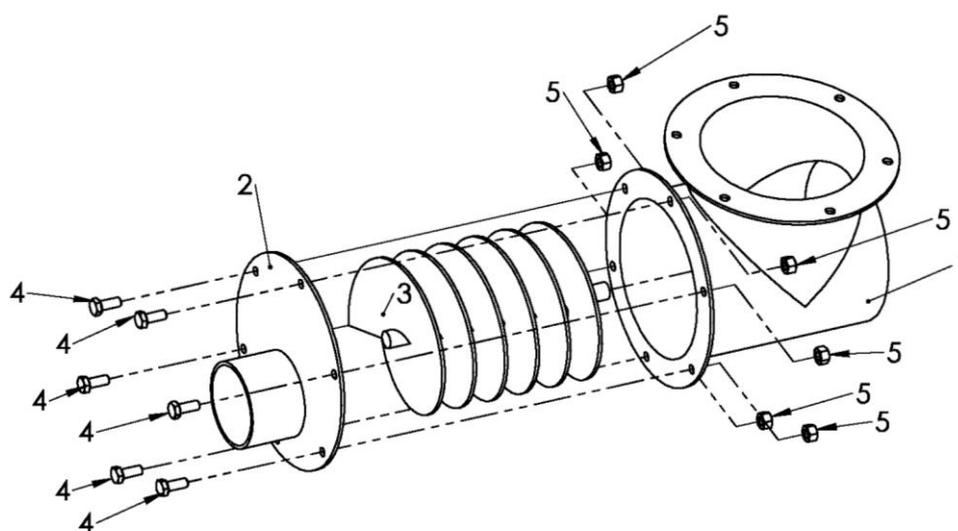
Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1	G5.1	Corpo superior do Alimentador	1
2	G5.2	Corpo inferior do Alimentador	1
3	G5.3	Placa de aperto ao Molde	1
4	G5.4	Placa de fecho superior	1
5	G5.5	Placa de fecho inferior	1
6		Parafuso sextavado M6 x 60	3
7		Porca sextavada M6	9
8	RS 838-912	Pino de engate	3
9	RS 121-179	Mola	1
10		Freio de imobilização tipo mola	3

ANEXO D8 - Misturador (G6)



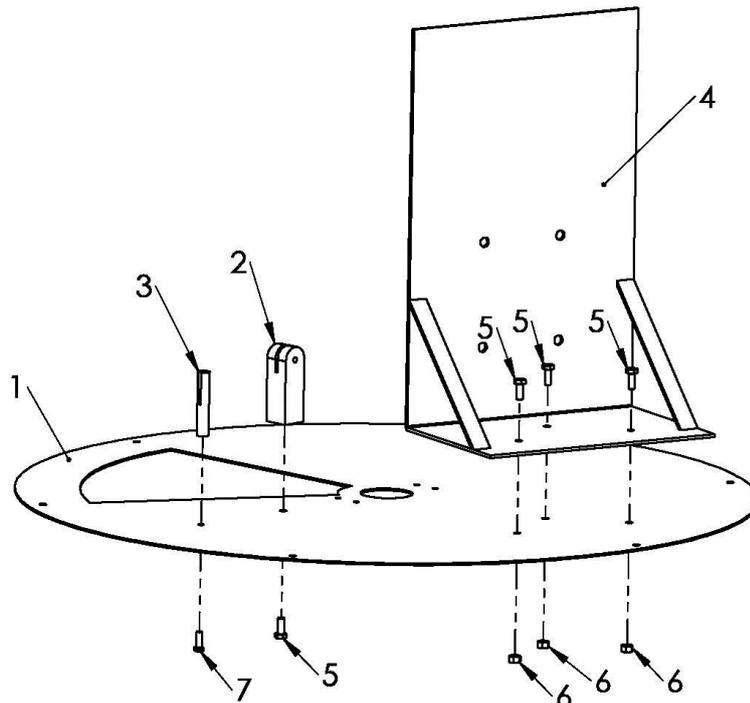
Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1	G6.1	Eixo externo	1
2	G6.2	Eixo interno	1
3	G6.3	Corpo do Misturador	1
4	G6.4	Bomba	1
5	G6.5	Conjunto superior do Misturador	1
6	G6.6	Alavanca	1
7	G6.7	Apoio superior do eixo externo	2
8	G6.8	Tampa do Misturador	1
9	ROLISA m2.5 /z 56	Engrenagem 56	2
10	RS 121-242	Mola	1
11		Parafuso sextavado M10 x 25	6
12		Porca sextavada M10	6
13		Parafuso sextavado M8 x 20	4
14		Porca sextavada M8	10
15		Parafuso sextavado M8 x 25	6
16	RS 839-000	Pino de engate 8 x 50	1
17	RS 838-984	Pino de engate 8 x 25	1
18	DRS100 M4/ RM67	Motor trifásico com caixa redutora	1
19		Parafuso sextavado M12 x 45	4
20		Porca sextavada M12	4
21		Freio de imobilização tipo mola	2

ANEXO D9 - Bomba (G6.4)



Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1	G6.4.1	Corpo da bomba	1
2	G6.4.2	Tampa da bomba	1
3	G6.4.3	Eixo da bomba	1
4		Parafuso sextavado M8 x 20	6
5		Porca sextavada M8	6

ANEXO D10 - Conjunto da placa superior (G6.5)



Item N°	Componente N°	Descrição	Quantidade
1	G6.5.1	Placa superior	1
2	G6.5.2	Suporte da alavanca	1
3	G6.5.3	Guia da mola	1
4	G6.5.4	Suporte do motor	2
5		Parafuso sextavado M10 x 20	4
6		Porca sextavada M10	3
7		Parafuso sextavado M8 x 25	1