



## **Projecção de uma Estrutura Para o Suporte de Colectores Solares**

### **Autor:**

Muchanga, France Brey António

### **Supervisores**

Da Faculdade:

Eng<sup>o</sup> Dionísio Alfredo Langa

Da Instituição:

Aime Sozinho Macabaça

Maputo, dezembro de 2024



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**Projecção de uma Estrutura Para o Suporte de Colectores Solares**

**Autor:**

Muchanga, France Brey António

**Supervisores**

Da Faculdade:

Eng<sup>o</sup> Dionísio Alfredo Langa

Da Instituição:

Aime Sozinho Macabaça

Maputo, dezembro de 2024

France Brey António Muchanga

**Projeção de uma estrutura para o suporte de colectores solares**

Relatório de estágio apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane como requisito parcial para obtenção de grau de Licenciatura em Engenharia Mecânica.

Supervisor: Eng<sup>o</sup> Dionísio Alfredo Langa.

(UEM, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica).

Maputo, dezembro de 2024

## **Dedicatória**

Dedico o presente trabalho à minha mãe Lina Francisco Machava.

Ao meu pai e irmãos, pelo amor incondicional, apoio financeiro e emocional em todas as etapas da minha caminhada estudantil e por me ensinarem o valor do esforço e da perseverança.

Aos meus amigos e colegas, pelo incentivo e pelas palavras de motivação nos momentos mais desafiadores.

E, especialmente, a minha irmã Palmira Zita António Muchanga, pelo tamanho amor que tem me dado, por acreditar em mim e por ser um pilar de apoio durante toda essa jornada.

Este projecto é fruto de muitos sonhos, sacrifícios e aprendizado, e a todos que contribuíram directa ou indirectamente, deixo aqui minha eterna gratidão.

## **Agradecimentos**

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste relatório de estágio.

Especialmente ao meu supervisor, Eng° Dionísio Alfredo Langa pela orientação valiosa e apoio contínuo ao longo de todo o processo.

A SunPower pela oportunidade de estágio e de crescimento profissional. Em especial ao Eng° Alberto Pondeca e o Eng° Aime Sozinho, pelo conhecimento por eles transmitido, pelo apoio e orientação que recebi ao longo do meu estágio.

Aos meus colegas de turma e amigos que ofereceram incentivo e suporte durante esta jornada acadêmica.

Aos membros de júri

Por fim agradeço a minha família pelo amor incondicional e encorajamento constante.

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio de todos vocês. Muito obrigado!

# Índice

<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
1. Introdução .....	1
1.1. Objectivos .....	3
1.1.1. Objectivo Geral.....	3
1.1.2. Objectivos específicos.....	3
1.2. Justificativa .....	3
1.3. Metodologia de pesquisa .....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	5
2. Fundamentação Teórica .....	5
2.1 Energia solar .....	5
2.2. Colectores solares térmicos .....	5
2.2.1. Classificação de sistemas solares térmicos .....	5
2.2.2. Tipos de colectores solares térmicos.....	6
2.2.2.1. Colectores planos .....	6
2.2.2.2. Colectores de tubos de vácuo .....	7
2.2.2.3. Colectores concentradores .....	8
2.3. Importância da estrutura de suporte .....	8
2.3.1. Eficiência do sistema .....	8
2.3.2. Durabilidade e vida útil.....	9
2.3.3. Segurança .....	9
2.4. Dimensionamento de estruturas para suporte de colectores solares .....	9
2.4.1. Factores de dimensionamento .....	9
2.5. Materiais utilizados nas estruturas de suporte de colectores solares .....	10
2.5.1. Aço .....	10
2.5.2. Alumínio.....	11
2.5.3. Concreto .....	11
2.6. <i>Layout</i> da fábrica para produção das estruturas de suporte de colectores solares .....	11
2.6.1. <i>Layout</i> da Fábrica .....	11
2.6.2. Alocação de Espaço .....	12
2.6.3. Instalação e Maquinaria Necessária.....	12
2.7. Análise de viabilidade económica .....	13

2.7.1. Principais aspectos a serem considerados na análise de viabilidade económica.....	13
2.7.1.1. Custo de produção .....	13
2.7.1.2. Custos de instalação da fábrica .....	13
2.7.1.3. Custos de manutenção: .....	13
2.7.1.4. Receitas esperadas: .....	13
2.7.1.5. Custos de Capital e Financiamento .....	14
2.7.2. Métodos de Análise Econômica .....	14
2.7.2.1. <i>Payback</i> .....	14
2.7.2.2. Taxa Interna de Retorno (TIR):.....	14
2.7.2.3. Valor Presente Líquido (VPL):.....	14
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>15</b>
3. Metodologia de Execução e Resultados dos Cálculos.....	15
3.1. Dimensionamento da estrutura .....	15
3.1.1. Escolha do material.....	15
3.1.2. Cargas actuantes .....	16
3.1.2.1. Carga do tanque.....	16
3.1.2.2. Carga dos tubos de vácuo .....	19
3.1.2.3. Carga de vento.....	20
3.1.3 Cálculo dos esforços actuantes na estrutura.....	23
3.1.4. Verificação da resistência das secções transversais .....	29
3.1.4.1. Tensões limites do material.....	29
3.1.4.2. Cálculo dos parâmetros geométricos dos perfis .....	30
3.1.4.3. Análise de tração e compressão na estrutura.....	32
3.1.4.4. Análise da tensão de flexão .....	33
3.1.4.5. Análise da tensão de cisalhamento .....	36
3.1.4.6. Verificação da estabilidade (Flambagem).....	39
3.1.4.7. Análise das cargas combinadas .....	42
3.1.5. Escolha das ligações .....	44
3.1.5.1 Escolha do material para os parafusos e porcas .....	44
3.1.5.2. Escolha dos parâmetros do parafuso .....	44
3.1.6. Escolha do chumbador.....	47
3.1.6.1. Breve cálculo de resistência.....	47

3.1.6.2. Método de aplicação .....	48
3.2. Projecção da fábrica .....	49
3.2.1. Apresentação da fábrica .....	49
3.2.2. Localização.....	49
3.2.3. Escolha do tipo de produção .....	49
3.2.4. Apresentação do produto.....	50
3.2.4.1. Características técnicas do producto .....	50
3.2.4.2. Desenho do produto.....	50
3.2.5. Fonte de matéria-prima e subsidiários .....	50
3.2.6. Mercado.....	51
3.2.7. Estudo dos fluxos.....	51
3.2.7.1. Gráficos dos fluxos de processo Tipo – Esboço.....	51
3.2.7.2. Gráficos dos fluxos de processo Tipo – Material.....	51
3.2.8. Equipamentos para a produção.....	51
3.2.8.1. Escolha das máquinas e equipamentos auxiliares .....	51
3.2.8.2. Características técnicas das máquinas e dos equipamentos auxiliares .....	52
3.2.9 Balanceamento das cargas dos equipamentos .....	57
3.2.9.1. Descrição sumária das principais operações .....	57
3.2.9.2. Cálculo do número de máquinas e equipamentos auxiliares .....	59
3.2.10. Cálculo das superfícies.....	64
3.2.10.1. Cálculo das superfícies para as máquinas .....	64
3.2.10.2. Cálculo das superfícies para outros equipamentos.....	66
3.2.11. <i>Layout</i> .....	67
3.2.11.1. Descrição sumária.....	67
3.2.11.2. Pré-planta da fábrica .....	69
3.2.11.3. Planta da fábrica .....	69
3.2.12. Movimentação e transporte .....	69
3.2.12.1. Descrição dos meios de transporte .....	69
3.2.12.2. Vias de circulação interna.....	70
3.2.12.3. Esquema de circulação.....	72
3.2.13. Instalações .....	73
3.2.13.1. Armazenagem.....	73

3.2.13.2. Instalações de ar comprimido.....	74
3.2.13.3. Abastecimento de água .....	74
3.2.13.4. Fontes de energia.....	74
3.2.13.5. Breve dimensionamento do posto de transformação .....	74
3.2.14. Estrutura .....	76
3.2.14.1. Tipo de estrutura.....	76
3.2.14.2. Cobertura.....	76
3.2.14.3. Revestimento lateral e divisórias.....	77
3.2.14.4. Pavimento.....	77
3.2.14.5. Arquitetura .....	77
3.2.15. Condições ambientais .....	77
3.2.15.1. Iluminação.....	77
3.2.15.2. Ventilação.....	77
3.2.15.3. Climatização.....	78
3.2.15.4. Acústica.....	78
3.3. Análise de viabilidade económica.....	79
3.3.1. Estimativa dos investimentos iniciais .....	79
3.3.2. Custos fixos e custos variáveis .....	79
3.3.3 Cálculo das receitas .....	80
3.3.4. Cálculo dos indicadores de viabilidade do projecto .....	81
3.3.5. Análise dos indicadores de de viabilidade do projecto .....	81
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>83</b>
4. Análise dos Resultados .....	83
4.1 Decisão .....	86
5. Conclusões e recomendações .....	87
5.1. Conclusões .....	87
5.2. Recomendações.....	88
6. Referências bibliográficas.....	89

## Lista de figuras

Figura 1. Tipos de sistemas solares térmicos.....	6
Figura 2. Colector solar plano .....	7
Figura 3. Colectores solares de tubos de vácuo.....	7
Figura 4. Colectores solares conentradores.....	8
Figura 5. Representação do termo de água em corte .....	17
Figura 6. Chapa interna do termo em corte .....	17
Figura 7. Chapa externa do termo em corte .....	18
Figura 8. Espuma de poliuretano em corte.....	18
Figura 9. Factor $S_2$ .....	21
Figura 10. Factor estatístico $S_3$ .....	22
Figura 11. Áreas projectadas atingidas pelo vento .....	22
Figura 12. Carregamentos actuantes na vista frontal da estrutura .....	24
Figura 13. Diagrama dos esforços normais na vista frontal .....	24
Figura 14. Diagrama dos esforços cortantes na vista frontal.....	25
Figura 15. Diagrama do momento flector na viosta frontal .....	25
Figura 16. Momento causado pela carga de vento no tanque.....	26
Figura 17. Carregamentos actuantes na vista lateral da estrutura.....	27
Figura 18. Diagrama dos esforços normais na vista lateral da estrutura.....	27
Figura 19. Diagrama dos esforços cortantes na vista lateral .....	28
Figura 20. Diagrama do momento flector na vista lateral.....	28
Figura 21. Parâmetros geométricos do perfil 1 .....	30
Figura 22. Parâmetros geométricos do perfil 2.....	30
Figura 23. Parâmetros geométricos do perfil 3 .....	31
Figura 24. Parâmetros geométricos do perfil 4.....	31
Figura 25. Parâmetros geométricos do perfil 5 .....	31
Figura 26. Perfil 1 .....	34
Figura 27. Perfil 2 .....	34
Figura 28. Perfil 3 .....	35
Figura 29. Perfil 4 .....	35
Figura 30. Perfil 5 .....	36

Figura 31. Perfil 1 .....	37
Figura 32. Perfil 2 .....	37
Figura 33. Perfil 3 .....	38
Figura 34. Perfil 4 .....	38
Figura 35. Perfil 5 .....	39
Figura 36. Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados.....	39
Figura 37. Chumbadores PBA e suas características .....	47
Figura 38. Método de aplicação dos chumbadores PBA .....	48
Figura 39. Selecção previa do tipo de produção.....	49
Figura 40. Desenho do produto.....	50
Figura 41. Gilhotina .....	52
Figura 42. Máquina de corte a layser .....	53
Figura 43. Prensa hidráulica para dobragem .....	54
Figura 44. Prensa hidráulica .....	54
Figura 45. Pré-planta.....	69
Figura 46. Esquema da circulação em sentido único .....	70
Figura 47. Esquema da circulação com encontros.....	71
Figura 48. Armazenamento da matéria-prima em estantes .....	73
Figura 49. Armazenamento do produto acabado em estantes .....	73
Figura 50. Cálculo de tarifas mensais para postos de transformação .....	76

### **Lista de tabelas**

Tabela 1. Propriedades mecânicas físicas do aço SAE 1020.....	15
Tabela 2. Composição química do aço SAE 1020.....	16
Tabela 3. Valores maximos dos esforços actuantes na estrutura.....	29
Tabela 4. Características técnicas da guilhotina .....	52
Tabela 5. Características técnicas da máquina de corte a layser.....	53
Tabela 6. Características técnicas da maquina hidráulica para quinagem .....	53
Tabela 7. Características técnicas da prensa hidraulica.....	54
Tabela 8. Características técnicas do carrinho de mão.....	55

Tabela 9. Parâmetros da empilhadeira.....	55
Tabela 10. Parâmetros do esmeril .....	56
Tabela 11. Parâmetros do equipamento de soldadura .....	56
Tabela 12. Parâmetros do compressor de ar .....	56
Tabela 13. Parâmetros do equipamento de pintura .....	56
Tabela 14. Postos de trabalho .....	58
Tabela 15. Estimativa do tempo de cada operação .....	60
Tabela 16. Resumo do cálculo do número de máquinas .....	62
Tabela 17. Gama de fabricação.....	62
Tabela 18. Distribuição das operações da mesma ordem.....	63
Tabela 19. Quadro de verificação .....	64
Tabela 20. Áreas das máquinas.....	65
Tabela 21. Áreas das bancadas .....	65
Tabela 22. Área para o armazém da matéria-prima .....	66
Tabela 23. Áreas para o sector administrativo.....	68
Tabela 24. Outras áreas.....	68
Tabela 25. Distribuição dos trabalhadores.....	72
Tabela 26. Estimativa do investimento inicial.....	79
Tabela 27. Custos fixos .....	80
Tabela 28. Custos variáveis .....	80
Tabela 29. Receita bruta anual.....	80
Tabela 30. Lucro líquido anual .....	81
Tabela 31. Análise de fluxo de caixa projectado .....	81
Tabela 32. Indicadores de viabilidade .....	81
Tabela 33. Apresentação dos resultados obtidos para os esforços axiais críticos.....	84
Tabela 34. Apresentação dos resultados obtidos para as tensões nas ligações parafusadas .....	85
Tabela 35. Apresentação dos resultados obtidos para os esforços que actuam nos chumbadores PBA.....	85
Tabela 36. Resultado dos indicadores de viabilidade.....	85

## Lista de gráficos

Gráfico 1. Relação entre as tensões que actuam nos diversos perfis e a tensão máxima admissível para os esforços de tração e compressão .....	83
Gráfico 2. . Relação entre as tensões de cargas combinadas actuantes nos diversos perfis e a tensão máxima admissível para os esforços de cargas combinadas (tensão de flexão e cisalhamento) .....	84
Gráfico 3. Payback descontado.....	86

## Resumo

Este trabalho aborda o dimensionamento de uma estrutura para suporte de colectores solares, analisando as cargas e condições ambientais para determinar os requisitos de *design* da estrutura, garantindo sua capacidade de suportar adequadamente o colector solar.

Será desenvolvida uma proposta de *layout* eficiente para a fábrica que vai produzir a estrutura do colector solar. Isso vai incluir o arranjo dos equipamentos, fluxo de processo e optimização do espaço para garantir uma produção eficaz.

Será realizada também uma análise de viabilidade económica, fase esta onde serão considerados factores como custo de matéria-prima, transporte, gastos com energia, impostos e possíveis subsídios ou incentivos governamentais. O objectivo é determinar a viabilidade financeira do projecto.

**Palavras-chave:** estrutura, *layout*, economia.

## **Abstract**

This work consists on the sizing of a structure to support solar collectors, analyzing the loads and environmental conditions to determine the design requirements of the structure, ensuring its ability to adequately support the solar collector.

An efficient layout proposal will be developed for the factory that will produce the solar collector structure. This will include the arrangement of equipment, process flow and space optimization to ensure efficient production.

An economic feasibility analysis will also be carried out, a phase in which factors such as the cost of raw materials, transportation, energy costs, taxes and possible government subsidies or incentives. The objective is to determine the financial viability of the project.

**Keywords:** structure, layout, economy.

### Lista de símbolos

$m$	Massa [kg]
$\rho_{H_2O}$	Massa específica da água [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{ar}$	Massa específica do ar [kg/m <sup>3</sup> ]
$V$	Volume [m <sup>3</sup> ]
$d_1$	Diâmetro da chapa interna [m]
$d_2$	Diâmetro da chapa externa [m]
$e_1$	Espessura da chapa interna [m]
$e_2$	Espessura da chapa externa [m]
$L$	Comprimento do tanque [m]
$P_t$	Peso do tanque vazio [N]
$P_T$	Peso do tanque cheio de água [N]
$P_{H_2O}$	Peso da água no tanque [N]
$P_{tv}$	Peso de cada tubo de vácuo [N]
$P_{T,tv}$	Peso total dos tubos de vácuo [N]
$g$	Aceleração de gravidade [m/s <sup>2</sup> ]
$m_{total}$	Massa total do tanque [kg]
$m_{água}$	Massa total da água no tanque [kg]
$m_{tv}$	Massa dos tubos de vácuo [kg]
$V_{H_2O}$	Volume da água no tanque [m <sup>3</sup> ]
$q_T$	Carga distribuída do peso do tanque (vista frontal) [N/m]
$q_{tv}$	Carga distribuída dos tubos de vácuo (vista frontal) [N/m]
$q$	Pressão dinâmica do vento [Pa]
$v_k$	Velocidade do vento [m/s <sup>2</sup> ]
$v_0$	Velocidade básica do vento [m/s <sup>2</sup> ]
$S_1$	Factor topográfico do terreno
$S_2$	Factor de característica do terreno
$S_3$	Factor estatístico
$q_1$	Carga do vento actuante no tanque (vista frontal) [N/m]
$q_2$	Carga do vento actuante nos tubos de vácuo (vista frontal) [N/m]
$q'_T$	Carga distribuída do peso do tanque (vista lateral) [N/m]
$q'_{tv}$	Carga distribuída dos tubos de vácuo (vista lateral) [N/m]
$A_T$	Área lateral do tanque [m <sup>2</sup> ]
$F_{vent}$	Força do vento [N]
$F_{AB}$	Força que actua no troço AB [N]
$q_{AB}$	Carga de vento actuante no troço AB [N/m]
$N_{max}$	Esforço normal máximo [N]

$V_{\max}$	Esforço transversal ou cortante máximo [N]
$M_{f,\max}$	Momento flector máximo [Nm]
$\sigma_e$	Tensão de escoamento [MPa]
$\sigma_r$	Tensão de roptura [MPa]
$\sigma_{\text{adm}}$	Tensão admissível (para compressão e tracção) [MPa]
$\sigma_{\text{axial}}$	Tensão axial [MPa]
$\sigma_A$	Tensão no ponto A [MPa]
$\sigma_{\text{VM}}$	Tensão de Von Mises
$\sigma_x$	Tensão normal na direcção x [MPa]
$\sigma_y$	Tensão normal na direcção y [MPa]
$\tau$	Tensão de cisalhamento
$\tau_{xy}$	Tensão de cisalhamento no plano xy [MPa]
$\tau_{\text{adm}}$	Tensão admissível (para cisalhamento) [MPa]
$\tau_{\max}$	Tensão de cisalhamento máxima [MPa]
CS	Coefficiente de segurança
E	Módulo de elasticidade [GPa]
$A_i$	Área do perfil i (1, 2, 3, 4, 5) [m <sup>2</sup> ]
$x_{\text{CG},i}$	Coordenada x do centroide do perfil i (1, 2, 3, 4, 5) [m]
$y_{\text{CG},i}$	Coordenada y do centroide do perfil i (1, 2, 3, 4, 5) [m]
$I_3$	Momento de inércia do perfil i (1, 2, 3, 4, 5) [m <sup>4</sup> ]
$Q_{\max}$	Momento de área máximo [m <sup>3</sup> ]
$P_{\text{cr}}$	Força axial crítica [N]
$K_l$	Coefficiente de comprimento efectivo
$A_p$	Área resistente do parafuso [m <sup>2</sup> ]
$A_{\text{esm}}$	Área de esmagamento no parafuso [m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{\text{esm}}$	Tensão de esmagamento [MPa]
$P_{\text{diaria}}$	Produção diária [estruturas/dia]
$P_{\text{anual}}$	Produção anual [estruturas/ano]
$T_{\text{op}}$	Tempo de operação [min]
$t_a$	Tempo auxiliar [s]
$t_{\text{ef}}$	Tempo efectivo da operação [s]
t	Tempo de tratamento de cada superficie [s]
n	Número de repetições
$T_{\text{disponível}}$	Tempo disponível [min]
$N_{\text{máquinas}}$	Número de máquinas
$P_a$	Apoio traseiro direito
$P_b$	Apoio traseiro esquerdo
$P_c$	Apoio dianteiro direito

$P_d$	Apoio dianteiro esquerdo
$P_e$	Apoio direito do tanque
$P_f$	Apoio esquerdo do tanque
$P_g$	Base de fixação
$P_h$	Perfil em U traseiro
$P_i$	Perfil em U frontal
$P_j$	Perfil em U enrijecido
$P_k$	Perfil semi-U enrijecido traseiro
$P_l$	Perfil semi-U enrijecido frontal
$P_m$	Base central de apoio
$P_n$	Apoio dos tubos de vácuo
$S_T$	Superfície total [m <sup>2</sup> ]
$S_s$	Superfície estática [m <sup>2</sup> ]
$N$	Número de lados da máquina em relação a qual deve ser servida
$K$	Coefficiente que varia em função do tipo de indústria
$C_{maq}$	Comprimento da máquina [m]
$C_{med}$	Comprimento médio das máquinas [m]
$S_{TOTAL}$	Superfície total do sector fabril [m <sup>2</sup> ]
$S_{total}$	Superfície total do sector administrativo [m <sup>2</sup> ]
$S_T$	Superfície total de cada secção (área fabril) [m <sup>2</sup> ]
$S$	Superfície de cada compartimento (área administrativa)
$C$	Comprimento total do sector (fabril ou administrativo) [m]
$L$	Largura total do sector (fabril ou administrativo) [m]
$L_T$	Largura total dos caminhos [mm]
$L_1$	Largura da empilhadeira [mm]
$L_2$	Largura do carrinho de mão [mm]
$Z$	Coefficiente de correção [mm]
$L_p$	Largura calculada para movimentação de pessoas [mm]
$n_p$	Número de pessoas que usam o caminho
$C_p$	Comprimento do caminho [mm]
$A_{per}$	Área projectada por uma pessoa [mm <sup>2</sup> ]
[D]	Densidade admissível da pessoa
Payback	Tempo necessário para recuperar o investimento inicial [anos]
TIR	Taxa interna de retorno [%]
VPL	Valor presente líquido
$R_t$	Fluxo de caixa no período t
$i$	Taxa de desconto ou taxa de retorno requerida
$T$	Período de tempo [anos]

# CAPÍTULO I

## 1. Introdução

Nos últimos anos, a demanda por energias mais limpas tem crescido de forma constante, como meio de reduzir ao máximo o uso de energias provenientes de combustíveis fósseis. O uso de energias mais limpas, como a energia solar que para além de limpa é renovável e acessível minimiza os diversos problemas ambientais gerados pela emissão de gases quando usada a energia proveniente de combustíveis fósseis, problemas como a poluição do ar, aceleração do efeito estufa, redução da camada de ozono e as chuvas ácidas. A energia solar promove sustentabilidade e independência energética.

O desenvolvimento de estruturas para suporte de coletores solares tem ganhado grande importância no aproveitamento da energia solar, assegurando a eficiência do sistema ao proporcionar a máxima captação da radiação solar e a inclinação correta. Elas suportam o peso do tanque e dos tubos de vácuo para além das cargas de vento e garantindo deste modo a estabilidade de todo o sistema.

Neste contexto, surge o tema do presente trabalho, que consiste no dimensionamento da estrutura e projecção de uma fábrica para a sua produção.

Propõe-se o dimensionamento de uma estrutura para o suporte dos coletores solares, considerando cargas e condições ambientais adversas de modo a garantir sua eficácia. É importante considerar o desenvolvimento de um layout eficiente para a fábrica, abordando arranjo de equipamentos e fluxo de processo. Também considerar uma análise de viabilidade económica, considerando custos com matéria-prima, transporte, dentre outros, com o fim de determinar se o projecto é ou não viável.

O trabalho está subdividido em quatro capítulos:

- O primeiro capítulo, que é referente às motivações do tema, a justificativa, aos objectivos, e a metodologia de pesquisa do mesmo;
- O segundo capítulo refere-se à fundamentação teórica do tema, abordando tópicos relacionados aos coletores solares e seus tipos, o dimensionamento de estruturas de suporte para os coletores

solares, assim como a importância dessas estruturas na maximização da eficiência dos sistemas de aquecimento solar, o layout de fábricas e os métodos de avaliação de viabilidade econômica;

- O terceiro capítulo trata da metodologia aplicada, dos cálculos realizados e dos respectivos resultados obtidos;

- O quarto capítulo é dedicado à exposição e análise dos resultados alcançados, à fundamentação das decisões tomadas e à elaboração de conclusões e recomendações.

## **1.1. Objectivos**

### **1.1.1. Objectivo Geral**

- Projectar uma estrutura para suporte de colectores solares.

### **1.1.2. Objectivos específicos**

- Dimensionar a estrutura para suporte de colectores solares;
- Elaborar uma proposta de *layout* para a fábrica destinada a produção desta estrutura;
- Realizar uma análise de viabilidade económica do projecto.

## **1.2. Justificativa**

A crescente demanda por fontes de energia renovável torna o desenvolvimento de estruturas para o suporte de colectores solares uma área de grande importância. Essas estruturas são essenciais para garantir a eficiência e durabilidade do sistema. Elas proporcionam a inclinação correcta para maximizar a captação de energia solar e suportam o peso dos colectores solares e do tanque, garantindo sua estabilidade também facilitam a manutenção e a limpeza dos colectores solares, contribuindo para o bom funcionamento do sistema ao longo do tempo.

Alem disso a produção local da estrutura para suporte de colectores solares, pode gerar benefícios económicos, sociais e ambientais significativos para moçambique.

## **1.3. Metodologia de pesquisa**

A pesquisa foi realizada a partir de:

- **Pesquisas bibliográficas** - Que consistiu em uma extensa pesquisa bibliográfica para fundamentar teoricamente o projecto. Por meio de publicações científicas, artigos, livros e documentos técnicos foram investigados tópicos que abrangem temas referentes aos colectores solares e seus tipos, estudo de métodos de dimensionamento de estruturas metálicas, implantação e *layout* de fábricas, e métodos de avaliação económica para determinar a viabilidade do projecto.

**Softwares** – Foram usadas ferramentas como o *AutoCAD* para a modelagem da estrutura, desde os desenhos de vista geral, de montagem, de fabrico até os desenhos do *layout* da fábrica e alçados. O dimensionamento da estrutura foi feito usando o software *Ftool*, realizando cálculos estruturais através de simulação de esforços e cargas, assegurando que a estrutura atenda aos requisitos de resistência. O *Microsoft Excel* para calcular e analisar indicadores financeiros, como VPL, TIR e payback, essenciais para a avaliação econômica do projecto. O *Excel* ajudou a organizar dados, realizar cálculos e criar gráficos e tabelas, facilitando a interpretação dos resultados e garantindo precisão na análise da viabilidade econômica do projeto.

## CAPÍTULO II

### 2. Fundamentação Teórica

#### 2.1 Energia solar

A energia solar é uma forma de energia obtida a partir da luz do sol. É uma fonte de energia renovável e sustentável, pois é abundante, amplamente disponível e inesgotável. A captura e conversão da energia solar em formas utilizáveis, como electricidade ou calor, são realizadas por meio de tecnologias como painéis solares fotovoltaicos e colectores solares térmicos. Essas tecnologias têm sido amplamente adotadas em todo o mundo devido aos seus benefícios ambientais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e a diminuição da dependência de combustíveis fósseis (Duffie & Beckman, 2013; Goswami et al., 2015).

A energia solar desempenha um papel fundamental na transição para um futuro mais limpo e sustentável, contribuindo para a segurança energética e o combate às mudanças climáticas (Kearney, 2017).

#### 2.2. Colectores solares térmicos

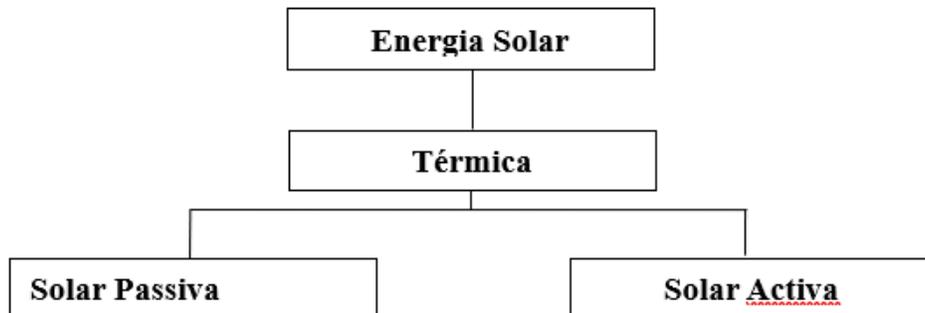
Um colector solar térmico é um tipo especial de trocador de calor que transforma a radiação solar que incide sobre ele em energia térmica utilizável.

Quando se fala de energia, uma das primeiras manifestações que nos ocorre é o calor, ou seja, energia térmica. Esta manifesta-se sempre que existe uma diferença de temperatura entre dois corpos. Os sistemas solares térmicos são as tecnologias que nos permitem conversão de energia solar em energia térmica e são constituídos por uma unidade de captação e conversão da radiação solar (colector), uma unidade de armazenamento do calor (acumuladores) e uma unidade de distribuição e utilização do calor (sistemas de circulação) (Greempo, 2004).

##### 2.2.1. Classificação de sistemas solares térmicos

Os sistemas solares térmicos podem ser passivos ou activos. Os sistemas **passivos** são aqueles em que o transporte de calor é feito de forma automática, isto é, sem ajuda de nenhum dispositivo externo e por conseguinte sem qualquer fonte externa de energia. Os sistemas **activos** exigem um dispositivo auxiliar para o transporte de calor (ou circulação do fluido) e como consequência

precisam duma fonte externa de energia. O diagrama da fig. 1, mostra as duas formas de conversão da radiação solar para o uso humano, e os tipos de sistemas solares térmicos.



*Figura 1. Tipos de sistemas solares térmicos.*

Fonte: Adaptada de TINGOTE (2010)

## **2.2.2. Tipos de colectores solares térmicos**

Os colectores solares desempenham um papel crucial na captura e conversão da energia solar em formas utilizáveis, como eletricidade ou calor. Existem diversos tipos de colectores solares, cada um com suas próprias características e aplicações específicas.

### **2.2.2.1. Colectores planos**

Os colectores planos são os mais comuns e consistem em uma caixa plana coberta por uma placa de vidro transparente, sob a qual está localizado um absorvedor que converte a energia solar em calor. Eles são frequentemente utilizados em sistemas de aquecimento de água residenciais e comerciais, bem como em sistemas de aquecimento de piscinas.



Figura 2. Colector solar plano

Fonte: energyshop.com

### 2.2.2.2. Colectores de tubos de vácuo

Os colectores de tubos vácuo são compostos por uma série de tubos de vidros concêntricos, nos quais está presente um absorvedor de calor e um vácuo para minimizar as perdas térmicas. Esses colectores são altamente eficientes na captura de energia solar e são frequentemente utilizados em sistemas de aquecimento de água em climas mais frios, bem como em aplicações industriais e comerciais.

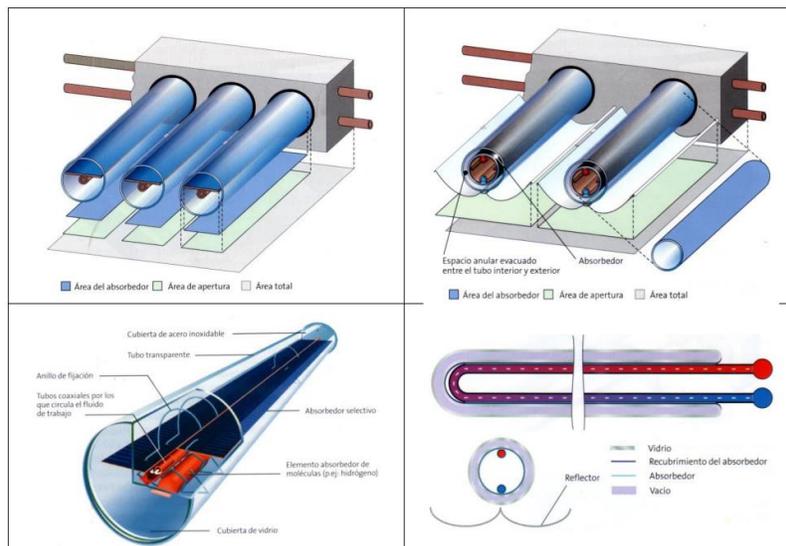


Figura 3. Colectores solares de tubos de vácuo.

Fonte: SERRANO (2019)

### 2.2.2.3. Colectores concentradores

Os concentradores solares são projetados para concentrar a luz solar em uma área menor, aumentando assim a intensidade da radiação solar incidente. Eles podem ser compostos por espelhos ou lentes para direcionar a luz solar para um único ponto focal, onde está localizado o receptor do colector. Esses colectores são usados principalmente em sistemas de energia solar concentrada (CSP), que geram electricidade por meio do aquecimento de fluidos ou materiais de transferência de calor.

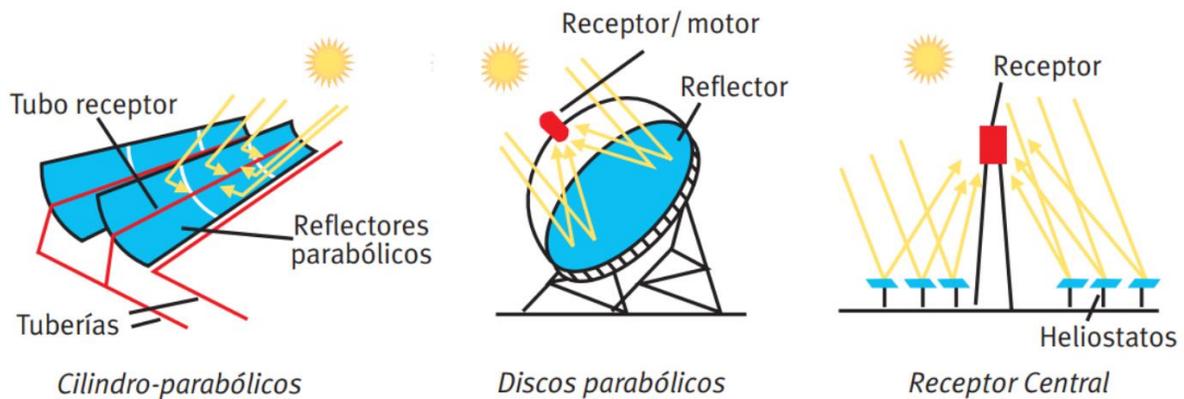


Figura 4. Colectores solares conentradores.

Fonte: SERRANO (2019)

## 2.3. Importância da estrutura de suporte

A importância da estrutura de suporte em um sistema de energia solar não pode ser subestimada, pois desempenha um papel crucial na eficiência e durabilidade do sistema como um todo. A seguir são mencionadas algumas considerações sobre sua importância.

### 2.3.1. Eficiência do sistema

- **Posicionamento correto:** A estrutura de suporte garante que os colectores solares sejam posicionados de maneira ideal para capturar a máxima quantidade de luz solar ao longo do dia, otimizando assim a produção de energia.
- **Ângulo e orientação apropriados:** Uma estrutura bem projectada permite ajustes precisos do ângulo e da orientação dos colectores solares para garantir uma exposição ideal à luz solar, maximizando assim a eficiência do sistema.

### 2.3.2. Durabilidade e vida útil

- **Proteção contra Elementos Ambientais:** A estrutura protege os colectores solares contra condições climáticas adversas, como vento, chuva, neve e granizo, prolongando sua vida útil e reduzindo a necessidade de manutenção.
- **Estabilidade e resistência estrutural:** Uma estrutura robusta e bem construída garante a estabilidade dos colectores solares, mesmo sob condições climáticas extremas, contribuindo para a durabilidade e confiabilidade do sistema ao longo do tempo.

### 2.3.3. Segurança

- **Prevenção de Danos e Acidentes:** Uma estrutura de suporte adequada reduz o risco de danos aos colectores solares e minimiza o potencial de acidentes, garantindo assim a segurança dos equipamentos e das pessoas ao redor.
- **Conformidade com Normas e Regulamentos:** O projecto e a construção da estrutura devem estar em conformidade com as normas e regulamentos de segurança aplicáveis, garantindo que o sistema de energia solar opere de maneira segura e legal.

## 2.4. Dimensionamento de estruturas para suporte de colectores solares

- **Cálculos de carga:** Realização de cálculos detalhados para determinar as cargas que a estrutura irá suportar. Isso inclui a consideração de cargas estáticas (como o peso dos próprios colectores solares e do tanque de água) e cargas dinâmicas (como a carga de vento).
- **Análise Estrutural:** Utilização de princípios da engenharia estrutural para garantir que a estrutura seja capaz de suportar as cargas aplicadas. Isso pode envolver a realização de análises de tensão, deformação e fadiga para verificar a integridade e a segurança da estrutura.

### 2.4.1. Factores de dimensionamento

- **Carga de Vento:** Avaliação da pressão do vento sobre a estrutura, levando em consideração da velocidade do vento local, a altura em que a estrutura será instalada e sua exposição ao

vento. Esses dados são utilizados para determinar as forças de vento que a estrutura deve resistir.

- **Orientação Solar:** Análise da orientação e inclinação da estrutura em relação ao sol para garantir uma exposição ideal aos raios solares. Isso pode envolver a otimização do ângulo de inclinação dos colectores solares para maximizar a captação de energia solar ao longo do dia e ao longo do ano.
- **Localização Geográfica:** Consideração das condições ambientais e geográficas específicas do local de instalação, como latitude, altitude e condições climáticas típicas. Esses fatores influenciam os requisitos de dimensionamento da estrutura e ajudam a garantir que ela seja adequada para as condições locais.

## **2.5. Materiais utilizados nas estruturas de suporte de colectores solares**

O dimensionamento de uma estrutura para o suporte de colectores solares requer a consideração cuidadosa dos materiais utilizados, pois isso influencia diretamente na resistência, durabilidade e custo do projecto. Uma visão geral dos materiais comumente empregados inclui aço, alumínio e concreto.

### **2.5.1. Aço**

O aço é frequentemente escolhido devido à sua resistência estrutural e disponibilidade. A proporção de aço carbono é geralmente utilizada em estruturas de suporte de colectores solares devido à sua força e rigidez. De acordo com Smith et al. (2019), o aço carbono é uma escolha comum devido à sua relação custo-benefício e resistência suficiente para suportar as cargas dos colectores solares.

Propriedades como resistência à corrosão são cruciais para a durabilidade da estrutura. A proteção contra corrosão é frequentemente alcançada através do revestimento do aço com galvanização por imersão a quente. Este revestimento de zinco proporciona uma camada protetora que prolonga a vida útil da estrutura em ambientes externos.

### **2.5.2. Alumínio**

O alumínio é valorizado por sua leveza e resistência à corrosão, tornando-o uma escolha popular para estruturas de suporte de painéis solares em áreas com condições ambientais desafiadoras. A sua durabilidade em ambientes corrosivos, como regiões costeiras, é uma vantagem significativa em comparação com o aço.

A facilidade de fabricação do alumínio e sua capacidade de reciclagem também contribuem para sua viabilidade econômica. No entanto, o custo inicial do alumínio pode ser mais alto do que o do aço, o que requer uma análise cuidadosa dos custos totais do projecto.

### **2.5.3. Concreto**

Em projectos de grande escala, como parques solares comerciais, estruturas de concreto são frequentemente utilizadas como base para suportar os painéis e colectores solares. O concreto oferece estabilidade e durabilidade em ambientes externos.

Embora o concreto possa ser mais caro em termos de material bruto, sua durabilidade e baixa manutenção ao longo do tempo podem compensar os custos iniciais mais elevados.

## **2.6. *Layout* da fábrica para produção das estruturas de suporte de colectores solares**

Para desenvolver um *layout* eficiente para uma fábrica de produção de estruturas para suporte de colectores solares, é necessário considerar uma série de aspectos, incluindo o fluxo de processo, a alocação de espaço e a seleção de maquinaria adequada. A seguir está uma abordagem geral sobre como abordar cada um desses aspectos.

### **2.6.1. *Layout* da Fábrica**

- **Análise do Fluxo de Processo:** Se começa mapeando o fluxo de processo completo, desde a entrada de matéria-prima até a saída do produto final. Identificam-se as diferentes etapas envolvidas na fabricação das estruturas de suporte de colectores solares, como corte, dobragem, soldagem, montagem, pintura e acabamento.
- **Organização por Fluxo de Trabalho:** Se organiza o *layout* da fábrica de forma a otimizar o fluxo de trabalho, minimizando o movimento desnecessário de materiais e trabalhadores

entre as diferentes etapas do processo. Isso pode ser feito colocando áreas de trabalho relacionadas próximas umas das outras e minimizando a necessidade de movimentação cruzada.

- **Zonas Funcionais:** Se divide o espaço da fábrica em zonas funcionais, como áreas de recepção de matéria-prima, produção, montagem, armazenamento de estoque e expedição. Isso ajudará a manter uma organização clara e eficiente dentro da fábrica melhorando desde modo o processo productivo.

### 2.6.2. Alocação de Espaço

- **Dimensionamento Adequado:** Tem que garantir que cada área da fábrica seja dimensionada adequadamente para acomodar as operações específicas que serão realizadas nela. Considerando os fatores como espaço para maquinaria, estações de trabalho, áreas de armazenamento e espaço de circulação para garantir uma operação suave e eficiente.
- **Utilização Eficiente do Espaço Vertical:** Aproveitar ao máximo o espaço vertical da fábrica, especialmente se o espaço horizontal for limitado. Isso pode envolver o uso de prateleiras altas, mezaninos ou sistemas de armazenamento vertical para maximizar a capacidade de armazenamento e produção.

### 2.6.3. Instalação e Maquinaria Necessária

- **Seleção de Maquinaria Adequada:** Identificam-se as máquinas e equipamentos necessários para cada etapa do processo de fabricação, levando em consideração a capacidade de produção, a precisão e a eficiência. Isso pode incluir máquinas de corte a laser, máquinas de dobra de metal, equipamentos de soldagem, equipamentos de pintura, entre outros.
- **Layout Ergonômico:** Deve-se certificar de que o *layout* da fábrica e a disposição da maquinaria sejam ergonômicos e seguros para os trabalhadores. Consideram-se a ergonomia das estações de trabalho, a acessibilidade aos equipamentos e a minimização de riscos de acidentes.
- **Manutenção e Espaço de Serviço:** Reserve espaço adequado para a manutenção preventiva e corretiva da maquinaria, bem como para o armazenamento de peças

sobressalentes e ferramentas de manutenção. Isso garantirá que a produção não seja interrompida devido a falhas inesperadas na maquinaria.

## **2.7. Análise de viabilidade económica**

### **2.7.1. Principais aspectos a serem considerados na análise de viabilidade económica**

#### **2.7.1.1. Custo de produção**

- **Matéria-prima:** avaliar os custos dos materiais necessários para fabricar as estruturas de suporte dos colectores solares.
- **Mão de Obra:** considerar os custos associados à contratação de trabalhadores para a fabricação das estruturas.
- **Energia:** calcular os custos de energia necessários para operar a fábrica.
- **Manutenção:** estimar os custos de manutenção regular e reparos necessários para garantir a operação normal da fábrica e da maquinaria.

#### **2.7.1.2. Custos de instalação da fábrica**

- **Construção e Infraestrutura:** incluir despesas relacionadas à construção das instalações da fábrica, como construção civil, instalações eléctricas, encanamento, etc.
- **Maquinaria e Equipamentos:** avaliar o custo de compra ou *leasing* de maquinaria e equipamentos necessários para a produção das estruturas.
- **Treinamento de Funcionários:** considerar os custos de treinamento para capacitar os funcionários na operação da maquinaria e nas técnicas de fabricação.

#### **2.7.1.3. Custos de manutenção:**

- **Preventiva:** englobar os custos associados à manutenção regular da maquinaria e das instalações para evitar falhas.
- **Corretiva:** incluir os custos de reparos necessários em caso de falhas ou quebras inesperadas da maquinaria.

#### **2.7.1.4. Receitas esperadas:**

- Projecções de vendas das estruturas de suporte dos colectores solares com base na demanda de mercado e na capacidade de produção da fábrica.

### 2.7.1.5. Custos de Capital e Financiamento

- **Juros sobre Empréstimos:** calculam-se os custos dos juros pagos sobre empréstimos usados para financiar a instalação da fábrica e a produção das estruturas.
- **Custo de Capital Próprio:** avaliar o custo de oportunidade de usar capital próprio para financiar o projeto.

### 2.7.2. Métodos de Análise Econômica

#### 2.7.2.1. Payback

- **Explicação:** O período de *payback* é o tempo necessário para recuperar o investimento inicial.

$$Payback = \frac{Investimento\ Inicial}{Fluxo\ de\ Caixa\ Anual} \quad (2.1)$$

#### 2.7.2.2. Taxa Interna de Retorno (TIR):

- **Explicação:** A TIR é a taxa de desconto que torna o VPL igual a zero. É uma medida da rentabilidade do investimento.
- **Cálculo:** Geralmente requer métodos iterativos ou o uso de *software* especializado para calcular.
- **Interpretação:** Se a TIR for maior que a taxa mínima de atractividade, o projecto é considerado viável.

#### 2.7.2.3. Valor Presente Líquido (VPL):

- **Explicação:** O VPL é a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa futuros e o investimento inicial.

$$VPL = \sum_{T=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^T} - Investimento\ inicial \quad (2.2)$$

**Interpretação:** Se o VPL for positivo, o projecto é considerado viável.

## CAPÍTULO III

### 3. Metodologia de Execução e Resultados dos Cálculos

Neste capítulo, são apresentadas as metodologias de cálculo referentes à determinação de todas as cargas que atuam na estrutura e o dimensionamento da mesma através do cálculo das tensões a que está sujeita. São também descritas as metodologias de cálculo para o layout da fábrica e a estimativa do investimento inicial, bem como a avaliação económica do projecto. Além disso, é realizado o dimensionamento das ligações que serão aplicadas na estrutura.

Para realizar o dimensionamento da estrutura, é necessário calcular as tensões máximas, como a tensão axial (tração e compressão), cisalhamento, flexão, flambagem, e a análise de cargas combinadas.

#### 3.1. Dimensionamento da estrutura

##### 3.1.1. Escolha do material

Para a construção da estrutura de suporte dos colectores solares, escolhe-se o aço SAE 1020 (ISO C20), por ser de fácil acesso, baixo custo e reunir propriedades necessárias para garantir a resistência da estrutura às cargas solicitadas. Ele possui boa ductilidade e tenacidade, o que o torna fácil de ser trabalhado por processos como conformação a frio, soldadura e usinagem.

#### Propriedades do aço SAE 1020 (ISO C20):

Tabela 1. Propriedades mecânicas físicas do aço SAE 1020

<b>Propriedades Mecânicas</b>	
Limite de resistência a tração	Aproximadamente 420 MPa
Limite de escoamento	Aproximadamente 350 MPa
Alongamento	20% - 30%
Dureza Brinell	Aproximadamente 140 HB
<b>Propriedades Físicas</b>	
Módulo de Elasticidade	205 GPa
Massa específica	7850 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de Expansão Térmica	11.7*10 <sup>(-6)</sup> /°C (20-100°C)

O aço SAE 1020 (ISO C20) é comumente usado na construção de peças estruturais leves, componentes de máquinas, eixos, hastes, barras, parafusos e fixadores entre outras aplicações.

Moçambique possui uma vasta região costeira, facto que justifica a alta salinidade e o clima húmido e chuvoso em várias regiões do país. Esses factores proporcionam um ambiente corrosivo para a estrutura que fica exposta a este ambiente. A camada de zinco ajuda a proteger contra corrosão, corroendo antes do aço protegendo-o e prolongando deste modo a vida útil da estrutura.

Para além da galvanização aumentar a vida útil da estrutura, embora o custo inicial possa ser maior do que o aço não galvanizado, a redução dos custos de manutenção e reparo a longo prazo justifica o investimento. A camada galvanizada permite fácil inspecção visual para detectar sinais de corrosão e danos.

### **Composição química do aço SAE 1020:**

*Tabela 2. Composição química do aço SAE 1020*

<b>Elemento Químico</b>	Carbono (C)	Enxofre (S)	Fósforo (P)	Manganês (Mn)	Ferro (Fe)
<b>Percentagem</b>	0,18...0,23%	≤0,05%	≤0,03%	0,30...0,60%	resto

A espessura da camada do zinco pode variar dependendo do processo de galvanização, mas geralmente é de 50 a 200 µm.

A galvanização não altera significativamente a composição química do aço em si, mas adiciona uma camada protectora de zinco na superfície para melhorar a resistência à corrosão.

### **3.1.2. Cargas actantes**

#### **3.1.2.1. Carga do tanque**

Pretende-se produzir estruturas para o suporte de tanques de 200 litros, no entanto para garantir que a estrutura resista, o dimensionamento é feito considerando as condições mais críticas verificadas.

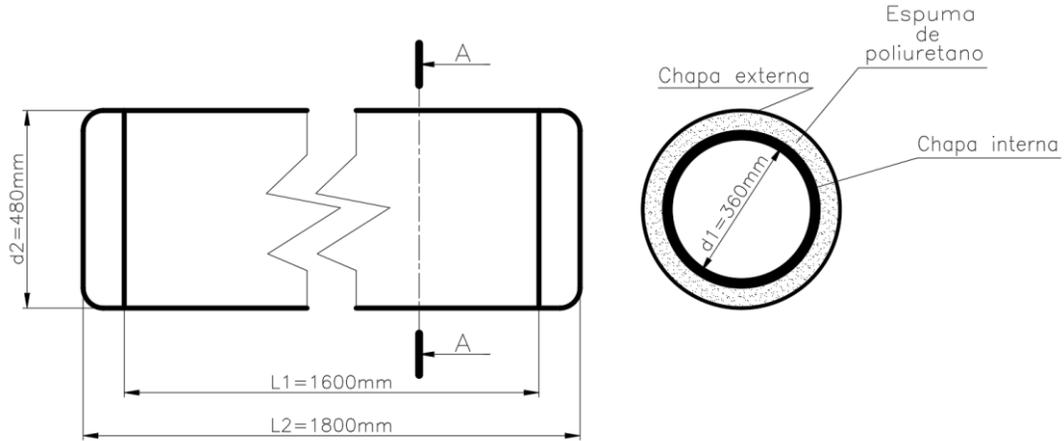


Figura 5. Representação do termo de água em corte

O tanque é constituído essencialmente por 3 materiais:

- A chapa interna de aço tem a massa específica de  $7850 \text{ kg/m}^3$ ;
- A chapa externa de aço tem a massa específica de  $7850 \text{ kg/m}^3$ ;
- A espuma de poliuretano tem a massa específica de  $60 \text{ kg/m}^3$ .

Considerando os esquemas, calcula-se o volume e a respectiva massa de cada material pela seguinte equação:

$$m = \rho \cdot V \quad (3)$$

**a) Massa da chapa interna:**

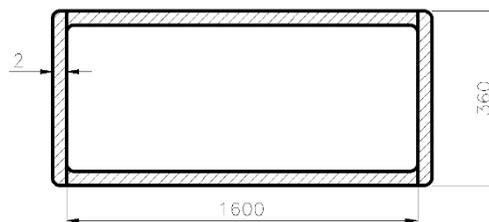


Figura 6. Chapa interna do termo em corte

$$V_1 = \pi \cdot \left[ \left( \frac{d_1}{2} + e_1 \right)^2 - \left( \frac{d_1}{2} \right)^2 \right] \cdot L_1 + 2\pi \left( \frac{d_1}{2} \right)^2 \cdot e_1 \quad (3.1)$$

$$V_1 = \pi \cdot \left[ \left( \frac{0.36}{2} + 0.002 \right)^2 - \left( \frac{0.36}{2} \right)^2 \right] \cdot 1.6 + 2\pi \left( \frac{0.36}{2} \right)^2 \cdot 0.002 = 0.00405 \text{ m}^3$$

$$m_1 = \left(7850 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot (0.00405 m^3) = 31,7925 kg$$

**b) Massa da chapa externa:**

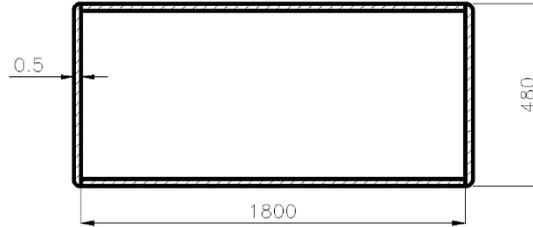


Figura 7. Chapa externa do termo em corte

$$V_2 = \pi \cdot \left[ \left( \frac{d_2}{2} + e_1 \right)^2 - \left( \frac{d_2}{2} \right)^2 \right] \cdot L_2 + 2\pi \left( \frac{d_2}{2} \right)^2 \cdot e_2 \quad (3.2)$$

$$V_1 = \pi \cdot \left[ \left( \frac{0.48}{2} + 0.0005 \right)^2 - \left( \frac{0.48}{2} \right)^2 \right] \cdot 1.8 + 2\pi \left( \frac{0.48}{2} \right)^2 \cdot 0.0005 = 0.00154 m^3$$

$$m_1 = \left(7850 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot (0.00154 m^3) = 12,0890 kg$$

**c) Massa da espuma de poliuretano:**

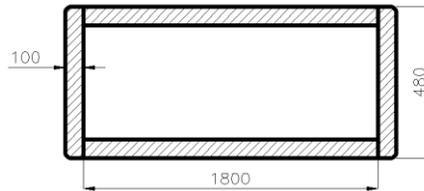


Figura 8. Espuma de poliuretano em corte

$$V_3 = \pi \cdot \left[ \left( \frac{d_2}{2} \right)^2 - \left( \frac{d_1}{2} \right)^2 \right] \cdot L_1 + 2\pi \left( \frac{d_2}{2} \right)^2 \cdot \left( \frac{L_2 - L_1}{2} \right) \quad (3.3)$$

$$V_3 = \pi \cdot \left[ \left( \frac{0.48}{2} \right)^2 - \left( \frac{0.36}{2} \right)^2 \right] \cdot 1.6 + 2\pi \left( \frac{0.48}{2} \right)^2 \cdot \left( \frac{1.8 - 1.6}{2} \right) = 0.162802 m^3$$

$$m_3 = \left(60 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot (0.162802 m^3) = 9.7681 kg$$

Vamos considerar um aumento de 10% na massa total, para os acessórios que ficam incorporados no tanque, assim a massa total do tanque será de:

$$m_t = 1.1 \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \quad (3.4)$$

$$m_t = 1.1 \cdot (31.7925 + 12.0890 + 9.7681) = 59.015 \text{ kg}$$

Então, o peso do tanque vazio será de:

$$P = m \cdot g \quad (3.5)$$

$$P_t = m_{total} \cdot g = (59.015 \text{ kg}) \cdot (9.81 \text{ m/s}^2) = 578.93 \text{ N}$$

O tanque tem a capacidade de 200 litros, vamos agora calcular o peso da água considerando o caso crítico, isto é, com o tanque cheio. A massa específica da água é de 1000 kg/m<sup>3</sup>:

$$P_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot g = \rho_{H_2O} \cdot V_{H_2O} \cdot g = (1000 \text{ kg/m}^3) \cdot (200 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3) \cdot \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 1962 \text{ N}$$

Logo, o peso total do tanque será de:

$$P_T = P_t + P_{H_2O} \quad (3.6)$$

$$P_T = 578.93 + 1962 = 2540,93 \text{ N} \approx 2541 \text{ N}$$

O peso do tanque é uniformemente distribuído ao longo do trecho  $B'C'$  de 0.23 m, portanto a carga uniformemente distribuída do peso do tanque é dada por:

$$q_T = \frac{P_T}{B'C'} = \frac{2541}{0.23} = 11048 \text{ N/m}$$

### 3.1.2.2. Carga dos tubos de vácuo

Em um tanque de 200 litros operam 20 tubos de vácuo de aproximadamente 2.5 kg cada, uniformemente distribuídos ao longo da estrutura. Os tubos de vácuo têm um diâmetro de 58 mm e um comprimento de 1800 mm.

- Peso do tubo de vácuo:

$$P_{tv} = m_{tv} \cdot g = (2.5 \text{ kg}) \cdot \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 24.525 \text{ N}$$

- Peso total e carga distribuída dos tubos de vácuo:

$$P_{T,tv} = 20 \cdot (P_{tv}) = 20 \cdot 24.525 = 490.5 \text{ N} \approx 491 \text{ N}$$

$$q_{tv} = \frac{491}{A'B'} = \frac{491}{1.8} = 272.78 \text{ N/m} \approx 273 \text{ N/m}$$

### 3.1.2.3. Carga de vento

A análise de carga de vento é fundamental para garantir a segurança e estabilidade das estruturas. Os colectores solares serão instalados em diversos locais sujeitos a diferentes condições de vento. Devido à variabilidade das acções de vento em diferentes regiões e ambientes, é essencial considerar os casos extremos durante o projecto e dimensionamento da estrutura. Esta abordagem assegura que a estrutura seja robusta o suficiente para resistir às condições mais adversas, garantindo sua durabilidade e desempenho ao longo do tempo.

#### 3.1.2.3.1. Pressão dinâmica

Refere-se à parte da pressão total exercida pelo vento sobre uma superfície que é devida à velocidade do vento. Em termos técnicos, pode ser calculada pela fórmula:

$$q = \frac{\rho_{ar} \cdot v_k^2}{2} \quad (3.7)$$

Onde:

- $q$  – é a pressão dinâmica do vento [Pa];
- $\rho_{ar}$  – é a massa específica do ar com valor recomendado de 1,2253kg/m<sup>3</sup>;
- $v_k$  – é a velocidade do vento [m/s<sup>2</sup>].

Então a fórmula para o cálculo da carga dinâmica fica da seguinte maneira:

$$q = 0.613 \cdot v_k^2 \quad (3.8)$$

A velocidade do vento calcula-se pela seguinte fórmula:

$$v_k = v_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (3.9)$$

Onde:

- $v_o$  – é a velocidade básica do vento (m/s);
- $S_1$  – é o factor topográfico do terreno;
- $S_2$  – é a característica do terreno;
- $S_3$  – é o factor estatístico.

### 3.1.2.3.2. Determinação dos parâmetros e cálculo da velocidade do vento

- **Velocidade básica do vento**

A velocidade básica do vento em moçambique ronda em torno dos 45 a 50 m/s. Para efeitos de cálculos escolhe-se  $v_o = 50 \text{ m/s}$ .

- **Factor topográfico do terreno**

- 1) Para terrenos planos,  $S_1 = 1$ ;
- 2) Para vales,  $S_1 = 0.9$ ;
- 3) Para relevos,  $S_1 > 1.1$ .

Vamos considerar o primeiro caso ( $S_1 = 1$ ), que é referente a maior parte dos casos.

- **Categoria do terreno e da edificação**

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
→ 20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86

Figura 9. Factor  $S_2$

Fonte: NBR 6123 (1988)

Os colectores solares são instalados em diversos locais, para efeitos de cálculo vamos considerar o caso crítico que é referente a categoria II (Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas) e classe B (Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m).

Logo o factor de característica de terreno será de  $S_2 = 1.04$ .

- **Factor estatístico**

O fator estatístico  $S_3$  está relacionado com a segurança da edificação e é definido dependendo do uso da mesma.

Grupo	Descrição	$S_3$
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Figura 10. Factor estatístico  $S_3$

De acordo com a tabela acima, o valor do factor estatístico aplicado as condições do projecto é de  $S_3 = 1$ .

Portanto a velocidade do vento é de:

$$v_k = (50\text{m/s}) \cdot (1) \cdot (1.04) \cdot (1) = 52\text{ m/s}$$

### 3.1.2.3.3. Cálculo da carga de vento

A carga de vento é de:

$$q = 0.613 \cdot v_k^2 = 0.613 \cdot (52)^2 = 1657.55\text{ Pa}$$

### 3.1.2.3.4. Determinação das cargas dos tubos de vácuo ( $q_1$ ) e do tanque ( $q_2$ )

A figura a seguir mostra a máxima área afectada pela carga do vento:

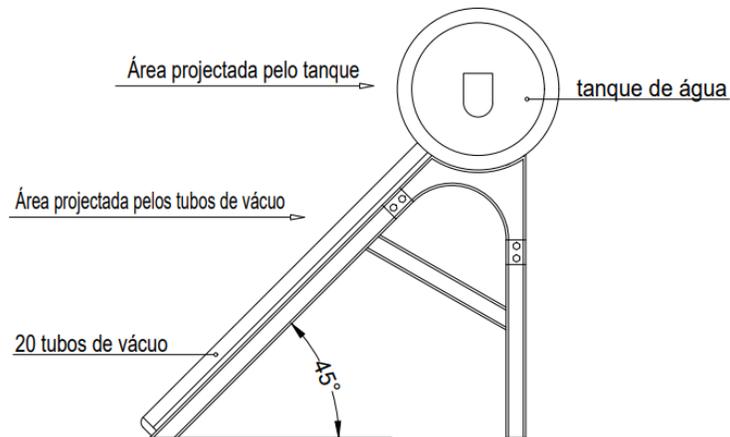


Figura 11. Áreas projectadas atingidas pelo vento

A carga do vento afecta uniformemente tanto a superfície dos tubos de vácuo assim como a superfície cilíndrica do tanque, pelo que  $q_1$  e  $q_2$  são cargas rectangulares dados em  $[\text{N/m}]$ .

- **Para o tanque:**

Para obter a carga de vento distribuída no tanque, multiplica-se a carga do vento pelo comprimento do tanque:

$$q_1 = 1.8 \cdot q = 1.8 \cdot 1657.55 = 2983.59 \approx 2984 \text{ N/m}$$

Para a modelagem, vamos transformar a carga  $q_1$  em um momento actuando no ponto médio do trecho  $A'B'$  da estrutura:

$$M_1 = F \cdot b \quad (3.10)$$

$$M_1 = (q_1 \cdot d_2) \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)$$

$$M_1 = (2984 \cdot 0.48) \cdot \left(\frac{0.48}{2}\right) \approx 344 \text{ Nm}$$

- **Para os tubos de vácuo:**

Para obter a carga distribuída do vento nos tubos de vácuo, multiplica-se a carga do vento pelo comprimento equivalente a soma do diâmetro dos 20 tubos de vácuo:

$$q_2 = 20 \cdot 0.058 \cdot q = 1657.55 \cdot 1.8 = 2983.59 \approx 1923 \text{ N/m}$$

Nos tubos de vácuo actuam cargas distribuídas,  $q_2$  na direcção x e  $q_{tv}$  na direcção y. Assim deve ser feita a introdução destes dados no *Software Ftool* de modo a obter os diagramas dos esforços normais, transversais e momento flector.

### 3.1.3 Cálculo dos esforços actuantes na estrutura

Conhecer as cargas que atuam sobre uma estrutura é crucial para garantir seu dimensionamento adequado, segurança estrutural, durabilidade, eficiência econômica e conformidade com normas técnicas. Isso permite seleccionar materiais apropriados, calcular correctamente as tensões e deformações, prever a vida útil, planejar manutenções e inspecções, otimizar recursos, reduzir custos e garantir a resiliência estrutural sob condições extremas. Diferentes tipos de cargas, como permanentes, variáveis e de vento, devem ser considerados para um projecto seguro e eficiente.

Na vista frontal actuam cargas devido ao vento e o devido ao peso do tanque e dos tubos de vácuo:

- **Cargas actuantes na estrutura (vista frontal)**

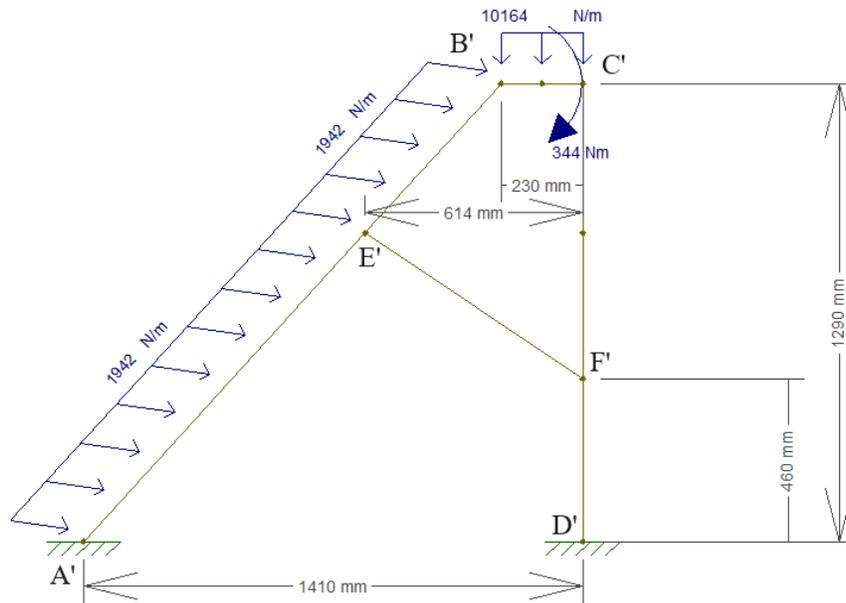


Figura 12. Carregamentos actuantes na vista frontal da estrutura

- **Diagrama dos esforços normais:**

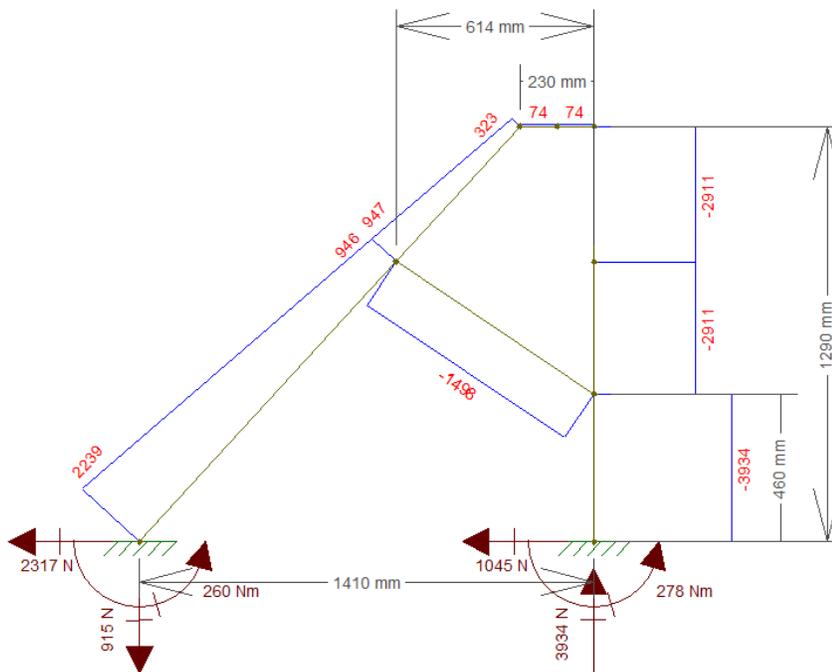


Figura 13. Diagrama dos esforços normais na vista frontal

- **Diagrama dos esforços transversos:**

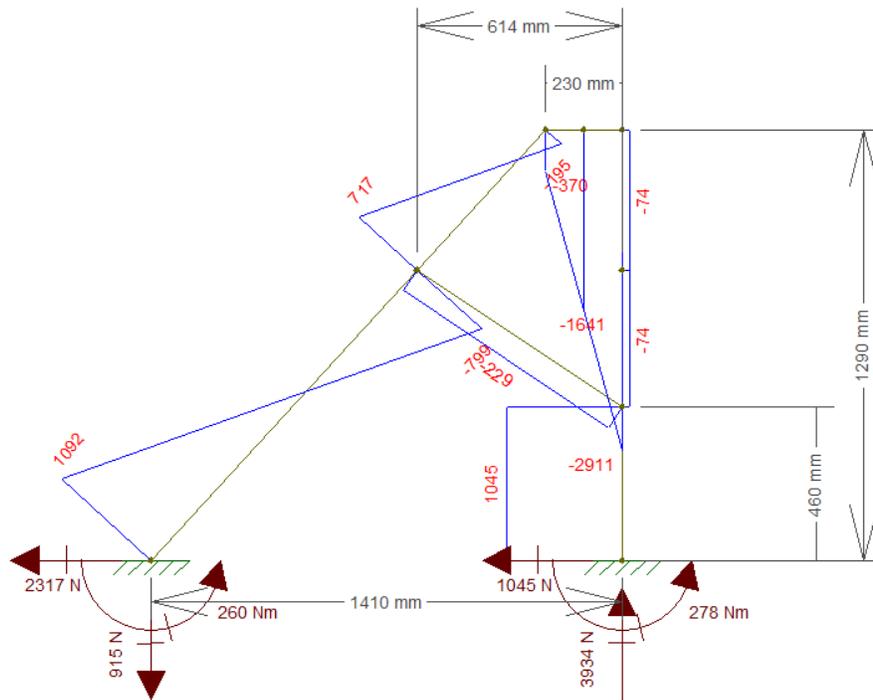


Figura 14. Diagrama dos esforços cortantes na vista frontal

- **Diagrama do momento flector:**

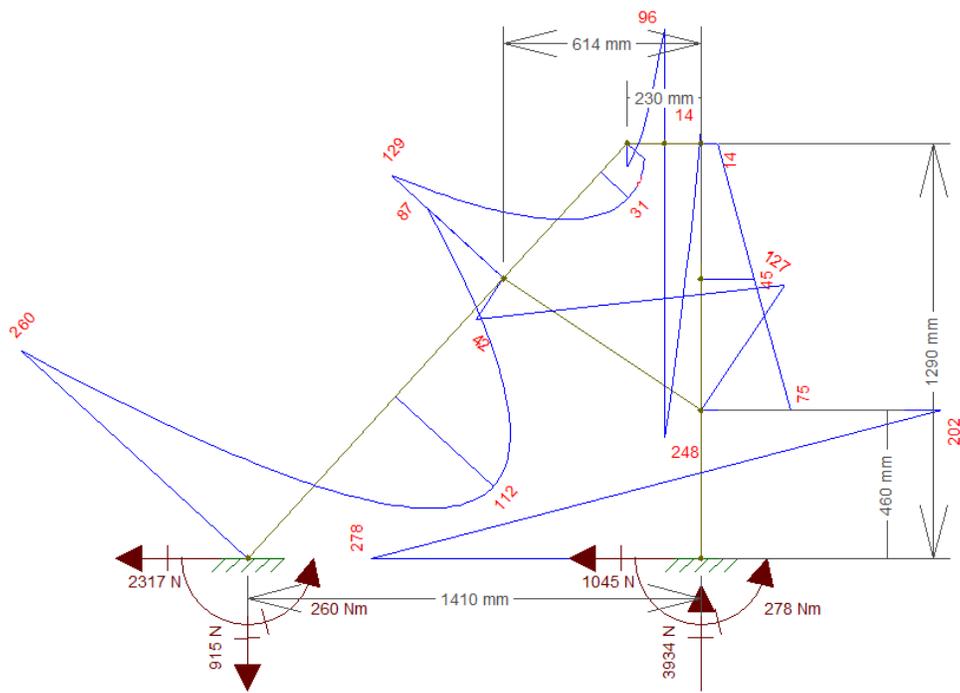


Figura 15. Diagrama do momento flector na vista frontal

Na vista lateral também actuam as cargas devido ao peso e ao vento, porém com novos valores.

- **Carga devido ao peso:** O tanque está fixado nos extremos da estrutura em um comprimento de 25 mm de cada lado, e os tubos de vácuo apoiados ao longo de um comprimento de 1.473 m, assim teremos que:

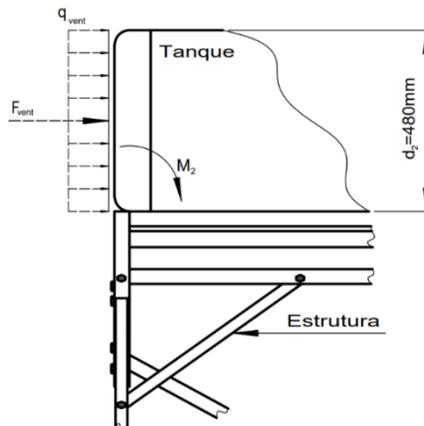
$$q'_T = \frac{P_T}{2 \cdot 0.025} = \frac{2541 \text{ N}}{0.05 \text{ m}} = 50820 \text{ N/m}$$

$$q'_{tv} = \frac{P_{t,tv}}{1.473} = \frac{491 \text{ N}}{1.473 \text{ m}} = 333.33 \text{ N/m}$$

- **Carga devido ao vento**

Nesta vista a carga do vento actua de forma considerável na lateral do tanque que se encontra por cima da estrutura, e de forma pouco significativa na estrutura como tal, isto se devido ao vão que existe entre os elementos que compõem a estrutura. Para efeitos de cálculo vamos considerar que a área atingida pela pressão de vento na estrutura e na lateral dos tubos de vácuo, equivale a 30% da carga devido ao vento no tanque. O carregamento no tanque actua na estrutura sob forma de momento pós o tanque está preso a estrutura e não faz parte dela.

### Carga do vento no tanque:



$$A_T = \left( \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \right) \quad (3.11)$$

$$A_T = 1.3 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 0.48^2}{4} \right)$$

$$A_T = 0.181 \text{ m}^2$$

$$q_{vent} = q = 1657.55 \text{ N/m}^2$$

$$F_{vent} = q \cdot A_T \quad (3.12)$$

Figura 16. Momento causado pela carga de vento no tanque

$$F_{vent} = 1657.55(\text{N/m}^2) \cdot 0.181(\text{m}^2) \cong 300 \text{ N}$$

### Carga de vento na estrutura:

A carga de vento é uniformemente distribuída ao longo do lado AB da estrutura,

$$F_{AB} = 0.3 \cdot A_T \cdot q = 0.3 \cdot 0.181 \cdot 1657.55 \cong 90 \text{ N}$$

$$q_{AB} = \frac{F_{AB}}{AB} = \frac{90 \text{ N}}{1.310 \text{ m}} = 68.7023 \approx 69 \text{ N/m}$$

- Cargas actuantes na estrutura (vista lateral)

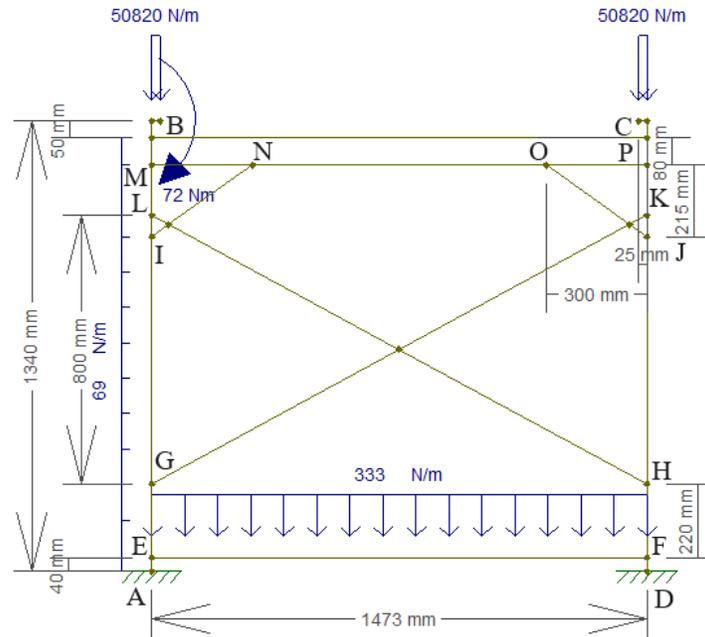


Figura 17. Carregamentos actuantes na vista lateral da estrutura

- Diagrama dos esforços normais:

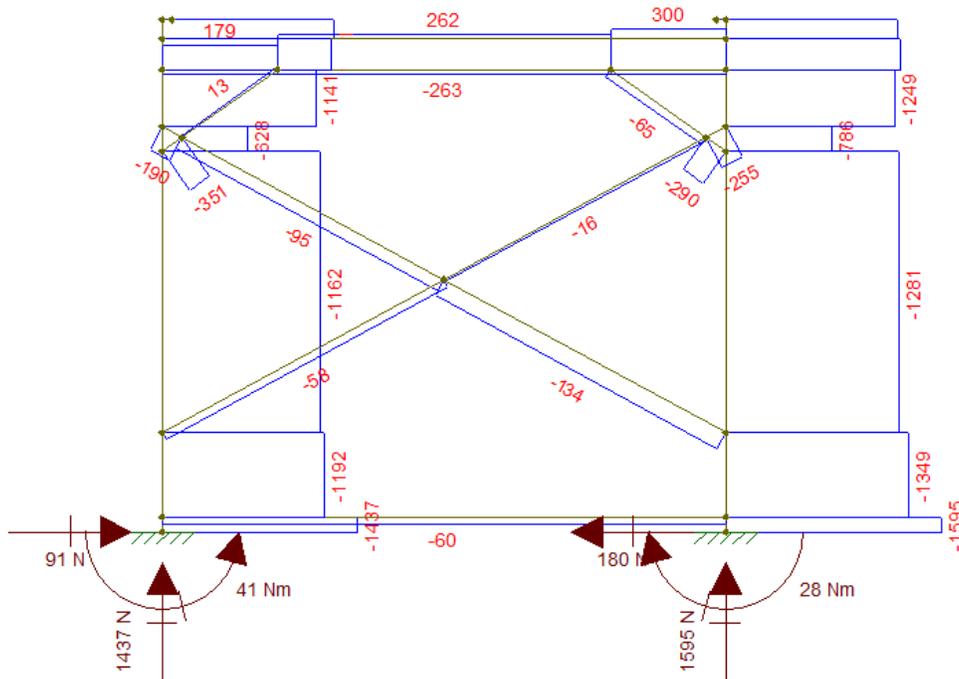


Figura 18. Diagrama dos esforços normais na vista lateral da estrutura

- Diagrama dos esforços transversos:

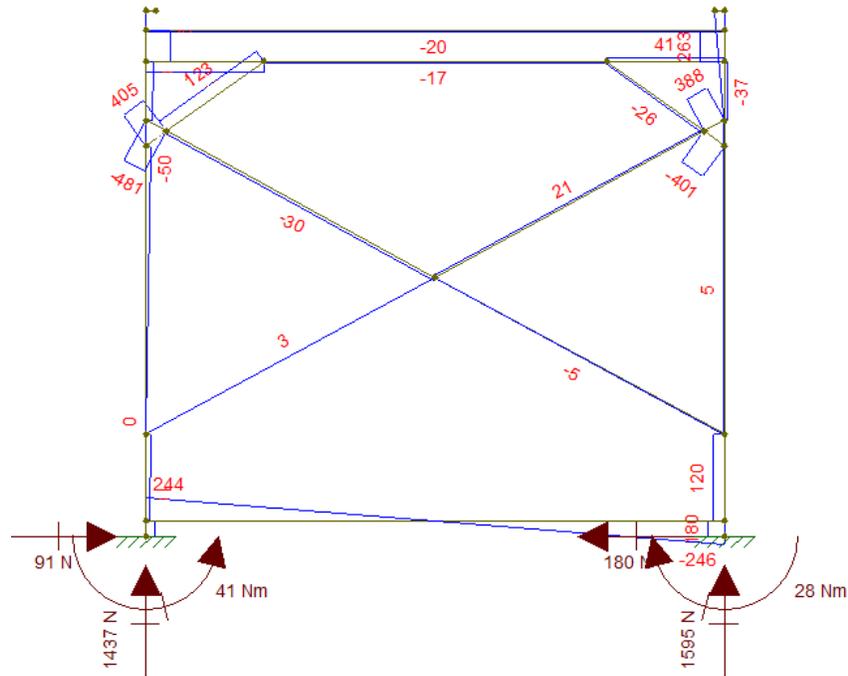


Figura 19. Diagrama dos esforços cortantes na vista lateral

- Diagrama do momento flector:

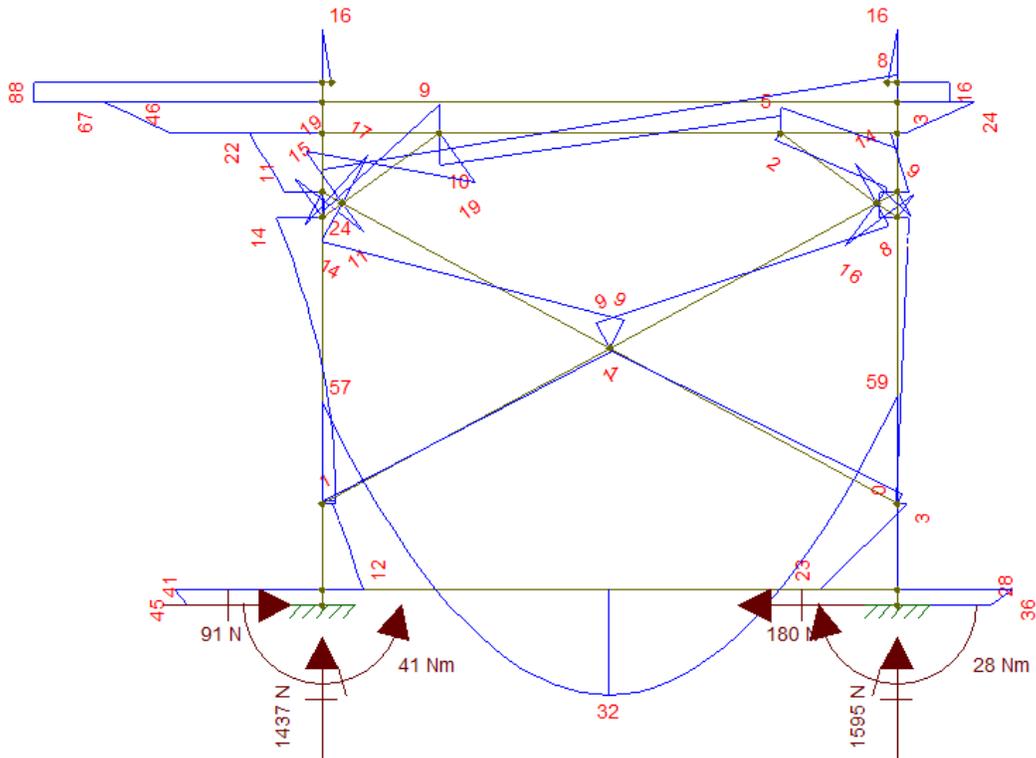


Figura 20. Diagrama do momento flector na vista lateral

Dos diagramas obtidos vamos retirar os valores máximos referentes aos esforços normal, transversal e o momento flector em cada um dos perfis.

Ao utilizar os valores máximos dos esforços normal, transversal e momento flector para a verificação da resistência dos perfis das chapas que compõem a estrutura, garante-se que a análise considera as condições mais críticas que os elementos estruturais podem sofrer. Essa abordagem é fundamental para assegurar a integridade e a segurança da estrutura, uma vez que ela é projectada para suportar os cenários de cargas mais desfavoráveis, evitando falhas estruturais em condições de pico.

Na vista frontal a estrutura é simétrica. No entanto os valores máximos dos esforços que actuam nos elementos estruturais nesta vista, são metade dos valores máximos apresentados nos diagramas.

Tabela 3. Valores máximos dos esforços actuantes na estrutura

Designação	Nome do perfil	$N_{max}$	$V_{max}$	$M_{f,max}$
A'B', C'D', e B'C'	Perfil em U de suporte	1967 N	1455.5 N	139 Nm
GK, LH, IN, e OJ	Perfil em U de apoio	351 N	481 N	19 Nm
E'F'	Perfil em U enrijecido	749 N	114.5 N	63.5 Nm
BC e MP	Perfil semi-U enrijecido	300 N	20 N	24 Nm
EF	Apoio dos tubos de vácuo	60 N	246 N	59 Nm

### 3.1.4. Verificação da resistência das secções transversais

#### 3.1.4.1. Tensões limites do material

A estrutura é de aço SAE 1020 (ISO C20) que tem as seguintes tensões limites:

- **Tensão de escoamento:**  $\sigma_e = 350 \text{ MPa}$ ;
- **Tensão de roptura:**  $\sigma_r = 420 \text{ MPa}$ ;
- **Tensão de tracção e compressão admissíveis:**  $\sigma_{adm} = 350 \text{ MPa}$ ;
- **Tensão de cisalhamento admissível,** pelo critério de Von Mises:

$$\tau_{adm} = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} \quad (3.13)$$

$$\tau_{adm} = \frac{350}{\sqrt{3}} = 202.1 \text{ MPa}$$

- **Coefficiente de segurança:**  $CS = 2$ .
- **Módulo de elasticidade:**  $E = 205 \text{ GPa}$

### 3.1.4.2. Cálculo dos parâmetros geométricos dos perfis

A partir do *AutoCad* pode se obter os parâmetros geométricos como área, centroides e momentos de inercia das secções transversais dos perfis usados na estrutura, como apresentados a seguir:

#### a) Perfil em U de suporte

REGIONS	
Area:	160.5000
Perimeter:	215.2832
Bounding box:	X: 0.0000 -- 20.0000 Y: -35.0000 -- 35.0000
Centroid:	X: 4.2120 Y: 0.0000
Moments of inertia:	X: 107946.5619 Y: 8076.6283
Product of inertia:	XY: 0.0000
Radii of gyration:	X: 25.9338 Y: 7.0938
Principal moments and X-Y directions about centroid:	I: 107946.5619 along [1.0000 0.0000] J: 5229.2674 along [0.0000 1.0000]

$$A_1 = 160.5 \text{ mm}^2$$

$$x_{CG,1} = 4.212 \text{ mm}$$

$$y_{CG,1} = 0 \text{ mm}$$

$$I_1 = 107946.5619 \text{ mm}^4$$

Figura 21. Parâmetros geométricos do perfil 1

#### b) Perfil em U de apoio

REGIONS	
Area:	54.0000
Perimeter:	73.2832
Bounding box:	X: 0.0000 -- 8.0000 Y: -11.5000 -- 11.5000
Centroid:	X: 2.2064 Y: 0.0000
Moments of inertia:	X: 3764.4458 Y: 535.7533
Product of inertia:	XY: 0.0000
Radii of gyration:	X: 8.3494 Y: 3.1498
Principal moments and X-Y directions about centroid:	I: 3764.4458 along [1.0000 0.0000] J: 272.8784 along [0.0000 1.0000]

$$A_2 = 54 \text{ mm}^2$$

$$x_{CG,2} = 2.2064 \text{ mm}$$

$$y_{CG,2} = 0 \text{ mm}$$

$$I_2 = 3764.4458 \text{ mm}^4$$

Figura 22. Parâmetros geométricos do perfil 2

### c) Perfil em U enrijecido

```

----- REGIONS -----
Area:                85.5000
Perimeter:           113.5664
Bounding box:        X: 0.0000 -- 10.0000
                    Y: -16.5000 -- 16.5000
Centroid:            X: 3.2851
                    Y: 0.0000
Moments of inertia: X: 12636.6405
                    Y: 1923.7555
Product of inertia: XY: 0.0000
Radii of gyration:  X: 12.1572
                    Y: 4.7434
Principal moments and X-Y directions about centroid:
                    I: 12636.6405 along [1.0000 0.0000]
                    J: 1001.0565 along [0.0000 1.0000]

```

$$A_3 = 85.5 \text{ mm}^2$$

$$x_{CG,3} = 3.2851 \text{ mm}$$

$$y_{CG,3} = 0 \text{ mm}$$

$$I_3 = 12636.0565 \text{ mm}^4$$

Figura 23. Parâmetros geométricos do perfil 3

### d) Perfil semi-U enrijecido

```

----- REGIONS -----
Area:                82.5000
Perimeter:           111.2832
Bounding box:        X: 0.0000 -- 15.0000
                    Y: -23.1104 -- 11.8896
Centroid:            X: 4.1864
                    Y: 0.0000
Moments of inertia: X: 10045.7969
                    Y: 3698.4712
Product of inertia: XY: -2627.2371
Radii of gyration:  X: 11.0348
                    Y: 6.6955
Principal moments and X-Y directions about centroid:
                    I: 10848.7579 along [0.9563 -0.2923]
                    J: 1449.6449 along [0.2923 0.9563]

```

$$A_4 = 82.5 \text{ mm}^2$$

$$x_{CG,4} = 4.1864 \text{ mm}$$

$$y_{CG,3} = 0 \text{ mm}$$

$$I_3 = 10045.7969 \text{ mm}^4$$

Figura 24. Parâmetros geométricos do perfil 4

### e) Apoio dos tubos de vácuo

```

----- REGIONS -----
Area:                133.5000
Perimeter:           183.5664
Bounding box:        X: 0.0000 -- 11.5000
                    Y: -43.5000 -- 43.5000
Centroid:            X: 6.1994
                    Y: 0.0000
Moments of inertia: X: 95890.7002
                    Y: 7965.3241
Product of inertia: XY: 0.0000
Radii of gyration:  X: 26.8008
                    Y: 7.7243
Principal moments and X-Y directions about centroid:
                    I: 95890.7002 along [1.0000 0.0000]
                    J: 2834.5141 along [0.0000 1.0000]

```

$$A_5 = 133.5 \text{ mm}^2$$

$$x_{CG,5} = 6.1994 \text{ mm}$$

$$y_{CG,5} = 0 \text{ mm}$$

$$I_5 = 95890.7002 \text{ mm}^4$$

Figura 25. Parâmetros geométricos do perfil 5

### 3.1.4.3. Análise de tração e compressão na estrutura

$$\sigma_{axial} = \frac{N_{max}}{A} \quad (3.14)$$

#### a) Perfil em U de suporte

De acordo com o diagrama dos esforços normais verifica-se que o esforço normal máximo que actua neste perfil é de  $N_{max} = 1967 \text{ N}$ .

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \frac{N_{max}}{A_1} = \frac{1967 \text{ N}}{160.5 \text{ mm}^2} = 12.26 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} > 12.26 \text{ MPa}$$

Como a tensão calculada é menor que a tensão admissível, então este perfil suporta os esforços de compressão e tração máximos presentes nesta chapa perfilada.

#### b) Perfil em U de apoio

De acordo com o diagrama dos esforços normais verifica-se que o esforço normal máximo que actua neste perfil é de  $N_{max} = 351 \text{ N}$ .

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \frac{N_{max}}{A_2} = \frac{351 \text{ N}}{54 \text{ mm}^2} = 6.5 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} > 6.5 \text{ MPa}$$

Como a tensão calculada é menor que a tensão admissível, então este perfil suporta os esforços de compressão e tração máximos presentes na estrutura.

#### c) Perfil em U enrijecido

De acordo com o diagrama dos esforços normais verifica-se que o esforço normal máximo que actua neste perfil é de  $N_{max} = 749 \text{ N}$ .

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \frac{N_{max}}{A_3} = \frac{749 \text{ N}}{85.5 \text{ mm}^2} = 8.76 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} > 8.76 \text{ MPa}$$

Como a tensão calculada é menor que a tensão admissível, então este perfil suporta os esforços de compressão e tracção máximos presentes no mesmo.

#### d) Perfil semi-U enrijecido

De acordo com o diagrama dos esforços normais verifica-se que o esforço normal máximo que actua neste perfil é de  $N_{max} = 300 \text{ N}$ .

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \frac{N_{max}}{A_4} = \frac{300 \text{ N}}{82.5 \text{ mm}^2} = 3.64 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} > 3.64 \text{ MPa}$$

Como a tensão calculada é menor que a tensão admissível, então este perfil suporta os esforços de compressão e tracção máximos presentes no mesmo.

#### e) Apoio dos tubos de vácuo

De acordo com o diagrama dos esforços normais verifica-se que o esforço normal máximo que actua neste perfil é de  $N_{max} = 60 \text{ N}$ .

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \frac{N_{max}}{A_4} = \frac{60 \text{ N}}{133.5 \text{ mm}^2} = 0.449 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} > 0.449 \text{ MPa}$$

Como a tensão calculada é menor que a tensão admissível, então este perfil suporta os esforços de compressão e tracção máximos presentes no mesmo.

### 3.1.4.4. Análise da tensão de flexão

#### a) Perfil em U de suporte

De acordo com o diagrama de momento flector pode-se notar que o momento flector máximo que actua neste perfil é de,  $M_{f,max} = 139 \text{ Nm}$ .

$$\sigma = \frac{M_{f,max} \cdot y}{I} \quad (3.15)$$

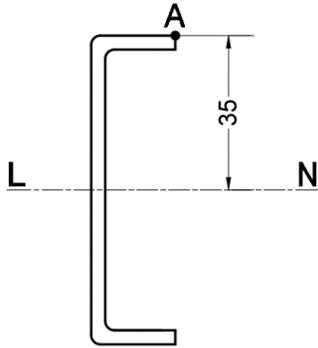


Figura 26. Perfil 1

A tensão devido ao momento flector máximo ocorre no ponto A como mostrado na figura ao lado.

$$\sigma_A = \frac{(139 \cdot 10^3 \text{ Nmm}) \cdot (35 \text{ mm})}{(107946.5619 \text{ mm}^4)} = 45.07 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 45.07 \text{ MPa}$$

Percebe-se que a tensão calculada é menor que a tensão admissível, então este perfil suporta a tensão criada pelo máximo momento flector presente nele.

### b) Perfil em U de apoio

De acordo com o diagrama de momento flector pode-se notar que o momento flector máximo que actua neste perfil é de,  $M_{f,max} = 19 \text{ Nm}$ . A tensão devido ao momento flector máximo ocorre no ponto A como mostrado na figura.

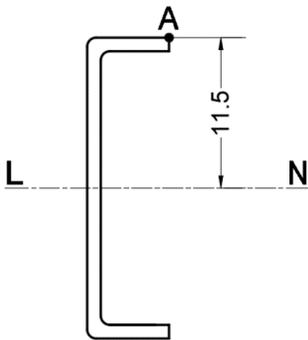


Figura 27. Perfil 2

$$\sigma_A = \frac{(19 \cdot 10^3 \text{ Nmm}) \cdot (11.5 \text{ mm})}{(3764.4458 \text{ mm}^4)} = 58.04 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 58.04 \text{ MPa}$$

Como a tensão calculada é menor que a tensão admissível, este perfil suporta a tensão criada pelo máximo momento flector nele presente.

### c) Perfil em U enrijecido

De acordo com o diagrama de momento flector pode-se notar que o momento flector máximo que actua neste perfil é de,  $M_{f,max} = 63.5 \text{ Nm}$ .

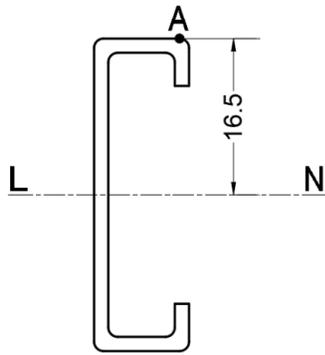


Figura 28. Perfil 3

A tensão devido ao momento flector máximo ocorre no ponto A como mostrado na figura.

$$\sigma_A = \frac{(63.5 \cdot 10^3 \text{ Nmm}) \cdot (16.5 \text{ mm})}{(12636.0565 \text{ mm}^4)} = 82.91 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 82.91 \text{ MPa}$$

Percebe-se que a tensão calculada é menor que a tensão admissível, então este perfil suporta a tensão criada pelo máximo momento flector presente nele.

#### d) Perfil semi-U enrijecido

De acordo com o diagrama de momento flector pode-se notar que o momento flector máximo que actua neste perfil é de,  $M_{f,max} = 24 \text{ Nm}$ .

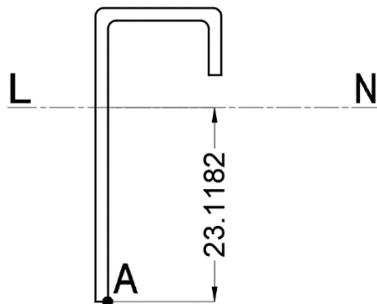


Figura 29. Perfil 4

A tensão devido ao momento flector máximo ocorre no ponto A como mostrado na figura.

$$\sigma_A = \frac{(24 \cdot 10^3 \text{ Nmm}) \cdot (23.1182 \text{ mm})}{(10045.7969 \text{ mm}^4)} = 55.23 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 55.23 \text{ MPa}$$

Percebe-se que a tensão calculada é menor que a tensão admissível, então este perfil suporta a tensão criada pelo máximo momento flector presente nele.

#### e) Apoio dos tubos de vácuo

De acordo com o diagrama de momento flector pode-se notar que o momento flector máximo que actua neste perfil é de,  $M_{f,max} = 59 \text{ Nm}$ .

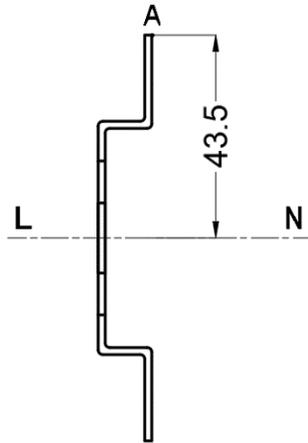


Figura 30. Perfil 5

A tensão devido ao momento flector máximo ocorre no ponto A como mostrado na figura ao lado.

$$\sigma_A = \frac{(59 \cdot 10^3 \text{ Nmm}) \cdot (43.5 \text{ mm})}{(95890.7002 \text{ mm}^4)} = 26.76 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 26.76 \text{ MPa}$$

Percebe-se que a tensão calculada é menor que a tensão admissível, então este perfil suporta a tensão criada pelo máximo momento flector presente nele.

### 3.1.4.5. Análise da tensão de cisalhamento

A tensão de cisalhamento é maior na região de menor espessura “t”, concretamente na região da linha neutra (LN).

O momento de área máximo calcula-se pela seguinte expressão:

$$Q_{max} = \sum A_i \cdot y_{CG,i} \quad (3.16)$$

E a tensão máxima de cisalhamento calcula-se pela seguinte expressão:

$$\tau_{max} = \frac{V_{max} \cdot Q_{max}}{I_1 \cdot t} \quad (3.17)$$

#### a) Perfil de suporte em U

De acordo com o diagrama dos esforços transversos, pode-se perceber que o esforço cortante máximo que actua neste perfil é de,  $V_{max} = 1455.5 \text{ N}$ .

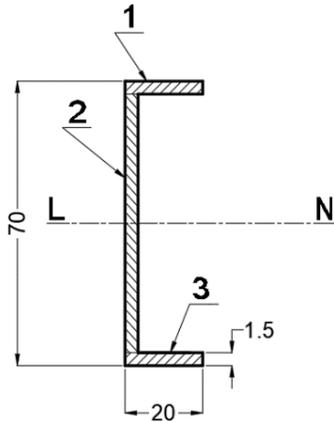


Figura 31. Perfil 1

$$Q_{max} = 2 \cdot (20 \cdot 1.5) \cdot (35 - 0.75) + (67 \cdot 1.5) \cdot (0)$$

$$Q_{max} = 2055 \text{ mm}^3$$

A tensão de cisalhamento será de:

$$\tau_{max} = \frac{(1455.5 \text{ N}) \cdot (2055 \text{ mm}^3)}{(107946.5619 \text{ mm}^4) \cdot (1.5 \text{ mm})} = 18.47 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{adm}}{CS} = \frac{202.1 \text{ MPa}}{2} = 101.05 \text{ MPa} \geq 18.47 \text{ MPa}$$

### b) Perfil de apoio em U

De acordo com o diagrama dos esforços transversos, pode-se perceber que o esforço cortante máximo que actua neste perfil é de,  $V_{max} = 481 \text{ N}$ .

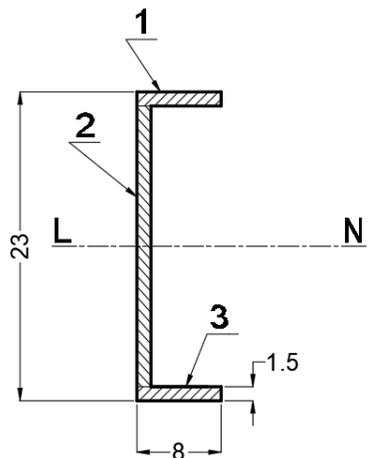


Figura 32. Perfil 2

$$Q_{max} = 2 \cdot (8 \cdot 1.5) \cdot (11.5 - 0.75) + (20 \cdot 1.5) \cdot (0)$$

$$Q_{max} = 258 \text{ mm}^3$$

A tensão de cisalhamento será de:

$$\tau_{max} = \frac{(481 \text{ N}) \cdot (258 \text{ mm}^3)}{(3764.4458 \text{ mm}^4) \cdot (1.5 \text{ mm})} = 21.98 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{adm}}{CS} = \frac{202.1 \text{ MPa}}{2} = 101.05 \text{ MPa} \geq 21.98 \text{ MPa}$$

### c) Perfil em U enrijecido

De acordo com o diagrama dos esforços transversos, pode-se perceber que o esforço cortante máximo que actua neste perfil é de,  $V_{max} = 114.5 \text{ N}$ .

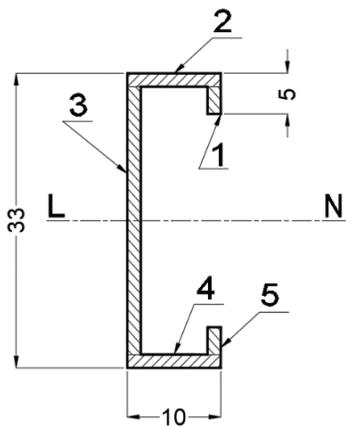


Figura 33. Perfil 3

$$Q_{max} = 2 \cdot [(10 \cdot 1.5) \cdot (16.5 - 0.75) + (3.5 \cdot 1.5) \cdot (13.25)] + (30 \cdot 1.5) \cdot (0)$$

$$Q_{max} = 611.625 \text{ mm}^3$$

A tensão de cisalhamento será de:

$$\tau_{max} = \frac{(114.5 \text{ N}) \cdot (611.625 \text{ mm}^3)}{(12636.6405 \text{ mm}^4) \cdot (1.5 \text{ mm})} = 3.69 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{adm}}{CS} = \frac{202.1 \text{ MPa}}{2} = 101.05 \text{ MPa} \geq 3.69 \text{ MPa}$$

#### d) Perfil semi-U enrijecido

De acordo com o diagrama dos esforços transversos, pode-se perceber que o esforço cortante máximo que actua neste perfil é de,  $V_{max} = 20 \text{ N}$ .

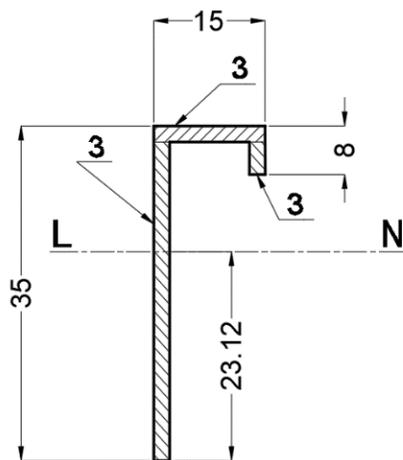


Figura 34. Perfil 4

$$Q_{max} = (6.5 \cdot 1.5) \cdot (7.13) + (15 \cdot 1.5) \cdot (11.13) + (33.5 \cdot 1.5) \cdot (6.37)$$

$$Q_{max} = 640.035 \text{ mm}^3$$

A tensão de cisalhamento será de:

$$\tau_{max} = \frac{(20 \text{ N}) \cdot (640.035 \text{ mm}^3)}{(10045.7969 \text{ mm}^4) \cdot (1.5 \text{ mm})} = 0.85 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{adm}}{CS} = \frac{202.1 \text{ MPa}}{2} = 101.05 \text{ MPa} \geq 0.85 \text{ MPa}$$

#### e) Perfil semi-U enrijecido

De acordo com o diagrama dos esforços transversos, pode-se perceber que o esforço cortante máximo que actua neste perfil é de,  $V_{max} = 246 \text{ N}$ .

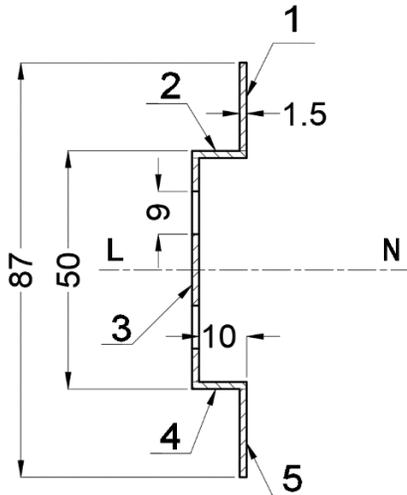


Figura 35. Perfil 5

$$Q_{max} = 2 \cdot [(18.5 \cdot 1.5) \cdot (34.25) + (11.5 \cdot 1.5) \cdot (24.25) + (23.5 \cdot 1.5) \cdot (11.75) - (9 \cdot 1.5) \cdot (11.75)]$$

$$Q_{max} = 3248.625 \text{ mm}^3$$

A tensão de cisalhamento será de:

$$\tau_{max} = \frac{V_{max} \cdot Q_{max}}{I_5 \cdot t}$$

$$\tau_{max} = \frac{(246 \text{ N}) \cdot (3248.625 \text{ mm}^3)}{(95890.7002 \text{ mm}^4) \cdot (1.5 \text{ mm})} = 5.56 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{adm}}{CS} = \frac{202.1 \text{ MPa}}{2} = 101.05 \text{ MPa} \geq 5.56 \text{ MPa}$$

### 3.1.4.6. Verificação da estabilidade (Flambagem)

Toda estrutura esbelta (longa e fina) submetida a uma força compressiva axial esta sujeita a flambagem.

A análise da razão de esbeltez é fundamental para prever a resistência à flambagem em colunas, especialmente aquelas com altas razões de esbeltez (BEER et al., 2015).

A fórmula para o cálculo da força axial crítica  $P_{cr}$  é dada por:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K_1 \cdot L)^2} \quad (3.18)$$

A LINHA ELÁSTICA DE FAMBAGEM DA COLUNA É REPRESENTADA PELA LINHA TRACEJADA	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
VALORES PRÁTICOS DE K RECOMENDADOS PARA DIMENSIONAMENTO	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
CONDIÇÕES DE VINCULAÇÃO NAS EXTREMIDADES		ROTAÇÃO E TRANSLAÇÃO IMPEDIDAS				
		ROTAÇÃO LIVRE E TRANSLAÇÃO IMPEDIDA				
		ROTAÇÃO IMPEDIDA E TRANSLAÇÃO LIVRE				

Figura 36. Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

Fonte: PIMENTA (1997)

De acordo com a tabela acima, o valor do coeficiente de comprimento efectivo é de  $K_1 = 0.5$ .

**a) Perfil de suporte em U**

Consideremos os seguintes dados:

$$E = 205 \text{ GPa}$$

$$I_1 = 107946.5619 \text{ mm}^4$$

$$L_1 = 1701.2 \text{ mm}$$

$$N_{c,max} = 1967 \text{ N (compressão)}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_1}{(K_1 \cdot L_1)^2} = \frac{\pi^2 \cdot (205 \text{ GPa}) \cdot (107946.5619 \text{ mm}^4)}{(0.5 \cdot 1701.2 \text{ mm})^2} = 301.86 \text{ kN}$$

$$N_{c,max} \leq P_{cr}$$

$$1.967 \text{ kN} \leq 301.86 \text{ kN}$$

**b) Perfil de apoio em U**

Consideremos os seguintes dados:

$$E = 205 \text{ GPa}$$

$$I_2 = 3764.4458 \text{ mm}^4$$

$$L_2 = 1680 \text{ mm}$$

$$N_{c,max} = 351 \text{ N (compressão)}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_2}{(K_1 \cdot L_2)^2} = \frac{\pi^2 \cdot (205 \text{ GPa}) \cdot (3764.4458 \text{ mm}^4)}{(0.5 \cdot 1680 \text{ mm})^2} = 10.79 \text{ kN}$$

$$N_{c,max} \leq P_{cr}$$

$$0.351 \text{ kN} \leq 10.79 \text{ kN}$$

**c) Perfil em U enrijecido**

Consideremos os seguintes dados:

$$E = 205 \text{ GPa}$$

$$I_3 = 12636.6405 \text{ mm}^4$$

$$L_3 = 739 \text{ mm}$$

$$N_{c,max} = 749 \text{ N (compress\~{a}o)}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_3}{(K_1 \cdot L_3)^2} = \frac{\pi^2 \cdot (205 \text{ GPa}) \cdot (12636.6405 \text{ mm}^4)}{(0.5 \cdot 739 \text{ mm})^2} = 187.26 \text{ kN}$$

$$N_{c,max} \leq P_{cr}$$

$$0.351 \text{ kN} \leq 187.26 \text{ kN}$$

#### d) Perfil semi-U enrijecido

Consideremos os seguintes dados:

$$E = 205 \text{ GPa}$$

$$I_4 = 10045.7969 \text{ mm}^4$$

$$L_4 = 1473 \text{ mm}$$

$$N_{c,max} = 263 \text{ N (compress\~{a}o)}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_4}{(K_1 \cdot L_4)^2} = \frac{\pi^2 \cdot (205 \text{ GPa}) \cdot (10045.7969 \text{ mm}^4)}{(0.5 \cdot 1473 \text{ mm})^2} = 37.47 \text{ kN}$$

$$N_{c,max} \leq P_{cr}$$

$$0.263 \text{ kN} \leq 37.47 \text{ kN}$$

#### e) Apoio dos tubos de v\~{a}cuo

Consideremos os seguintes dados:

$$E = 205 \text{ GPa}$$

$$I_5 = 95890.7002 \text{ mm}^4$$

$$L_5 = 1473 \text{ mm}$$

$$N_{c,max} = 60 \text{ N (compress\~{a}o)}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_5}{(K_1 \cdot L_5)^2} = \frac{\pi^2 \cdot (205 \text{ GPa}) \cdot (95890.7002 \text{ mm}^4)}{(0.5 \cdot 1473 \text{ mm})^2} = 357.67 \text{ kN}$$

$$N_{c,max} \leq P_{cr}$$

$$0.06 \text{ kN} \leq 357.67 \text{ kN}$$

### 3.1.4.7. Análise das cargas combinadas

#### 3.1.4.7.1. Verificação do critério de Von Mises (Energia de Distorção)

Consideremos o caso extremo em que as duas tensões máximas (a tensão normal e a de cisalhamento) actuam em simultâneo no mesmo ponto e mesmo assim o critério de Von Mises ser satisfeito, vamos garantir que a estrutura resiste as cargas submetidas.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad (3.19)$$

Como  $\sigma_y = 0$  para todos os casos, a fórmula se simplifica para:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad (3.20)$$

##### a) Perfil de suporte em U

Para este perfil, temos os seguintes dados:

$$\sigma_x = 45.07 \text{ MPa};$$

$$\tau_{xy} = 18.47 \text{ MPa}.$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(45.07)^2 + 3 \cdot (18.47)^2} = 55.27 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \sigma_{VM}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 55.27 \text{ MPa}$$

O critério de Von Mises é satisfeito, então o perfil resiste as cargas combinadas que nele actuam.

##### b) Perfil de apoio em U

Para este perfil, temos os seguintes dados:

$$\sigma_x = 58.04 \text{ MPa};$$

$$\tau_{xy} = 21.98 \text{ MPa}.$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(58.04)^2 + 3 \cdot (21.98)^2} = 69.41 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \sigma_{VM}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 69.41 \text{ MPa}$$

O critério de Von Mises é satisfeito, então o perfil resiste as cargas combinadas que nele actuam.

**c) Perfil em U enrijecido**

Para este perfil, temos os seguintes dados:

$$\sigma_x = 82.91 \text{ MPa};$$

$$\tau_{xy} = 3.69 \text{ MPa}.$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(82.91)^2 + 3 \cdot (3.69)^2} = 83.16 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \sigma_{VM}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 83.16 \text{ MPa}$$

O critério de Von Mises é satisfeito, então o perfil resiste as cargas combinadas que nele actuam.

**d) Perfil semi-U enrijecido**

Para este perfil, temos os seguintes dados:

$$\sigma_x = 55.23 \text{ MPa};$$

$$\tau_{xy} = 0.85 \text{ MPa}.$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(55.23)^2 + 3 \cdot (0.85)^2} = 55.28 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \sigma_{VM}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 55.28 \text{ MPa}$$

O critério de Von Mises é satisfeito, então o perfil resiste as cargas combinadas que nele actuam.

**e) Apoio dos tubos de vácuo**

Para este perfil, temos os seguintes dados:

$$\sigma_x = 26.76 \text{ MPa};$$

$$\tau_{xy} = 5.56 \text{ MPa}.$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(26.76)^2 + 3 \cdot (5.56)^2} = 28.44 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} \geq \sigma_{VM}$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{CS} = \frac{350 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \geq 28.44 \text{ MPa}$$

O critério de Von Mises é satisfeito, então o perfil resiste as cargas combinadas que nele actua.

### 3.1.5. Escolha das ligações

Existem dois tipos de ligações, as fixas (soldadura, rebite e colagem) e as desmontáveis (parafuso e porca, engate rápido, grampos e cliques).

Para este caso em particular, o mais aplicável é o uso de parafuso e porca pelas seguintes razões:

- Facilidade de montagem e desmontagem;
- Redução de custos iniciais e de manutenção;
- Compacto antes da montagem, o que facilita o transporte;
- Inspeção simples;
- Não necessita de mão-de-obra especializada.

#### 3.1.5.1 Escolha do material para os parafusos e porcas

Para os parafusos, o material escolhido é o aço inoxidável. Por possuir boa resistência a corrosão, é adequado para ambientes externos e marítimos.

Como os colectores solares precisam captar a radiação solar para obter a energia térmica, o sistema é instalado no ambiente externo que é mais corrosivo em relação a um ambiente fechado.

#### 3.1.5.2. Escolha dos parâmetros do parafuso

##### 3.1.5.2.1. Propriedades mecânicas do aço inoxidável

O material do parafuso (aço inox) apresenta as seguintes propriedades:

- a) Tensão de escoamento -  $\sigma_e = 215 \text{ MPa}$ ;
- b) Tensão de ruptura -  $\sigma_r = 505 \text{ MPa}$ ;
- c) Vamos adoptar o coeficiente de segurança de  $CS = 1.75$  para os parafusos.

##### 3.1.5.2.2. Cálculo das tensões admissíveis

- Tensão de admissível:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{CS} = \frac{215}{1.75} = 122.86 \text{ MPa}$$

- Tensão de cisalhamento admissível – Pelo critério de Von Mises:

$$\tau_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\sqrt{3}} = \frac{122.86}{\sqrt{3}} = 70.21 \text{ MPa}$$

### 3.1.5.2.3. Verificação das tensões para um parafuso de 8 mm de diâmetro (d)

#### a) Cálculo da Área Resistente do Parafuso

A área resistente de um parafuso ( $A_p$ ) é a área da seção transversal, que é dada por:

$$A_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50.27 \text{ mm}^2$$

#### b) Verificação da tensão axial no parafuso

A força normal máxima que se verifica na estrutura de acordo com o diagrama dos esforços normais é de  $\frac{2911}{2} = 1455.5 \text{ N}$ .

$$\sigma_{axial} = \frac{N_{max}}{A_p} \quad (3.21)$$

$$\sigma_{axial} = \frac{1427 \text{ N}}{50.27 \text{ mm}^2} = 28.39 \text{ MPa} < (\sigma_{adm} = 124.13 \text{ MPa})$$

Como  $\sigma < \sigma_{adm}$ , a tensão axial no parafuso está dentro dos limites.

#### c) Verificação da tensão de cisalhamento no parafuso

A força de cisalhamento máxima que se verifica na estrutura de acordo com o diagrama dos esforços cortantes ou transversos é de 2705 N.

$$\tau = \frac{V_{max}}{A_p} \quad (3.22)$$

$$\tau = \frac{2705 \text{ N}}{50.27 \text{ mm}^2} = 53.81 \text{ MPa} < (\tau_{adm} = 70.21 \text{ MPa})$$

Como  $\tau < \tau_{adm}$ , a tensão axial no parafuso está dentro dos limites.

#### d) Verificação da tensão de esmagamento

O esforço cortante também cria na superfície uma tensão de esmagamento que é calculada tendo em conta as dimensões do furo. A espessura da chapa ( $t$ ) é de 1.5mm e a tensão é maior quando há menor número de chapas, nesse caso, duas chapas.

$$A_{esm} = 2 \cdot t \cdot d \quad (3.23)$$

$$A_{esm} = 2 \cdot 1.5 \cdot 8 = 24 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{esm} = \frac{V_{max}}{A_{esm}} = \frac{2705 \text{ N}}{24 \text{ mm}^2} = 112.71 \text{ MPa} < (\sigma_{adm} = 124.13 \text{ MPa})$$

#### e) Parâmetros do parafuso escolhido

De acordo com os cálculos realizados escolhe-se o parafuso com rosca métrica: M8x1,25x12 RT

Onde:

- d) Diâmetro efectivo – 8 mm;
- e) Comprimento – 12 mm;
- f) Passo da rosca – 1.25 mm;
- g) RT – rosca total.

### 3.1.6. Escolha do chumbador

A escolha adequada de chumbadores é fundamental para garantir a segurança e o desempenho das estruturas. Eles fixam componentes estruturais, como colunas e vigas, em bases de concreto ou outros materiais. A seleção correta do tipo de chumbador — mecânico, químico ou expansivo — é crucial para assegurar que o sistema suporte as cargas com eficiência, evitando falhas e garantindo durabilidade.

O chumbador PBA (*Parabolically Bonded Anchor*) é altamente indicado para fixação de estruturas devido à sua grande capacidade de ancoragem e resistência a esforços de tração e cisalhamento. Sua geometria parabólica e materiais adesivos distribuem as tensões de forma uniforme, aumentando a aderência e reduzindo o risco de falhas. É ideal para aplicações que exigem precisão e durabilidade, especialmente em ambientes com vibrações ou cargas dinâmicas, tornando-o uma opção segura e eficiente para fixações robustas.

#### 3.1.6.1. Breve cálculo de resistência

Vamos considerar um chumbador de 10 mm de diâmetro. Como no catálogo de selecção do chumbador, as dimensões estão apresentadas em polegadas, vamos escolher o mais próximo que é o de 3/8" com profundidade de 75 mm.

Diâmetro da rosca (pol)	Comprimentos		Furo		Embut. hef	Distâncias <sup>(3)</sup> (mm)		Espessura máxima à fixar (mm)	Chave (pol)	Torque de aperto (kgf.m)	Cargas últimas <sup>(2)</sup> (kgf)	
	Chumbador (pol)	Rosca min. (mm)	Diâm. (pol - mm)	Prof. <sup>(1)</sup> (mm)		Fixador Fixador	Fixador Borda				Tração	Corte
1/4"	1.3/4"	19	1/4" - 6,5	40	35	70	53	7	7/16"	0,7	920	795
	2.1/4"	26		55	50	100	75	21				
	3.1/4"	48						43				
5/16"	2"	19	5/16" - 8	50	40	80	60	4	1/2"	1,8	1.610	1.195
	3.1/4"	43		65	55	110	83	37				
	4.1/4"	66						60				
3/8"	2.1/4"	21	3/8" - 9,5	60	50	100	75	2	9/16"	3	2.210	1.955
	2.3/4"	27						15				
	3"	28		19								
	3.1/2"	41		75	65	130	98	33				
	3.3/4"	48						38			2.730	
5"	75					70						

Figura 37. Chumbadores PBA e suas características

Da tabela anterior podemos tirar os seguintes dados:

- Diâmetro do chumbador,  $d_{chu} \approx 9.5 \text{ mm}$ ;
- Profundidade do chumbador,  $L = 75 \text{ mm}$ ;
- Distancia mínima entre fixadores,  $E = 98 \text{ mm}$ ;

- Distancia mínima entre fixador-borda,  $a_1$ ;
- Carga máxima de tração,  $F_{max,t} = 2730 \text{ kgf} = 26.77 \text{ kN}$ ;
- Carga máxima de cisalhamento,  $F_{max,c} = 1955 \text{ kgf} = 19.17 \text{ kN}$ .

Vamos considerar um factor de segurança,  $\gamma_M = 3$  para todos os casos.

Os esforços máximos presentes nos apoios de acordo com a fig. 13, para tração e cisalhamento são respectivamente

Os esforços máximos presentes nos apoios, conforme ilustrado na Fig. 13, para tração e cisalhamento são respectivamente,  $F_t \approx 1.97 \text{ kN}$  e  $F_c \approx 1.16 \text{ N}$ .

#### a) Para tração

$$F_t \geq \frac{F_{max,t}}{\gamma_M} \quad 1.97 \text{ kN} \geq \frac{26.77 \text{ kN}}{3} = 8.92 \text{ kN}$$

Como o esforço de tração presente nos apoios e menor que o máximo suportado pelo chumbador, então o chumbador seleccionado resiste aos esforços solicitados.

#### b) Para compressão

$$F_c \geq \frac{F_{max,c}}{\gamma_M} \quad 1.16 \text{ kN} \geq \frac{19.17 \text{ kN}}{3} = 6.39 \text{ kN}$$

Como o esforço de cisalhamento presente nos apoios e menor que o máximo suportado pelo chumbador, então o chumbador seleccionado resiste aos esforços solicitados.

### 3.1.6.2. Método de aplicação

A imagem a seguir apresenta em ordem cronológica os passos que compõem o método de aplicação do chumbador PBA e a respectiva descrição.



Figura 38. Método de aplicação dos chumbadores PBA

## 3.2. Projecção da fábrica

### 3.2.1. Apresentação da fábrica

A fábrica destina-se ao fabrico de estruturas para o suporte de colectores solares (conjunto de 20 tubos de vácuo e um tanque de 200 litros), e o volume de produção é de 2200 unidades por ano. Tendo em conta que um ano tem 12 meses, teremos uma produção mensal de aproximadamente 183 unidades.

### 3.2.2. Localização

A fábrica será instalada no parque industrial de Beluluane, por ser uma zona que tem condições para a instalação de empreendimentos desta natureza, e possui fácil acesso ao porto, estradas para a circulação de veículos de grande tonelagem, boa rede eléctrica e de água para responder as necessidades industriais. Por se situar perto da fronteira sul africana que servirá como um dos principais mercados para a compra da matéria-prima.

### 3.2.3. Escolha do tipo de produção

O peso da estrutura está em torno de 20 a 25 kg. Tendo em conta o peso do produto e que se pretende produzir 2200 unidades por ano, através da tabela abaixo escolhe-se o tipo de produção.

Massa da peça, kg	Tipo de produção				
	Unitária, N° de peças	Em série pequena, N° de peças	<u>Em série média</u> , N° de peças	Em série grande, N° de peças	Em massa, N° de peças
< 1.0	< 10	10 – 2000	1500– 100,000	75,000 – 200,000	200,000
1.0 – 2.5	< 10	10 – 1000	1000 – 50,000	50,000 – 100,000	100,000
2.5 – 5.0	–	10 – 500	500 – 35,000	35,000 – 75,000	75,000
5.0 – 10	< 10	10 – 300	300 – 25,000	25,000 – 50,000	50,000
<b>10</b> 	< 10	10 – 200	<u>200 – 10,000</u>	10,000 – 25,000	25,000

Figura 39. Selecção previa do tipo de produção

De acordo com a tabela, trata-se de uma produção em **série média**.

### 3.2.4. Apresentação do produto

#### 3.2.4.1. Características técnicas do producto

A estrutura de suporte para o colector solar é feita de aço galvanizado resistente a corrosão, projectada para suportar condições climáticas adversas e facilitar a instalação dos colectores solares. Possui a inclinação ideal para otimizar a captação da radiação solar e tem um acabamento que protege contra corrosão, garantindo deste modo a durabilidade da mesma. O *design* modular permite fácil manutenção, a estrutura é concebida para melhorar a eficiência térmica, prevenindo o acúmulo de detritos e facilitando a ventilação diminuindo desse modo o carregamento pela pressão do vento.

#### 3.2.4.2. Desenho do produto

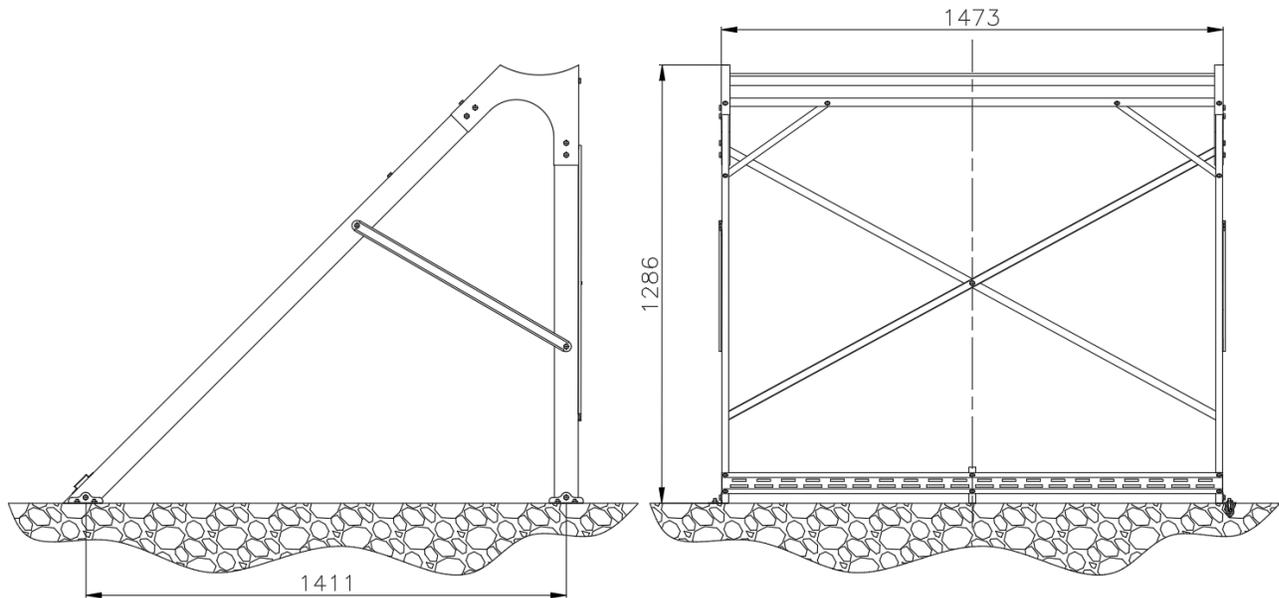


Figura 40. Desenho do produto

#### 3.2.5. Fonte de matéria-prima e subsidiários

As matérias-primas para a produção da estrutura são: chapas de aço SAE 1020 (ISO C20), parafusos e porcas, chumbador PBA e tintas e diluentes. A aquisição dessa matéria-prima será realizada tanto no mercado nacional quanto no mercado externo, concretamente na vizinha África do sul.

### **3.2.6. Mercado**

Prevê-se a projecção de um sistema para produção de 2200 unidades de estruturas de suporte de colectores solares anualmente, que de acordo com o ponto **3.2.3** do presente trabalho, trata-se de uma produção em série média de modo a responder com a demanda do mercado nacional.

O mercado potencial para as estruturas abrange desde aplicações residenciais até comerciais e industriais. Isso inclui desde pequenos sistemas para residências, onde a energia solar pode reduzir custos de aquecimento de água, até soluções mais robustas para hotéis, hospitais, e fábricas, que demandam maior capacidade e eficiência energética.

### **3.2.7. Estudo dos fluxos**

#### **3.2.7.1. Gráficos dos fluxos de processo Tipo – Esboço**

Ver anexos. A\_1.1, A\_2.1, A\_3.1, A\_4.1, A\_5.1, A\_6.1, A\_7.1, A\_8.1, A\_9.1, A\_10.1, A\_11.1, A\_12.1, A\_13.1 e A\_14.1.

#### **3.2.7.2. Gráficos dos fluxos de processo Tipo – Material**

Presente no anexo. A\_15

### **3.2.8. Equipamentos para a produção**

#### **3.2.8.1. Escolha das máquinas e equipamentos auxiliares**

##### **Máquinas**

- Guilhotina;
- Máquina de corte a *laser*;
- Máquina hidráulica para quinagem (Quinadora);
- Prensa hidráulica; e
- Equipamentos de pintura.

##### **Equipamentos auxiliares**

- Bancada para medição e marcação (com fixadores incorporados);
- Instrumentos de medição;
- Marcadores;
- Lixas abrasivas;
- Carrinho de mão;
- Empilhadeira;

- Esmeril;
- Matrizes para dobra;
- Equipamento de soldadura manual;
- Compressor de ar;
- Sistema de exaustão e colecta de resíduos; e
- Equipamentos de segurança.

### 3.2.8.2. Características técnicas das máquinas e dos equipamentos auxiliares

- **Guilhotina**

Tabela 4. Características técnicas da guilhotina

Parâmetro		Unidade
Modelo da máquina	Primapress Q11-3x2050	
Espessura máxima de cisalhamento	3	[mm]
Comprimento de corte	2050	[mm]
Potência do motor	4	[KW]
Ângulo de corte	2	[graus]
Medidor traseiro	630	[mm]
Número de curso (por minuto)	30	[1/min]
Dimensões de gabarito	2660x1160x1470	[mm]
Massa aproximada	1520	[kg]



Figura 41. Guilhotina

Fonte: Primapress.com

- **Máquina de corte a laser**

Tabela 5. Características técnicas da máquina de corte a laser

Parâmetro		Unidade
Modelo da máquina	MMCTH 1325	
Área de trabalho	1300X2500	[mm]
Espessura máxima de corte	3	[mm]
Velocidade máxima	30	[m/min]
Potência do motor	0.5	[kW]
Software	RD Works V8	
Precisão de posicionamento	±0.1	[mm]
Dimensões de gabarito	2000x3000x1500	[mm]
Massa aproximada	1500	[kg]



Figura 42. Máquina de corte a laser

Fonte: AliExpress.com

- **Máquina hidráulica para quinagem (Quinadora)**

Tabela 6. Características técnicas da máquina hidráulica para quinagem

Parâmetro		Unidade
Modelo da máquina	WC67Y-40Tx2500	
Comprimento de dobra	2500	[mm]
Capacidade máxima de espessura	4	[mm]
Potência do motor	4	[kW]
Força de dobra	40	[ton]
Dimensões de gabarito	3500x1500x2000	[mm]
Massa aproximada	2600	[kg]



Figura 43. Prensa hidráulica para dobragem

Fonte: Alibaba.com

- **Prensa hidráulica**

Tabela 7. Características técnicas da prensa hidráulica

Parâmetro		Unidade
Modelo da máquina	Wuxi Jack J23-25	
Área de trabalho	500x350	[mm]
Potência do motor	2	[kW]
Força de dobragem	10	[ton]
Dimensões de gabarito	1345x950x2130	[mm]
Massa aproximada	1500	[kg]



Figura 44. Prensa hidráulica

Fonte: Alibaba.com

- **Bancada de medição e marcação**

Bancadas são locais onde os operários realizam os trabalhos de medição, marcação, inspeção das peças, e os trabalhos de soldadura (nos casos de actividades auxiliares) também são realizados em bancadas. Para a presente fábrica, as bancadas terão as seguintes dimensões de gabarito: 2500x1500x1000 (mm) de modo ter espaço suficiente para manusear as chapas brutas e ao mesmo tempo permitir uma postura ergonómica aos operários durante o trabalho.

- **Instrumentos de medição**

Instrumentos de medição são dispositivos ou ferramentas usadas para quantificar características físicas, como comprimento, largura, altura, ângulo, espessura, peso, entre outros parâmetros. Instrumentos como fita métrica, paquímetro, esquadro de medição, transferidor de ângulos, régua de aço e nível de bolha poderão ser usados no exercício das actividades.

- **Carrinho de mão**

Para facilitar o transporte manual de materiais em pequenas distâncias.

*Tabela 8. Características técnicas do carrinho de mão*

<b>Parâmetro</b>		<b>Unidade</b>
Capacidade de carga	120	kg
Material da estrutura	Aço pintado	
Roda	Dupla, de borracha sólida	
Dimensões da caçamba	800x600	[mm]

- **Empilhadeira**

A empilhadeira é um equipamento destinado a movimentação e ao manuseio dos diversos tipos de cargas a serem processados, eles facilitam o processo de armazenagem da matéria-prima e dos produtos acabados tornando o processo de produção mais eficiente.

*Tabela 9. Parâmetros da empilhadeira*

<b>Parâmetro</b>		<b>Unidade</b>
Modelo	Toyota 8FB	
Carga Máxima distribuída	3000	[kg]
Altura de elevação máxima	4500	[mm]
Tempo de elevação	25	[s]
Dimensões da máquina	3000x1900	[mm]
Peso Aproximado	250	[kg]

- **Esmeril**

O esmeril é útil para actividades como, o afiamento de ferramentas, remoção de rebarbas, polimento e outras operações de acabamento em metais. Ela pode ser afixada em bancadas ou em um suporte no chão.

Tabela 10. Parâmetros do esmeril

Parâmetro		Unidade
Diâmetro do disco	20	[mm]
Potência do motor	0.5	[kW]
Velocidade de rotação	3000	[RPM]

- **Equipamento de soldadura**

Tabela 11. Parâmetros do equipamento de soldadura

Parâmetro		Unidade
Modelo	Rilon ARC 200	
Corrente ajustável	20 a 200	[A]
Ciclo de trabalho	60% a 200	[A]
Tensão de entrada (monofásico)	220	[V]
Massa	5	[kg]
Recursos adicionais	Leve, Portátil e proteção contra sobrecargas	

- **Compressor de ar**

Tabela 12. Parâmetros do compressor de ar

Parâmetro		Unidade
Modelo	Belt BLM-100	
Capacidade do tanque	100	[L]
Pressão máxima	8	[bar]
Potência do motor	1.8	[HP]
Massa aproximada	72	[kg]

- **Equipamento de pintura**

Tabela 13. Parâmetros do equipamento de pintura

Parâmetro		Unidade
Modelo	Devilbiss FLG-5	
Tipo de alimentação	Por gravidade	
Tamanho do bico	1.4	[mm]
Pressão de trabalho	2.5 a 3.5	[bar]
Vazão	80 a 190	[ml/min]
Consumo de ar	280	[l/s]
Massa	0.6	[kg]

### **3.2.9 Balanceamento das cargas dos equipamentos**

#### **3.2.9.1. Descrição sumária das principais operações**

Os principais processos do sistema de produção para obtenção da estrutura de suporte dos colectores solares são descritos a seguir, de forma sintetizada.

- Corte na guilhotina;
- Corte na máquina de corte a *laser*;
- Quinagem na quinadora;
- Embutidura na prensa hidráulica;
- Pintura;
- Inspeção e embalagem.

#### **Corte na guilhotina**

O corte é a operação pela qual o material é completamente cisalhado ou separado, nas condições desejadas. Esta operação será executada com auxílio da guilhotina. Nesse caso as chapas de aço que são a matéria-prima, serão cortadas na guilhotina mediante a aplicação de um esforço de corte sobre o material de modo a obterem forma e dimensões próximas as da peça pretendida.

#### **Corte na máquina de corte a *laser***

Essa operação de corte será realizada com o auxílio de uma máquina de corte a *laser*, para conferir às peças as dimensões finais, realizar os furos e criar os contornos variados das diferentes peças a serem produzidas. Ela possui essa versatilidade graças ao CNC, que permite a produção de diferentes contornos na mesma máquina, reduzindo, assim, os custos de produção.

#### **Quinagem na quinadora**

A dobragem das chapas na prensa hidráulica envolve a aplicação de força sobre uma chapa metálica, utilizando uma ferramenta chamada punção que pressiona a chapa contra uma matriz. Isso resulta em uma dobra precisa na chapa, seguindo o formato da matriz. A prensa permite a realização de dobras em vários ângulos diferentes, dependendo do ajuste da punção e da matriz. Isso torna possível criar peças com formas diversas, variando os ângulos de dobra para atender a diferentes requisitos de *design* e funcionalidade.

## **Embutidura na prensa hidráulica**

Esta prensa hidráulica possui o mesmo princípio de funcionamento que a anterior. Ela é de menor dimensão e será equipada com uma matriz especial para a dobra de peças específicas. Além disso, a prensa permite a troca de ferramentas (punção e matriz para dobra), oferecendo versatilidade para realizar diferentes tipos de dobras de acordo com a necessidade.

## **Pintura**

Nesta operação pintam-se as peças ou subconjuntos por forma a aumentar a resistência a corrosão e em simultâneo proporcionado um efeito estético.

## **Inspecção e embalagem**

Na operação de inspecção faz-se a verificação do produto, se apresenta ou não todos os parâmetros dentro do limite padrão aceitável.

O processo de embalagem consiste em proteger e preparar produtos para armazenamento, transporte e venda. Envolve a escolha de materiais, a embalagem do produto em camadas primária, secundária e terciária, a aplicação de rótulos informativos, a selagem para protecção, e a preparação final para expedição, garantindo que o produto chegue ao destino em boas condições.

## **Postos de trabalho**

*Tabela 14. Postos de trabalho*

<b>Local</b>	<b>Designação</b>
Bancada (de medição e marcação)	A
Secção de corte por guilhotina	B
Secção de corte a <i>laser</i>	C
Secção de dobragem	D
Secção de inspecção	E
Secção de pintura	F
Secção de embalagem	G

### 3.2.9.2. Cálculo do número de máquinas e equipamentos auxiliares

O cálculo de número de máquina nos fornece a quantidade de equipamentos necessária para satisfazer de forma sustentável o nível de produção pretendido, de modo a evitar a indisponibilidade ou excesso de recursos para a produção de um determinado item.

#### Produção diária

A produção diária é dada pela seguinte equação:

$$P_{diaria} = \frac{P_{anual}}{(12 \cdot 22) - 9} \quad (3.24)$$

$$P_{diaria} = \frac{2200}{(12 \cdot 22) - 9} = 8.63 \approx 9 \text{ estruturas/dia}$$

#### Nota:

O cálculo da produção diária faz-se considerando a pausa na produção durante os finais de semana e feriados para produção durante o ano inteiro, assumindo: 12 mês por ano, 22 dias úteis por mês, e 9 feriados nacionais por ano.

#### Número de máquinas

O cálculo do número de máquinas é dado pela seguinte expressão:

$$N_{máquinas} = \frac{T_{op} \cdot P_{diária}}{T_{disponível}} \quad (3.25)$$

$$N_{máquinas} = \frac{T_{op} \cdot 9}{T_{disponível}} \quad (3.26)$$

#### Onde:

$N_{máquinas}$  – Número de máquinas;

$T_{op}$  – Tempo de operação [min];

$T_{disponível}$  – Tempo disponível, 8 horas diárias ou 480 min diários;

$P_{diária}$  – Produção diária.

## Estimativa de tempo de operação

O tempo de operação é estimado somando-se o tempo auxiliar e o tempo efectivo da operação.

$$T_{op} = t_a + t_{ef} \quad (3.27)$$

$$t_{ef} = t \times n \quad (3.28)$$

Onde:

$T_{op}$  – tempo de operação [s];

$t_a$  – tempo auxiliar [s];

$t_{ef}$  – tempo efectivo da operação [s];

$t$  – tempo de tratamento de cada superfície [s];

$n$  – número de repetições.

Tabela 15. Estimativa do tempo de cada operação

Peça	Operação	$n$	$t$	$t_{ef}$	$t_a$	$T_{op}$
Apoio traseiro direito ( $P_a$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	6	45	270	20	290
	Quinagem na quinadora	2	15	30	20	50
	Pintura	1	300	300	20	320
Apoio traseiro esquerdo ( $P_b$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	6	45	270	20	290
	Quinagem na quinadora	2	15	30	20	50
	Pintura	1	300	300	20	320
Apoio dianteiro direito ( $P_c$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	8	45	360	20	380
	Quinagem na quinadora	2	15	30	20	50
	Pintura	1	300	300	20	320
Apoio dianteiro esquerdo ( $P_d$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	8	45	360	20	380
	Quinagem na quinadora	2	15	30	20	50
	Pintura	1	300	300	20	320
Apoio direito do tanque ( $P_e$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	5	45	225	20	245
	Embutidura na prensa hidráulica	1	15	15	20	35
	Pintura	1	300	300	20	320

Apoio esquerdo do tanque ( $P_f$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	5	45	225	20	245
	Embutidura na prensa hidráulica	1	15	15	20	35
	Pintura	1	300	300	20	320
Base de fixação ( $P_g$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	4	45	180	20	200
	Quinagem na quinadora	1	15	15	20	35
	Pintura	1	300	300	20	320
Perfil em U traseiro ( $P_h$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	4	45	180	20	200
	Quinagem na quinadora	2	15	30	20	50
	Pintura	1	300	300	20	320
Perfil em U frontal ( $P_i$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	3	45	135	20	155
	Quinagem na quinadora	2	15	30	20	50
	Pintura	1	300	300	20	320
Perfil em U enrijecido ( $P_j$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	3	45	135	20	155
	Quinagem na quinadora	4	15	60	20	80
	Pintura	1	300	300	20	320
Perfil semi-U enrijecido traseiro ( $P_k$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	2	45	90	20	110
	Quinagem na quinadora	2	15	30	20	50
	Pintura	1	300	300	20	320
Perfil semi-U enrijecido frontal ( $P_l$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	5	45	225	20	245
	Quinagem na quinadora	2	15	30	20	50
	Pintura	1	300	300	20	320
Base central de apoio ( $P_m$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	3	45	135	20	155
	Quinagem na quinadora	1	15	15	20	35
	Pintura	1	300	300	20	320
Apoio dos tubos de vácuo ( $P_n$ )	Medição e marcação	1	40	40	20	60
	Corte na guilhotina	2	10	20	20	40
	Corte na máquina de corte a <i>laser</i>	46	45	2070	20	2090
	Quinagem na quinadora	4	15	60	20	80
	Pintura	1	300	300	20	320

Estrutura	Inspecção	1	350	350	40	390
	Embalagem	1	900	900	60	960

## Resumo dos cálculos de número de máquinas

Tabela 16. Resumo do cálculo do número de máquinas

Máquina ou equipamento auxiliar	Designação	Tempo de operação		$N_{maq} = \frac{T_{op} \cdot 9}{T_{disponivel}}$
		[seg]	[min]	
Bancada de medição e marcação	A	840	14	1
Secção de corte por guilhotina	B	560	9.33	1
Secção de corte a laser	C	5140	85.67	2
Secção de dobragem	D	700	11.67	3
Secção de inspecção	E	390	6.5	1
Secção de pintura	F	4480	74.67	2
Secção de embalagem	G	960	16	1

**Nota:** A secção D tem três máquinas por causa das peças  $P_e$  e  $P_f$  que necessitam de punção e matriz especial cada, daí a necessidade de duas máquinas para melhor eficiência na produção.

## Gama de fabricação

Tabela 17. Gama de fabricação

Peças produzidas	Operação						
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
$P_a$	A	B	C	D	E	F	G
$P_b$	A	B	C	D	E	F	G
$P_c$	A	B	C	D	E	F	G
$P_d$	A	B	C	D	E	F	G
$P_e$	A	B	C	D	E	F	G
$P_f$	A	B	C	D	E	F	G

Peças produzidas	Operação						
	1ª		1ª		1ª		1ª
$P_g$	A	B	C	D	E	F	G
$P_h$	A	B	C	D	E	F	G
$P_i$	A	B	C	D	E	F	G
$P_j$	A	B	C	D	E	F	G
$P_k$	A	B	C	D	E	F	G
$P_l$	A	B	C	D	E	F	G
$P_m$	A	B	C	D	E	F	G
$P_n$	A	B	C	D	E	F	G

### Distribuição das operações da mesma ordem

Tabela 18. Distribuição das operações da mesma ordem

Número de operações da mesma ordem executadas por cada tipo de posto de trabalho								
Postos de trabalho	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	Nº de postos de trabalho disponíveis
A	14	-	-	-	-	-	-	1
B	-	14	-	-	-	-	-	1
C	-	-	14	-	-	-	-	2
D	-	-	-	14	-	-	-	3
E	-	-	-	-	14	-	-	1
F	-	-	-	-	-	14	-	2
G	-	-	-	-	-	-	14	1

### Quadro de constituição da gama fictícia

O quadro de constituição da gama fictícia não é necessário para este caso, pois já tem uma distribuição ao longo da diagonal.

## Quadro de verificação

Tabela 19. Quadro de verificação

Gama fictícia do producto	Sequência de intervenção dos postos de trabalho, na fabricação constituindo a GAMA FICTÍCIA						
	A	B	C	D	E	F	G
$P_a$	1	2	3	4	5	6	7
$P_b$	1	2	3	4	5	6	7
$P_c$	1	2	3	4	5	6	7
$P_d$	1	2	3	4	5	6	7
$P_e$	1	2	3	4	5	6	7
$P_f$	1	2	3	4	5	6	7
$P_g$	1	2	3	4	5	6	7
$P_h$	1	2	3	4	5	6	7
$P_i$	1	2	3	4	5	6	7
$P_j$	1	2	3	4	5	6	7
$P_k$	1	2	3	4	5	6	7
$P_l$	1	2	3	4	5	6	7
$P_m$	1	2	3	4	5	6	7
$P_n$	1	2	3	4	5	6	7
N° de passagens	14	14	14	14	14	14	14
N° de postos de Trabalho	1	1	2	3	1	2	1

### 3.2.10. Cálculo das superfícies

#### 3.2.10.1. Cálculo das superfícies para as máquinas

A superfície total necessária para cada unidade de produção é dada pela seguinte fórmula:

$$S_T = S_s \cdot (1 + N) \cdot (1 + K) \quad (3.29)$$

Onde:

$S_s$  – Superfície estática

$S_T$  – Superfície total

$N$  – Número de lados da máquina em relação a qual deve ser servida

$K$  – coeficiente que varia em função do tipo de indústria, (0.05 para indústria pesada com ponte rolante e 3.0 para indústria mecânica).

### Comprimento médio das máquinas

$$C_{med} = \sum \frac{C_{maq}}{N} \quad (3.30)$$

$$C_{med} = \frac{2500 + 2660 + 3000 + 3500 + 1345 + 1200 + 2000 + 2000}{8} = 2275.625 \text{ mm}$$

$$K = \frac{C_{m\acute{a}x}}{2 \cdot C_{m\acute{e}d}} \quad (3.31)$$

$$K = \frac{C_{m\acute{a}x}}{2 \cdot C_{m\acute{e}d}} = \frac{3500}{2 \cdot 2275.625} = 0.769$$

### Resumo do cálculo das áreas das máquinas

Tabela 20. Áreas das máquinas

Máquinas	Dimensões [mm]	S <sub>s</sub> [m <sup>2</sup> ]	N	n	K	S <sub>T</sub> [m <sup>2</sup> ]
Guilhotina	2660x1160	3.0856	2	1	0.769	16.375
Máquina de corte a laser	2000x3000	6	2	2		63.684
Quinadora	3500x1500	5.25	1	1		18.575
Prensa hidráulica	1345x950	1.2778	1	2		9.041
Equipamento de pintura	1200x650	0.78	4	2		13.798
<b>Total</b>						<b>121.473</b>

### Resumo do cálculo das superfícies para as bancadas

Tabela 21. Áreas das bancadas

Bancada	Dimensões [mm]	S <sub>s</sub> [m <sup>2</sup> ]	N	n	K	S <sub>T</sub> [m <sup>2</sup> ]
Bancada para medição e marcação	2500x1500	3.75	3	1	0.769	26.535
Bancada de inspeção	2000x1500	3	3	1		21.228
Bancada de embalagem	2000x1500	3	4	1		26.535
<b>Total</b>						<b>74.298</b>

### 3.2.10.2. Cálculo das superfícies para outros equipamentos

A área para o armazém de matéria-prima é calculada considerando apenas as superfícies estática e de evolução. A área da superfície total é calculada segundo a fórmula Guerchet:

$$S_T = S_s \cdot (1 + K + N \cdot K) \quad (3.32)$$

#### Matéria-prima

Como matéria-prima para o processo produtivo temos os seguintes materiais:

A – Tintas e diluentes;

B – Parafusos e porcas e chumbadores PBA;

C – Chapas de aço SAE 1020 de 2000x1200 de área.

- As tintas estarão contidas em recipientes de 5 litros num compartimento com ventilação controlada e sem humidade para evitar que solidifiquem ou que reajam com o oxigénio.
- Os parafusos e porcas e chumbadores BPA serão armazenados em caixas, separadas por tipo, tamanho e material.
- As chapas serão armazenadas em estantes, robustas que suportem o seu peso. E serão cobertas com lonas ou outro material impermeável para protecção contra poeira, e humidade.

Tabela 22. Área para o armazém da matéria-prima

Matéria-prima	$S_s$ [ $m^2$ ]	$N$	$K$	$S_T$ [ $m^2$ ]
A	2	1	0.769	5.076
B	1.5	1		3.807
C	4	1		10.152
<b>Total</b>				<b>19.035</b>

#### Estimativa da superfície de outros recintos

- O produto acabado será armazenado em estantes de 3 andares, o armazém terá uma área superficial de  $42 m^2$
- A casa de banho terá a área de  $24m^2$

$$S_{TOTAL} = \sum S_i = 121.473 + 74.298 + 19.035 + 42 + 24 \approx 281 m^2$$

### 3.2.11. *Layout*

#### 3.2.11.1. Descrição sumária

O *layout* por processo é o mais adequado para a fábrica. Primeiramente, essa configuração minimiza os custos, uma vez que evita a duplicação de equipamentos, pois as máquinas são organizadas de acordo com suas funções específicas. Essa abordagem também proporciona flexibilidade operacional, permitindo que a mesma estrutura de máquinas possa ser utilizada para atender a demandas de serviços extras sem a necessidade de rearranjos significativos no *layout*. Além disso, o *layout* por processo facilita a organização do espaço físico e otimiza o fluxo de produção, especialmente quando se trata de processos similares, garantindo uma operação mais eficiente e econômica.

#### Comprimento e largura do sector fabril

$$S_{TOTAL} = C \cdot L \quad (3.33)$$

Onde, a superfície total da área fabril é de 298 m<sup>2</sup>.

$$C \geq 1.5 \cdot L \quad (3.34)$$

$$L = \sqrt{\frac{S_{TOTAL}}{1.5}} = \sqrt{\frac{281}{1.5}} = 13.69$$

Por razões construtivas, toma-se como largura do sector fabril,  $L = 17 \text{ m}$

$$C \geq 1.5 \cdot L = 1.5 \cdot 17 = 25.5$$

Para efeitos de construção, tomamos  $L = 17 \text{ m}$  e  $C = 26 \text{ m}$ .

## Comprimento e largura do sector administrativo

As dimensões das superfícies deste sector são resumidas na tabela que se segue:

Tabela 23. Áreas para o sector administrativo

Sector	C [m]	L [m]	S=CxL [m <sup>2</sup> ]
Administração	10.0	5.0	50.0
Gabinete do chefe de produção	5.0	3.0	15.0
Sala de estudos e projectos	6.6	5.0	33.0
Secretaria	3.0	3.0	9.0
Sala de reuniões	7.0	6.0	42.0
Recepção	3.0	3.0	9.0
Casa de banho	5.5	2.3	12.65
Sala de exposição	5.0	3.9	19.5
Sala de espera	3.0	3.0	9
Espaço livre =20% do somatório das áreas anteriores			39.83
<b>Área total (<math>S_{total}</math>)</b>			<b>238.98</b>

A partir da área total do sector administrativo, calcula-se a largura e o comprimento deste sector:

$$S_{total} = C \cdot L$$

Onde, a superfície total da área fabril é de 226.2 m<sup>2</sup>.

$$C \geq 1.5 \cdot L$$

$$L = \sqrt{\frac{S_{total}}{1.5}} = \sqrt{\frac{238.98}{1.5}} = 12.62 \approx 13 \text{ m}$$

$$C \geq 1.5 \cdot L = 1.5 \cdot 13 = 19.5 \text{ m}$$

Para efeitos de construção, tomamos  $L = 13 \text{ m}$  e  $C = 20 \text{ m}$ .

## Outras áreas

Tabela 24. Outras áreas

Sector	Área [m <sup>2</sup> ]
Estacionamento	214
Posto de transformação	9
Compressor	9
Gerador de emergência	9
Vias de acesso	770
Tanque de água	24
Contentor de lixo	8
Guardas	18
<b>Total</b>	<b>1061</b>

### 3.2.11.2. Pré-planta da fábrica

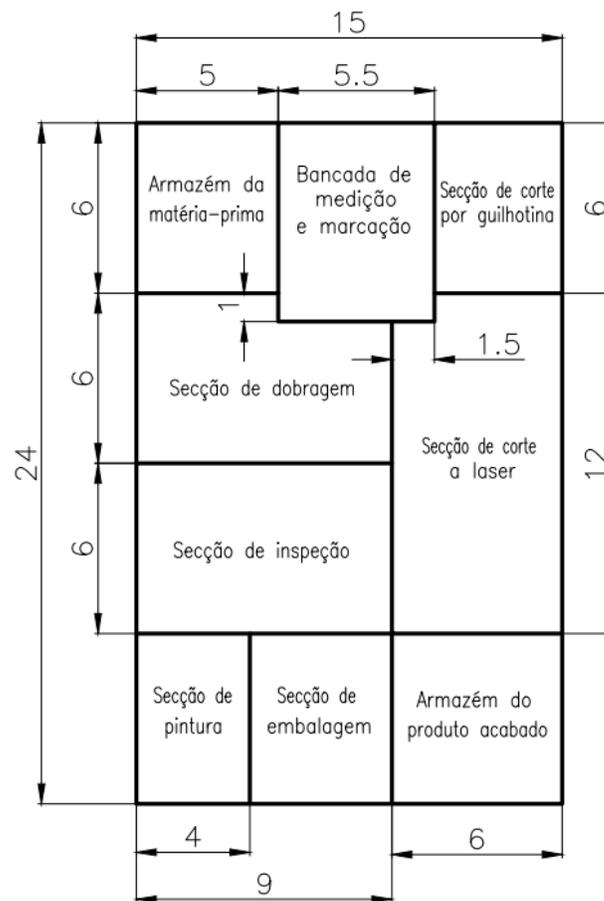


Figura 45. Pré-planta

### 3.2.11.3. Planta da fábrica

Ver anexo. A\_17

### 3.2.12. Movimentação e transporte

#### 3.2.12.1. Descrição dos meios de transporte

Para a circulação da matéria-prima, e outros produtos na fábrica, tem-se a previsão de utilizar os seguintes meios de transporte:

- **Carrinhos de mão**

Quantidade: 3 unidades;

Objectivo de utilização: Transporte de peças entre os diversos postos de trabalho;

Dimensões: Comprimento de 800 mm e largura de 600 mm.

- **Empilhadeira**

Quantidade: 1 unidades

Objectivo de utilização: Transporte de matérias-primas durante o descarregamento do camião ao armazém;

Dimensões: Comprimento de 3000 mm e largura de 1900 mm.

- **Uma viatura ligeira para o transporte de mercadorias**

Quantidade: 1 unidades

Objectivo de utilização: flexibilidade e mobilidade, transporte da mercadoria e melhor serviço ao cliente.

### 3.2.12.2. Vias de circulação interna

#### a) Transporte em sentido único

O descarregamento e transporte da matéria-prima do camião ao armazém será feito por meio da empilhadeira. A largura do caminho necessária para a circulação deste meio de transporte pode ser determinada, considerando a circulação num único sentido, isso porque esta actividade será realizada por apenas uma empilhadeira e não haverá encontros entre empilhadeiras.

- **Circulação em único sentido**

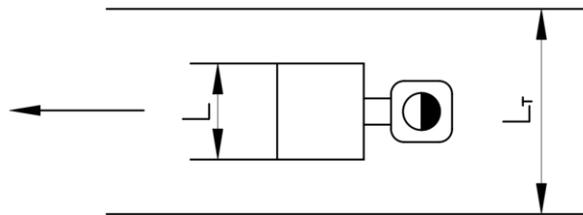


Figura 46. Esquema da circulação em sentido único

$$L_T \uparrow = L_1 + Z \uparrow \quad (3.35)$$

Onde:

$Z$  – é o coeficiente de correção,  $Z = 600$ ;

$L_1$  – é a largura da empilhadeira,  $L = 1900$

$$L_T \uparrow = 1900 + 600 = 2500 \text{ mm}$$

## b) Transporte com encontros

A movimentação interna dos produtos entre os diversos postos de trabalho será feita por meio de carrinhos de mão. A largura do caminho necessária para a circulação deste meio de transporte pode ser determinada, considerando a circulação nos dois sentidos.

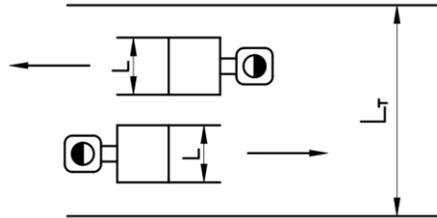


Figura 47. Esquema da circulação com encontros

$$L_T \updownarrow = L_1 + L_2 + Z \updownarrow \quad (3.36)$$

Onde:

$Z \updownarrow = 1000 \text{ mm}$  – Para o transporte semi-manual;

$L_2 = 600 \text{ mm}$  – Largura do carrinho de mão

$$L_T \updownarrow = 600 + 600 + 1000 = 2200 \text{ mm}$$

## c) Caminho para a movimentação de pessoas

A largura do caminho para a movimentação de pessoas  $L_p$  determina-se pela seguinte expressão:

$$L_p = \frac{n_p \cdot A_{per}}{C_p \cdot [D]} \quad (3.37)$$

Onde:

$L_p$  – largura calculada em metros;

$n_p$  – número de pessoas que usam o caminho;

$C_p$  – Comprimento do caminho;

$A_{per}$  – área projetada por uma pessoa,  $A_{per} = 0,18 \text{ [m}^2\text{]}$ ;

$[D]$  – densidade admissível da pessoa,  $[D]=0,5$  movimentos com encontro;

**NB:** Os valores normalizados das larguras dos caminhos são os seguintes: 600, 800, 1200, 1800 e 2400mm.

- **Distribuição do número de trabalhadores por cada sector**

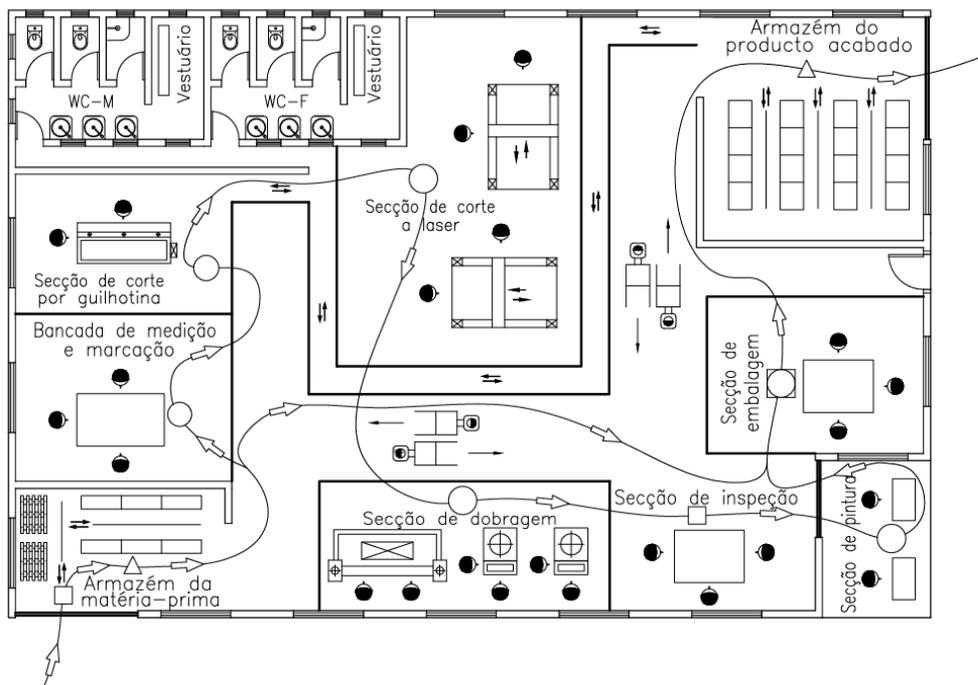
Tabela 25. Distribuição dos trabalhadores

Máquinas ou sector	Número de máquinas	Número de operários
Bancada de medição e marcação	1	3
Secção de corte por guilhotina	1	2
Secção de corte a laser	2	4
Secção de dobragem	3	6
Secção de pintura	2	2
Secção de inspeção	1	3
Secção de embalagem	1	3
<b>Total</b>		<b>23</b>

$$L_p = \frac{n_p \cdot A_{per}}{C_p \cdot [D]} = \frac{23 \cdot 0.18}{24 \cdot 0.5} = 0.345 \text{ m} = 345 \text{ mm}$$

A largura normalizada para o caminho de movimentação de pessoas é de  $L_p = 600 \text{ mm}$ .

### 3.2.12.3. Esquema de circulação



### 3.2.13. Instalações

#### 3.2.13.1. Armazenagem

A fábrica possui um armazém para a matéria-prima e outro para o produto acabado, terá como matéria-prima os seguintes materiais: Tintas e diluentes, parafusos e porcas, chapas de aço, ferramentas, entre outros materiais.

A armazenagem da matéria-prima assim como do produto acabado será feita de acordo com o tipo e dimensões de cada material com a ajuda da Empilhadeira, no seu respectivo armazém.

Tendo em conta o volume de produção as chapas de aço e as caixas dos parafusos e porcas serão armazenadas em estantes, as restantes matérias-primas em paletes. O produto acabado será armazenado em anteparos devido ao nível de produção que não é elevado.

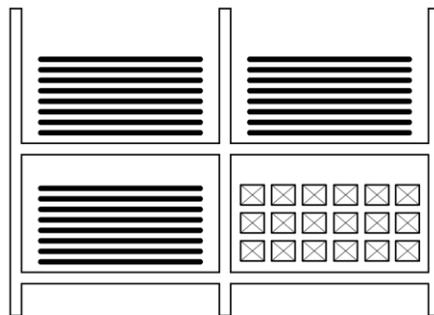


Figura 48. Armazenamento da matéria-prima em estantes

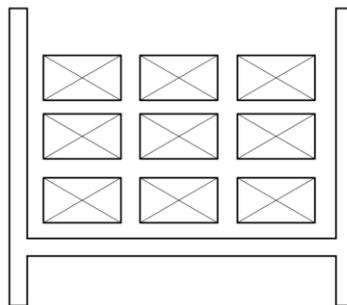


Figura 49. Armazenamento do produto acabado em estantes

### 3.2.13.2. Instalações de ar comprimido

O ar comprimido terá aplicação para trabalhos de pintura do equipamento fabricado, usando a técnica de pintura por pistola. O compressor será instalado fora da área de produção e o ar será canalizado por tubagem para diferentes sectores em que será utilizado concretamente no sector de pintura.

### 3.2.13.3. Abastecimento de água

A água será usada para consumo, casas de banho, combate a incêndios no caso da sua ocorrência e outras necessidades. O abastecimento de água será assegurado pela empresa Águas da região Sul. De forma a evitar problemas de falta de água em casos de interrupção no fornecimento, serão instalados reservatórios de armazenagem, um tanque no solo, que terá a função de abastecer outros dois tanques que se encontraram montados em torres cuja alimentação é realizada por meio de bombas para a elevação da água e as capacidades dos reservatórios deverão corresponder no mínimo as necessidades de um dia laboral normal. A distribuição da água para diferentes partes da fábrica será feita por gravidade.

### 3.2.13.4. Fontes de energia

A maior parte do equipamento usado na fábrica consome energia eléctrica, portanto o fornecimento de energia será assegurado pela empresa Electricidade de Moçambique (EDM). Onde prevê-se a instalação de um posto de transformação (PT) que servirá para a transformação da energia eléctrica recebida da rede, de forma a adequá-la ao consumo dos equipamentos instalados na empresa. Está prevista a instalação de um gerador de corrente eléctrica para suprir as necessidades em caso de restrições no fornecimento normal da rede pública, este será instalado em um local isolado da zona de produção, com o objectivo de minimizar o ruído gerado durante o seu funcionamento.

### 3.2.13.5. Breve dimensionamento do posto de transformação

#### 3.2.13.5.1. Estimativa da carga instalada

<b>Elemento</b>	<b>Carga</b>
Máquinas e equipamentos	30 kW
Iluminação	10 kW
Sistema de ventilação e exaustão	5 kW
Sector administrativo	20 kW
Sistema de bombeamento de água	3 kW
Outros consumos	2 kW
<b>Total</b>	<b>70 kW</b>

### 3.2.13.5.2. Cálculo e escolha do transformador

- **Dados:**

- Carga instalada total = 70 kW
- Factor de simultaneidade ( $F_s$ ) = 0.8
- Factor de demanda ( $F_d$ ) = 0.9
- Factor de potência ( $F_p$ ) = 0.9
- Tensão Primária = 13.8 kV
- Tensão Secundária = 220 V

- **Carga demandada**

$$P_{demandada} = P_{instalada} \cdot \text{Factor de simultaneidade} \cdot \text{Factor de demanda} \quad (3.38)$$

$$P_{demandada} = (70 \text{ kW}) \cdot 0.8 \cdot 0.9 = 50.4 \text{ kW}$$

Portanto a carga demandada é de 50.4 kW

- **Potência aparente**

$$S = \frac{P_{demandada}}{F_p} \quad (3.39)$$

$$S = \frac{50.4 \text{ kW}}{0.9} = 56 \text{ kVA}$$

- **Escolha do transformador**

O transformador escolhido deve ser maior ou igual à potência aparente calculada. Adoptando uma margem de 25% para expansões futuras:

$$S_{transformador} = 56 \cdot 1.25 = 70 \text{ kVA}$$

Portanto prevê-se a instalação de um transformador de 70 kVA.

- **Corrente nominal no lado secundário**

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (3.40)$$

$$I = \frac{70 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 220} \approx 184 \text{ A}$$

- **Corrente nominal no lado primário**

$$I = \frac{70 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 13800} \approx 3 \text{ A}$$

A partir destas correntes calculadas escolhe-se o material e as secções dos cabos a usar na instalação. Escolhe-se cabos de cobre de 10 mm<sup>2</sup> e 120 mm<sup>2</sup> para o lado primário e secundário respectivamente.

### 3.2.13.5.2. Cálculo da taxa mensal do transformador

Com base na tabela abaixo retirada do BOLETIM DA REPÚBLICA I SÉRIE-Número 35, pode-se calcular a taxa mensal a pagar para o acesso ao uso dos postos de transformação dependendo da potência instalada

**Tabela 1 a que se refere o artigo 1 a usar para o cálculo das taxas de estabelecimento**

Tipo de instalação	Fórmula
Máquinas geradoras	$T = 8 \cdot 10^3 \cdot C \sqrt[3]{P^2}$
Postos de transformação e subestações:	$T = 2 \cdot 10^3 \cdot C \sqrt[3]{P^2}$
Linhas de alta tensão	$T = 2 \cdot 10^3 \cdot CL \sqrt[3]{V}$
Linhas de tração	$T = 2 \cdot 10^3 \cdot CL$

Sendo:

T — Taxa a pagar em meticais;

P — Potência a instalar em KVA com um mínimo de 10 kVA;

V — Tensão à chegada em kV;

L — Comprimento de linha simples em quilómetros;

C — Um Coeficiente cujo valor é 30.

Figura 50. Cálculo de tarifas mensais para postos de transformação

Fonte: BOLETIM DA REPÚBLICA I SÉRIE-Número 35

$$T = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot C \cdot \sqrt[3]{P^2}}{12} \quad (3.50)$$

$$T = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot \sqrt[3]{70^2}}{12} = MZN 84 925,00$$

### 3.2.14. Estrutura

#### 3.2.14.1. Tipo de estrutura

Para a construção da fábrica escolhe-se a estrutura de aço. Esta escolha é devido a redução dos custos de aquisição, montagem e redução do tempo de instalação da fábrica bem como as várias outras vantagens, tais como baixo peso e possibilidade de desmontagem.

#### 3.2.14.2. Cobertura

A cobertura será inclinada do tipo Shed executada em treliças de metais leves. Para o aumento da iluminação e ventilação natural, além da cobertura com chapas de aço galvanizadas, serão usadas também chapas translúcidas de plástico laminado.

### **3.2.14.3. Revestimento lateral e divisórias**

As paredes exteriores assim como os interiores terão um revestimento em alvenaria de tijolos, dado que proporcionam um bom isolamento térmico e acústico, protegem as máquinas e equipamentos assim como proporcionarem boa resistência à corrosão.

### **3.2.14.4. Pavimento**

A fábrica possui guilhotina e prensas hidráulicas que durante o seu normal funcionamento transmitem vibrações ao pavimento, que poderão criar desgaste estrutural do pavimento causando rachaduras, fissuras e danos ao longo do tempo, o que vai implicar de certa forma nos custos de manutenção.

Para esta unidade fabril, escolhe-se um pavimento rígido de betão, com previsão de juntas de dilatação e isoladores de vibrações para evitar rachaduras ou sua propagação.

### **3.2.14.5. Arquitetura**

Ver anexos. A\_17 e A\_18

## **3.2.15. Condições ambientais**

Para garantir uma boa produtividade e a disponibilidade dos operários durante as suas actividades, devem ser considerados alguns factores que concorrem para o conforto dos operários, tais como, iluminação, ventilação, climatização e acústica. Criando deste modo um agradável ambiente de trabalho.

### **3.2.15.1. Iluminação**

A fábrica terá dois tipos de iluminação, a iluminação natural e a iluminação artificial. Sendo a estrutura da cobertura a do tipo *shed*, que garante uma iluminação natural significativa, reduzindo a necessidade de iluminação artificial durante o dia, desde que haja luz do sol. Porém em dias de pouca luz natural, a luz artificial poderá reforçar, de modo a garantir a quantidade de luminosidade ideal para o conforto dos trabalhadores.

### **3.2.15.2. Ventilação**

Considerando todas as operações a serem realizadas nos diversos postos de trabalho, tais como cortes a *laser* que libertam gases, propõe-se o uso da ventilação natural que consistirá em deixar aberturas na parte superior do edifício para o conforto térmico e saúde dos operários. Para tal, durante a construção do edifício da oficina deve-se tomar em consideração a disposição das aberturas (janelas) nas paredes exteriores que permitem a circulação do ar e criar condições para a

ventilação forçada por exaustão por conta dos gases liberados no processo de corte a *laser* e por vezes a soldadura que é um dos processos auxiliares.

### **3.2.15.3. Climatização**

Na área fabril a climatização pode ser dispensada, visto que a ventilação natural criada pela característica construtiva da instalação já é suficiente. No sector administrativo é onde há a necessidade do uso da climatização.

### **3.2.15.4. Acústica**

Os níveis típicos para as máquinas usadas na presente fábrica podem variar dentre 80 e 110 dB. Para referência, a legislação trabalhista estabelece limites de exposição ao ruído de 85 dB para jornadas de 8 horas. Para minimizar o desconforto dos operários causado pelos ruídos, a fábrica deverá dispor de um isolamento acústico, absorção sonora e controle de fontes de ruídos. Está previsto o uso de DPI's (dispositivos de protecção individual) como os tampões de ouvido.

### 3.3. Análise de viabilidade económica

Há necessidade de se fazer uma análise de viabilidade econômica para o presente projecto. O objectivo é determinar a viabilidade do projecto tomando em conta os indicadores de viabilidade. A análise inclui a estimativa dos custos iniciais de investimento, custos operacionais, projeções de receita, e indicadores financeiros como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*. A conclusão fornecerá recomendações para apoiar a decisão de investimento com base na análise econômica.

#### 3.3.1. Estimativa dos investimentos iniciais

A tabela a seguir mostra a estimativa do investimento inicial tendo em conta os diversos custos de investimento inicial.

Tabela 26. Estimativa do investimento inicial

	Investimento inicial	Quant.	Preço unitário	Valor sub-total
Construção e terreno	Compra do terreno	1	MZN 20,000,000.00	MZN 20,000,000.00
	Construção da fábrica e instalações			
Máquinas e Equipamentos	Guilhotina	1	MZN 320,000.00	MZN 320,000.00
	Máquina de corte a laser	2	MZN 570,000.00	MZN 1,140,000.00
	Prensa hidráulica para dobragem	1	MZN 420,000.00	MZN 420,000.00
	Prensa hidráulica para dobra específica	2	MZN 580,000.00	MZN 1,160,000.00
	Equipamentos auxiliares	1	MZN 1,000,000.00	MZN 1,000,000.00
Instalação e transporte	Trasporte e instalação dos equipamentos	1	MZN 750,000.00	MZN 750,000.00
Móveis e equipamentos administrativos	Computadores	8	MZN 60,000.00	MZN 480,000.00
	Mesas	7	MZN 18,000.00	MZN 126,000.00
	Cadeiras	28	MZN 12,000.00	MZN 336,000.00
	Software de gestão	1	MZN 40,000.00	MZN 40,000.00
	Outros	1	MZN 120,000.00	MZN 120,000.00
Matéria-prima	Chapas de aço SAE 1020	190	MZN 2,890.00	MZN 549,100.00
	Tintas e diluentes (5L)	25	MZN 1,200.00	MZN 30,000.00
	Parafusos e porcas (M8x1.25)	5700	MZN 25.00	MZN 142,500.00
	Chumbadores PBA (M10x1.5)	1520	MZN 35.00	MZN 53,200.00
Capital de giro	Capital necessário para cobrir os primeiros meses 3 meses	1	MZN 3,099,200.00	MZN 3,099,200.00
<b>TOTAL</b>				<b>MZN 29,766,000.00</b>

#### 3.3.2. Custos fixos e custos variáveis

Em um projecto, é crucial considerar tanto os custos fixos quanto os custos variáveis para compreender todas as despesas envolvidas e avaliar sua viabilidade econômica. Custos fixos são aqueles que não mudam com o nível de produção, como aluguel e salários administrativos, enquanto custos variáveis dependem diretamente do volume de produção, como matéria-prima e energia. Essa distinção é fundamental para calcular o ponto de equilíbrio, prever lucros, e tomar decisões estratégicas sobre preços, produção e investimentos, garantindo a sustentabilidade financeira do negócio.

A seguir se apresentam as tabelas dos custos fixos e variáveis.

- **Custos fixos mensais**

Tabela 27. Custos fixos

	Item	Valor
<b>Custos Fixos Mensais</b>	Depreciação do imóvel	MZN 95,000.00
	Salários e encargos sociais	MZN 950,000.00
	Manutenção de máquinas e equipamentos	MZN 200,000.00
	Energia elétrica	MZN 129,925.00
	Seguros das máquinas e equipamentos	MZN 85,000.00
	Custos Administrativos (internet, telefone, material de escritório)	MZN 50,000.00
	Impostos e Taxas (impostos municipais, licenças e alvarás)	MZN 25,000.00
<b>TOTAL</b>		<b>MZN 1,534,925.00</b>

- **Custos variáveis por unidade produzida**

Tabela 28. Custos variáveis

	Item	Quant.	Preço unitário	Preço total
<b>Matéria-prima</b>	Chapas de aço SAE 1020	1	MZN 2,890.00	MZN 2,890.00
	Tintas e diluentes (1L)	0.55	MZN 240.00	MZN 132.00
	Parafusos e porcas	30	MZN 25.00	MZN 750.00
	Chumbadores PBA	8	MZN 35.00	MZN 280.00
<b>Energia variável</b>	Consumo para produção de uma unidade (kWh)	11.27	MZN 10.00	MZN 112.70
<b>Mão-de-obra directa</b>	Mão-de-obra directamente ligada a produção	23	MZN 125.00	MZN 2,875.00
<b>Embalagem e transporte</b>	Embalagem e transporte directamente ligada a produção	1	MZN 450.00	MZN 450.00
<b>CUSTO TOTAL POR UNIDADE</b>				<b>7,489.70 MZN</b>

### 3.3.3 Cálculo das receitas

Estimar e calcular as receitas e lucros é crucial para avaliar a viabilidade de um projeto, pois permite prever o fluxo de caixa, determinar a capacidade de cobrir custos, e garantir a geração de lucros. Isso orienta decisões estratégicas sobre preços e operações e assegura a sustentabilidade financeira do negócio.

A seguir são apresentadas as tabelas para o cálculo da receita e do lucro

- **Receita bruta anual de vendas**

Tabela 29. Receita bruta anual

Producto	Preço unitário	Previsão anual de venda	Receita bruta
Estrutura de suporte de colectores solares	MZN 20,500.00	2100	<b>MZN 43,050,000.00</b>

- **Lucros**

Tabela 30. Lucro líquido anual

Receita bruta anual	MZN 43,050,000.00
Custos variáveis anuais	MZN (15,728,370.00)
Custos fixos anuais	MZN (18,419,100.00)
Lucro bruto anual	MZN 27,321,630.00
<b>Lucro líquido anual</b>	<b>MZN 8,902,530.00</b>

### 3.3.4. Cálculo dos indicadores de viabilidade do projecto

As tabelas a seguir foram obtidas no Excel e representam os resultados dos cálculos dos indicadores de viabilidade de um projeto, como a TMA, VPL, TIR e o *payback*, oferecendo uma visão clara e detalhada da análise financeira realizada.

#### Tabela de fluxo de caixa descontado

Tabela 31. Análise de fluxo de caixa projectado

Ano	Fluxo de caixa	Valor presente	Saldo
0	- 29,766,000.00 MZN	- 29,766,000.00 MZN	- 29,766,000.00 MZN
1	8,902,530.00 MZN	7,878,345.13 MZN	- 21,887,654.87 MZN
2	8,902,530.00 MZN	6,971,986.84 MZN	- 14,915,668.02 MZN
3	8,902,530.00 MZN	6,169,899.86 MZN	- 8,745,768.16 MZN
4	8,902,530.00 MZN	5,460,088.37 MZN	- 3,285,679.79 MZN
5	8,902,530.00 MZN	4,831,936.61 MZN	<b>1,546,256.82 MZN</b>

#### Tabela dos valores dos indicadores de viabilidade do projecto

Tabela 32. Indicadores de viabilidade

TMA	13.00%
VPL	1,546,256.82 MZN
TIR	15%
Payback	4.68

### 3.3.5. Análise dos indicadores de de viabilidade do projecto

- **Taxa Mínima de Atractividade (TMA)**

É a menor taxa de retorno que um investidor espera obter ao aplicar recursos em um projecto. Ela serve como referência para avaliar se o investimento vale a pena, considerando o risco envolvido e as alternativas disponíveis no mercado. A TMA é usada no cálculo do VPL e TIR para comparar o retorno esperado com o mínimo aceitável, ajudando a decidir se o projeto é financeiramente viável. Escolhe-se uma TMA de 13% para garantir que o retorno do projeto supere a inflação em

Moçambique, protegendo o investimento contra a perda de valor e considerando os riscos económicos do país.

- **Valor Presente Líquido (VPL)**

O Valor Presente Líquido (VPL) é um indicador que mede a diferença entre o valor actual dos fluxos de caixa futuros de um projecto e o investimento inicial, descontados pela TMA. No caso deste projecto, o VPL foi de 1 546 256,82 MZN, o que indica que o retorno gerado pelo projeto supera o valor investido em pouco mais de um milhão e meio de meticais. Como o VPL é positivo, isso significa que o projeto é financeiramente viável e tem potencial para gerar lucros, compensando o investimento inicial e oferecendo um retorno acima da TMA escolhida de 13%.

- **Taxa Interna de Retorno (TIR)**

A TIR é a taxa de desconto que faz com que o VPL de um projeto seja igual a zero, representando o retorno percentual esperado do investimento. No neste projecto, a TIR é de 15%, o que indica que a taxa de retorno é superior à Taxa Mínima de Atractividade de 13%. Isso sugere que o projecto é financeiramente atractivo, pois a TIR é maior que a TMA o que significa que o projecto pode gerar retornos mais altos do que o mínimo aceitável, proporcionando um lucro adicional e compensando o investimento inicial.

- ***Payback***

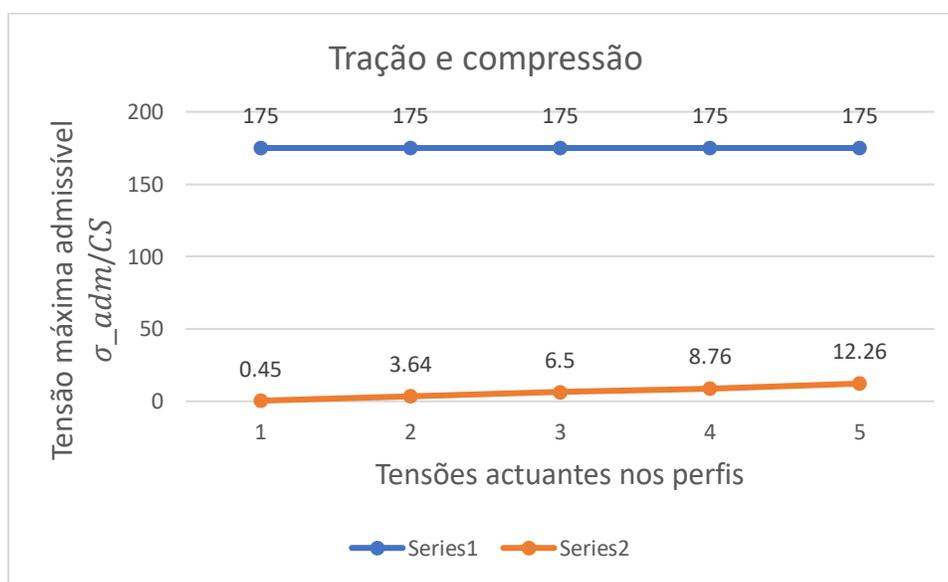
O *payback* é o tempo necessário para recuperar o investimento inicial a partir dos fluxos de caixa gerados pelo projecto. Neste caso, o *payback* é de 4,68 anos, o que indica que o investimento será recuperado em aproximadamente 4 anos e 8 meses.

## CAPÍTULO IV

### 4. Análise dos Resultados

Foram realizados cálculos de resistência a esforços como, tração e compressão, flexão, cisalhamento e flambagem para os diversos perfis que constituem a estrutura. Também foram realizados cálculos de resistência para as ligações parafusadas e ligação por chumbador BPA, cujos resultados são apresentados a seguir em forma de gráficos e tabelas:

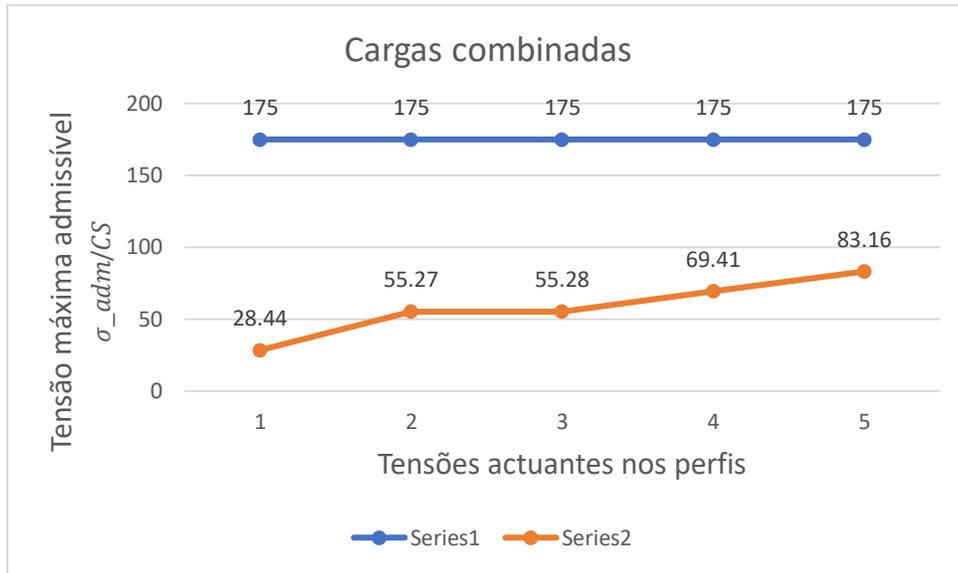
Gráfico 1. Relação entre as tensões que actuam nos diversos perfis e a tensão máxima admissível para os esforços de tração e compressão



Pelo gráfico acima constata-se que:

- Para todos os perfis, a tensão máxima admissível é a mesma e está representada pela linha horizontal, o seu valor correspondente é de 175 MPa;
- Na linha inferior temos a variação das tensões actuantes nos diferentes perfis. Como esta curva se encontra por baixo, pode perceber que as tensões actuantes são bem menores que a tensão máxima admissível. Portanto, pode concluir-se que a estrutura resiste as cargas de tração e compressão que nela actuam.

Gráfico 2. . Relação entre as tensões de cargas combinadas actuantes nos diversos perfis e a tensão máxima admissível para os esforços de cargas combinadas (tensão de flexão e cisalhamento)



Pelo gráfico acima constata-se que:

- Para todos os perfis, a tensão máxima admissível é a mesma e está representada pela linha horizontal, o seu valor correspondente é de 175 MPa;
- As tensões de cargas combinadas (tensão de flexão e cisalhamento) dos diferentes perfis estão representadas pela curva inferior, e pode notar-se que seus valores são menores em relação ao máximo admissível. O que leva a concluir que a estrutura resiste as cargas de flexão e cisalhamento.

Tabela 33. Apresentação dos resultados obtidos para os esforços axiais críticos

	Força axial crítica $P_{cr}$	Força axial máxima actuante
Perfil de suporte em U	301.86 kN	1.967 kN
Perfil de apoio em U	10.79 kN	0.351 kN
Perfil em U enrijecido	187.26 kN	0.351 kN
Perfil semi-U enrijecido	37.47 kN	0.263 kN
Apoio dos tubos de vácuo	357.67 kN	0.06 kN

Da tabela acima pode constatar que os esforços axiais que actuam na estrutura são muito menores que os esforços axiais críticos correspondentes, o que permite concluir que a estrutura é resistente a flambagem.

*Tabela 34. Apresentação dos resultados obtidos para as tensões nas ligações parafusadas*

	<b>Valor de tensão actuante</b>	<b>Valor de tensão máxima admissível</b>
Tensão axial	28.39 MPa	124.13 MPa
Tensão de cisalhamento	53.81 MPa	70.21 MPa
Tensão de esmagamento	112.71 MPa	124.13 MPa

Da tabela acima pode-se constatar que os valores das tensões, axial, de cisalhamento e de esmagamento actuantes nas ligações parafusadas são menores em relação as tensões máximas admissíveis correspondentes. Com isso pode-se concluir que as ligações resistem aos esforços máximos que nelas actuam.

*Tabela 35. Apresentação dos resultados obtidos para os esforços que actuam nos chumbadores PBA*

	<b>Esforço actuante</b>	<b>Esforço máximo suportado</b>
Esforço de Tração	1.97 kN	8.92 kN
Esforço de compressão	1.16 kN	6.39 kN

De acordo com a tabela anterior, pode-se perceber que os esforços de tração e compressão que actuam nos chumbadores são menores em relação aos esforços máximos suportados pelos mesmos. O que permite concluir que a fixação das estruturas usando chumbadores PBA é segura, pois estes resistem aos esforços solicitados.

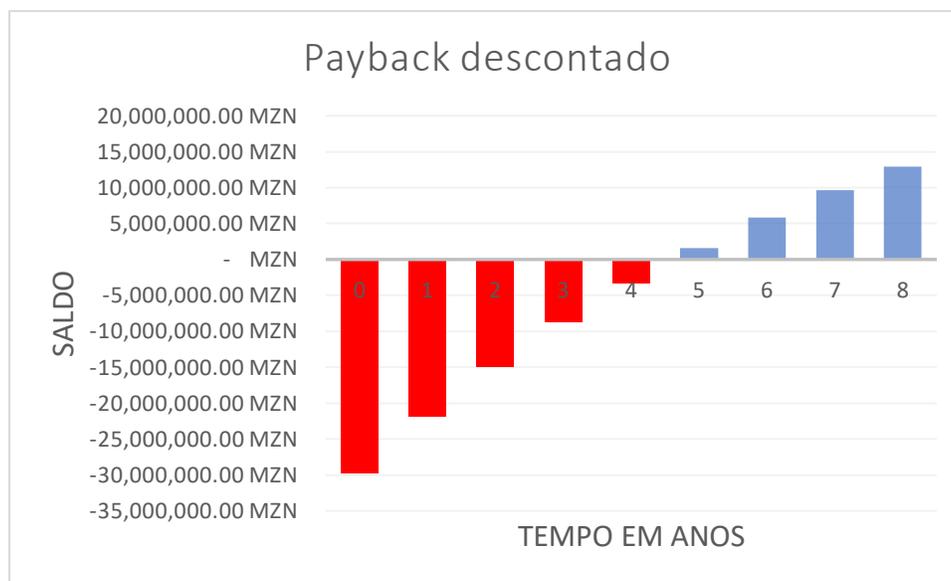
*Tabela 36. Resultado dos indicadores de viabilidade*

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Conclusão</b>
VPL (Valor Presente Líquido)	1 546 256,82 MZN	$VPL = 1\ 546\ 256,82\ MZN > 0$
TIR (Taxa Interna de Retorno)	15%	$TIR = 15\% > TMA = 13\%$

Da tabela anterior pode se constatar que:

- O VPL é positivo, portanto é satisfeita a condição para que o projecto seja economicamente viável;
- A TIR é maior que a TMA, neste caso também é satisfeita a condição de viabilidade económica do projecto, o que permite concluir que o projecto é economicamente viável mediante as condições apresentadas.

Gráfico 3. Payback descontado



Do gráfico acima pode constatar-se que após aproximadamente 4 anos e 8 meses, o investimento inicial será recuperado, então este é o tempo necessário para que o projecto comece a produzir lucros.

#### 4.1 Decisão

Em relação ao dimensionamento da estrutura, mediante os resultados obtidos, como ilustrado nos gráficos e tabelas anteriores, as dimensões e propriedades dos perfis escolhidos garantem a resistência da estrutura aos esforços solicitados não havendo necessidade de correção das dimensões ou do material escolhido. Portanto a estrutura deve ser construída tendo em conta as dimensões e materiais escolhidos.

## **5. Conclusões e Recomendações**

### **5.1. Conclusões**

No decorrer do trabalho, foram realizados cálculos referentes ao dimensionamento de uma estrutura para o suporte dos colectores solares, desde a selecção do material apropriado, cálculos de resistência para atender as solicitações de tração, compressão, flexão, cisalhamento e flambagem, garantindo, assim a segurança e durabilidade da estrutura, e foi feita a concepção dos respectivos desenhos. Os cálculos detalhados para as ligações parafusadas e chumbador foram essenciais para assegurar a união eficiente e segura das partes, reforçando a confiabilidade da estrutura projectada. A proposta de layout da fábrica visou otimizar o fluxo de trabalho e a eficiência da produção, considerando a selecção adequada de máquinas e equipamentos, bem como a distribuição destes nos sectores de trabalho. O planeamento dos fluxos e vias de circulação foi projectado para maximizar a produtividade e reduzir desperdícios, promovendo um ambiente de produção mais eficiente. Por fim foi realizado um estudo de viabilidade económica, tomando em conta todos os custos iniciais, incluindo custos operacionais para poder analisar os indicadores de viabilidade económica do projecto.

Este trabalho evidencia a possibilidade e a viabilidade de investimento na produção local de estruturas de suporte para colectores solares, promovendo a independência do mercado interno em relação a importação de estruturas, contribuindo para o desenvolvimento industrial e económico do país. Acredita-se que a implementação deste projecto pode gerar benefícios significativos em termos de emprego e sustentabilidade no sector energético moçambicano.

Foi dimensionada uma estrutura metálica para o suporte de colectores solares térmicos. Assim conclui-se que:

- A estrutura projectada mostrou-se resistente aos esforços que nela acatam, de acordo com os cálculos de resistência efectuados para os perfis escolhidos;
- A elaboração do layout da fábrica, com uma disposição otimizada das máquinas e um fluxo de produção eficiente, mostrou-se fundamental para viabilizar um processo ágil e com menor desperdício de recursos.

- O estudo de viabilidade económica, que considerou factores como custo de instalação, operação e manutenção, apresentou resultados positivos, comprovando que o projecto é economicamente viável e sustentável a longo prazo.

## **5.2. Recomendações**

Para uma boa implementação do projecto certos aspectos devem ser levados em consideração ao longo do desenvolvimento do projecto, assim como durando o processo produtivo quando ele estiver operacional. Deste modo recomenda-se o seguinte:

- Para a construção final, é importante considerar uma simulação de condições reais com *software* de análise estrutural. Testes de resistência e rigidez em protótipos podem validar a eficácia dos cálculos realizados;
- A consulta de especialistas em cada uma das áreas envolvidas no projecto, como o caso de um arquiteto, electricista e canalizador para melhor clarificar as especificações da construção, fornecimento de energia e água respetivamente. Devem ser mantidas as dimensões e especificações técnicas da fábrica;
- A criação de um plano de manutenção preventiva para os máquinas e equipamentos, de modo a reduzir custos operacionais e aumentar a vida útil das máquinas e equipamentos;
- O desenvolvimento de um manual básico para orientar os trabalhadores na operação de máquinas e nos procedimentos de segurança. Importante incluir esquemas dos equipamentos, o que pode facilitar o uso correcto dos mesmos e ajudar na prevenção de acidentes;
- A reciclagem de todos os resíduos metálicos que são produzidos durante o processo produtivo, contribuindo deste modo para boas práticas ambientais;
- A avaliação de fornecedores locais para suprir a fábrica com matéria-prima e serviços auxiliares, o que pode reduzir custos e fortalecer a economia local;
- A avaliação da implementação de certificações como ISSO 9001, que podem agregar valor ao produto e fortalecer a confiabilidade da marca no mercado.

## 6. Referências bibliográficas

1. Cláudio Tingote. (2010). Planeamento de Energia e Gestão Ambiental. UEM;
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988;
3. LOURENÇO, Pedro. 2012-Modelação de Colectores Solares Térmicos, Lisboa, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa;
4. SERRANO, Miguel. 2019 – Colectores Solares Térmicos, Saragoça, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Zaragoza;
5. PIGNATTA, Valdir. Et al. 2012-Dimensionamento de Estruturas de aço, São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
6. PIMENTA, Roberval. 1997-Proposição de uma curva de flambagem para perfis I Soldados formados por chapas cortadas a maçarico, Belo Horizonte, Universidade de Minas Gerais;
7. REZENDE, Daniel de Oliveira. Planeamento e Controle da Produção: Teoria e Prática. 1. Ed. São Paulo: Atlas, 2018;
8. CANCIAN, Maiara Heil (2017) *Gestão de projetos para T.I.*, 1ª Edição, Rio Janeiro, 2011;
9. RABEQUINI, R. Jr. & CARVALHO, M. M. (2011). *Fundamentos em Gestão de Projetos: Construindo competências para gerenciar projetos*. 3ª Edição, São Paulo: Atlas, 2011;
10. DINSMORE, P. C. (1992) Gerência de programas e projetos. São Paulo: PINI, 1992;
11. Indicadores Financeiros de Projecto no Excel (Aprenda TMA, VPL, TIR). 2020. Disponível em: <https://youtu.be/3w4DxJxzm6c?si=b2dUg42CyJUmBb1X>. Acesso em: 15 de setembro de 2024.
12. Boletim da República: Publicação oficial da República de Moçambique. I SÉRIE- Número 52, Cidade de Maputo: Imprensa Nacional de Moçambique, 30 de dezembro de 1991. Disponível em: [https://energypedia.info/imagens/9/90/PT\\_Sistema\\_Tarifado\\_de\\_Venda\\_de\\_Energia\\_Eletrica\\_Imprensa\\_Nacional\\_de\\_Mocambique.pdf](https://energypedia.info/imagens/9/90/PT_Sistema_Tarifado_de_Venda_de_Energia_Eletrica_Imprensa_Nacional_de_Mocambique.pdf). Acesso em 9 de outubro de 2024.