



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

***Projecção de uma máquina para produção de briquetes a
partir da serradura de madeira***

Autor:

Nhanguatava, David Carlos

Supervisor:

Eng^o. Roberto Luciano David

Maputo, Abril de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

***Projecção de uma máquina para produção de briquetes a
partir da serradura de madeira***

Autor:

Nhanguatava, David Carlos

Supervisor:

Eng^o. Roberto Luciano David

Maputo, Abril de 2025

APROVAÇÃO DO TRABALHO

Eu, David Carlos Nhanguatava, estudante do 5º nível do curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia, da Universidade Eduardo Mondlane, submeto este trabalho como requisito para a aquisição do grau de Licenciado em Engenharia Mecânica.

Aprovado por:

Engº. Roberto Luciano David

Membro de Júri 1

Membro de Júri 2

Membro de Júri 3

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante: David Carlos Nhanguatava

Entregou no dia ____/____/20____, as ____ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência: _____

Intitulado: Projecção de uma máquina para produção de briquetes a partir da serradura de madeira

Maputo, ____ de _____ de 20____

O(A) Chefe da Secretaria

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	v
DEDICATÓRIA	vi
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xi
RESUMO	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Problemática.....	2
1.3 Problema.....	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objectivo geral	3
1.4.2 Objectivos específicos	3
1.5 Objecto de estudo	3
1.6 Perguntas da investigação	3
1.7 Justificativa.....	4
1.8 Estrutura do trabalho	4
CAPÍTULO II – REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Bioenergia	5
2.2 Biomassa	5
2.2.1 Composição da biomassa.....	6
2.2.2 Ciclo energético da biomassa	8
2.3 Tipos de fontes de energia usados na cozinha em Moçambique.....	9
2.4 Briquetes.....	10
2.4.1 Aplicações dos briquetes.....	11
2.4.2 Principais características dos briquetes	12

2.4.3 Importância do uso de briquetes	13
2.4.4 Principais vantagens e desvantagens da produção de briquetes	13
2.5 Processos de compactação de briquetes	14
2.5.1 Processos de compactação a quente e com alta pressão	14
2.5.2 Compactação por Pressão	14
2.5.3 Prensa de Pistão	15
2.5.4 Extrusora de pressão cónica	16
2.5.5 Extrusora de pressão com molde aquecido.....	16
2.5.6 Prensa de Peletização.....	17
2.6 Factores que afectam a compactação dos briquetes	18
2.6.1 Tamanho das partículas	18
2.6.2 Teor de Humidade	18
2.6.3 Pressão	19
2.6.4 Temperatura.....	19
2.7 Princípio de Pascal em Prensas hidráulicas.....	19
2.8 Tipos de solicitação nas peças.....	20
2.8.1 Tracção e compressão.....	20
2.8.2 Flexão	22
2.8.3 Corte (Cisalhamento Puro)	23
2.8.4 Torção	24
2.8.5 Esmagamento.....	25
2.8.6 Contacto.....	26
2.9 Diagramas de carregamento	26
2.10 Fadiga	28
2.11 Desgaste por abrasão	29
2.12 Flambagem	29
CAPÍTULO III - CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO	31
3.1 Região de estudo	31
3.2 Local de recolha de dados	32
3.3 Medição do teor de humidade	33
3.4 Protótipo da Máquina e o seu funcionamento	34

CAPÍTULO IV: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	35
4.1 Tipo de investigação.....	35
4.2 Instrumentos e procedimentos para recolha, tratamento e análise de dados	35
4.2.1 Instrumentos para recolha de dados.....	35
4.2.2 Tratamento dos dados	35
4.3 Métodos ou ferramentas usadas no tratamento dos dados	35
CAPÍTULO V: DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA.....	36
5.1 Condições iniciais a serem consideradas no projecto	36
5.2 Determinação do número de cilindros da matriz e dos punções	36
5.3 Escolha das molas	37
5.3.1 Cálculo da tracção mínima das molas	37
5.3.2 Cálculo testador a tracção dos parafusos olhais das molas	38
5.4 Escolha do macaco hidráulico	39
5.4.1 Cálculo da força de briquetagem	39
5.4.2 Cálculo da força de accionamento do macaco hidráulico	40
5.5 Cálculo projectivo do vão	41
5.5.1 Cálculo das reacções no vão	41
5.5.2 Cálculo dos esforços internos do vão	42
5.5.3 Cálculo para a escolha do perfil do vão.....	43
5.5.4 Cálculo testador ao cisalhamento da alma do vão	44
5.5.5 Cálculo testador ao esmagamento da alma do vão	46
5.6 Cálculo projectivo dos parafusos que unem o vão e as colunas	47
5.6.1 Determinação do diâmetro dos parafusos que unem o vão e as colunas.....	47
5.6.2 Cálculo testador ao esmagamento dos parafusos que unem o vão e as colunas.....	48
5.6.3 Cálculo testador ao cisalhamento das barras chatas pelos parafusos	49
5.6.4 Cálculo testador ao esmagamento das barras chatas pelos parafusos	50
5.7 Cálculo projectivo do bloco de punções	51
5.7.1 Cálculo dos esforços internos do bloco de punções	52
5.7.2 Cálculo para a escolha do perfil do bloco de punções.....	53
5.7.3 Cálculo testador ao cisalhamento do bloco de punções	54
5.8 Cálculo projectivo dos punções	55

5.8.1 Determinação do diâmetro externo da alma do punção	55
5.8.2 Cálculo testador ao cisalhamento da rosca do bocal do punção e parafuso acoplado ao punção.....	56
5.8.3 Cálculo testador a flambagem da alma do punção	58
5.8.4 Cálculo testador ao cisalhamento da base do punção.....	59
5.9 Cálculo projectivo da matriz	60
5.9.1 Determinação da espessura da parede e diâmetro externo da matriz	60
5.9.2 Cálculo da espessura da base da matriz.....	62
5.10 Cálculo testador dos parafuso de fixação da mesa.....	63
5.10.1 Cálculo testador ao cisalhamento dos parafusos de fixação da mesa.....	63
5.10.2 Cálculo testador ao esmagamento dos parafusos de fixação da mesa.....	64
CAPÍTULO VI: DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA, ANÁLISE DE CUSTOS E PRODUTIVIDADE	65
6.1 Descrição dos componentes da máquina.....	65
6.2 Análise de custos do Projecto.....	67
6.3 Análise da Produtividade da máquina.....	69
CAPÍTULO VII: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	70
7.1 Conclusões	70
7.2 Recomendações	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
ANEXOS	75

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sua graça e misericórdia na minha vida, provisão, iluminação no conhecimento, e pela impulsão para a realização desse trabalho e ao longo da minha carreira estudantil, pois nele coexistem todas as coisas que se necessita.

Agradeço a minha família, ou seja, ao meu pai, Carlos Xavier Fafetine Nhanguatava (em memória), à minha mãe Renalda Augusto Nhanguatava e aos meus irmãos, pelo apoio e zelo pelos meus estudos.

Agradeço ao meu supervisor, Eng^o. Roberto Luciano David, pela sua disponibilidade para comigo, pelas suas correcções e paciência, pois ele é o veículo para a autenticidade, conformidade e realização do presente trabalho.

Agradeço Eng^o. Dionísio Langa, ao Eng. Juvêncio Sobrano pela sua ajuda, à Alice Nhampulo pela provisão que me ajudou para a organização deste trabalho.

Agradeço ao Bento Macuácu, Denilson Namburete pela sua ajuda, Ernesto Nguluve, José Banze, António Massossote, Igor Chissico, Geraldo Matias, Natália, Taira Chihuho e Adelaide Tembe pela motivação.

Agradeço a todos os meus professores do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Eduardo Mondlane, que contribuíram para meu avanço no conhecimento.

Agradeço aos meus colegas Leonardo Zavala, Joaquim Impuanha, Albino Calbe, Nilton Madade, Abdul Hagy, Benjamim Macuácu, Ricardo Andrade, Ermenegildo Joia, João Nhancale, António Mazoio e todos os outros meus colegas da faculdade, pelo companheirismo e espírito de irmandade. Infelizmente não tenho como escrever o nome de todos eles e todos que foram importantes.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai Carlos Xavier Fafetine Nhanguatava (em memória), à minha mãe Renalda Augusto Nhanguatava e aos meus irmãos.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, David Carlos Nhanguatava declaro por minha honra que o presente trabalho de licenciatura é exclusivamente da minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura: _____

(David Carlos Nhanguatava)

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Composição química elementar de materiais ligno-celulósicos	7
Tabela 2: Composição média de diferentes tipos de materiais ligno-celulósicos	7
Tabela 3: Densidade e poder calorífico de resíduos e dos briquetes correspondentes.....	12
Tabela 4: Volume de serradura produzido nas serrações da cidade de Maputo	33
Tabela 5: Condições iniciais a serem consideradas no projecto	36
Tabela 6: Cálculo das reacções normais nas molas	37
Tabela 7: Características das molas de tracção escolhidas	38
Tabela 8: Cálculo da força de accionamento	40
Tabela 9: Cálculo das reacções no vão	41
Tabela 10: Cálculo dos esforços internos do vão.....	42
Tabela 11: Características geométricas do perfil HEA 120	44
Tabela 12: Valores de forças e reacções no bloco de punções	51
Tabela 13: Cálculo dos esforços internos do bloco de punções.....	52
Tabela 14: Custo da matéria-prima do projecto.....	67
Tabela 15: custos da matéria-prima, transporte, mão de obra e o valor total estimado do projecto	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma das fontes de biomassa, processos de conversão e energéticos produzidos.	6
Figura 2: Ciclo energético da biomassa.	8
Figura 3: Apresentação das fontes de energia usadas em Moçambique	8
Figura 4: Tipos de fontes de energia usados na cozinha em Moçambique	9
Figura 5: Consumo de carvão e lenha para cozinhar nas capitais provinciais de Moçambique	9
Figura 6: Briquetes de bagaço de cana-de-açúcar.....	10
Figura 7: Briquetes de casca de arroz	10
Figura 8: Briquetes de casca de algodão	11
Figura 9: Briquetes de serradura de madeira.....	11
Figura 10: Prensa de pistão	15
Figura 11: Extrusora de pressão cónica	16
Figura 12: Extrusora de pressão com molde aquecido.....	17
Figura 13: Prensa de peletização.....	17
Figura 14: Prensa hidráulica	20
Figura 15: Carregamentos por tracção e compressão	21
Figura 16: Diagramas de tensão–deformação convectivo e real para um material dúctil (aço).....	22
Figura 17: Viga em consola sob flexão.....	23
Figura 18: Cisalhamento Puro.....	23
Figura 19: Uma barra circular puramente torcional.....	25
Figura 20: Corpos mantidos em contacto por duas forças F	26
Figura 21: Tensão flutuante senoidal	27
Figura 22: Tensão repetida.....	27
Figura 23: Tensão senoidal completamente reversa	27
Figura 24: Diagrama resistência a fadiga – número de ciclos de tensão traçado com base nos resultados de ensaio de fadiga axial completamente reversa (aço UNS G41 300, normalizado	28
Figura 25: Flambagem	29
Figura 26: Colunas com vários tipos de apoio	30
Figura 27: Representação da área de estudo: Cidade de Maputo.....	32
Figura 28: Medição do teor de humidade	33
Figura 29: Protótipo de Máquina	34
Figura 30: Forças e reacções mínimas no bloco de punções no plano XOY	37
Figura 31: Mola de tracção	38

Figura 32: Parafuso olhal	39
Figura 33: Forças e reacções no bloco de punções no plano XOY	40
Figura 34: Forças e reacções no vão	41
Figura 35: Diagrama do momento flector no vão	43
Figura 36: Perfil HEA	44
Figura 37: Perfil HEA sob cisalhamento de Fac	45
Figura 38: Perfil HEA com chapas sobrepostas a alma sob cisalhamento de Fac	46
Figura 39: Perfil rectangular/ barra chata com furo que recebe parafuso	50
Figura 40: Forças e reacções no bloco de punções no plano XOY	51
Figura 41: Diagrama do esforço transversal no bloco de punções	52
Figura 42: Diagrama do momento flector no bloco de punções	53
Figura 43: Perfil U152	54
Figura 44: Bocal do punção	57
Figura 45: Punção	60
Figura 46: Matriz	63
Figura 47: Vista explodida do protótipo e sua composição	65

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<i>Símbolo/Abreviatura</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unidade</i>
A_s	Área da secção transversal do perfil	$[cm^2]$
D_{br}	Diâmetro dos briquetes	$[mm]$
D_f	Diâmetro da cabeça do fuso do macaco hidráulico	$[mm]$
F_{ac}	Força de accionamento no macaco hidráulico	$[N]$
K_{enc}	Coeficiente de enchimento	
K_{irr}	Coeficiente de irregularidade	
M_f	Momento flector máximo	$[kNmm]$
N_A / N_B	Reacção normal na mola	$[N]$
N_A^{max} / N_B^{max}	Força de tracção máxima da mola	$[N]$
P_1	Força máxima de tracção da mola	$[N]$
P_{bloc}	Peso estimado do bloco de punções	$[N]$
P_{cr}	Carga crítica ou carga axial máxima	$[kN]$
P_{mac}	Peso do macaco hidráulico	$[N]$
Q_s	Carga suportada pela mesa	$[N]$
R_{br}	Força de briquetagem	$[N]$
R_{pv}	Reacção em cada par de parafusos que unem o vão e as colunas	$[N]$
T_{max}	Esforço transversal máximo	$[Mpa]$
Z_{pf}	Número de parafusos que suportam a carga na mesa	
Z_{pv}	Número de parafusos que suportam a reacção R_{pv}	
d_e	Diâmetro externo da alma do punção	$[mm]$
d_i	Diâmetro interno da alma do punção	$[mm]$
d_{ima}	Diâmetro interno da matriz	$[mm]$
d_{ipo}	Diâmetro interno da rosca da haste do parafuso olhal	$[mm]$

d_{pf}	Diâmetro dos parafusos de fixação da mesa	[mm]
d_{pv}	Diâmetro dos parafusos que unem o vão e as colunas	[mm]
m_{briq}	Massa de briquete	[kg]
m_{sai}	Massa de saída em cada briquetagem	[kg]
p_{br}	Pressão de briquetagem	[Mpa]
t_b	Espessura da barra chata	[mm]
t_{bm}	Espessura da base da matriz	[mm]
t_{ma}	Espessura da parede da matriz	[mm]
t_w	Espessura da alma da vão	[mm]
σ_c	Tensão normal na direcção circunferencial	[Mpa]
σ_e	Tensão limite de escoamento do material	[Mpa]
σ_{esm}	Tensão de esmagamento	[Mpa]
σ_l	Tensão normal na direcção longitudinal	[Mpa]
[n]	Coeficiente de segurança recomendado	
[σ]	Tensão normal admissível	[Mpa]
[τ]	Tensão de cisalhamento admissível	[Mpa]
C(%)	Teor de carbono	
CO ₂	Dióxido de carbono	
D_m	Diâmetro médio da mola	[mm]
H(%)	Teor de hidrogénio	
N(%)	Teor de nitrogénio	
O(%)	Teor de oxigénio	
ΣF_y	Soma das forças na direcção do eixo y	[N]
ΣM_A	Soma dos momentos em torno do eixo A	[Nm]
E	Módulo de elasticidade do material	[GPa]
H	Comprimento da rosca do bocal do punção	[mm]

I	Momento de inércia	$[mm^4]$
L	Comprimento das secções de cisalhamento na barra chata	$[mm]$
P	Carga axial aplicada	$[kN]$
W	Momento ou módulo de resistência axial do vão	$[cm^3]$
i	Número de planos de cisalhamento	
σ	Tensão normal	$[Mpa]$
τ	Tensão de cisalhamento	$[Mpa]$

RESUMO

O trabalho proposto trata de projecção de uma máquina para produção de briquetes a partir da serradura de madeira, visando à substituição de combustíveis tradicionais como a lenha e os combustíveis fósseis, por um combustível ecológico, com alto poder calorífico e de baixo custo, por resultar da densificação de resíduos de biomassa sólida que geralmente podem ser encontrados em algumas indústrias e no meio ambiente em forma de desperdício. A metodologia adoptada consiste numa pesquisa bibliográfica baseada na consulta de livros, manuais, artigos científicos e páginas de web site com matérias relacionadas a produção de briquetes, resíduos de madeira, elementos e projectos de máquinas. Inicialmente, foi-se analisado as propriedades da serradura de madeira, incluindo sua humidade, densidade e poder calorífico, a fim de garantir a viabilidade da compactação. Em seguida, estudou-se os principais métodos de briquetagem, com ênfase na compactação mecânica. A máquina projectada é uma prensa composta por um sistema de compressão que utiliza um macaco hidráulico, bloco de punções e matriz cilíndrica para compactar a serradura em alta pressão, formando briquetes cilíndricos de alta densidade. No dimensionamento da máquina e o desenho do protótipo usou-se princípios da mecânica, fórmulas matemáticas, máquina calculadora, Autodesk inventor e AutoCAD. O projecto também incluiu análise de produtividade e análise de custos, e concluiu-se que pode haver o retorno de todo investimento após dois meses e uma semana.

Palavras-chave: Briquetes; Compactação; Resíduos.

ABSTRACT

The proposed work deals with the design of a machine for the production of briquettes from wood sawdust, aiming to replace traditional fuels such as firewood and fossil fuels, with an ecological fuel, with high calorific value and low cost. As it results from the densification of solid biomass residues that can generally be found in some industries and in the environment in the form of waste. The methodology adopted consists of a bibliographical research based on consultation of books, manuals, scientific articles and website pages with materials related to the production of briquettes, wood waste, elements and machine designs. Initially, the properties of wood sawdust were analyzed, including its humidity, density and calorific value, in order to guarantee the viability of compaction. Next, the main briquetting methods were studied, with an emphasis on mechanical compaction. The designed machine is a press composed of a compression system that uses a hydraulic jack, punch block and cylindrical matrix to compact the sawdust at high pressure, forming high-density cylindrical briquettes. In sizing the machine and designing the prototype, mechanical principles, mathematical formulas, a calculating machine, Autodesk inventor and AutoCAD were used. The project also included productivity analysis and cost analysis, and it was concluded that there could be a return on the entire investment after two months and one week.

Keywords: Briquettes; Compaction; Waste.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

O continente Africano encontra-se fortemente dependente da disponibilidade de combustíveis lenhosos para consumo das populações, tanto rurais como urbanas e Moçambique não está isento a esta realidade.

Entretanto, em Moçambique o aproveitamento energético da biomassa lenhosa é bastante usado principalmente nas zonas rurais. Estima-se que cerca de 80% da população utiliza lenha e carvão vegetal para fins energéticos, (DNTEF – Direcção Nacional de Terras e Florestas, 2011).

A FUNAE (Fundo Nacional de Energia), estima que Moçambique possui uma população de cerca de 23.7 milhões de habitantes dos quais cerca de 80% vivem nas zonas rurais e tem a biomassa como a principal fonte de energia. Cerca de 80% de energia consumida no país provém da biomassa lenhosa, e a procura anual desta fonte energética é estimada em 16 milhões de metros cúbicos por ano. Este fenómeno cria uma extrema pressão sobre os recursos florestais (nativos e exóticos), originando o desflorestamento.

A procura de lenha e carvão é um dos factores principais do desmatamento (Política e Estratégia de Desenvolvimento de florestas e Fauna Bravia). A vantagem de se utilizar a serradura na forma de briquetes consiste em um gerenciamento sustentável desses resíduos como forma de gerar energia em volumes compactos e mais reduzido a partir de um recurso natural renovável.

A biomassa resultante da compactação de resíduos de madeira possui um alto poder calorífico que pode ser usado como combustível. O uso da biomassa resultante dos resíduos da serradura da madeira para geração de energia está associado à redução do consumo de combustíveis fósseis por um lado e por outro a redução da pressão sobre os recursos florestais.

Actualmente a gestão ambiental é uma ferramenta indispensável na gestão de resíduos sólidos tendo enquadramento em diversos sectores da actividade humana desde doméstica até industrial de modo a garantir o uso dos recursos achados inválidos pelo aproveitamento, reaproveitamento/reutilização, reciclagem e redução.

A produção de briquetes já é bastante conhecida no exterior, principalmente nos EUA e Europa, através da briquetagem de carvão vegetal. Em Moçambique, não existe uma tradição industrial na produção de briquetes de carvão vegetal ou de resíduos de madeira.

Com o reaproveitamento dos resíduos de madeira serrada como matéria-prima na produção dos briquetes, o que era resíduo transformar-se-á em energia, ajudando assim na preservação da natureza e na economia de energia.

Este trabalho consiste em projectar e dimensionar um protótipo de uma máquina para produção de briquetes de resíduos de madeira, o processamento mecânico (a produção) destes, bem como a utilização dos mesmos como fonte alternativa para a geração de energia.

1.2 Problemática

O crescente uso da madeira no país tem contribuído substancialmente para a geração de grandes quantidades de serradura que é um resíduo sólido da madeira resultante da serragem. Este resíduo é muito pouco aproveitado para fins energéticos pelas comunidades e/ou indústrias moçambicanas.

O que se observa nas indústrias madeireiras, serrações e/ou carpintarias é que eles se limitam na maioria das vezes em amontoar seus resíduos e depois transportam para locais distantes para queimar e outros queimam no mesmo local com objectivo de reduzir o volume do resíduo. Esta disposição e destinação é ambientalmente inadequada para os resíduos sólidos de serragem e causa sérios problemas ambientais e para a saúde humana, (ALVES JÚNIOR, 2006).

De acordo com o boletim da República (2009) o desmatamento no país está associado à forte dependência da população em relação aos recursos naturais, visto que cerca de 80% da população total depende dos recursos florestais para sua subsistência.

Entretanto, podemos destacar as seguintes consequências no âmbito social-económico-ambiental:

- Poluição do solo – Os resíduos da madeira, após o seu processamento, são expostos ao ar livre e garantindo assim a perda de fertilidade e qualidades do próprio solo.
- Poluição das águas – Os resíduos da madeira agregados no ambiente, durante as chuvas intensas são removidos com as correntes das águas e se acumulam nos rios, nos lagos e

prejudicando a qualidade da própria água, modificando as propriedades específicas da água.

Segundo Vasconcellos (2002), os resíduos provocam impactos tanto de ordem social (com o acúmulo em vias públicas, a má destinação destes resíduos e surgimento de uma população “catadora”) quanto de ordem ambiental (poluição visual, proliferação de macro e micro vectores, poluição do solo, do ar e dos lençóis freáticos).

Portanto, há uma má gestão dos resíduos oriundos da madeira/serraduras, e isto gera sérios impactos negativos no âmbito social-económico-ambiental, por um lado a serradura gerada é queimada ou disposta em aterros inadequados acarretando o desprendimento de chorumes provocando danos ao ambiente, principalmente em córregos, rios e mananciais.

1.3 Problema

Como combater o desperdício e poluição provocada pelos resíduos de madeira e fazer o seu aproveitamento ou uso sustentável?

1.4 Objectivos

1.4.1 Objectivo geral

Projectar uma máquina para produção de briquetes a partir da serradura proveniente das indústrias madeireiras.

1.4.2 Objectivos específicos

- Caracterizar as briquetedeiras existentes actualmente no mercado;
- Efectuar o cálculo projectivo estrutural e de accionamento necessário;
- Simular o funcionamento da máquina;
- Analisar os custos do projecto.

1.5 Objecto de estudo

Máquina de produção de briquetes de madeira.

1.6 Perguntas da investigação

- Qual é a quantidade média de sacos de serradura produzidos pelas indústrias de madeira em Maputo?

- Qual é a pressão média necessária para briquetagem de resíduos de madeira?
- Quais tipos de máquinas de produção de briquetes existem?
- Quais são os principais campos de uso dos briquetes?

1.7 Justificativa

A proposta do presente projecto surge em virtude das seguintes razões:

- Desequilíbrio de ecossistema que pode ser resultado do uso excessivo de combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão mineral que, ao serem queimados, libertam grandes quantidades de gases de efeito estufa;
- Desperdício de resíduos gerados pelas indústrias de madeira e agroflorestal, resultando em possíveis problemas ambientais, como a poluição do solo, poluição da água e desmatamento desnecessário..

Neste contexto, a produção de briquetes de madeira surge como solução eficiente para e ambientalmente responsável para a geração de energia térmica, reduzindo o desperdício de materiais orgânicos e contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais.

1.8 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido basicamente em sete capítulos:

- Capítulo I: Está reservado à introdução, problemática, problema, objectivos geral e específico, objecto de estudo, perguntas de investigação e estrutura do trabalho;
- Capítulo II: Está reservado à revisão de literatura, onde apresentam-se os fundamentos teóricos ligados a biomassa sólida, máquinas e princípios científicos e tecnológicos;
- Capítulo III: Apresenta a contextualização da investigação;
- Capítulo IV: Apresenta a metodologia de resolução do problema;
- Capítulo V: Está reservado ao dimensionamento dos componentes da máquina;
- Capítulo VI: Está reservado para a descrição dos componentes da máquina, análise de custos e produtividade;
- Capítulo VII: Apresenta as conclusões obtidas após a realização do trabalho e recomendações.

CAPÍTULO II – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bioenergia

A bioenergia é um termo amplo que se refere a qualquer forma de energia obtida de fontes biológicas (engloba os biocombustíveis líquidos, a biomassa sólida e o biogás), (Fraza, 2015).

2.2 Biomassa

A biomassa é um tipo de matéria utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de material orgânico produzida e acumulada em um ecossistema, porém nem toda a produção primária passa a incrementar a biomassa vegetal do ecossistema. Parte dessa energia acumulada é empregue pelo ecossistema para sua própria manutenção. Suas vantagens são o baixo custo, é renovável, permite o reaproveitamento de resíduos e é menos poluente que outras formas de energias como aquela obtida a partir da utilização de combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral. (Nhambiu, 2017).

Existem, assim, algumas categorias de classificações para a biomassa, e de acordo com o documento sobre o uso da biomassa para a geração de energia (Marafon *et al.*, 2016), a biomassa pode ser classificada em dois amplos grupos: biomassa tradicional, composta fundamentalmente pela lenha e resíduos naturais e biomassa moderna, produzida a partir do uso de tecnologias avançadas e eficientes, tais como biocombustíveis líquidos, briquetes e pellets, cogeração (bagaço de cana) e os cultivos de espécies florestais plantadas e o da cana-de-açúcar.

Desse modo, de acordo com Nonhebel (2007), as biomassas mais significativas em relação à energia são aquelas obtidas de culturas energéticas e de resíduos agrícolas, originários de material vegetal, gerados no sistema de produção de outros produtos. Assim, por meio da biomassa é possível obter diversas formas de energia. As suas principais utilizações são: produção de biocombustíveis sólidos para geração de energia térmica (carvão e resíduos agroflorestais), biocombustíveis líquidos (álcool combustível e biodiesel utilizados em motores a combustão) e geração de energia eléctrica (combustão directa, gaseificação, queima de gases, entre outras tecnologias). A biomassa pode ser obtida de vegetais lenhosos, não-lenhosos e/ou de resíduos orgânicos, e transformada em energia através de diferentes processos de transformação de acordo com a figura 1 (Marafon *et al.*, 2016).

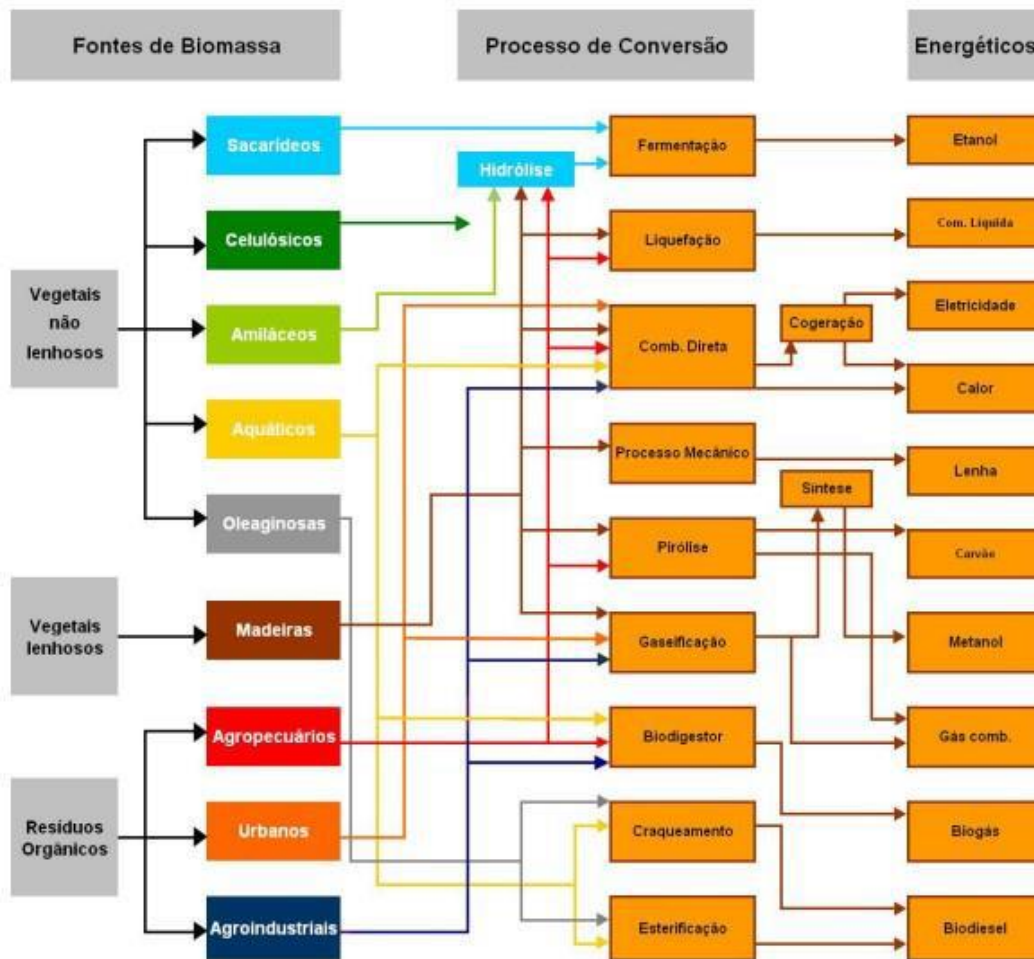


Figura 1: Fluxograma das fontes de biomassa, processos de conversão e energéticos produzidos (Fonte: ANEEL 1982).

2.2.1 Composição da biomassa

Os carboidratos, inclusive o açúcar, estão entre os componentes mais abundantes das plantas e animais. Eles são classificados como mono, di, tri, tetra e polissacarídeos, dependendo do número de moléculas de açúcar que os compõem. Praticamente todos os polissacarídeos naturais contêm cinco ou seis átomos de carbono, denominados pentoses e hexoses, respectivamente (Moreira, 2005).

O dissacarídeo conhecido como açúcar da cana, ou sucrose, pode ser quebrado por hidrólise em glucose e frutose de seis carbonos. A cana-de-açúcar e outras plantas contêm cerca de 10% a 15% de sucrose. A hidrólise do amido por ácidos ou enzimas, denominada amilase, forma a glucose (Moreira, 2005).

A biomassa celulósica é, na verdade, uma mistura complexa de polímeros naturais de carboidratos conhecidos como celulose e hemicelulose, lignina e uma pequena quantidade de outras substâncias, tais como, extrativos e cinzas. Em geral, a celulose é a maior porção e representa cerca de 40% a 50% do material. As partes remanescentes são formadas, predominantemente, por lignina e uma quantidade menor de extrativos. A porção de celulose é composta de glicose, ligadas umas as outras em longas cadeias que formam uma estrutura cristalina. Para árvores de coníferas, o componente predominante da hemicelulose é a xilose (Moreira, 2005).

Tabela 1: Composição química elementar de materiais ligno-celulósicos

Biomassa	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)
Bagaço de cana-de-açúcar	43,82	5,85	47,10	0,35
Casca de amendoim	48,26	5,66	39,39	0,81
Casca de arroz	38,92	5,12	31,95	0,55
Casca de coco	50,22	5,70	43,40	0,00
Casca de painço	42,66	6,05	33,07	0,12
Fibra de coco	47,65	5,67	45,61	0,19
Madeira	48,15	5,87	45,09	0,03
Palha de arroz	36,89	5,05	37,89	0,39
Palha de trigo	47,47	5,42	35,79	0,13
Pé de milho	41,92	5,29	45,95	0,00
Resíduo de algodão	42,66	6,05	49,50	0,12
Sabugo de milho	47,57	5,00	44,60	0,00

Fonte: Jenkins (1990).

Tabela 2: Composição média de diferentes tipos de materiais ligno-celulósicos

Biomassa	Cinza (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Bagaço de cana-de-açúcar	2,88	41,3	22,64	18,26
Casca de amendoim	5,88	35,68	18,67	30,22
Casca de arroz	23,46	31,29	24,32	14,30
Casca de coco	0,68	36,28	25,06	28,73
Casca de milho	18,10	33,28	26,94	13,97
Fibra de coco	0,88	47,74	25,89	17,78
Madeira	0,9	39,75	23,98	24,68
Palha de arroz	19,78	37,04	22,67	13,64
Palha de trigo	11,19	30,52	28,90	16,38
Pé de milho	6,84	42,71	23,61	17,50
Resíduo de algodão	5,36	77,79	15,96	0,00
Sabugo de milho	2,83	40,32	28,66	16,57

Fonte: Jenkins (1990).

2.2.2 Ciclo energético da biomassa

A queima de biomassa provoca a libertação de dióxido de carbono na atmosfera, mas como este composto havia sido previamente absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, o balanço de emissões de CO₂ é nulo.

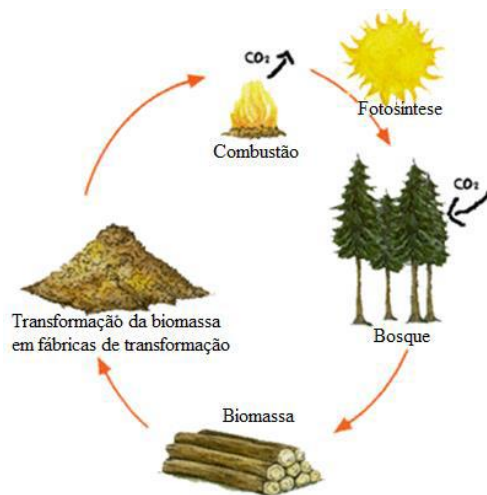


Figura 2: Ciclo energético da biomassa (Fonte: Nhambiu 2017).

A biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou eléctrica, e constitui uma das principais fontes de energia mais usadas no País (Carlos Lucas, 2020).

Dentro do sector de biomassa a lenha e o carvão vegetal são as principais fontes usadas para cozinhar, aquecer, e iluminar as zonas rurais, e os principais consumidores são o sector doméstico, público e por último o comércio e a indústria.

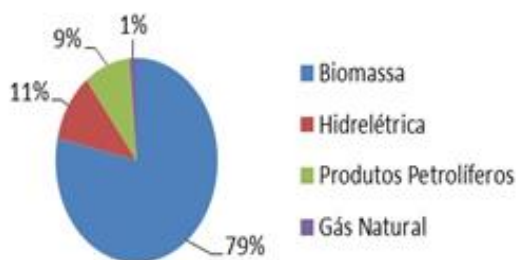


Figura 3: Apresentação das fontes de energia usadas em Moçambique (Fonte: Matavel, 2015).

2.3 Tipos de fontes de energia usados na cozinha em Moçambique

Os tipos de fontes de energia usados para cozinha em Moçambique são: Carvão Vegetal, Lenha, Petróleo, Sistema de Painel Solar, Gás Natural, Energia Eléctrica, Querosene, Briquetes (Lenha Ecológica).



Figura 4: Tipos de fontes de energia usados na cozinha em Moçambique (Fonte: energypedia 2022).

Segundo a (FUNAE, 2022), o maior combustível doméstico utilizado pela população, e especialmente nas zonas rurais, sendo a maior parte dos Moçambicanos vivendo nesta zona é sem duvida a lenha e o carvão vegetal, e os outros combustíveis domésticos são utilizados por um número menor de consumidores. E este facto cria uma pressão sobre as florestas, onde o desflorestamento vem cada vez mas assolando o país.

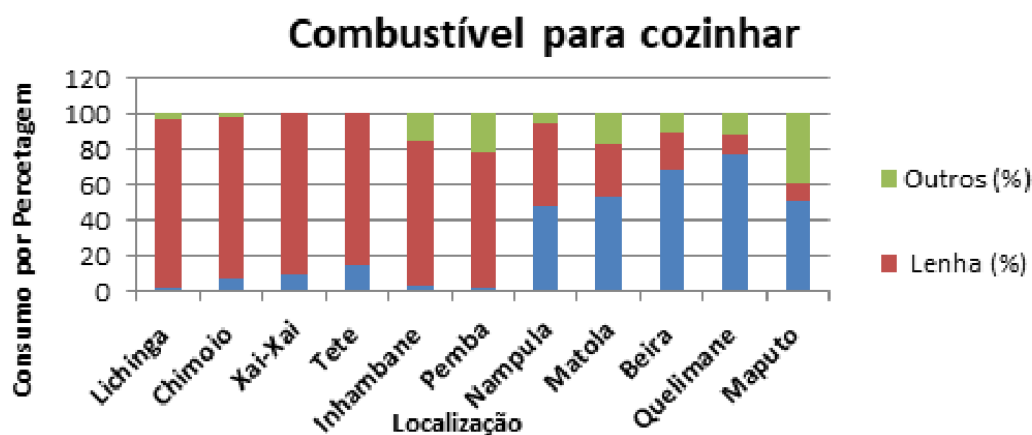


Figura 5: Consumo de carvão e lenha para cozinhar nas capitais provinciais de Moçambique (Fonte: Albano, 2014).

2.4 Briquetes

Os briquetes são materiais compactados combustíveis produzidos a partir de resíduos de biomassa de origem vegetal (resíduos agrícolas), pó de carvão vegetal (misturado com um aglutinante), que serve para juntar todos os elementos num único composto (AQUINO, 2018).

O bioproduto briquete é uma fonte concentrada e comprimida de material energético. Trata-se de uma lenha ecológica (bioenergética) que substitui com eficácia o gás, a energia eléctrica, o carvão vegetal, carvão mineral e a lenha, bem como outros combustíveis utilizados nos diversos processos industriais.

A produção do bioproduto (briquete) pode ser a partir de qualquer resíduo vegetal, por exemplo de serradura de madeira, casca de arroz, sabugo e palha de milho, palha e bagaço de cana-de-açúcar, casca de algodão, casca de café, feno ou excesso de biomassa de gramíneas forrageiras, cascas de frutas, cascas e caroços de palmáceas, folhas e troncos das podas de árvores nas cidades, dentre outros.



Figura 6: Briquetes de bagaço de cana-de-açúcar (Fonte: MF Rural, 2012).



Figura 7: Briquetes de casca de arroz (Fonte: MF Rural 2012).



Figura 8: Briquetes de casca de algodão (Fonte: MF Rural 2012).



Figura 9: Briquetes de serradura de madeira (Fonte: Energypedia 2022).

2.4.1 Aplicações dos briquetes

O briquete é um substituto directo da lenha em muitas aplicações, incluindo o uso residencial, em indústrias e estabelecimentos comerciais como:

- Olarias;
- Cerâmicas;
- Padarias;
- Pizzarias;
- Lacticínios;
- Caldeiras industriais,
- Fábricas de alimentos;
- Indústrias químicas;
- Indústrias têxteis e de cimento;
- Churrasqueiras; etc

No entanto, nos países desenvolvidos, estes resíduos são utilizados para a produção de produtos derivados da madeira, como os aglomerados, os pellets, os briquetes, entre outros. Estes procedimentos são considerados ambientalmente sustentáveis, economicamente viáveis e socialmente correctos (Nasser et al., 2016).

O processo de briquetagem teve origem na Europa, ainda no início do século XX (REIS et al., 2002). No Brasil, uma das primeiras iniciativas foi realizada no início da década de 60 na CSBN (Companhia Siderúrgica Belgo Mineira) (Carvalho e Brinck, 2004).

Este processo na aplicação de pressão em uma massa de partículas dispersas, com objectivo de torná-las um sólido geométrico compacto de alta densidade, com auxílio ou não de um aglutinante, sendo utilizado como fonte de geração de energia.

Os aglutinantes são utilizados quando o material a ser aglomerado não possui resistência à compressão e ao impacto, após a compactação. O resíduo de madeira contém lignina em sua composição o que dispensa a utilização de aglutinantes naturais ou químicos uma vez que este em temperatura acima de 100° C é plastificada atuando como uma cola entre as partículas durante a compactação (BARROS, 2013).

2.4.2 Principais características dos briquetes

Os briquetes têm densidade de 550-615 kg/m³, diâmetro de aproximadamente 60 mm e comprimento de 250 a 300 mm. Têm poder calorífico superior (PCS) na faixa de 15,4 MJ/kg a 20,1 MJ/kg e humidade entre 7 e 12%. A quantidade de cinzas depende da fonte de matéria prima utilizada. Para exportação, esse biocombustível sólido deve atender às normas técnicas do cliente ou do país importador (PFEIFER, 2016). A recente preocupação ambiental, que resultou em leis cada vez mais rígidas, fez com que a briquetagem ganhasse um novo impulso de aplicação na indústria.

Tabela 3: Densidade e poder calorífico de resíduos e dos briquetes correspondentes.

Tipos de resíduos	Densidade natural do resíduo (kg/m ³)	Densidade do briquete (kg/m ³)	Poder calorífico (kcal/kg)
Palha de milho	33	550	3570
Pó de serra	274	570	4880
Aparas de madeira	112	565-615	4800
Casca de algodão	150	615	4300
Casca de arroz	150	610	3730
Bagaço-de-cana	180	500-600	3700

Fonte: Quirino (2002) e Marchiori (2006).

2.4.3 Importância do uso de briquetes

A briquetagem é uma forma eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa. Este facto pode ser explicado pela consideração de que 1,00 m³ de briquetes contém pelo menos quatro vezes mais energia que 1,00 m³ de resíduos, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio destes materiais (ABREU, 2007). Carvalho e Brink (2015) afirmaram que, em comparação com a lenha, seu concorrente directo, o briquete possui maior densidade energética, tem maior rapidez na geração de temperatura e calor, proporciona redução dos custos de transporte, proporciona menor custo de manuseio, infraestrutura de armazenamento, movimentação, mão-de-obra, encargos sociais, maior apelo ambiental por ser produzido de resíduos. O uso dos briquetes é importante porque:

- Impulsiona o uso racional dos resíduos gerados nas carpintarias;
- Reduz grandes desperdícios de matéria-prima;
- Reutiliza a matéria-prima que seria descartada;
- Agrega valor para as serraduras e produz ganhos financeiros para as empresas geradoras desta matéria-prima.

2.4.4 Principais vantagens e desvantagens da produção de briquetes

Segundo ENERGYPEDIA (2022), o processo de briquetagem apresenta uma série de vantagens, tais como:

- Produz menos fuligem;
- Possui maior poder calorífico;
- Retira do meio ambiente resíduos poluidores, dando a eles uma função ecologicamente correcta e rentável;
- É produzido a partir de resíduos, por tanto, estamos a usar material que não seria usado e seria descartado;
- Melhor aparência, maior higiene, óptimo para uso em indústrias alimentícias e estabelecimentos de alimentação;
- São produzidos em tamanhos padrões e formato geométrico, por tanto facilita o transporte, a manipulação e armazenamento;

- O briquete é vendido por peso e com humidade controlada, o que facilita a fiscalização daquilo que se está a comprar: vantagem para o consumidor;
- Alta temperatura de chama, pelo que facilita seu uso em todo o tipo de fogareiros tradicionais;
- O reaproveitamento de resíduos gera novos empregos.

Segundo Silva (2007), as desvantagens do uso dos briquetes são:

- Altos investimentos em equipamentos e gastos de energia no processo;
- Tendência destes em se desmancharem quando expostos à água ou submetidos à alta humidade;
- Dificuldade de obter resíduos sem contaminantes para a combustão;
- Alta carga tributária incidente na venda do produto e nos equipamentos utilizados.

2.5 Processos de compactação de briquetes

O processo de compactação da biomassa pode ser dividido em duas principais categorias: compactação quente em alta pressão e compactação fria em baixa pressão.

Basicamente a compactação pode ser feita por prensa de pistão e extrusora de pressão. A extrusora de pressão pode ser de dois tipos: pressão cónica e pressão com molde aquecido.

2.5.1 Processos de compactação a quente e com alta pressão

A Compactação a quente e com alta pressão é essencialmente um processo de compactação de biomassa sob condições de aquecimento. Esse aquecimento da biomassa existe devido à fricção exercida durante a compactação. A briquetagem sob temperaturas elevadas pode ser aplicada aos resíduos de biomassa sem o uso de ligantes, devido à decomposição da lignina da biomassa em temperaturas elevadas, a qual age como um ligante natural para as partículas. A compactação a quente e com alta pressão é o processo mais comumente utilizado pelas empresas (SILVA, 2007).

2.5.2 Compactação por Pressão

Dependendo do tipo de equipamento usado, a compactação pode ser categorizada em três principais tipos: Compactação por prensa de pistão, compactação por extrusora de pressão e peletização. Os produtos para os dois primeiros tipos de compactação são relativamente de grande

tamanho e normalmente recebem o nome de briquetes. O material originado no último tipo recebe o nome de *pellets* devido ao seu pequeno tamanho e uniformidade, os *pellets* são particularmente usados por sistemas de alimentação de combustão automatizados.

Os principais países que produzem máquinas e equipamentos para compactação são: Alemanha, França, Bélgica, Brasil, Tailândia, Japão e Taiwan (SILVA, 2007).

2.5.3 Prensa de Pistão

A prensa de pistão, consiste em empurrar o material através de uma matriz cônica, num movimento contínuo de vai-e-vem, sendo a alimentação feita por um funil. O material é empurrado pelo pistão para o molde e devido à alta pressão ocorre uma fricção, resultando em um material que atinge uma temperatura entre 150 °C – 200 °C durante o processo.

Essa alta temperatura actuante no resíduo causa a modificação da elasticidade natural das suas fibras, formando um novo produto com características diferentes, que recebe o nome de briquetes. A máquina de prensa de pistão eléctrica é colocada numa base fixa. A prensa de pistão com esteira hidráulica é uma tecnologia de desenvolvimento relativamente recente. A prensa de pistão, em geral, é provida de um longo tubo. Esse tubo serve para a produção de briquetes cilíndricos de alta densidade. O resfriamento é necessário para solidificar a lignina presente no briquete.

As máquinas possuem uma capacidade que pode variar de 40 kg/h a 1.500 kg/h. Entretanto, algumas máquinas podem chegar a 2.500 kg/h. Os briquetes são quase sempre cilíndricos, com diâmetros entre 50 mm a 100 mm. Devido às altas pressões, ocorrem problemas de desgastes na camisa do pistão, em decorrência do constante atrito ocorrido nas peças. (SILVA, 2007).

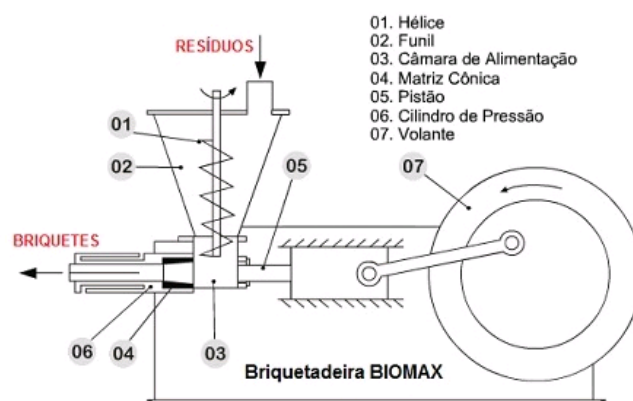


Figura 10: Prensa de pistão (Fonte: BIOMAX, 2023)

2.5.4 Extrusora de pressão cônica

Esse tipo de equipamento é uma máquina compactadora de resíduos. A extrusora força o material a entrar comprimido na câmara e molda o material através de uma matriz, produzindo briquetes de diâmetro de aproximadamente 2,5 cm; em seguida, uma faca corta o produto compactado no comprimento especificado. A extrusora de pressão cônica pode ser usada também para produzir briquetes com diâmetros de 10 cm, sendo que para isso torna-se necessário aumentar a matriz (SILVA, 2007).

Este tipo de briquetadeira produz briquetes com furo central e em processo contínuo. A potência deste modelo de briquetadeira é de 40 KW e produção média de 300 a 500 kg.h-1 (CARNEIRO, 2012).

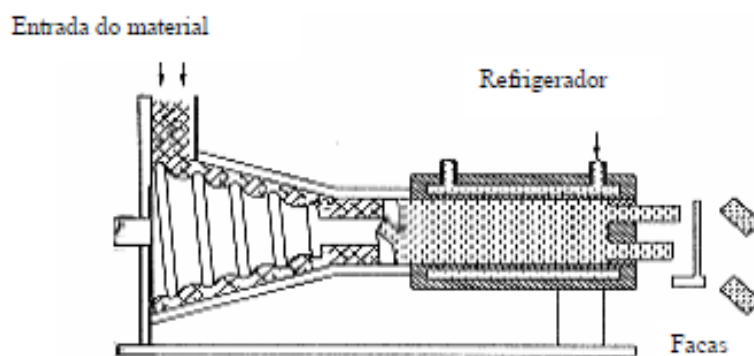


Figura 11: Extrusora de pressão cônica (Fonte: SILVA, 2007).

2.5.5 Extrusora de pressão com molde aquecido

Nesse tipo de extrusora, o material é forçado a passar directo por uma parte estreita, cônica, levemente aquecida, com um molde de saída. Normalmente seu accionamento é eléctrico. O formato do molde dos briquetes pode ser circular ou quadrado, sendo este último com os cantos arredondados. O orifício central serve para aumentar a densificação do material, devido à rotação da extrusora e eliminar a fumaça devido à pirólise parcial na superfície. Os briquetes apresentam de 5 a 10 cm de diâmetro. O material aquece acima de 200 °C durante o processo, sendo a maior parte do aquecimento causada pela existência do atrito entre as partículas. As máquinas possuem capacidade de briquetagem que pode variar de 50 a 800 kg.h-1 (CARNEIRO,2012).

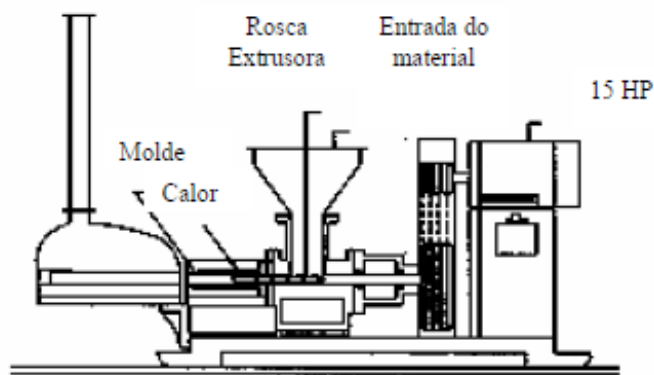


Figura 12: Extrusora de pressão com molde aquecido (Fonte: SILVA 2007).

2.5.6 Prensa de Peletização

Esse tipo de prensa consiste de um molde e um cilindro. O molde rola em contacto com o cilindro. O material a ser peletizado é atritado por pressão e forçado directamente para fora do molde. O material compactado sai do molde com um formato uniforme e contínuo. Sendo cortado com facas no comprimento desejado.

A capacidade dessas máquinas pode variar de 1 t/h a 30 t/h. Dependendo do corte transversal que passa pelo molde, obter-se-á um produto no formato de um *pellet* ondulado. As máquinas peletizadoras podem ser fixas ou móveis, montadas em um sistema de carregamento fora da máquina colheitadeira. O tamanho dos *pellets* são normalmente de 5 mm a 15 mm de diâmetro, com um comprimento de 30 mm.

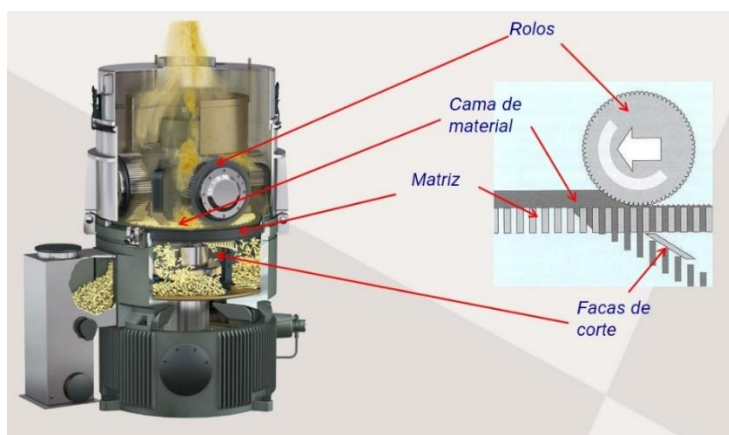


Figura 13: Prensa de peletização (Fonte: TMSA, 2008).

2.6 Factores que afectam a compactação dos briquetes

Existem vários factores que afetam a compactação. Nesse contexto, é possível mencionar alguns parâmetros, tais como o tamanho de partícula, o teor de humidade, a densidade, bem como variáveis de processo tais como, pressão e temperatura.

2.6.1 Tamanho das partículas

Os resíduos apresentam-se na forma de partículas pequenas, tais como, serradura de madeira, casca de café e casca de arroz podem ser usados, directamente, como materiais na alimentação para o processo de briquetagem. Entretanto, a biomassa com partículas maiores, tais como, casca de amendoim, cascas de algodão etc. não pode ser compactada directamente; estas partículas devem ser reduzidas a um menor tamanho para poderem ser compactadas adequadamente. (SILVA, 2007).

Quanto menor a partícula mais fácil será o processo de compactação. Nas partículas menores há uma maior ligação devido a uma maior área de superfície (KOULLAS E KOUKIOS, 1987). Segundo o estudo de Trezek et al. (1981), a utilização de partículas menores provoca aumento na densidade do material compactado.

Baseado em estudos de laboratório, Motolesy e For (1986) relataram que partículas menores resultaram na obtenção de briquetes mais densos. Também foi relatado um aumento na força necessária para a compactação de briquetes com partículas de maior tamanho.

2.6.2 Teor de Humidade

O Teor de humidade pode se definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base húmida quanto na base seca, qual pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetido a secagem (Oshiro, 2016).

A matéria prima deve estar suficientemente seca para evitar fracturas no briquete devido à expansão de gases, na maioria das vezes vapor de água. Entretanto, para que a aglomeração das partículas tenha sucesso, é necessário que a humidade esteja compreendida entre 8 e 15% (CARNEIRO, 2012). De acordo com Schaap (1985), é impossível a compactação de um resíduo sem humidade, sendo a presença da água necessária para ocorrer o amolecimento da lignina.

Entretanto, um teor de humidade elevado causa a formação de vapor durante a compactação, ocorrendo explosões.

A presença de água no material favorece a transferência de calor, promovendo o amolecimento da lignina e consequentemente a ligação entre as partículas durante a compactação. O teor de humidade também é importante para os processos com adição de aglutinante, pois a água ajuda na solubilização dos aglutinantes durante a mistura destas substâncias (CARVALHO e BRINCK, 2004). A faixa apropriada de humidade para a briquetagem em extrusora de matriz aquecida é de 8% a 12% (SILVA, 2007).

2.6.3 Pressão

A pressão é o mecanismo responsável pela compactação do material e pela transferência de energia na forma de calor para as partículas. Esse aquecimento ocorre devido ao atrito entre as partículas durante a compactação. A pressão necessária para a produção de briquetes depende da temperatura em que estes precisam para serem compactados (BARROS, 2013). A densidade do produto final aumenta com o aumento da pressão aplicada (SILVA, 2007).

2.6.4 Temperatura

A temperatura é um dos parâmetros mais importantes que afetam o processo e as propriedades do produto compactado. A força de compressão necessária para a produção de briquetes depende da temperatura em que eles são compactados (SILVA, 2007).

O resíduo de madeira contém lignina em sua composição na qual este em temperatura acima de 100° C é plastificada actuando como uma cola entre as partículas durante a compactação (BARROS, 2013).

2.7 Princípio de Pascal em Prensas hidráulicas

A pressão exercida num ponto de um fluido em repouso transmite-se integralmente a todos pontos do fluido (Brunetti, 2015).

Isto significa que, quando aumentamos de uma quantidade P a pressão exercida na superfície livre de um líquido em equilíbrio, todos os pontos do líquido sofrerão o mesmo acréscimo de pressão

P. Uma aplicação prática do princípio de Pascal é a da prensa hidráulica, ilustrada na figura abaixo. (Carvalho, 2002).

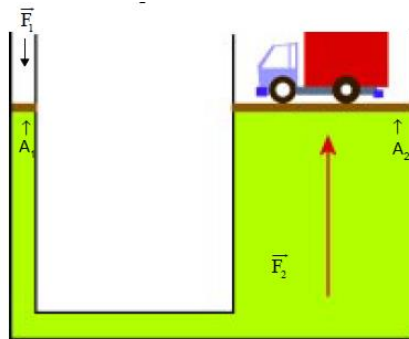


Figura 14: Prensa hidráulica (Fonte: Carvalho, 2002).

A força F_1 exercida no êmbolo de área A_1 provoca um acréscimo de pressão no líquido:

$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Pelo princípio de Pascal, este acréscimo de pressão transmite-se pelo líquido, atingindo, neste caso, o êmbolo de área A_2 . Se a área aumentou, a força exercida sobre o êmbolo também crescerá a fim de manter constante a pressão.

2.8 Tipos de solicitação nas peças

2.8.1 Tracção e compressão

Podemos afirmar que uma peça está submetida a esforços de tracção ou compressão, quando uma carga normal (tem a direcção do eixo da peça) F , actuar sobre a área da secção transversal da peça. Quando a carga actuar no sentido dirigido para o exterior da peça, a peça está sujeita à tracção. Quando o sentido da carga estiver dirigido para o interior da peça, a barra estará comprimida (Welzk, 1985).

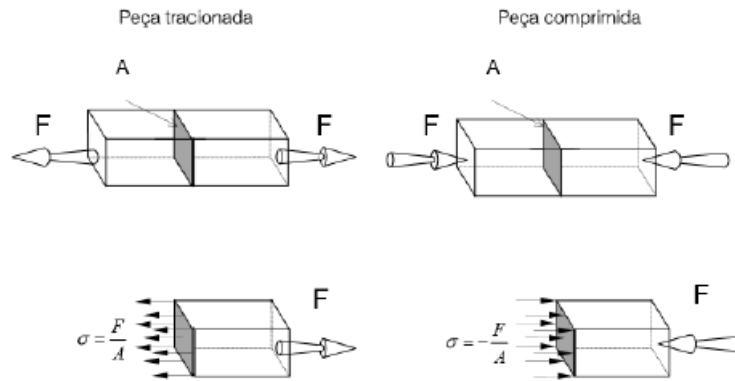


Figura 15: Carregamentos por tração e compressão (Fonte: Welzk, 1985).

Para barras em secção transversal uniforme, sendo estas submetidas a esforços de tração ou compressão, pode-se escrever a seguinte equação para a deformação:

$$\delta = \frac{F.L}{E.A}$$

Esta equação não é válida para barras longas submetidas à compressão, pois estas sofrem flambagem. Nesta relação:

δ - é o alongamento (deformação) total da barra, em m (ou mm).

F - é a força de tração ou compressão, em N

L - é o comprimento da barra, em m (ou mm)

A - é a área da secção transversal da barra, em m² (ou mm²)

E - é o módulo de elasticidade ou módulo de Young, em Pa (ou MPa)

Segundo a lei de Hooke, em certos limites, a tensão do material é proporcional à deformação que a gera. Esta lei é válida para muitos (mas não todos) os materiais quando a tensão produzida não causa deformações permanentes. Os materiais cujo comportamento obedece a lei de Hooke são elásticos. Para estes materiais, a lei de Hooke pode ser escrita na forma:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Onde:

E - é a constante de proporcionalidade chamada "módulo de elasticidade" ou "módulo de Young".

ε – é o alongamento (deformação) específico (a).

A tensão devida a esforços axiais de tracção ou compressão de uma barra é:

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq [\sigma]$$

Onde: σ - é a tensão devida à força F ;

$[\sigma]$ - é a tensão admissível.

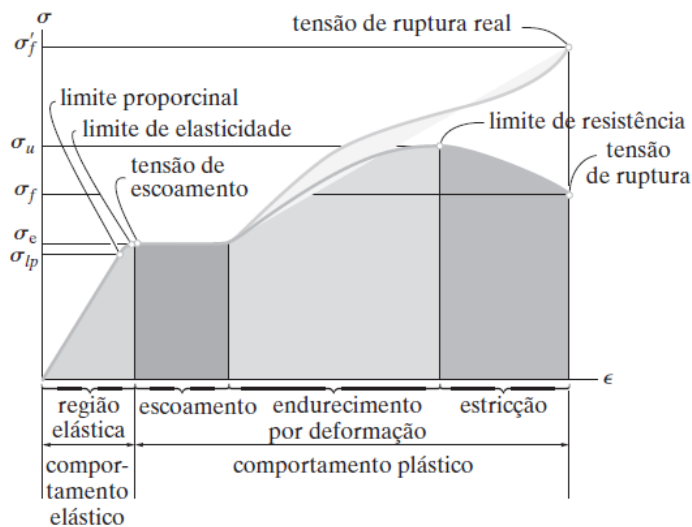


Figura 16: Diagramas de tensão-deformação convencional e real para um material dúctil (aço)
(Fonte: Hibbeler, 2010).

2.8.2 Flexão

Falamos de flexão, se uma viga é solicitada por momentos, cujos vectores são perpendiculares ao seu eixo, e/ou forças transversais. Sob a acção de tal carga o eixo da viga sofre uma curvatura, isto é, sob acção de cargas de flexão, algumas fibras longitudinais que compõem o corpo sólido são submetidas à tracção e outras à compressão, existindo uma superfície intermediária onde a deformação (δ) e a tensão (σ) para as fibras nela contidas tornam-se nulas, isto é, não se encurtam e nem se alongam. Esta superfície é chamada de superfície neutra. A superfície neutra intersecta uma dada secção transversal da barra segundo uma recta chamada linha neutra.(Welzk, 1985).

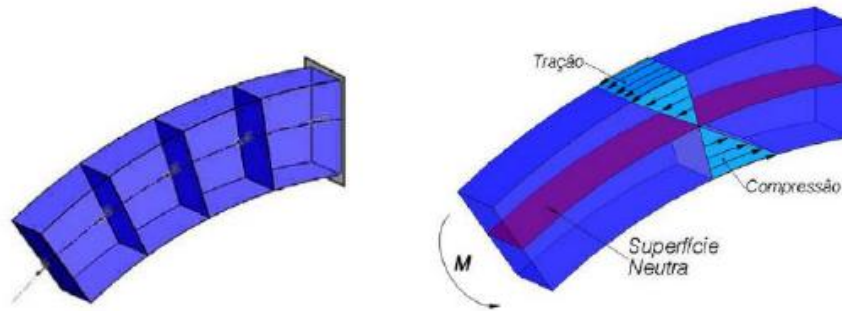


Figura 17: Viga em consola sob flexão (Fonte: Welzk, 1985).

Os esforços de tracção e compressão aumentam à medida que se afastam da superfície neutra, atingindo sua intensidade máxima nas fibras mais distantes a ela.

A tensão normal devida à flexão é máxima na superfície exterior da peça. O seu valor calcula-se por:

$$\sigma = \frac{M_f}{W} \leq [\sigma]$$

Onde:

M_f - é o momento flector máximo na barra

$[\sigma]$ - é a tensão normal admissível (tracção/compressão)

W - é o momento ou módulo de resistência axial.

Os momentos de resistência de perfis de barras são tabelados em manuais, para as secções transversais mais comuns.

2.8.3 Corte (Cisalhamento Puro)

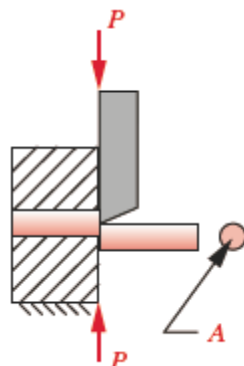


Figura 18: Cisalhamento Puro (Fonte: Norton, 2013).

Quando uma peça está submetida a esforços transversos ocorre um tipo de carregamento designado "cisalhamento", em que as partículas do material tendem a deslizar umas sobre as outras, ao invés de um simples aumento ou diminuição das distâncias inter-atômicas causados por tensões normais. As tensões de cisalhamento tendem a distorcer (“desfigurar”) o corpo. A tensão de cisalhamento pode ser definida por:

$$\tau = \frac{P}{A} \leq [\tau]$$

Onde: P - é a carga aplicada

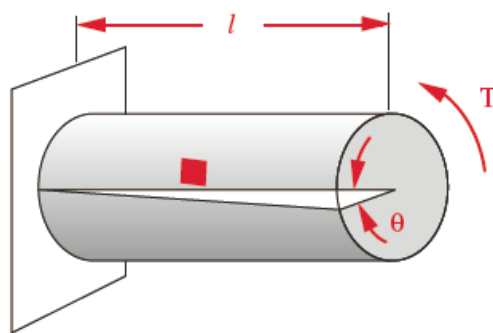
A - é a área de cisalhamento a ser cortada;

$[\tau]$ - é a tensão de Cisalhamento admissível

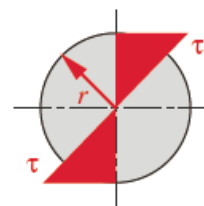
A suposição aqui é que a tensão de cisalhamento é uniformemente distribuída na secção transversal. Isso não é exactamente correcto, pois maiores tensões locais ocorrem próximo à lâmina. (Norton, 2013).

2.8.4 Torção

Quando barras são solicitadas por um momento em relação ao seu eixo longitudinal, diz-se que estão sob torção, e o momento aplicado é então denominado torque ou momento torsor. Essa situação é comum em eixos que transmitem potência, em aparafusadores e em qualquer situação em que o vector do momento aplicado seja paralelo ao eixo longitudinal de um corpo, em vez de ser transversal a ele como no caso da flexão (Norton, 2013).



(a) Deflexão θ



(b) Distribuição da tensão de cisalhamento τ

Figura 19: Uma barra circular puramente torcional (Fonte: Norton, 2013)

O momento torsor T origina tensões tangenciais τ que são proporcionais à distância desde o centro de gravidade da secção transversal até ao ponto em consideração (Figura 19 (b)). Sendo assim, o valor máximo das tensões ocorre na superfície externa e tem o valor expresso na seguinte condição de resistência:

$$\tau = \frac{T}{W_p} \leq [\tau]$$

Onde:

$[\tau]$ - é a tensão tangencial admissível.

W_p - é o momento polar de resistência. Também ser calculada pela fórmula: $W_p = \frac{J}{\rho}$

Onde: J - é o momento polar de inércia da secção transversal.

ρ - é raio até qualquer ponto, cujo ρ máximo é o raio r (raio da superfície externa)

O ângulo de rotação θ da extremidade de uma barra uniforme, causado por um momento torsor, pode ser expresso por:

$$\theta = \frac{T.l}{J.G}$$

Onde: l - é o comprimento da barra;

G - é o módulo de elasticidade transversal do material.

2.8.5 Esmagamento

O esmagamento é um tipo de carregamento que se verifica em superfícies sujeitas a esforços de compressão. A essência da condição de capacidade de trabalho das peças sujeitas ao esmagamento não difere da limitação da tensão de compressão:

$$\sigma_{\text{esm}} = \frac{F}{A} \leq [\sigma]$$

Onde: σ_{esm} - é a tensão de esmagamento;

F - é a força aplicada;

A - é a área de contacto.

2.8.6 Contacto

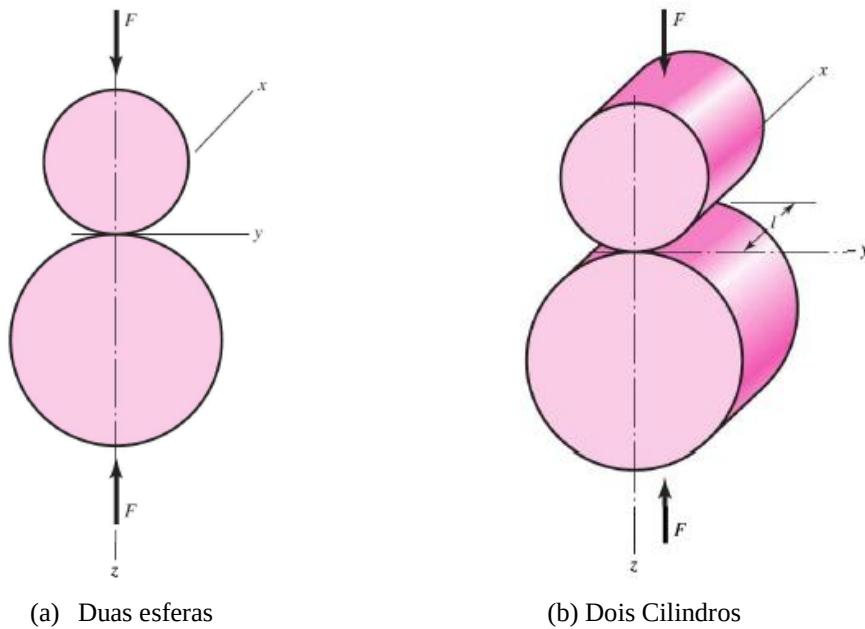


Figura 20: Corpos mantidos em contacto por duas forças F (Fonte: Budynas et al, 2011).

Quando duas superfícies estão em contacto e são pressionadas uma contra a outra por uma força F , surgem tensões localizadas na zona de contacto. Se as superfícies em contacto não forem planas, as tensões são concentradas sobre uma pequena zona de contacto. Quando a forma dos corpos em contacto é esférica o contacto é quase que pontual. Se os corpos forem cilíndricos e paralelos o contacto é do tipo linear. Para fins práticos, o contacto verifica-se sempre numa área que é tanto menor quanto menores forem os raios das superfícies em contacto (Sitoe, 2010).

2.9 Diagramas de carregamento

O tipo de destruição ou deterioração das peças é determinado pelas cargas que actuam, para além do carácter da conjugação entre as peças. Em geral, as cargas são variáveis. Mesmo as cargas constantes no espaço podem provocar tensões variáveis em peças giratórias. As tensões variáveis são caracterizadas por meio de um dado ciclo de variação das tensões onde se distinguem algumas características como a presença ou ausência de mudança de sentido das mesmas tensões.

Os tipos de carregamentos de tensão são:

a) Carga flutuante

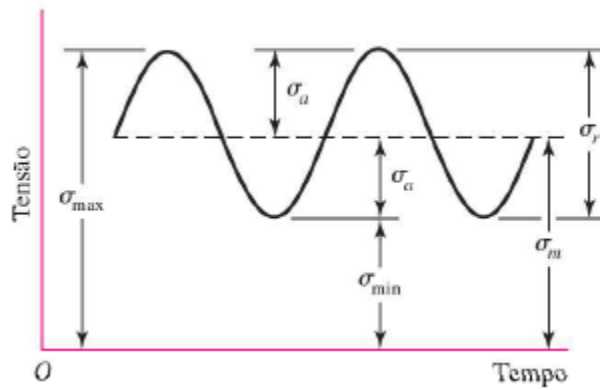


Figura 21: Tensão flutuante senoidal (Fonte: Budynas et al, 2011).

b) Carga repetida

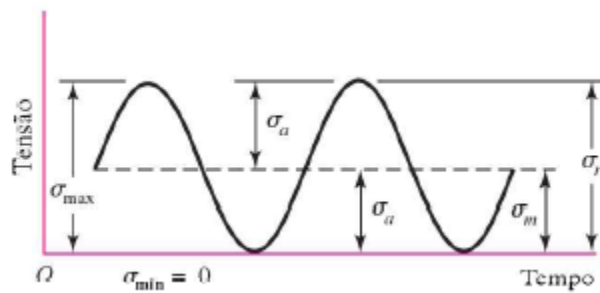


Figura 22: Tensão repetida (Fonte: Budynas et al, 2011).

c) Carga cíclica completamente revertida

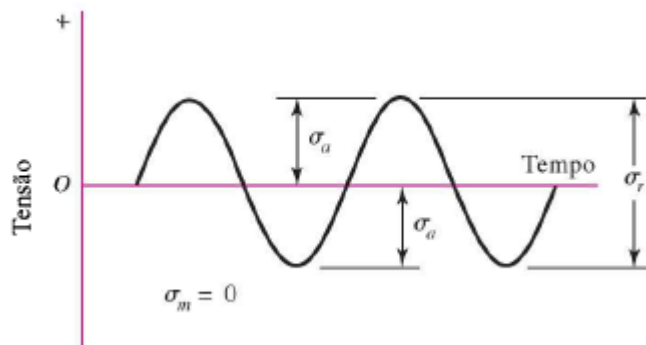


Figura 23: Tensão senoidal completamente reversa (Fonte: Budynas et al, 2011).

2.10 Fadiga

A fadiga é um fenómeno de surgimento de micro-fissuras nas peças, causado por cargas cíclicas que podem ser muito inferiores às cargas estáticas admissíveis. Geralmente, estas fissuras aparecem em diversos sítios e vão-se desenvolvendo até que a secção remanescente da peça se torna insuficiente para suportar as cargas de serviço. Nesta altura ocorre uma quebra repentina da peça. Por esta razão, as avarias por fadiga são muitas vezes inesperadas pois pode não haver sintomas externos, o que é diferente do desgaste (Sitoe, 2010).

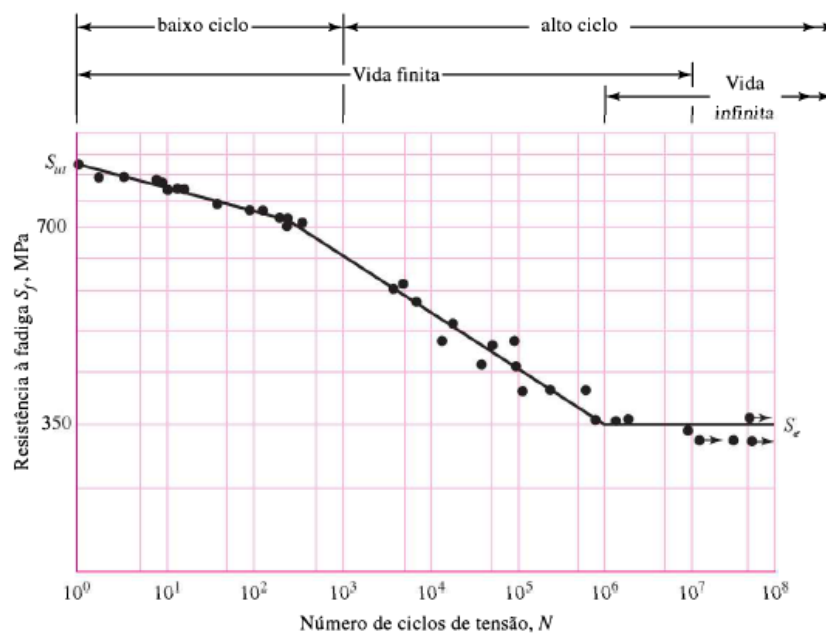


Figura 24: Diagrama resistência a fadiga – número de ciclos de tensão traçado com base nos resultados de ensaio de fadiga axial completamente reversa (aço UNS G41 300, normalizado) (Fonte: Budynas et al, 2011).

A ordenada do diagrama resistência a fadiga – número de ciclos de tensão é chamada de *resistência à fadiga* S_f ; uma declaração desse valor de resistência deve sempre ser acompanhada por uma declaração do número de ciclos N para o qual ela corresponde (Budynas et al, 2011).

No caso de aços, ocorrerá um joelho no gráfico, e além desse joelho não ocorrerá falha, não importa quão grande seja o número de ciclos. A resistência correspondente ao joelho é chamada de *limite de endurance* S_e (Budynas et al, 2011).

2.11 Desgaste por abrasão

A abrasão ocorre de dois modos distintos, denominados processos de desgaste por abrasão a dois corpos ou três corpos. A abrasão a dois corpos se refere a um material duro e rugoso deslizando sobre um material mais mole. A superfície mais dura penetra na superfície mais mole e dela retira material. Um exemplo é uma ferramenta utilizada para usinar uma peça de metal. A abrasão a três corpos se refere à introdução de partículas duras entre duas superfícies deslizantes, sendo pelo menos um dos dois corpos mais mole do que as partículas. As partículas duras causam abrasão em uma das superfícies ou em ambas. O esmerilhamento e o polimento se encaixam nessa categoria. Abrasão é, então, um processo de remoção de material no qual as superfícies afectadas perdem massa a uma taxa controlada ou não (Norton, 2013).

2.12 Flambagem

Flambagem é a deflexão lateral que ocorre em elementos estruturais compridos e esbeltos, sujeitos a uma força de compressão axial (Hibbeler, 2010).

A carga axial máxima que uma coluna pode suportar quando está na iminência de sofrer flambagem é denominada *carga crítica*, P_{cr} . Qualquer carga adicional provocará flambagem na coluna.

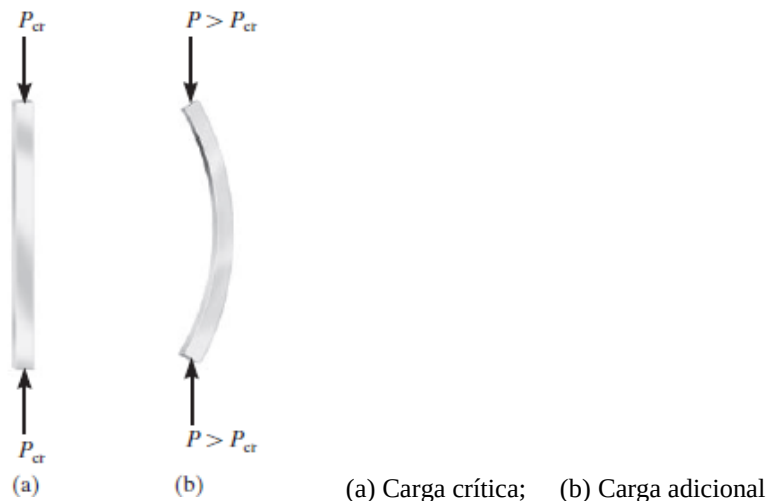


Figura 25: Flambagem (Fonte: Hibbeler, 2010)

A equação geral da flambagem para uma coluna comprida e esbelta para diferentes tipos de apoio pode ser escrita como:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

Onde: P_{cr} – é a carga crítica ou carga axial máxima na coluna imediatamente antes do início da flambagem;

E – é o módulo de elasticidade para o material;

I – é o menor momento de inércia para a área da secção transversal da coluna;

L – é o comprimento da coluna sem apoio, cujas extremidades estejam presas por pinos.

K – é o factor de comprimento efetivo, cujo o seu valor varia em função dos tipos de apoio.

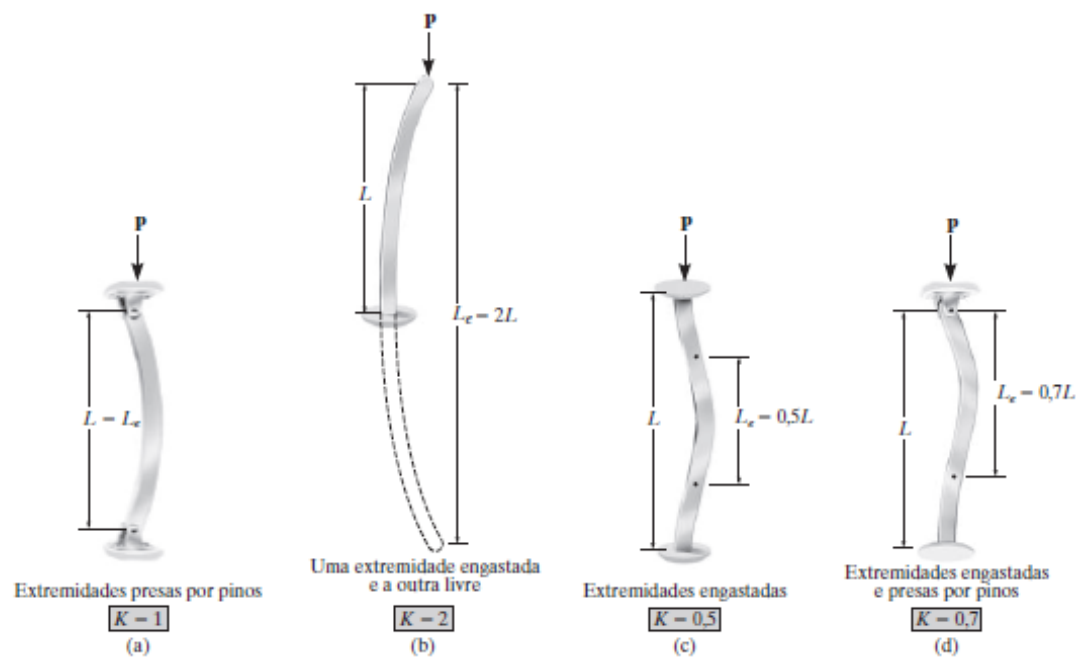


Figura 26: Colunas com vários tipos de apoio (Fonte: Hibbeler, 2010)

CAPÍTULO III - CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

O Presente projecto trás uma alternativa de produção de biocombustível sólido ecológico mais conhecido por briquetes a partir de uma briquetedeira construída a partir de material de fácil acesso para o aproveitamento do potencial dos resíduos provenientes das indústrias de madeira.

Assim, o objectivo desta pesquisa consistiu em desenvolver um protótipo de uma briquetedeira, capaz de produzir briquetes e alimentar pizzarias, padarias e até para o uso residencial em Moçambique.

O presente projecto de pesquisa tem como objectivo propor possibilidades tecnológicas para o aproveitamento da biomassa resultante dos resíduos da serradura a partir da densificação da biomassa a serem adoptados em Moçambique de modo que sejam aproveitados na geração de energia e consequentemente reduzir e/ou eliminar a quantidade de resíduos sólidos de madeira que são desperdiçados, sem devida aplicação, por falta de conhecimento ou sensibilização na sociedade.

O desenvolvimento de técnicas para aumentar o valor agregado e o uso da biomassa de serradura de madeira tais como: briquetagem e peletização usados para a produção de energia através de tecnologias modernas de aproveitamento da biomassa aumentam o poder calorífico através do aumento da densidade energética da serradura (Energypedia, 2022).

3.1 Região de estudo

O estudo foi feito baseado nas Indústrias de madeira da cidade de Maputo, localizada na margem ocidental da Baía de Maputo, no extremo sul do país, perto da fronteira com a África do Sul e, da fronteira com a Suazilândia e, por conseguinte, da tripla fronteira dos três países.

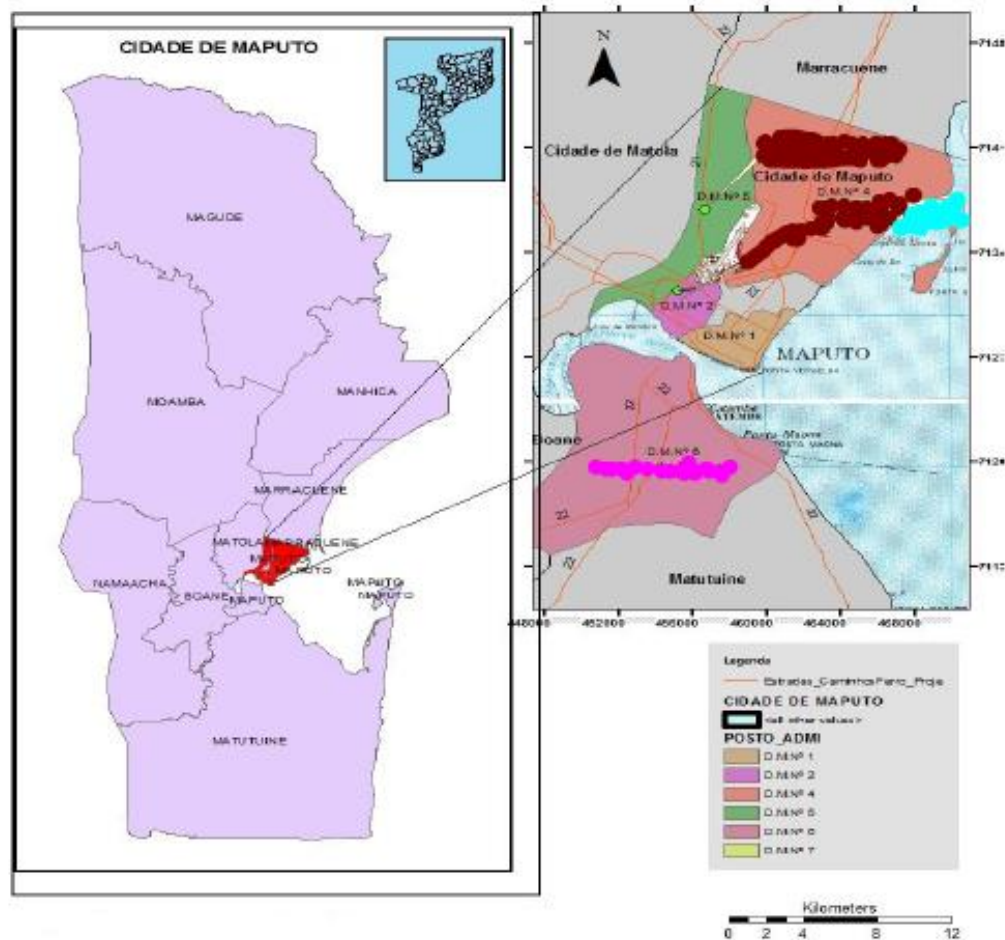


Figura 27: Representação da área de estudo: Cidade de Maputo (Fonte: Malate, 2014).

3.2 Local de recolha de dados

Na cidade de Maputo existem 16 empresas madeireiras, das quais 9 são serrações (com ou sem carpintaria) e 7 são carpintarias. Para além destas, existem outras 4 serrações. No estudo foram abrangidas 76,9 % (10) das serrações e todas as carpintarias. As serrações que não foram incluídas, não se encontravam em funcionamento na altura de recolha de dados. A tabela abaixo lista as empresas abrangidas pelo estudo, bem como os seus volumes de produção (Bila, 2004).

Tabela 4: Volume de serradura produzido nas serrações da cidade de Maputo (Fonte: Bila,2004)

Nome da Empresa	Volume de serradura produzido (m ³)	
	Anual	Mensal
CIL	339.192	30.835
Contraplacado e I.da Madeira	624.544	56.777
Fersol	909.175	82.652
Madeira C. e Indústria	1092.952	99.359
Prolar	180.579	16.416
Serração M. Simbine	593.586	53.962
Serração de Lhanguene	1861.902	169.264
Madeiras Ali Hussene	250.693	22.79
Serração Diamantino	197.189	17.926
Serração Morfeu	177.672	16.152
Total	6 227.484	566.133

3.3 Medição do teor de humidade

Antes da briquetagem, a serradura da madeira deve passar pela medição do teor de humidade. Se o teor de humidade exceder a 15%, deve-se deixar secar até atingir a sua faixa recomendada.



Figura 28: Medição do teor de humidade (Fonte: Breda, 2024).

3.4 Protótipo da Máquina e o seu funcionamento

A máquina escolhida para a produção de briquetes é uma prensa hidráulica accionada através da alavanca de um macaco hidráulico que empurra um bloco contendo punções no qual compactam a serradura de madeira num molde cilíndrico . A serradura é colocada no molde cilíndrico (matriz) por meio de um funil e os briquetes são retirados da matriz por meio da pressão do bloco de punções após a remoção da base da matriz na matriz. Os briquetes saem através dos orifícios circulares existentes na mesa da prensa.

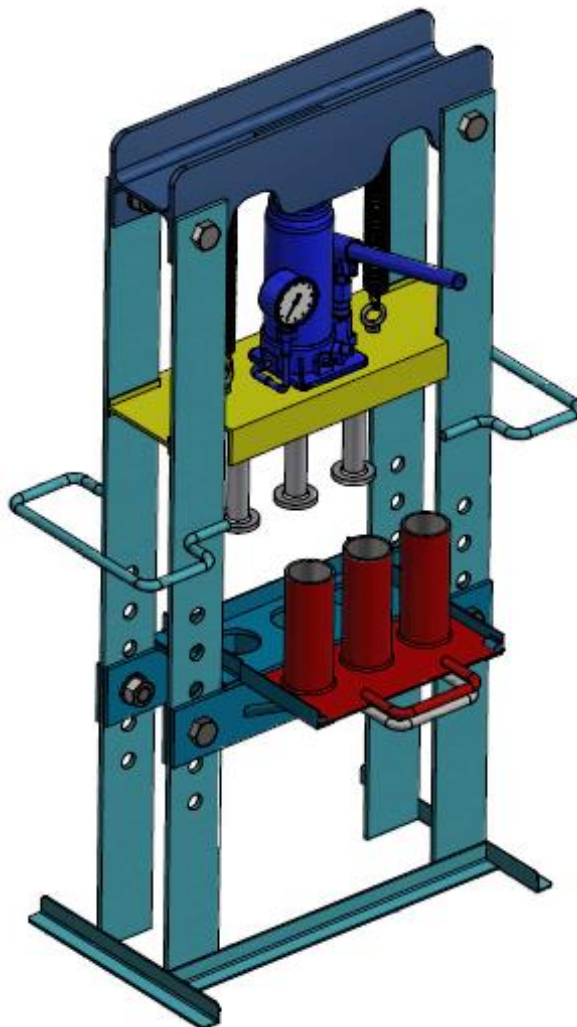


Figura 29: Protótipo de Máquina (Fonte: Autor, 2024).

CAPÍTULO IV: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

4.1 Tipo de investigação

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, na qual, segundo Fonseca (2002), é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e electrónicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites.

Diferentemente da pesquisa experimental, que é uma pesquisa cuja colecta de dados deve ser submetida a testes para assegurar sua eficácia em medir o que a pesquisa propõe a medir e pode ser desenvolvida em laboratório ou no campo.

4.2 Instrumentos e procedimentos para recolha, tratamento e análise de dados

4.2.1 Instrumentos para recolha de dados

Para recolha de dados:

- Foi-se usado referências bibliográficas relacionadas a produção de briquetes a partir de biomassa;
- Foi-se usado referências bibliográficas relacionadas a elementos de máquinas;
- Foi-se usado catálogos para obtenção de parâmetros normalizados de materiais disponíveis no mercado.

4.2.2 Tratamento dos dados

Os dados recolhidos serão destinados a(ao):

- Dimensionamento dos componentes que compõem a máquina de produção de briquetes;
- Concepção do protótipo;
- Cálculo da produtividade e análise de custos.

4.3 Métodos ou ferramentas usadas no tratamento dos dados

Para o dimensionamento dos componentes da máquina e cálculo da produtividade e análise de custos é usado princípios da mecânica, fórmulas matemáticas, máquina calculadora e software Excel. Para o desenho do protótipo é usado softwares como Autodesk inventor e AutoCAD.

CAPÍTULO V: DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA

O projecto da máquina de produção de briquetes é uma prensa e consiste em operações para a escolha de macaco hidráulico e determinação das dimensões e configurações geométricas dos seus componentes.

5.1 Condições iniciais a serem consideradas no projecto

Os dados iniciais do projecto foram escolhidos de acordo com as dimensões dos briquetes, a geometria do protótipo e condições termodinâmicas para a briquetagem.

Tabela 5: Condições iniciais a serem consideradas no projecto (Fonte: Makonya, 2022).

Diâmetro dos briquetes	50 mm
Comprimento dos briquetes	50 mm
Profundidade da matriz	147 mm
Pressão de briquetagem	10 Mpa
Capacidade de processamento	4 kg/h
Tempo de briquetagem	2.5 minutos

5.2 Determinação do número de cilindros da matriz e dos punções

Para determinar o número de cilindros da matriz e dos punções, é necessário calcular o número de briquetes produzidos em cada briquetagem. Este mesmo número de briquetes depende do tempo de briquetagem, massa de saída em cada briquetagem e a massa de cada briquete.

A massa de saída em cada briquetagem será:

$$m_{sai} = 2.5 \text{ min} \times 4 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \frac{2.5 \text{ min} \times 4 \text{ kg}}{60 \text{ min}} = 0.167 \text{ kg}$$

O número de briquetes produzidos em cada briquetagem será:

$$N^{\circ} \frac{\text{briquetes}}{\text{briquetagem}} = \frac{m_{sai}}{m_{briq}} = \frac{0.167 \text{ kg}}{0.06 \text{ kg}} = 2.78 \approx 3 \text{ briquetes.}$$

Onde $m_{briq} = 0.06 \text{ kg}$ é a massa de cada briquete.

Como em cada briquetagem serão produzidos 3 briquetes, a matriz será composta por 3 cilindros, e cada cilindro terá o seu punção.

5.3 Escolha das molas

5.3.1 Cálculo da tracção mínima das molas

Considerando a massa do bloco de punções de aproximadamente 3 kg e a massa do macaco hidráulico de 9 kg, calcula-se a força de tracção mínima:

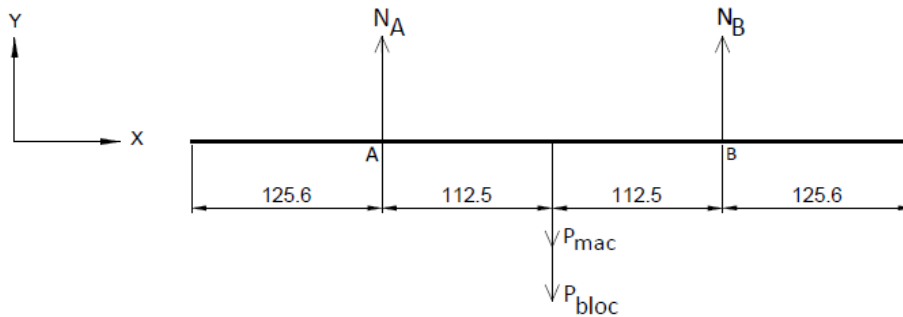


Figura 30: Forças e reacções mínimas no bloco de punções no plano XOY (Fonte: Autor, 2024).

Onde:

P_{mac} – É o peso do macaco hidráulico;

P_{bloc} – É o peso estimado do bloco de punções;

N_A e N_B – São as reacções normais nas molas;

g – É a aceleração de gravidade (9.81 m/s^2);

$$P_{bloc} = 3 \text{ kg} \times g = 29.43 \text{ N}$$

$$P_{mac} = 9 \text{ kg} \times g = 88.29 \text{ N}$$

Tabela 6: Cálculo das reacções normais nas molas (Fonte: Autor, 2024)

Condições de equilíbrio	Equações	Resultados
$\Sigma F_y = 0$	$N_A - P_{mac} - P_{bloc} + N_B = 0$	$N_A = 58.86 \text{ N (6 kgf)}$
$\Sigma M_A = 0$	$N_B \times 225 - P_{mac} \times 112.5 - P_{bloc} \times 112.5 = 0$	$N_B = 58.86 \text{ N (6 kgf)}$

Do catálogo de molas de tracção A&RJIRE, escolhe-se duas molas ARJ0332501060 de aço carbono ASTM A-228 de força máxima de 14.9 kgf com 526.6 mm de comprimento extensível e 193.6 mm de comprimento livre.

Tabela 7: Características das molas de tracção escolhidas

d (mm)	D_m (mm)	L_o (mm)	L_1 (mm)	P_1 (kgf)	K (kgf/mm)	Material
2.5	25.5	193.6	526.6	14.9	0.038	Aço carbono

Onde:

d – é o diâmetro do arame;

D_m – é o diâmetro médio da mola;

L_o – é o comprimento livre (internamente aos olhais);

L_1 – é o máximo comprimento extensível;

P_1 – é a força para L_1 (ou seja, força máxima de tracção);

K – é a constante elástica da mola.

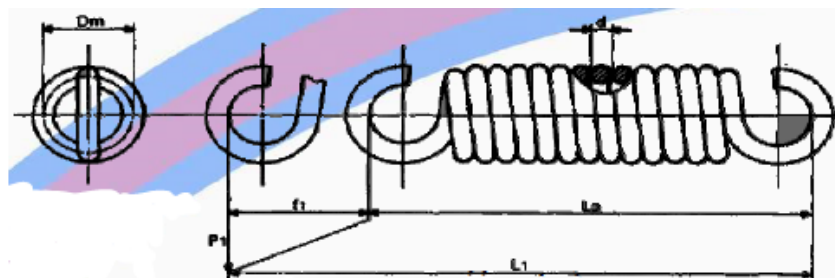


Figura 31: Mola de tracção (catálogo de molas de tracção A&RJIRE).

5.3.2 Cálculo testador a tracção dos parafusos olhais das molas

O cálculo testador a tracção dos parafusos olhais das molas é feito através da condição de resistência a tracção das hastes dos parafusos:

$$\sigma_{po} = \frac{P_1}{\pi \times \frac{d_{ipo}^2}{4}} \leq [\sigma_{po}] \quad (1)$$

Onde:

P_1 – é a força máxima de tracção da mola. $P_1 = 14.9 \text{ kgf} = 146.2 \text{ N}$;

d_{ipo} – é o diâmetro interno da rosca da haste do parafuso olhal. $d_{ipo} = 7 \text{ mm}$;

σ_{po} – é a tensão normal na haste do parafuso olhal;

$[\sigma_{po}]$ – é a tensão normal admissível na haste do parafuso olhal. O seu valor é:

$$[\sigma_{po}] = \frac{\sigma_{epo}}{[n]} = \frac{240}{4} = 60 \text{ Mpa}$$

Onde:

σ_{epo} – é a tensão limite de escoamento do material do parafuso olhal. Neste caso, o material do parafuso é o aço SAE-1020, cuja sua tensão limite de escoamento é de 240 Mpa;

$[n]$ – é o coeficiente de segurança recomendado. $[n] = 2.5 \dots 4$ para carga tensora variável no parafuso.

Então:

$$\sigma_{po} = \frac{146.2}{\pi \times \frac{7^2}{4}} = 3.8 \text{ Mpa} \leq [60 \text{ Mpa}]$$

Os parafusos olhais resistem tracção.



Figura 32: Parafuso olhal (MOLYPLAST).

5.4 Escolha do macaco hidráulico

5.4.1 Cálculo da força de briquetagem

Tendo em conta que a briquetagem realiza-se a pressão média de 10 Mpa, e que os briquetes terão 50 mm de diâmetro, calcula-se a força de briquetagem:

$$R_{br} = p_{br} \times \frac{\pi \cdot D_{br}^2}{4} \quad (2)$$

Onde:

R_{br} – é a força de briquetagem em N;

p_{br} – é a pressão de briquetagem (10 Mpa);

D_{br} – é o diâmetro dos briquetes (50 mm)

Daí que:

$$R_{br} = 10 \times \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 19\,634.95\,N$$

5.4.2 Cálculo da força de accionamento do macaco hidráulico

Para que as molas resistam a tracção, a força máxima de accionamento do macaco hidráulico será calculada tendo em conta a força máxima de tracção nas molas.

$$N_A^{max} = N_B^{max} = P_1 = 146.2\,N$$

Onde: N_A^{max} e N_B^{max} - são as forças de tracção máxima do tipo de mola escolhido.

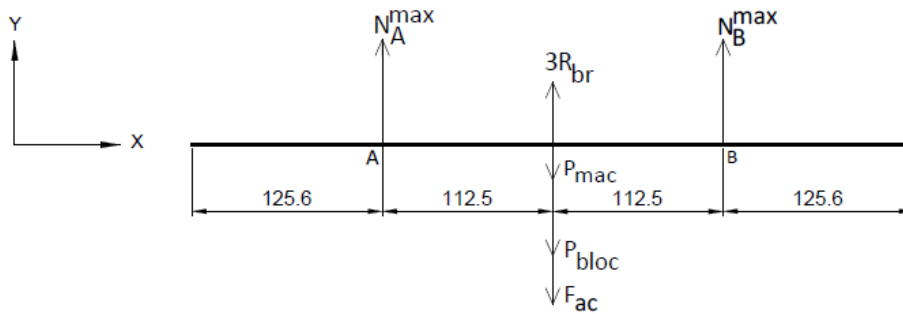


Figura 33: Forças e reacções no bloco de punções no plano XOY (Fonte: Autor, 2024).

Tabela 8: Cálculo da força de accionamento (Fonte: Autor, 2024)

Condições de equilíbrio	Equações	Resultados
$\Sigma F_y = 0$	$N_A^{max} + 3R_{br} - P_{mac} - P_{bloc} - F_{ac} + N_B^{max} = 0$	$F_{ac} = 59\,079\,N\ (6022.3\,kgf)$

Tendo em conta a força de 6022.3 *kgf* (6.02 *Tf*) necessária no macaco hidráulico para a briquetagem e a profundidade da matriz de 147 mm que é o curso necessário do cilindro de elevação hidráulica para a remoção dos briquetes na matriz, escolhe-se, do catálogo de macacos garrafa GM, o macaco hidráulico GM-10T.

5.5 Cálculo projectivo do vão

A metodologia para o cálculo projectivo do vão compreende cinco etapas: o cálculo das reacções no vão, cálculo dos esforços internos ao vão, cálculo para escolha do perfil para o vão, cálculo testador ao cisalhamento do vão e cálculo testador ao esmagamento do vão.

5.5.1 Cálculo das reacções no vão

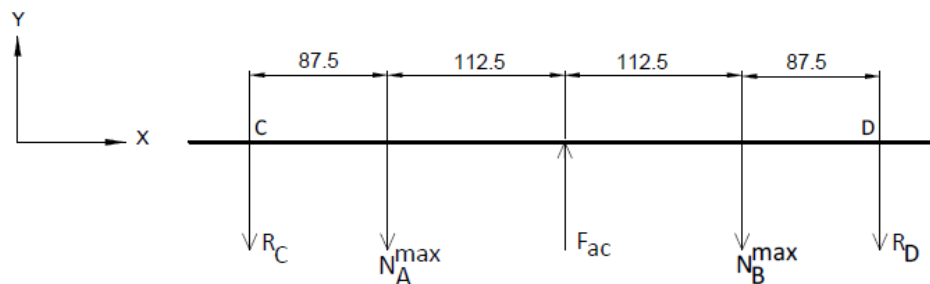


Figura 34: Forças e reacções no vão (Fonte: Autor, 2024).

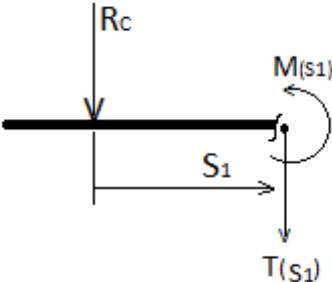
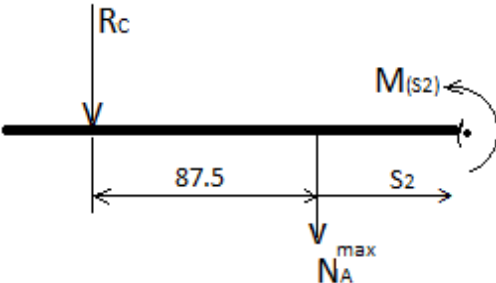
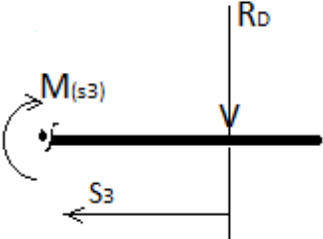
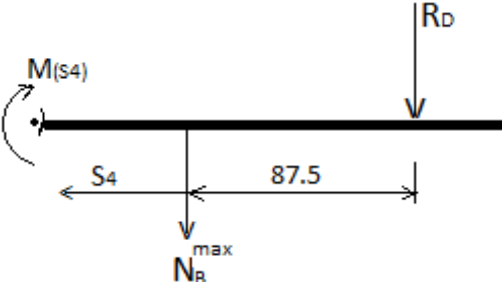
Onde F_{ac} é a força de acionamento no macaco hidráulico.

Tabela 9: Cálculo das reacções no vão (Fonte: 2024)

Condições de equilíbrio	Equações	Resultados
$\Sigma F_y = 0$	$F_{ac} - R_C - N_A^{max} - N_B^{max} - R_D = 0$	$R_C = 29.39 \text{ kN}$
$\Sigma M_C = 0$	$F_{ac} \times 200 - N_A^{max} \times 87.5 - N_B^{max} \times 312.5 - R_D \times 400 = 0$	$R_D = 29.39 \text{ kN}$

5.5.2 Cálculo dos esforços internos do vão

Tabela 10: Cálculo dos esforços internos do vão (Fonte: Autor, 2024)

Trechos	Equações dos Esforços	Esquemas	Valores críticos
1° trecho	$M_{(s1)} + R_C \times S_1 = 0$ $M_{(s1)} = -29.39 \times S_1$		$0 < S_1 < 87.5 \text{ mm}$ $M_{(0)} = 0$ $M_{(87.5)} = -2571.6 \text{ KNmm}$
2° trecho	$M_{(s2)} + N_A^{max} \times s_2 + R_C \times (87.5 + s_2) = 0$ $M_{(s2)} = -29.54 \times s_2 - 2571.6$		$0 < S_2 < 112.5 \text{ mm}$ $M_{(0)} = -2571.6 \text{ kNmm}$ $M_{(112.5)} = -5894.9 \text{ kNmm}$
3° trecho	$M_{(s3)} + R_D \times S_3 = 0$ $M_{(s3)} = -29.39 \times S_3$		$0 < S_3 < 87.5 \text{ mm}$ $M_{(0)} = 0$ $M_{(87.5)} = -2571.6 \text{ KNmm}$
4° trecho	$M_{(s4)} + N_B^{max} \times s_4 + R_D \times (87.5 + s_4) = 0$ $M_{(s4)} = -29.54 \times s_4 - 2571.6$		$0 < S_4 < 112.5 \text{ mm}$ $M_{(0)} = -2571.6 \text{ kNmm}$ $M_{(112.5)} = -5894.9 \text{ kNmm}$

A seguir representa-se o diagrama do momento fletor:

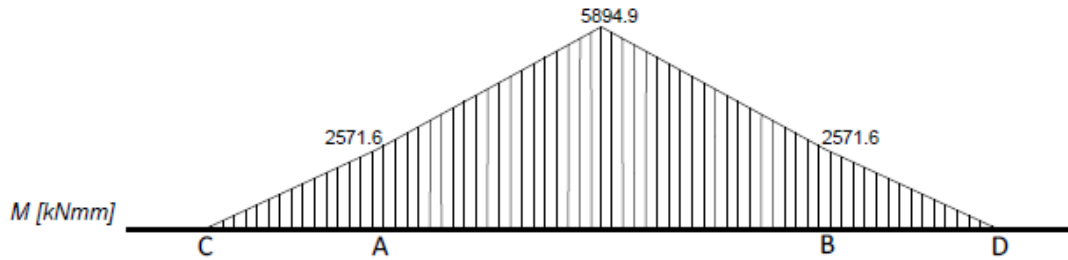


Figura 35: Diagrama do momento flector no vão (Fonte: Autor, 2024).

5.5.3 Cálculo para a escolha do perfil do vão

Depois de desenhado o diagrama do momento flector, identifica-se o ponto mais solicitado, o momento flector máximo e faz-se o cálculo do módulo de resistência axial necessário para que o vão resista a essa solicitação.

O momento flector máximo é de 5894.9 $kNmm$ localizada no ponto médio do vão.

Na posse do momento flector máximo, calcula-se o módulo de resistência axial por:

$$\sigma_v = \frac{M_f}{W_v} \leq [\sigma_v] \quad (3)$$

Onde:

σ_v — é a tensão normal no vão;

M_f - é o momento flector máximo;

W_v - é o momento ou módulo de resistência axial do vão.

$[\sigma_v]$ - é a tensão normal admissível no vão. O seu valor é:

$$[\sigma_v] = \frac{\sigma_{ev}}{[n]} = \frac{230}{1.5} = 153.3 \text{ Mpa}$$

Onde:

σ_{ev} — é a tensão limite de escoamento do material do vão. Neste caso, o matéria do vão será o aço SAE-1015, cuja sua tensão limite de escoamento no estado laminado é de 230 Mpa;

$[n]$ — é o coeficiente de segurança recomendado. $[n] = 1.5$ para materiais dúcteis.

Da inequação (2), o módulo de resistência axial fica:

$$W_v \geq \frac{M_f}{[\sigma_v]}$$

$$W_v \geq \frac{5894.9 \text{ kNmm}}{153.3 \text{ Mpa}}$$

$$W_v \geq 38.45 \text{ cm}^3$$

Sendo assim, pode-se escolher o perfil HEA 120 da tabela de perfis, cujas características são:

Tabela 11: Características geométricas do perfil HEA 120 (Fonte: Autor, 2024)

HEA	H	B	t_w	t_f	R	Área (cm^2)	W_y (cm^3)
120	114	120	5	8	12	25.3	38.5

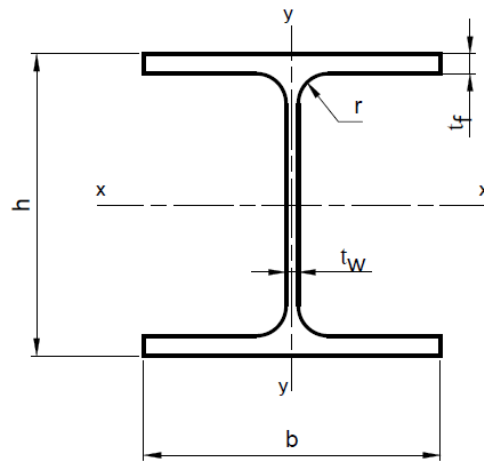


Figura 36: Perfil HEA (Fonte: Autor, 2024).

5.5.4 Cálculo testador ao cisalhamento da alma do vão

O cálculo testador ao cisalhamento da alma do vão é feito pela fórmula:

$$\tau_{av} = \frac{F_{ac}}{\pi \times D_f \times t_w} \leq [\tau_{av}] \quad (4)$$

Onde:

F_{ac} — é a força de accionamento no macaco hidráulico;

t_w — é a espessura da alma da vão. $t_w = 5 \text{ mm}$;

D_f — é o diâmetro da cabeça do fuso do macaco hidráulico. $D_f = 34 \text{ mm}$;

τ_{av} — é a tensão de cisalhamento na alma do vão;

$[\tau_{av}]$ — é a tensão de cisalhamento admissível na alma do vão. Que tem o valor de:

$$[\tau_{av}] = 0.3 \times [\sigma_v] = 0.3 \times 153.3 \text{ Mpa} = 46 \text{ Mpa}.$$

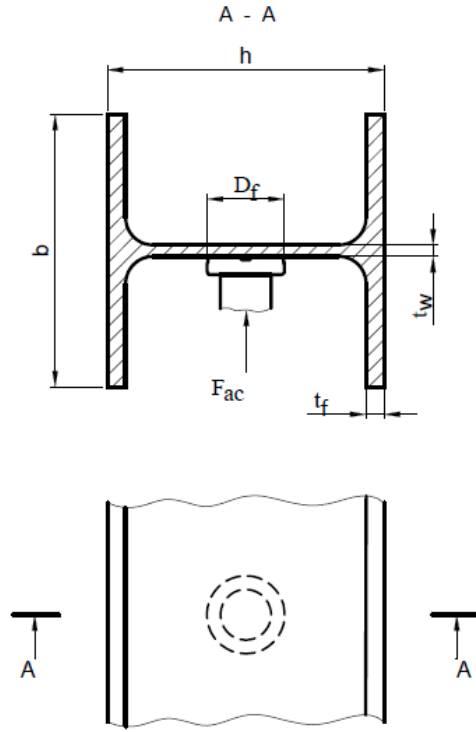


Figura 37: Perfil HEA sob cisalhamento de F_{ac} (Fonte: Autor, 2024).

Da fórmula (3), A tensão de cisalhamento na alma do vão fica:

$$\tau_{av} = \frac{59079}{\pi \times 34 \times 5} = 110.62 \text{ Mpa} > [46 \text{ Mpa}]$$

A alma do vão não resiste ao cisalhamento.

Para resolver o problema da insuficiência de resistência ao cisalhamento, pode-se soldar duas chapas de dimensão $50\text{mm} \times 100\text{mm} \times 5\text{mm}$ de forma sobreposta, uma em cima e outra em baixo da alma do vão. Logo, o recálculo testador ao cisalhamento fica:

$$\tau_{av} = \frac{F_{ac}}{\pi \times D_f \times (t_w + 2 \times 5)} \leq [\tau_{av}] \quad (5)$$

$$\tau_{av} = \frac{59079}{\pi \times 34 \times (5 + 2 \times 5)}$$

$$\tau_{av} = 36.87 \text{ Mpa} \leq [46 \text{ Mpa}]$$

Assim, a alma do vão resiste ao cisalhamento causado pela F_{ac} através da cabeça do fuso do macaco hidráulico.

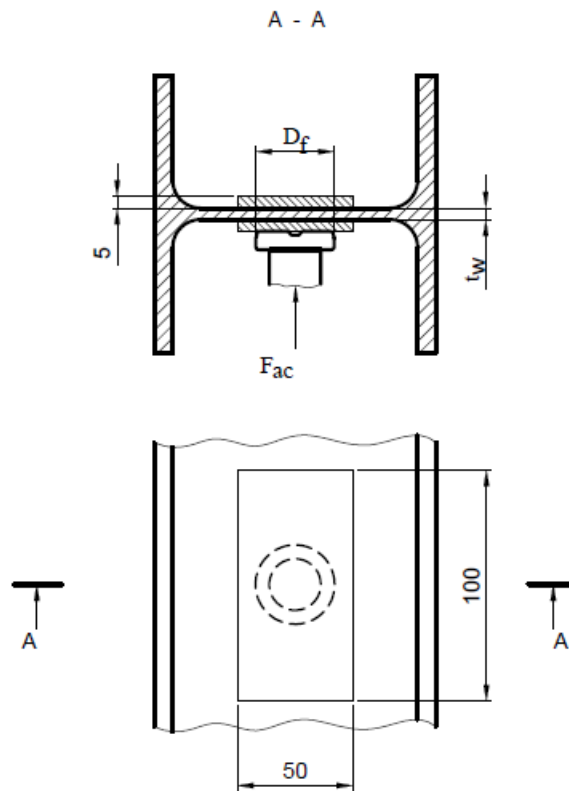


Figura 38: Perfil HEA com chapas sobrepostas a alma sob cisalhamento de F_{ac} (Fonte: Autor, 2024).

5.5.5 Cálculo testador ao esmagamento da alma do vão

O cálculo testador ao esmagamento da alma do vão é feito pela fórmula:

$$\sigma_{esmav} = \frac{F_{ac}}{\pi \times \frac{D_f^2}{4}} \leq [\sigma_v] \quad (6)$$

Onde:

F_{ac} — é a força de acionamento no macaco hidráulico;

D_f — é o diâmetro da cabeça do fuso do macaco hidráulico. $D_f = 34 \text{ mm}$;

σ_{esmav} — é a tensão de esmagamento na alma do vão;

$[\sigma_v]$ — é a tensão normal admissível no vão.

Da fórmula (5), A tensão de esmagamento fica:

$$\sigma_{esma} = \frac{59079}{\pi \times \frac{34^2}{4}} = 65.07 \text{ Mpa} \leq [153.3 \text{ Mpa}]$$

Logo, a alma do vão resiste ao esmagamento causado pela F_{ac} através da cabeça do fuso do macaco hidráulico.

5.6 Cálculo projectivo dos parafusos que unem o vão e as colunas

O cálculo projectivo dos parafusos envolve a determinação do diâmetro dos parafusos e o cálculo testador ao esmagamento dos parafusos.

5.6.1 Determinação do diâmetro dos parafusos que unem o vão e as colunas

Para a escolha dos parafusos, calcula-se o diâmetro mínimo admissível pela fórmula:

$$\tau_{pv} = \frac{R_{pv}}{\pi \times \frac{d_{pv}^2}{4} \times Z_{pv} \times i_{pv}} \leq [\tau_{pv}] \quad (7)$$

Onde:

R_{pv} – é a reacção em cada par de parafusos que unem o vão e as colunas. $R_{pv} = R_C = R_D = 29.39 \text{ kN}$;

d_{pv} – é o diâmetro dos parafusos que unem o vão e as colunas;

Z_{pv} – é o número de parafusos que suportam a reacção R_{pv} em cada extremidade. $Z_{pv} = 2$ parafusos em cada extremidade;

i_{pv} – é o número de planos de cisalhamento em cada parafuso que une o vão e as colunas. $i_{pv} = 1$;

τ_{pv} – é a tensão de cisalhamento nos parafusos que unem o vão e as colunas;

$[\tau_{pv}]$ – é a tensão de cisalhamento admissível nos parafusos que unem o vão e as colunas.

Cujo valor é:

$$[\tau_{pv}] = (0.2 \dots 0.3) \times \sigma_{epv} = 0.25 \times 230 \text{ Mpa} = 57.5 \text{ Mpa}.$$

Onde $\sigma_{epv} = 230 \text{ Mpa}$ é a tensão limite de escoamento do material dos parafusos que unem o vão e as colunas.

Da fórmula (6), isola-se e calcula-se o diâmetro mínimo dos parafusos que unem o vão e as colunas:

$$d_{pv} \geq \sqrt{\frac{4 \times R_{pv}}{\pi \times Z \times i_{pv} \times [\tau_{pv}]}}$$

$$d_{pv} \geq \sqrt{\frac{4 \times 29393}{\pi \times 2 \times 1 \times 57.5}}$$

$$d_{pv} \geq 18.04 \text{ mm}$$

Normalizando, do catálogo de parafusos e porcas PSG INDÚSTRIA, escolhe-se parafuso sextavado DIN933 M20 de diâmetro 20 mm.

5.6.2 Cálculo testador ao esmagamento dos parafusos que unem o vão e as colunas

O cálculo testador ao esmagamento dos parafusos que unem o vão e as colunas é feito pela fórmula:

$$\sigma_{esmpv} = \frac{R_{pv}}{d_{pv} \times t_b \times Z_{pv}} \leq [\sigma_{esm}]_{pv} \quad (8)$$

Onde:

σ_{esmpv} – é a tensão de esmagamento nos parafusos;

R_{pv} – é a reacção em cada par de parafusos que unem o vão e as colunas. $R_{pv} = R_C = R_D = 29.39 \text{ kN}$;

d_{pv} – é o diâmetro dos parafusos que unem o vão e as colunas. $d_{pv} = 20 \text{ mm}$;

Z_{pv} – é o número de parafusos que suportam a reacção R_{pv} em cada extremidade. $Z_{pv} = 2$ parafusos em cada extremidade;

t_b – é a espessura da barra chata. $t_b = 6.35 \text{ mm}$;

$[\sigma_{esm}]_{pv}$ – é a tensão de esmagamento admissível nos parafusos. Tem o valor de:

$$[\sigma_{esm}]_{pv} = 0.8 \times \sigma_{epv} = 0.8 \times 230 \text{ Mpa} = 184 \text{ Mpa}.$$

Da fórmula (7), verifica-se a tensão de esmagamento:

$$\sigma_{esmpv} = \frac{29393}{20 \times 6.35 \times 2} = 115.72 \text{ Mpa} \leq [184 \text{ Mpa}]$$

Logo, os parafusos resistem ao esmagamento.

5.6.3 Cálculo testador ao cisalhamento das barras chatas pelos parafusos

O cálculo testador ao cisalhamento das barras chatas pelos parafusos é feito pela fórmula:

$$\tau_b = \frac{R_{pv}}{L \times t_b \times Z \times i_b} \leq [\tau_b] \quad (9)$$

Onde:

τ_b – é a tensão de cisalhamento na barra chata;

R_{pv} – é a reacção em cada par de parafusos que unem o vão e as colunas. $R_{pv} = R_C = R_D = 29.39 \text{ kN}$;

t_b – é a espessura da barra chata. $t_b = 6.35 \text{ mm}$;

Z_{pv} – é o número de parafusos que suportam a reacção R_{pv} em cada extremidade. $Z_{pv} = 2$ parafusos em cada extremidade;

L – é o comprimento das secções de cisalhamento na barra chata. $L = 30 \text{ mm}$;

i_b – é o número de planos de cisalhamento em cada barra chata. $i_b = 2$;

$[\tau_b]$ – é a tensão de cisalhamento admissível na barra chata. O seu valor é:

$$[\tau_b] = 0.3 \times \sigma_{eb} = 0.3 \times 230 \text{ Mpa} = 69 \text{ Mpa}$$

Onde $\sigma_{eb} = 230 \text{ Mpa}$ é a tensão limite de escoamento da barra chata.

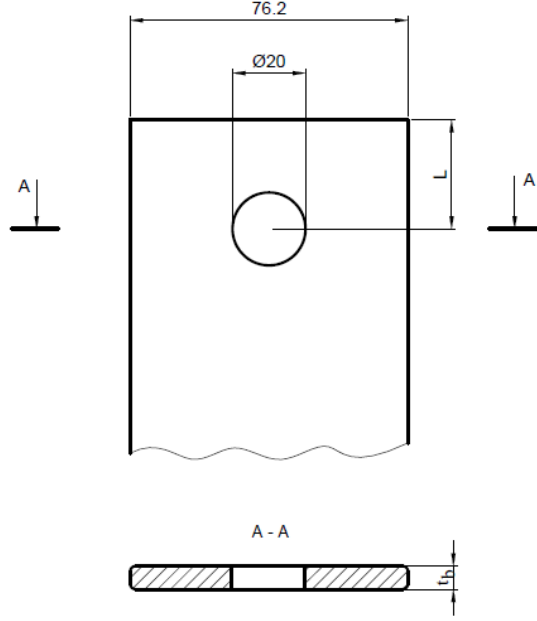


Figura 39: Perfil rectangular/ barra chata com furo que recebe parafuso (Fonte: Autor, 2024).

Pela fórmula (8), calcula-se a tensão de cisalhamento das barras chatas pelos parafusos para verificar a sua resistência:

$$\tau_b = \frac{29393}{30 \times 6.35 \times 2 \times 2} = 38.57 \text{ Mpa} \leq 63 \text{ Mpa}$$

Logo, as barras chatas resistem ao cisalhamento pelos parafusos.

5.6.4 Cálculo testador ao esmagamento das barras chatas pelos parafusos

O cálculo testador ao esmagamento das barras chatas pelos parafusos é feito pela fórmula:

$$\sigma_{esmb} = \frac{R_{pv}}{d_{pv} \times t_b \times Z} \leq [\sigma_{esmb}] \quad (10)$$

Onde:

σ_{esmb} — é a tensão de esmagamento nas barras chatas;

R_{pv} — é a reacção em cada par de parafusos que unem o vão e as colunas. $R_{pv} = R_C = R_D = 29.39 \text{ kN}$;

d_{pv} — é o diâmetro dos parafusos que unem o vão e as colunas. $d_{pv} = 20 \text{ mm}$;

Z_{pv} — é o número de parafusos que suportam a reacção R_{pv} em cada extremidade. $Z_{pv} = 2$ parafusos em cada extremidade;

t_b – é a espessura da barra chata. $t_b = 6.35 \text{ mm}$;

$[\sigma_{esmb}]$ – é a tensão de esmagamento admissível nas barras chatas. $[\sigma_{esmb}] = 153.3 \text{ Mpa}$.

Pela fórmula (9), calcula-se a tensão de cisalhamento das barras chatas pelos parafusos para verificar a sua resistência:

$$\sigma_{esmb} = \frac{29393}{20 \times 6.35 \times 2} = 115.72 \text{ Mpa} \leq [153.3 \text{ Mpa}]$$

Logo as barras chatas resistem ao esmagamento pelos parafusos.

5.7 Cálculo projectivo do bloco de punções

A metodologia para o cálculo projectivo do bloco de punções compreende quatro etapas: o cálculo das reacções no bloco de punções, cálculo dos esforços internos ao bloco de punções, cálculo para escolha do perfil para o bloco de punções e cálculo testador ao cisalhamento do bloco de punções.

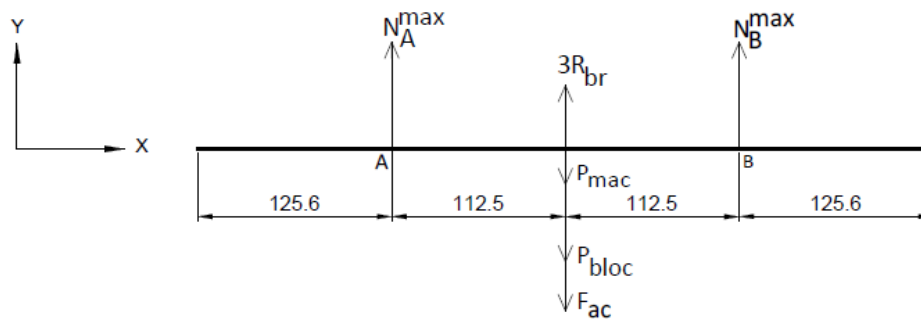


Figura 40: Forças e reacções no bloco de punções no plano XOY (Fonte: Autor, 2024).

Tabela 12: Valores de forças e reacções no bloco de punções (Fonte: Autor, 2024)

Nome do Parâmetro	Símbolo	Valor
Tracção máxima da mola A	N_A^{max}	146.2 N
Tracção máxima da mola B	N_B^{max}	146.2 N
Força de briquetagem	R_{br}	19634.95 N
Peso do macaco hidráulico	P_{mac}	88.29 N
Peso estimado do bloco de punções	P_{bloc}	29.43 N

5.7.1 Cálculo dos esforços internos do bloco de punções

Tabela 13: Cálculo dos esforços internos do bloco de punções (Fonte: Autor, 2024)

Trechos	Equações dos Esforços	Esquemas	Valores críticos
1º trecho	$N_A^{max} - T_{(s1)} = 0$ $T_{(s1)} = 146.2 \text{ N}$ $M_{(s1)} - N_A^{max} \times S_1 = 0$ $M_{(s1)} = 146.2 \times S_1$		$0 < S_1 < 112.5 \text{ mm}$ $T_{(s1)} = 146.2 \text{ N}$ $M_{(0)} = 0$ $M_{(112.5)} = 16.45 \text{ KNmm}$
2º trecho	$T_{(s2)} + N_B^{max} = 0$ $T_{(s2)} = -146.2 \text{ N}$ $M_{(s2)} - N_B^{max} \times S_2 = 0$ $M_{(s2)} = 146.2 \times S_2$		$0 < S_2 < 112.5 \text{ mm}$ $T_{(s2)} = -146.2 \text{ N}$ $M_{(0)} = 0$ $M_{(112.5)} = 16.45 \text{ KNmm}$

A seguir representam-se os diagramas dos esforços internos:

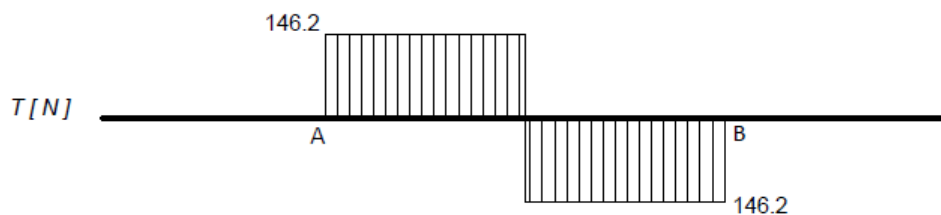


Figura 41: Diagrama do esforço transverso no bloco de punções (Fonte: Autor, 2024).

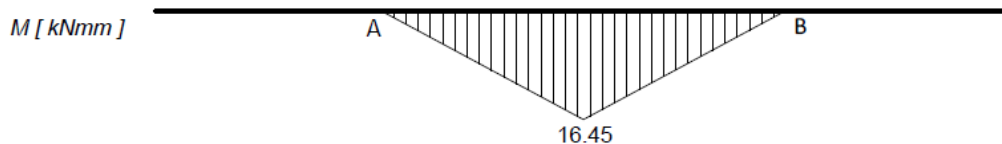


Figura 42: Diagrama do momento flector no bloco de punções (Fonte: Autor, 2024).

5.7.2 Cálculo para a escolha do perfil do bloco de punções

Do diagrama do momento flector, identifica-se o ponto mais solicitado, o momento flector máximo e faz-se o cálculo do módulo de resistência axial necessário para que o bloco de punções resista a essa solicitação.

O momento flector máximo é de 16.45 kNmm e localiza-se no centro do bloco de punções.

Tendo em conta o momento flector máximo, calcula-se o módulo de resistência axial pela fórmula:

$$\sigma_{blp} = \frac{M_f}{W_{blp}} \leq [\sigma_{blp}] \quad (11)$$

Onde:

σ_{blp} – é a tensão normal no bloco de punções;

M_f - é o momento flector máximo;

W_{blp} - é o momento ou módulo de resistência axial do bloco de punções;

$[\sigma_{blp}]$ - é a tensão normal admissível no bloco de punções. O seu valor é:

$$[\sigma_{blp}] = \frac{\sigma_{eblp}}{[n]} = \frac{230}{1.5} = 153.3 \text{ Mpa}$$

Onde:

σ_{eblp} – é a tensão limite de escoamento do material do bloco de punções. Neste caso, o material do bloco de punções é o aço SAE-1015, cuja sua tensão limite de escoamento no estado laminado é de 230 Mpa;

$[n]$ – é o coeficiente de segurança recomendado. $[n] = 1.5$ para materiais dúcteis.

Da fórmula (10), o módulo de resistência axial fica:

$$W_{blp} \geq \frac{M_f}{[\sigma_{blp}]}$$

$$W_{blp} \geq \frac{16.45 \text{ kNmm}}{153.3 \text{ Mpa}}$$

$$W_{blp} \geq 0.11 \text{ cm}^3$$

Logo, do catálogo GERDAU, escolhe-se o perfil U152

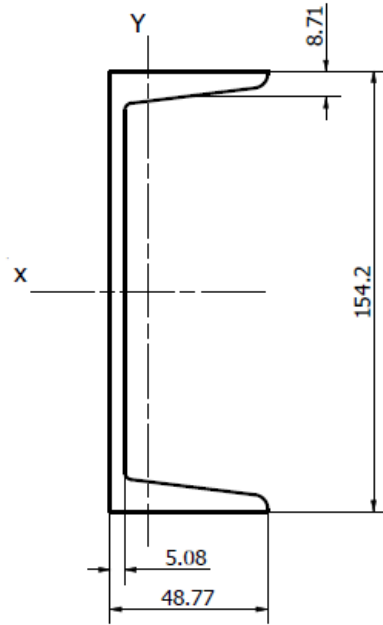


Figura 43: Perfil U152 (Fonte: O Autor, 2025).

5.7.3 Cálculo testador ao cisalhamento do bloco de punções

O cálculo testador ao cisalhamento do bloco de punções é feito pela fórmula:

$$\tau_{blp} = 1.5 \times \frac{T_{max}}{A_s} \leq [\tau_{blp}] \quad (12)$$

Onde:

τ_{blp} — é a tensão de cisalhamento no bloco de punções;

T_{max} — é o esforço transversal máximo. O seu valor é obtido no diagrama de esforço transversal. Neste caso seu valor é de 146.2 N;

A_s — é a secção transversal do perfil. No catálogo GERDAU, do perfil U152, extrai-se

$$A_s = 15.5 \text{ cm}^2;$$

$[\tau_{blp}]$ — é a tensão de cisalhamento admissível no bloco de punções. O seu valor é:

$$[\tau_{blp}] = 0.2 \times \sigma_{eblp} = 0.2 \times 230 \text{ Mpa} = 46 \text{ Mpa}$$

Onde $\sigma_{eblp} = 230 \text{ Mpa}$ é a tensão limite de escoamento do material do bloco de punções.

Da fórmula (11), calcula-se a tensão de cisalhamento:

$$\tau_{blp} = 1.5 \times \frac{T_{max}}{A_s} = 1.5 \times \frac{146.2 \text{ N}}{15.5 \text{ cm}^2} = 0.14 \text{ Mpa} \leq [46 \text{ Mpa}]$$

Logo, o bloco de punções resiste ao cisalhamento.

5.8 Cálculo projectivo dos punções

O cálculo projectivo dos punções compreende quatro etapas, a saber: Determinação do diâmetro externo da alma do punção, cálculo testador ao cisalhamento da rosca do bocal do punção e parafuso acoplado ao punção, cálculo testador a flambagem da alma do punção e cálculo testador ao cisalhamento da base do punção.

5.8.1 Determinação do diâmetro externo da alma do punção

A condição de resistência a compressão da alma do punção é esta:

$$\sigma_{alp} = \frac{R_{br}}{\frac{\pi}{4} \times (d_e^2 - d_i^2)} \leq [\sigma_{alp}] \quad (13)$$

Onde:

R_{br} – é a força de briquetagem. $R_{br} = 19\,634.95 \text{ N}$;

d_i – é o diâmetro interno da alma do punção. Tem o valor de 17 mm;

d_e – é o diâmetro externo da alma do punção;

σ_{alp} – é a tensão normal na alma do punção;

$[\sigma_{alp}]$ – é a tensão normal admissível na alma do punção. O seu valor é:

$$[\sigma_{alp}] = \frac{\sigma_{ealp}}{[n]} = \frac{230}{1.5} = 153.3 \text{ Mpa}$$

Onde:

σ_{ealp} – é a tensão limite de escoamento do material da alma do punção . Neste caso, o material da alma do punção é o aço SAE-1015, cuja sua tensão limite de escoamento no estado laminado é de 230 Mpa;

$[n]$ – é o coeficiente de segurança recomendado. $[n] = 1.5$ para materiais dúcteis.

Da fórmula (12), isola-se e calcula-se o diâmetro externo mínimo da alma do punção:

$$d_e \geq \sqrt{d_i^2 + \frac{4 \times R_{br}}{\pi \times [\sigma_{alp}]}}$$

$$d_e \geq \sqrt{17^2 + \frac{4 \times 19634.95}{\pi \times 153.3}}$$

$$d_e \geq 21.3 \text{ mm}$$

Do catálogo da INTERMETAL, escolhe-se varão de 25 mm de diâmetro, logo $d_e = 25 \text{ mm}$.

5.8.2 Cálculo testador ao cisalhamento da rosca do bocal do punção e parafuso acoplado ao punção

Tendo em conta que o punção e o parafuso acoplado são feito do mesmo tipo de aço (aço SAE-1015), o cálculo testador ao cisalhamento da rosca será feito apenas no parafuso, pois é o elemento menos resistente ao cisalhamento, ou seja, a sua área de cisalhamento na rosca é menor.

$$\tau_{rosc} = \frac{R_{br}}{\pi \times d_i \times H \times K_{enc} \times K_{irr}} \leq [\tau_{rosc}] \quad (14)$$

Onde:

R_{br} – é a força de briquetagem. $R_{br} = 19\,634.95 \text{ N}$;

d_i – é o diâmetro interno do bocal do punção, que é também o diâmetro interno da alma do punção. Tem o valor de 17 mm;

H – é o comprimento da rosca do bocal do punção. $H = 38.5 \text{ mm}$;

K_{enc} – é o coeficiente de enchimento. Para roscas triangulares $K \approx 0.87$;

K_{irr} – é o coeficiente de irregularidade. $K_{irr} = 0.65$;

τ_{rosc} – é a tensão de cisalhamento na rosca do parafuso;

$[\tau_{rosc}]$ — é a tensão de cisalhamento admissível na rosca do parafuso. O seu valor é:

$$[\tau_{rosc}] = 0.2 \times \sigma_{ep} = 0.2 \times 230 = 46 \text{ Mpa}$$

Onde σ_{ep} é a tensão limite de escoamento do material do parafuso acoplado ao punção, que é também do material da alma do punção. O material é o aço SAE-1015, cuja sua tensão limite de escoamento é de 230 Mpa.

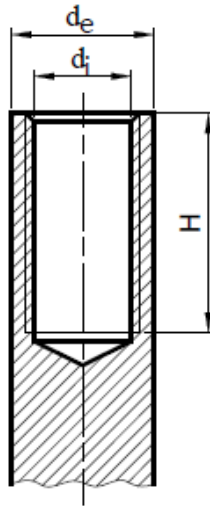


Figura 44: Bocal do punção (Fonte: Autor, 2024).

Da fórmula (13), calcula-se a tensão de cisalhamento da rosca do parafuso:

$$\tau_{rosc} = \frac{19\,634.95}{\pi \times 17 \times 38.5 \times 0.87 \times 0.65} = 16.89 \text{ Mpa} \leq [46 \text{ Mpa}]$$

Logo, a rosca do parafuso resiste ao cisalhamento.

Como a rosca do parafuso acoplado ao punção resiste e é mais frágil em relação a rosca da boca do punção, então a rosca da boca do punção também resiste ao cisalhamento.

5.8.3 Cálculo testador a flambagem da alma do punção

O cálculo testador a flambagem da alma do punção é feito através da fórmula e condição:

$$P < P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K_{cef} \times L_{alp})^2} \quad (15)$$

Onde:

E – é o módulo de elasticidade do material do punção. Tratando-se de aço, $E = 210 \text{ GPa}$;

L_{alp} – é o comprimento da alma do punção. $L_{alp} = 160 \text{ mm}$;

K_{cef} – é o factor de comprimento efectivo, cujo seu valor varia em função do tipo de apoio. Neste caso $K_{cef} = 2$, que é aplicado para apoio com uma extremidade engastada e a outra livre;

P_{cr} – é a carga crítica ou carga axial máxima imediatamente antes do início da flambagem;

P – é a carga axial aplicada. Neste caso $P = 19.63 \text{ kN}$ que é equivalente a força de briquetagem;

I – é o menor momento de inércia para área de secção transversal do punção. Neste caso, será considerado o momento de inércia da secção transversal circular oca do bocal do punção:

$$I = \frac{\pi \times (d_e^4 - d_i^4)}{64} = \frac{\pi \times (25^4 - 17^4)}{64} = 15074.93 \text{ mm}^4$$

Onde:

d_i – é o diâmetro interno da alma do punção. $d_i = 17 \text{ mm}$;

d_e – é o diâmetro externo da alma do punção. $d_e = 25 \text{ mm}$.

Da fórmula (14), calcula-se a carga crítica:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 15074.93}{(2 \times 160)^2} = 305.12 \text{ kN}$$

Como $P < P_{cr}$, ou seja, $19.63 \text{ kN} < 305.12 \text{ kN}$, então a alma do punção resiste a flambagem.

5.8.4 Cálculo testador ao cisalhamento da base do punção

O cálculo testador ao cisalhamento da base do punção é feito através da fórmula:

$$\tau_{bap} = \frac{R_{br}}{\pi \times d_e \times t_{bap}} \leq [\tau_{bap}] \quad (16)$$

Onde:

R_{br} – é a força de briquetagem. $R_{br} = 19\,634.95\,N$;

d_e – é o diâmetro externo da alma do punção. $d_e = 25\,mm$;

t_{bap} – é a espessura da base do punção. $t_{bap} = 6.35\,mm$;

τ_{bap} – é a tensão de cisalhamento na base do punção;

$[\tau_{bap}]$ – é a tensão de cisalhamento admissível na base do punção. O seu valor é:

$$[\tau_{bap}] = 0.2 \times \sigma_{ebp} = 0.2 \times 315\,Mpa = 63\,Mpa$$

Onde σ_{ebp} é a tensão limite de escoamento do material da base do punção. O material é o aço SAE-1015, cujo valor da sua tensão limite de escoamento é de 315 Mpa.

Pela fórmula (15), calcula-se a tensão de cisalhamento na base do punção:

$$\tau_{bap} = \frac{R_{br}}{\pi \times d_e \times t_{bap}}$$

$$\tau_{bap} = \frac{19\,634.95}{\pi \times 25 \times 6.35}$$

$$\tau_{bap} = 39.37\,Mpa \leq [63\,Mpa]$$

Portanto, a base do punção resiste ao cisalhamento.

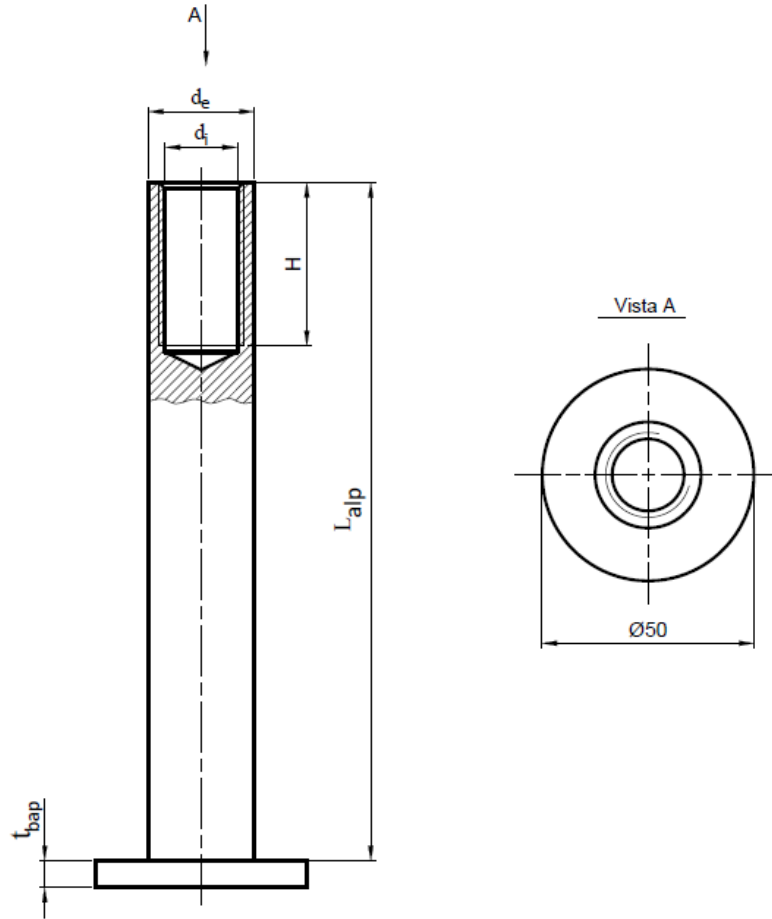


Figura 45: Punção (Fonte: Autor, 2024).

5.9 Cálculo projectivo da matriz

O cálculo projectivo da matriz compreende duas etapas: Determinação da espessura da parede e diâmetro externo da matriz, e o cálculo da espessura da base da matriz.

5.9.1 Determinação da espessura da parede e diâmetro externo da matriz

A condição de resistência da matriz a pressão interna é:

$$\sigma_{c,ma} = \frac{p_{br} \times d_{ima}}{2 \times t_{ma}} \leq [\sigma_{ma}] \quad (17)$$

Onde:

p_{br} — é a pressão manométrica desenvolvida no interior da matriz, que é a pressão de briquetagem. $p_{br} = 10 \text{ Mpa}$;

d_{ima} – é o diâmetro interno da matriz. $d_{ima} = 50 \text{ mm}$;

t_{ma} – é a espessura da parede da matriz;

$\sigma_{c,ma}$ – é a tensão normal na direcção circunferencial na matriz;

$[\sigma_{ma}]$ – é a tensão normal admissível na matriz. O seu valor é:

$$[\sigma_{ma}] = \frac{\sigma_{ma}}{[n]} = \frac{230}{1.5} = 153.3 \text{ Mpa}$$

Onde:

σ_{ma} – é a tensão limite de escoamento do material da matriz . Neste caso, o material da matriz é o aço SAE-1015, cuja tensão limite de escoamento no estado laminado é de 230 Mpa;

$[n]$ – é o coeficiente de segurança recomendado. $[n] = 1.5$ para materiais dúcteis.

Da fórmula (16), isola-se e calcula-se a espessura mínima da parede da matriz:

$$t_{ma} \geq \frac{p_{br} \times d_{ima}}{2 \times [\sigma_{ma}]}$$

$$t_{ma} \geq \frac{10 \times 50}{2 \times 210}$$

$$t_{ma} \geq 1.63 \text{ mm}$$

Após o cálculo da espessura mínima da parede da matriz, calcula-se o diâmetro externo mínimo da matriz por:

$$d_{ema} \geq d_{ima} + 2 \times t_{ma} \quad (18)$$

Onde d_{ema} é o diâmetro externo da matriz.

$$\text{Então: } d_{ema} \geq 50 + 2 \times 1.63$$

$$d_{ema} \geq 53.26 \text{ mm}$$

Normalizando, através do catálogo de tubos Oliveira, escolhe-se tubo circular de diâmetro externo de $2^{1/4}$ " (57.15 mm) e espessura de 3.35 mm, logo: $d_{ema} = 57.15 \text{ mm}$ e $t_{ma} = 3.35 \text{ mm}$.

5.9.2 Cálculo da espessura da base da matriz

A condição de resistência da base da matriz a pressão interna é:

$$\sigma_{l,ma} = \frac{p_{br} \times d_{ima}}{4 \times t_{bm}} \leq [\sigma_{bm}] \quad (19)$$

Onde:

p_{br} – é a pressão manométrica desenvolvida no interior da matriz, que é a pressão de briquetagem. $p_{br} = 10 \text{ Mpa}$;

d_{ima} – é o diâmetro interno da matriz. $d_{ima} = 50 \text{ mm}$;

t_{bm} – é a espessura da base da matriz;

$\sigma_{l,ma}$ – é a tensão normal na direcção longitudinal na matriz;

$[\sigma_{bm}]$ – é a tensão normal admissível na base da matriz. O seu valor é:

$$[\sigma_{bm}] = \frac{\sigma_{bm}}{[n]} = \frac{230}{1.5} = 153.3 \text{ Mpa}$$

Onde:

σ_{bm} – é a tensão limite de escoamento do material da base da matriz. Neste caso, o material da base da matriz é o aço SAE-1015, cuja tensão limite de escoamento no estado laminado é de 230 Mpa;

$[n]$ – é o coeficiente de segurança recomendado. $[n] = 1.5$ para materiais dúcteis.

Da fórmula (19), isola-se e calcula-se a espessura mínima da base da matriz:

$$t_{bm} \geq \frac{p_{br} \times d_{ima}}{4 \times [\sigma_{bm}]}$$

$$t_{bm} \geq \frac{10 \times 50}{4 \times 153.3}$$

$$t_{bm} \geq 0.82 \text{ mm}$$

Do conhecimento que se tem de chapas normalizadas do catálogo de materiais INTERMETAL, escolhe-se chapa de 2 mm de espessura, logo: $t_{bm} = 2 \text{ mm}$.

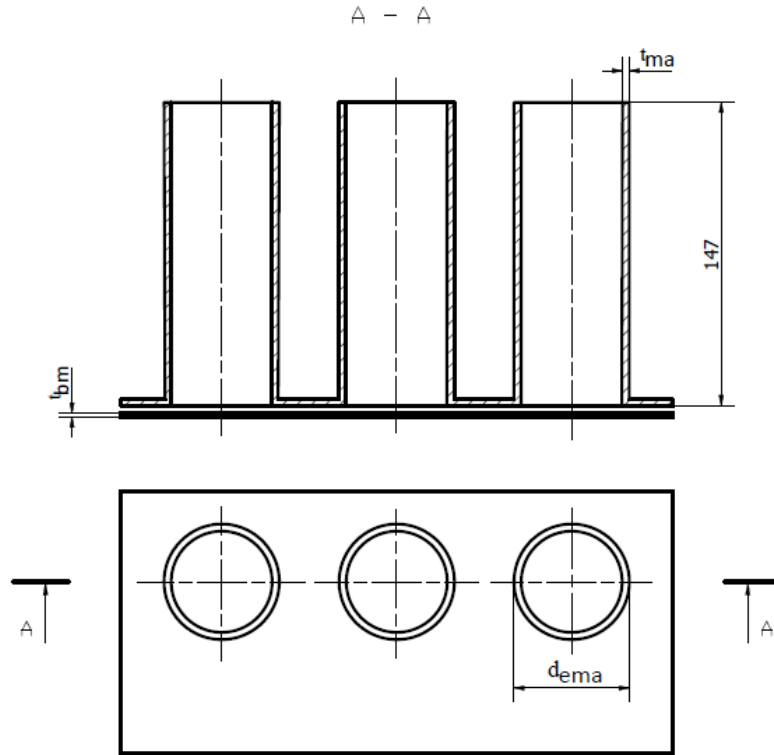


Figura 46:Matriz (Fonte: Autor, 2025).

5.10 Cálculo testador dos parafuso de fixação da mesa

O cálculo testador dos parafusos de fixação da mesa consiste basicamente nos seguintes cálculos:

1. Cálculo testador ao cisalhamento dos parafusos de fixação da mesa;
2. Cálculo testador ao esmagamento dos parafusos de fixação da mesa.

5.10.1 Cálculo testador ao cisalhamento dos parafusos de fixação da mesa

O cálculo testador ao cisalhamento dos parafusos de fixação da mesa é feito através da condição:

$$\tau_{pf} = \frac{Q_s}{\pi \times \frac{d_{pf}^2}{4} \times Z_{pf} \times i_{pf}} \leq [\tau_{pf}] \quad (20)$$

Onde:

Q_s – é carga suportada pela mesa. $Q_s = 3 \times R_{br} = 58904.85 \text{ N}$;

d_{pf} – é o diâmetro dos parafusos de fixação da mesa. $d_{pf} = 20 \text{ mm}$;

Z_{pf} – é o número de parafusos que suportam a carga na mesa. $Z_{pf} = 4$;

i_{pf} – é o número de planos de cisalhamento em cada parafuso de fixação da mesa. $i_{pf} = 2$;

τ_{pf} – é a tensão de cisalhamento nos parafusos de fixação da mesa;

$[\tau_{pf}]$ – é a tensão de cisalhamento admissível nos parafusos de fixação da mesa. O seu valor é:

$$[\tau_{pf}] = (0.2 \dots 0.3) \times \sigma_{epf} = 0.25 \times 230 \text{ Mpa} = 57.5 \text{ Mpa}.$$

Onde $\sigma_{epf} = 230 \text{ Mpa}$ é a tensão de escoamento do material dos parafusos de fixação da mesa.

Da condição (20), calcula-se a tensão de cisalhamento nos parafusos de fixação da mesa:

$$\tau_{pf} = \frac{58904.85}{\pi \times \frac{20^2}{4} \times 4 \times 2} = 23.44 \text{ Mpa} \leq [57.5 \text{ Mpa}]$$

Logo, os parafusos resistem ao cisalhamento.

5.10.2 Cálculo testador ao esmagamento dos parafusos de fixação da mesa

O cálculo testador ao esmagamento dos parafusos de fixação da mesa é feita através da condição:

$$\sigma_{esmpf} = \frac{Q_s}{d_{pf} \times t_b \times Z_{pf}} \leq [\sigma_{esmpf}] \quad (21)$$

Onde:

Q_s – é carga suportada pela mesa. $Q_s = 58904.85 \text{ N}$;

d_{pf} – é o diâmetro dos parafusos de fixação da mesa. $d_{pf} = 20 \text{ mm}$;

t_b – é a espessura da barra chata. $t_b = 6.35 \text{ mm}$;

Z_{pf} – é o número de parafusos que suportam a carga na mesa. $Z_{pf} = 4$;

σ_{esmpf} – é a tensão de esmagamento nos parafusos de fixação da mesa;

$[\sigma_{esmpf}]$ – é a tensão de esmagamento admissível nos parafusos de fixação da mesa.

$$[\sigma_{esmpf}] = 0.8 \times \sigma_{epv} = 0.8 \times 230 \text{ Mpa} = 184 \text{ Mpa}.$$

Pela condição (21), calcula-se a tensão de esmagamento nos parafusos de fixação da mesa:

$$\sigma_{esmpf} = \frac{58904.85}{20 \times 6.35 \times 4} = 115.95 \text{ Mpa} \leq [184 \text{ Mpa}]$$

Logo, os parafusos resistem ao esmagamento.

CAPÍTULO VI: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

6.1 Descrição dos componentes da máquina

A figura abaixo apresenta a vista explodida do protótipo assim como a lista dos elementos constituintes:

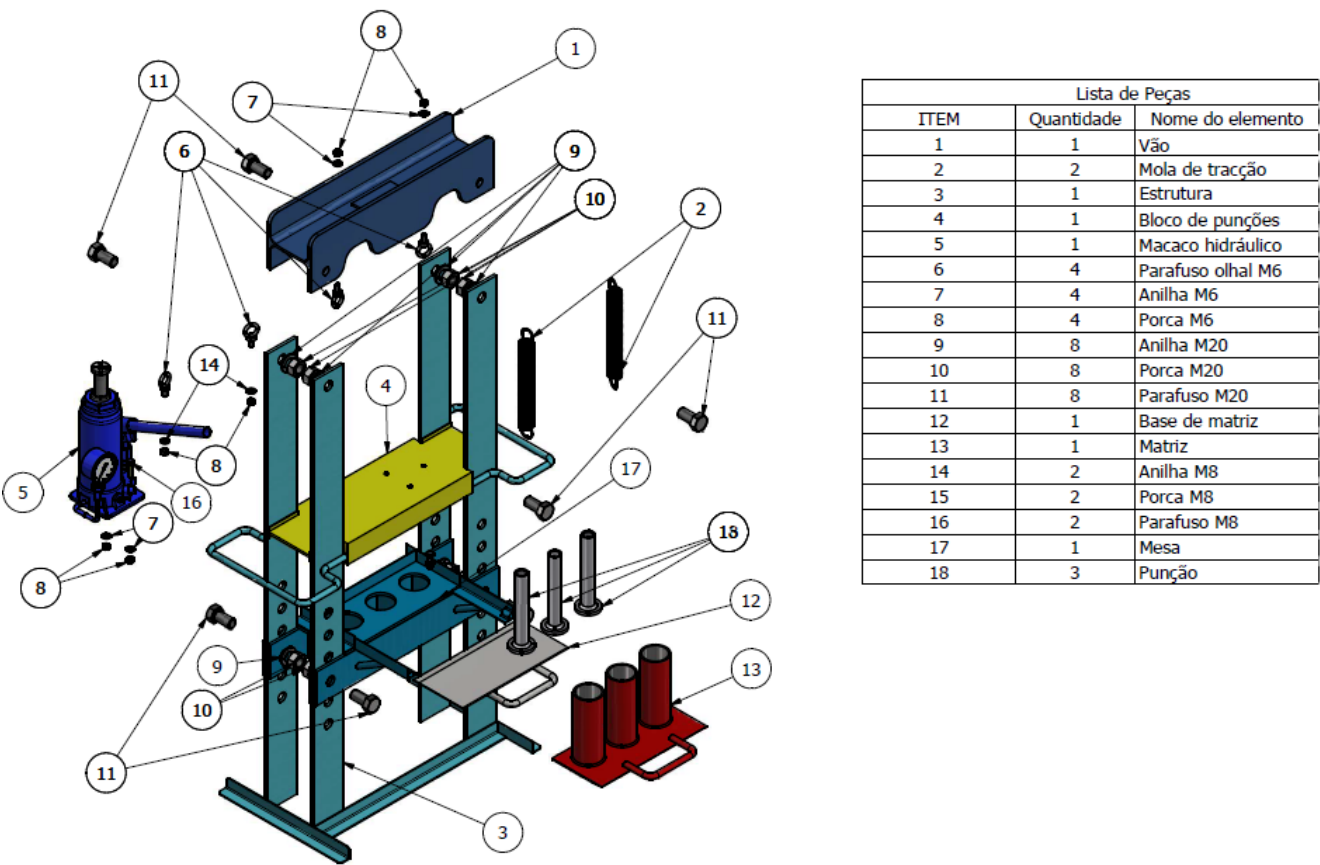


Figura 47: Vista explodida do protótipo e sua composição (Fonte: Autor, 2025).

- 1- Vão: Sustenta as molas de tracção e suporta a pressão da cabeça do fuso do macaco hidráulico.
- 2- Mola de tracção: Sustenta o bloco de punções e permite o retorno do seu movimento após cessado o esforço que lhe causa deslocamento para baixo.

- 3- Estrutura: Garante estabilidade da máquina e suporta a força gerada nos parafusos que suportam o vão e a mesa. Garante a rigidez necessária para evitar deformações ou desalinhamentos. É composta por barras chatas e cantoneiras.
- 4- Bloco de punções: Bloco onde são fixados os punções. É o elemento que transmite a força que provém do macaco hidráulico para os punções.
- 5- Macaco hidráulico: Gera, através de accionamento manual numa alavanca, a pressão do fluido hidráulico, que é transmitido ao cilindro, por meio de ganho de força, para movimentar o bloco de punções. O manómetro conectado ao macaco hidráulico mede e indica a pressão gerada para garantir a segurança da operação.
- 6- Parafusos olhais M6: Servem como alça para encaixar as molas de tracção no vão e no bloco de punções.
- 7- Anilhas M6: Evitam o desaperto das porcas e parafusos olhais M6. Distribuem a carga, evitando danos ao material.
- 8- Porcas M6: Formam pares roscados com parafusos olhais M6.
- 9- Anilhas M20: Evitam o desaperto das porcas e parafusos M20 e distribuem a carga, evitando danos ao material.
- 10- Porcas M20: Formam pares roscados com parafusos M20.
- 11- Parafuso M20: Servem, em conjugação com as suas porcas, para fixar o vão e a mesa na estrutura.
- 12- Base da matriz: servem para manter os briquetes na matriz durante o processo de compactação.
- 13- Matriz: Define os contornos exteriores dos briquetes durante a compactação.
- 14- Anilha M8: Evitam o desaperto das porcas e parafusos M8 e distribuem a carga, evitando danos ao material.

15- Porca M8: Formam pares roscados com parafusos M8.

16- Parafuso M8: Servem, em conjugação com as porcas, para centralizar e fixar o macaco hidráulico sobre o bloco de punções.

17- Mesa: Corpo que sustem a matriz e a sua base e permite o movimento destes.

18- Punção: Provoca a compactação da biomassa na matriz através do movimento e força transmitidos pelo macaco hidráulico.

6.2 Análise de custos do Projecto

Para obter o custo total do projecto, será levado em conta os custos da matéria-prima, custos de transporte e custos de mão de obra.

Os custos da matéria-prima são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 14: Custo da matéria-prima do projecto (Fonte: Autor, 2025)

<i>Material</i>	<i>Preço unitário [MT]</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço em Lote [MT]</i>
<i>Perfil HEA120</i>	1750 / metro	3 metros	5250,00
<i>Mola de tracção de Ø2.5× Dm 25.5 × L 193.6 mm</i>	320	2	6400,00
<i>Barra chata de aço carbono 3 × 1/4" × 6m</i>	3200	1	3200,00
<i>Cantoneira de aço SAE 20 de 25 × 25 × 6000mm</i>	600	1	600,00
<i>Varão Ø12 × 5800 mm</i>	460	1	460,00
<i>Perfil U152</i>	2560 / metro	1 metro	2560,00
<i>Macaco hidráulico tipo garrafa – 10T</i>	2310	1	2310,00
<i>Manómetro Ø 63mm, 1000 bar</i>	1955	1	1955,00
<i>Parafuso olhal M6</i>	115/ pacote	1 pacote de 8 unidades	115,00

<i>Porca sextavada M6</i>	320/ pacote	1 pacote de 100 unidades	320,00
<i>Anilha M6</i>	93/ pacote	1 pacote de 100 unidades	93,00
<i>Parafuso sextavado M20</i>	530/ pacote	1 pacote de 12 unidades	530,00
<i>Porca sextavada M20</i>	253/ pacote	2 pacotes de 10 unidades	506,00
<i>Anilha de mola M20</i>	112/ pacote	2 pacotes de 10 unidades	224,00
<i>Chapa de aço carbono de 2 × 600 × 600 mm</i>	1170	1	1170,00
<i>Tubo de aço carbono Ø 2 1/4" × e3.35 × 500 mm</i>	1825	1	1825,00
<i>Parafuso sextavado M8</i>	226/ pacote	1 pacote de 10 unidades	226,00
<i>Porca Sextavada M8</i>	383/ pacote	1 pacote de 100 unidades	373,00
<i>Anilha de mola M8</i>	261/ pacote	1 pacote de 100 unidades	261,00
<i>Varão Ø 25 × 5800 mm</i>	1788	1	1788,00
<i>Total</i>	—	—	24 406,00

O custo total estimado do projecto leva em conta também os custos de transporte e de mão de obra, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 15: custos da matéria-prima, transporte, mão de obra e o valor total estimado do projecto (Fonte: Autor, 2025)

<i>Custo</i>	<i>Preço</i>
<i>Matéria-prima</i>	24 406,00 Mts
<i>Transporte e importação</i>	4 253,00 Mts
<i>Mão de obra</i>	17 670,00 Mts
<i>Total</i>	46 329,00 Mts

Portanto, o valor total do custo estimado do projecto é de 46 329,00 Mts.

6.3 Análise da Produtividade da máquina

Tendo em conta que em cada briquetagem saem 3 briquetes, a massa de saída em cada briquetagem fica:

$$m_{sai} = 3 \times m_{briq} = 3 \times 0.06 \text{ kg} = 0.18 \text{ kg}$$

A capacidade de processamento da máquina é de: $0.18 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{60 \text{ min}}{2.5 \text{ min}} = 4.32 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$.

CAPÍTULO VII: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Conclusões

Neste trabalho de licenciatura, foi feito a projecção de uma máquina para produção de briquetes a partir da serradura de madeira. Este projecto surge como proposta para o combate ao desperdício e poluição provocada pelos resíduos de madeira.

Portanto, durante o estudo e realização do projecto, constatou-se que:

- O uso de briquetes como fonte de energia é uma prática ecológica. Deve-se promover ao plantio de modo a explorar mais a biomassa, por ser uma fonte de energia limpa;
- A biomassa pode ser uma fonte de energia barata quando é aproveitada a partir do desperdício gerado pelas indústrias de madeira e alimentar;
- Os resíduos de madeira e de cascas de vários cereais quando são compactados ganham maior poder calorífico em relação a lenha;

Quanto aos parâmetros do dimensionamento da máquina de briquetes, constatou-se que:

- O macaco hidráulico satisfaz as condições de capacidade de carga e trabalho;
- Todos os elementos que compõem a prensa satisfazem as condições de resistência;
- A prensa pode ser adaptada para conformação mecânica de metais, bastando trocar a matriz e os punções.

Quanto a capacidade de processamento, constatou-se que a prensa apresenta uma produtividade 4.32 kg/h, o que é superior a capacidade de processamento requerida de 4 kg/h.

No que se refere ao retorno de investimentos, prevê-se um lucro mensal estimado em média de 22950,00 Mts contra um investimento inicial estimado de cerca de 46329,00 Mts, o que significa que poderá haver o retorno de todo investimento após dois meses e uma semana.

7.2 Recomendações

- Recomenda-se a realização do cálculo testador a fadiga das molas e nos pares roscados;
- Recomenda-se a realização de cálculo testador a rigidez a flexão do vão e do bloco de punções;

- Recomenda-se a elaborar um plano de manutenção para o macaco hidráulico tomando em conta o nível de óleo hidráulico e a verificação a extensão do pistão a fim de detectar a presença de corrosão;
- Recomenda-se a realização de simulação da estrutura geral da máquina através de um software a fim de detectar regiões mais frágeis na estrutura da prensa;
- Recomenda-se a fazer raios de concordâncias nos cantos vivos da estrutura da prensa para evitar que este constitua perigo humano.
- Recomenda-se a automatização do processo de prensagem para melhorar a produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P.H.F.; *Formas de aproveitamento do resíduo de Madeira*, TCC, Universidade Estadual de Maringá, 2007.

ALVES JÚNIOR, F. T. et al. *Utilização de biomassa para briquetagem como fonte de energia alternativa e a disponibilidade deste recurso na região do Cariri-CE*. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção – Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2006.

AQUINO, J. N., *Aproveitamento de resíduos de madeira de serraria para produção de carvão e redução de área de floresta explorada*. Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais área de concentração Manejo Florestal e Silvicultura Tropical da Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém – Pará, 2018.

BARROS, V. C. C. *Briquetes produzidos com resíduos de poda urbana e embalagens cartonadas*. Viçosa, Minas Gerais – BRASIL, 2013.

BILA, Silene I.S. *Avaliação da produção, comercialização e uso de serradura na cidade de Maputo*. Universidade Eduardo Mondlane – Licenciatura em Engenharia Florestal. Maputo, 2004.

BRUNETTI, Franco. *Mecânica dos Fluidos*. 2ª Edição • Revisada. São Paulo: Pearson, 2015.

BUDYNAS, Richard G. & NISBETT, J. Keith. *Elementos de Máquinas de Shigley*. 8 ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2011.

CARNEIRO, A. de C. O. *Aproveitamento de resíduos agrícolas e florestais para produção de briquetes para geração de energia*. Viçosa, 2012.

CARVALHO, E. A., BRINCK, V. *Briquetagem*. Comunicação técnica elaborada para a 4ª edição do livro. In: LUZ, A. B. da, SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M. de. (CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia). *Tratamentos de minérios*. c. 15. p. 603-636. Rio de Janeiro, 2004.

CARVALHO, Luiz F.F. *Curso de formação de operadores de refinaria : mecânica dos fluidos*. Curitiba : PETROBRAS : UnicenP, 2002.

DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS (DNTF). *Ponto de situação dos Mega Projetos de reflorestamento em Moçambique*. Maputo, Moçambique, 2011.

ENERGYEDIA. *Produção de Briquetes a partir da Biomassa Proveniente das Industrias Madeiras em Moçambique*. Moçambique, 2022.

ENERGYEDIA. *Tipos de combustíveis para cozinha utilizados em Moçambique, o seu preço e impacto nas famílias, bem como no ambiente*. Moçambique, 2022.

HIBBELER, Russell Charles. *Resistência dos materiais*. 7.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

KOULLAS, D.P. AND E.G. KOUKIOS. 1987. *Briquetting of Wheat Straw*. Paper Presented at FAO/CNRI First Workshop on Handling and Processing of Biomass for Energy, Hamburg, FRG, 14-15 September.

MAKONYA, Tsitsi Zito. *Produção e Caracterização de Briquetes Provenientes de Serradura de Tronco de Coqueiro e Resíduos de Mandioca (Casca de Mandioca)*. Universidade Eduardo Mondlane – Licenciatura em Engenharia Química. Maputo, 2022.

MARCHIORI, J.C. *Aproveitamento de Resíduos de Madeira para Confeção de Briquetes*. Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro – Curso de Engenharia Florestal. Seropédica, 2006.

MOREIRA, J. R. 2005. *Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira*. Editora UNICAMP, Novas tecnologias para os vetores modernos de energia de biomassa, p.382.

MOTOLESY, G.A. and D. FOR 1986. *Development of a Moisture Resistant Densified Solid Fuel from Forest Biomass*. Report of Contract File No. 51SZ.23216-4-6370. Renewable Energy Branch, Energy, Mines and Resources Canada, Canada.

NHAMBIU, J.P. *Sistemas energéticos: Tipos de energia*, Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 2017. Disponível em: <http://nhambiu.uem.mz>

NORTON, Robert. *Projecto de Máquinas*, 4 ed, Porto Alegre: Bookman, 2013.

OSHIRO, T.L. *Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos lignocelulosicos*. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Engenharia Ambiental. Londrina, 2016.

PAIVA, M. V., *Tecnologia de produção de briquetes de resíduos de fruta para geração de energia*, Uberlândia, 2022.

QUIRINO, W. F. *Utilização energética de resíduos vegetais*. IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais – LPF, Brasília, 2002, 35 p.

SCHAAP, A. 1985. English Abstracts of Thesis, Twenty University, the Netherlands.

SILVA, C. A. da. *Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos de madeireiros para fins energéticos*. 2007. 68 p. Dissertação (Mestrado em Planejamentos de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SITOE, R.V, *Manual de Órgãos de Máquinas I: Critérios de capacidade de trabalho*. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 2010.

TREZEK, G.J., G.M. SAVAGE AND D.B. JONES 1981. *Fundamental considerations for Preparing Densified Refuse Derived Fuel*, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268.

VASCONCELLOS, G. F. *Biomassa: A eterna energia do futuro*. São Paulo: SENAC, 2002.

WELZK, Frank-Joachim, *Manual de resistência dos Materiais*, Volume I e II, Ministério do Ensino Técnico e Superior da RDA, Dresden, 1985.

https://energypedia.info/wiki/Produ%C3%A7%C3%A3o_de_Briquetes_a_partir_da_Biomassa_Proveniente_das_Industrias_Madeireiras_em_Mo%C3%A7ambique

https://energypedia.info/wiki/File:Fig.2_Tipos_de_combust%C3%A0veis_usadas_nas_cozinhas_em_Mo%C3%A7ambique..png

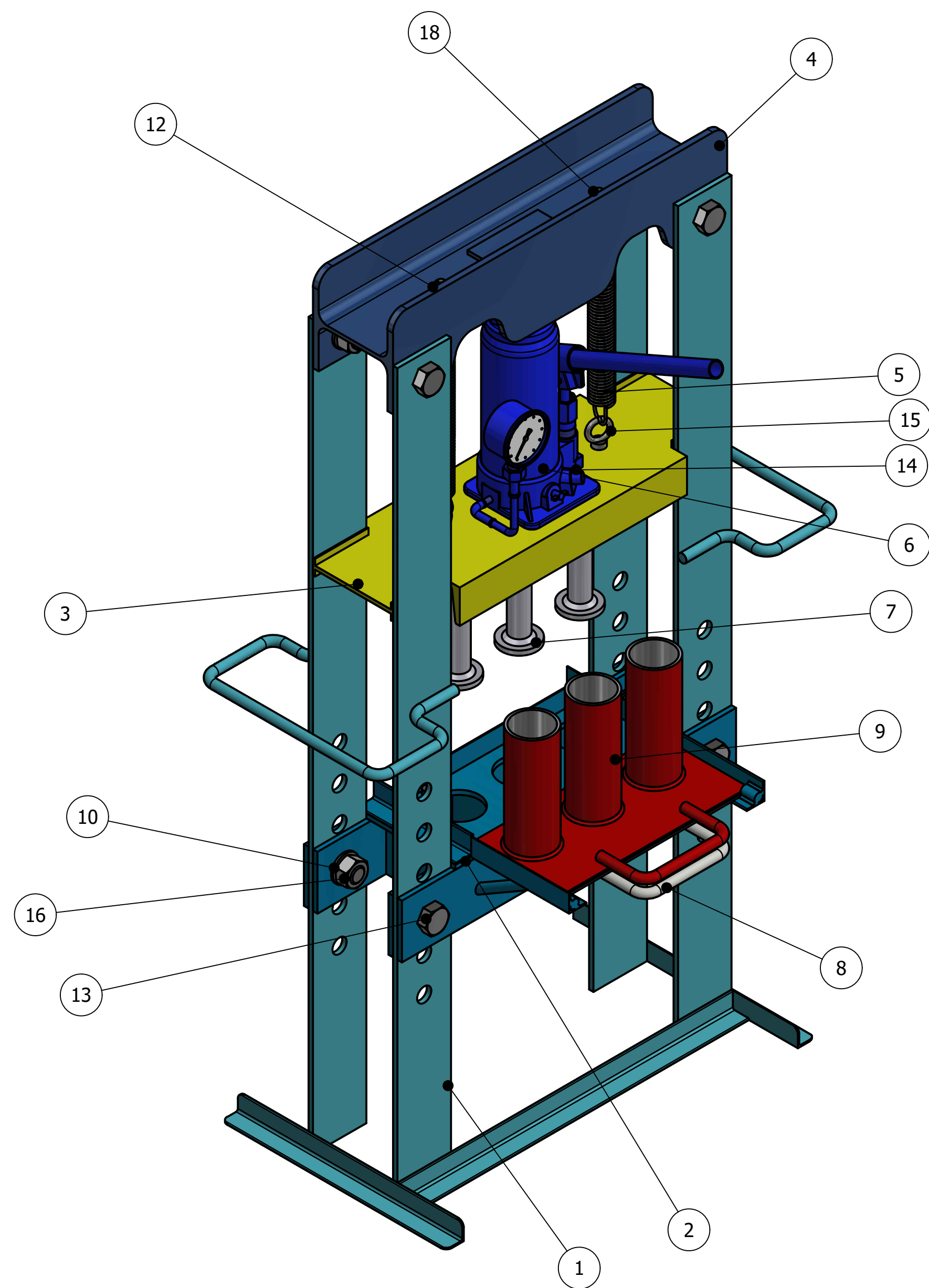
<https://www.cmaputo.gov.mz/por/Cidade-de-Maputo>

ANEXOS

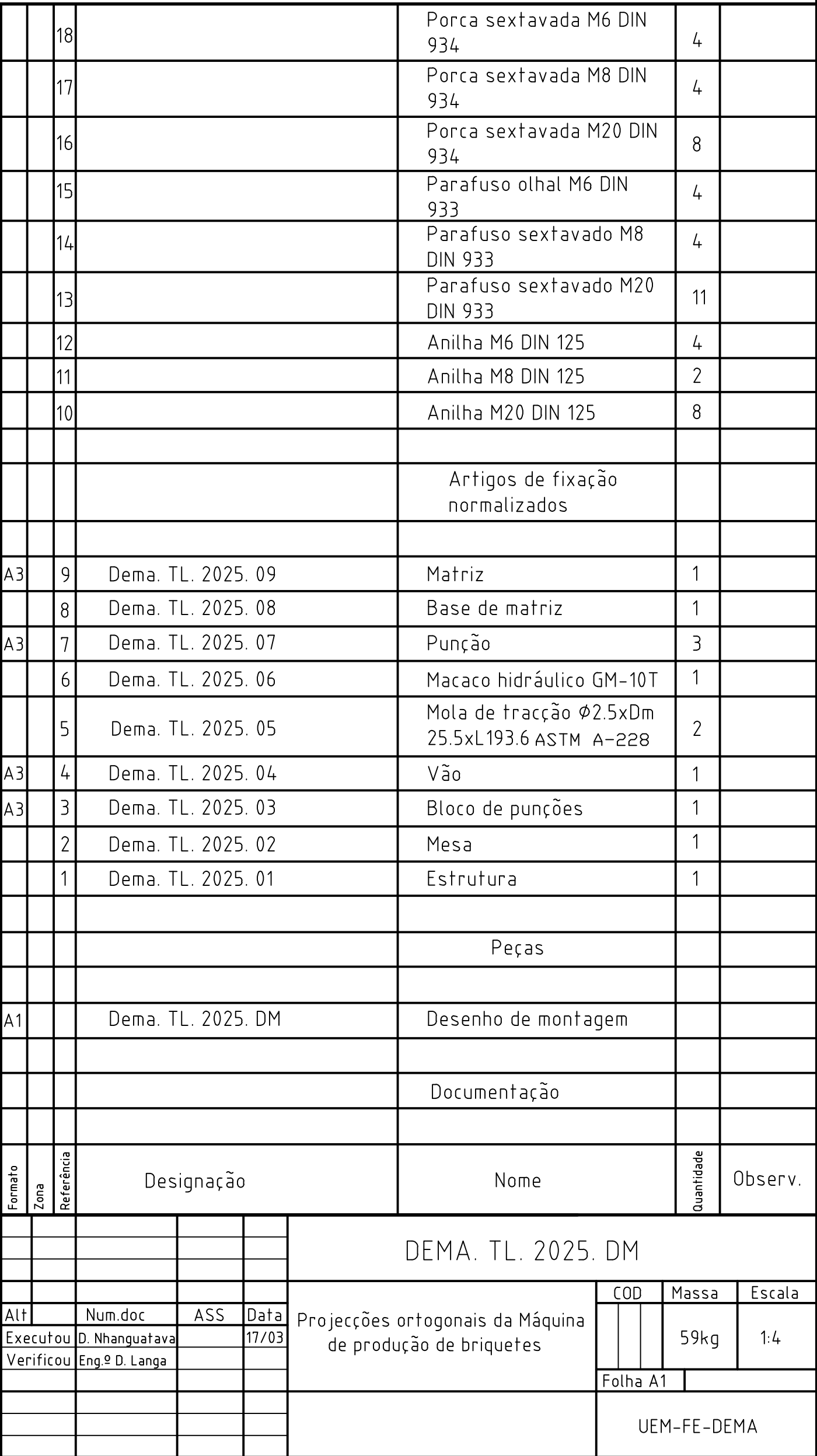
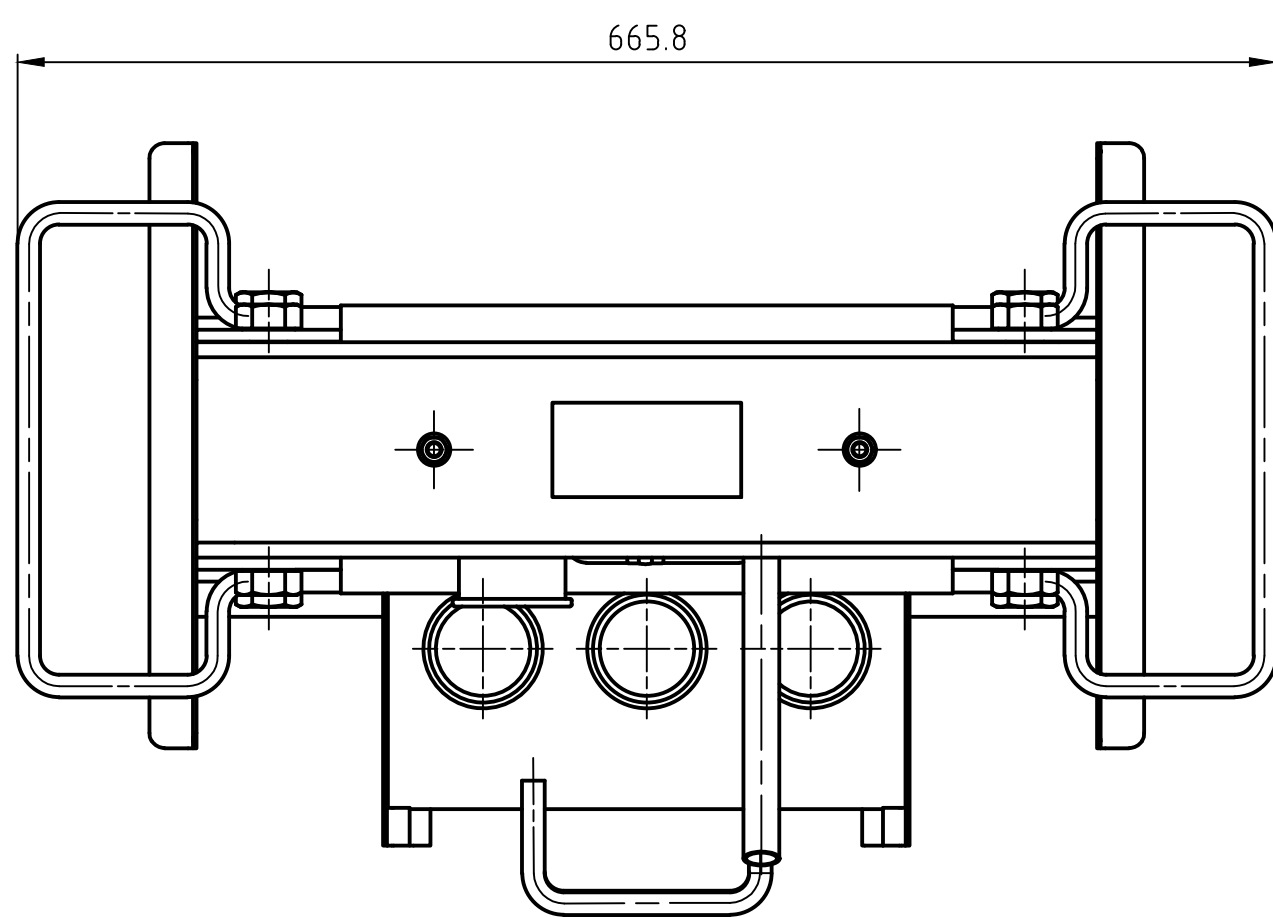
DESENHO A1 – Projeções ortogonais da máquina de produção de briquetes.

DESENHO A2 – Perspectiva axonométrica da máquina de produção de briquetes.

DESENHO A1 – Desenhos de fabrico.



			18			Porca sextavada M6 DIN 934	4			
			17			Porca sextavada M8 DIN 934	4			
			16			Porca sextavada M20 DIN 934	8			
			15			Parafuso olhal M6 DIN 933	4			
			14			Parafuso sextavado M8 DIN 933	4			
			13			Parafuso sextavado M20 DIN 933	11			
			12			Anilha M6 DIN 125	4			
			11			Anilha M8 DIN 125	2			
			10			Anilha M20 DIN 125	8			
						Artigos de fixação normalizados				
A3		9	Dema. TL. 2025. 09			Matriz	1			
		8	Dema. TL. 2025. 08			Base de matriz	1			
A3		7	Dema. TL. 2025. 07			Punção	3			
		6	Dema. TL. 2025. 06			Macaco hidráulico GM-10T	1			
		5	Dema. TL. 2025. 05			Mola de tracção Ø2.5xDm 25.5xL193.6 ASTM A-228	2			
A3		4	Dema. TL. 2025. 04			Vão	1			
A3		3	Dema. TL. 2025. 03			Bloco de punções	1			
		2	Dema. TL. 2025. 02			Mesa	1			
		1	Dema. TL. 2025. 01			Estrutura	1			
						Peças				
A2			Dema. TL. 2025. DM			Desenho de montagem				
						Documentação				
Formato	Zona	Referência	Designação			Nome		Quantidade	Observ.	
						DEMA. TL. 2025. DM				
Alt			Num.doc	ASS	Data	Perspectiva axonométrica da Máquina de produção de briquetes		COD	Massa	Escala
Executou		D. Nhangatava		17/03					59kg	1:4
Verificou		Eng.º D. Langa								
								UEM-FE-DEMA		



						DEMA. TL. 2025. 07				
Alt	Num.doc	ASS	Data			Punção	COD	Massa	Escala	
Executo	D. Nhanguatava		17/03							1:1
Verificou	Eng.º D. Langa									
							Folha A3			
						Aço SAE-1015			UEM-FE-DEMA	