

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**João Victor Migliavacca Gambatto**

**PROJETO PRELIMINAR DE ESTRUTURA COM SUPORTE PARA  
FERRAMENTA DE *CLINCHING* UTILIZADA NO PROCESSO DE  
UNIÃO DE CHAPAS POR CONFORMAÇÃO À FRIO (UCCF)**

Santa Maria, RS  
2019

**João Victor Migliavacca Gambatto**

**PROJETO PRELIMINAR DE ESTRUTURA COM SUPORTE PARA  
FERRAMENTA DE *CLINCHING* UTILIZADA NO PROCESSO DE UNIÃO DE  
CHAPAS POR CONFORMAÇÃO À FRIO (UCCF)**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Orientador: Prof. Alexandre Aparecido Buenos, Dr. Eng.

Santa Maria, RS

2019

**João Victor Migliavacca Gambatto**

**PROJETO PRELIMINAR DE ESTRUTURA COM SUPORTE PARA  
FERRAMENTA DE *CLINCHING* UTILIZADA NO PROCESSO DE UNIÃO DE  
CHAPAS POR CONFORMAÇÃO À FRIO (UCCF)**

Trabalho de conclusão apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia  
Mecânica, da Universidade Federal de  
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito  
parcial para obtenção do título de  
**Engenheiro Mecânico.**

**Aprovado em:** 16 de Dezembro de 2019

---

Prof. Alexandre Aparecido Buenos, Dr. Eng. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

---

Prof. César Gabriel dos Santos, Dr. Eng. (UFSM)

---

Prof. Leandro Costa de Oliveira, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS

2019

## **AGRADECIMENTOS**

*Este trabalho não poderia ser realizado se não fosse pelo esforço, auxílio e dedicação de todos os que participaram de alguma forma deste projeto, por isso especialmente agradeço:*

*- aos integrantes da Empresa Júnior de Engenharia Mecânica Motora Jr. e à própria existência desta empresa.*

*- ao nosso orientador Alexandre Aparecido Buenos que nos guiou nas decisões deste trabalho.*

*- aos colaboradores Guilherme Castagnara Sutili, Luan Vivian Ribeiro Hollas, Rafael Garcia Penna e William Olmar Hoch que fizeram este projeto virar realidade.*

*- à AGITTEC por ter tido iniciativa nesta abordagem de relação da UFSM com a indústria santa-mariense.*

*- e à SR Engenharia que confiou a nós esta oportunidade.*

*E a todos aqueles que fazem ou fizeram eu me tornar uma pessoa melhor, sempre.*

## RESUMO

### PROJETO PRELIMINAR DE ESTRUTURA COM SUPORTE PARA FERRAMENTA DE *CLINCHING* UTILIZADA NO PROCESSO DE UNIÃO DE CHAPAS POR CONFORMAÇÃO À FRIO (UCCF)

AUTOR: João Victor Migliavacca Gambatto  
ORIENTADOR: Alexandre Aparecido Buenos

A descarga de grãos em silos de armazenamento atualmente é feita por meio de elevadores de caneca, estes consistem em uma estrutura vertical de módulos metálicos quadrados vazados contendo em seu interior uma esteira com recipientes em paralelo, esta esteira movida por motor elétrico no topo da estrutura, faz a coleta e a distribuição dos grãos. A forma de construção destes módulos é por meio de duas chapas metálicas, uma reta e outra em forma de perfil “U”, sendo comumente são unidas por meio de processo de soldagem MIG, processo este que gera calor, gases tóxicos, a matéria para solda precisa ser reposta e o processo inteiro de fixação das chapas consiste em fazer pontos de soldagem, e por cima destes pontos, soldagem contínua ao longo da junção das chapas. Uma alternativa para a soldagem é a utilização da união de chapas por conformação à frio (UCCF), comercialmente conhecido como *clinch*, que consiste em pressionar um punção contra uma matriz, os dois de geometrias específicas, usando um atuador hidráulico, por ser uma ferramenta onde para o funcionamento da operação basta o aperto de um botão, o processo não precisa de habilidade técnica como a soldagem, não necessita adição de material ou manutenção extensiva. O presente trabalho tem como objetivo projetar uma estrutura que suporte um equipamento de conformação a frio e possibilite qualquer operador industrial concluir a produção de módulos estruturais de elevadores de caneca. Para isso foi usada a metodologia de desenvolvimento de projeto, mais especificamente sua fase de projeção que consistiu em projeto informacional, conceitual e preliminar. Como resultado obteve-se o modelo final da estrutura em *software* de desenho 3D CAD, seus desenhos técnicos cotados e especificados, manuais de montagem e operação da estrutura e orçamento simplificado da matéria prima e equipamento.

Palavras-chave: Elevador de Canecas, Estrutura, *Clinching*, Conformação à Frio, Projeto.

## **ABSTRACT**

### **PRELIMINARY PROJECT OF A STRUCTURE WITH SUPPORT FOR *CLINCHING* TOOL USED IN THE PROCESS OF JOINING METAL SHEETS BY COLD FORMING (UCCF)**

AUTHOR: João Victor Migliavacca Gambatto

ADVISOR: Alexandre Aparecido Buenos

The discharge of grains into storage silos is currently done through cup elevators, these consist of a vertical structure of empty square metallic modules containing in their interior a mat with containers in parallel, this mat driven by electric motor at the top of the structure, collects and distributes the grains. The form of construction of these modules is by means of two metal sheets, one straight and the other in "U" profile form, these two sheets are commonly joined through MIG welding, a process that generates heat, toxic gases, the material for welding needs to be reseted and the whole process of fixing the plates consists of making welding points, and above these points, continuous welding along the joining of the plates. An alternative to welding is the use of cold conformation sheet union, commercially known as clinching, that consists of pressing a punch against a die, both of them with specific geometries, using a hydraulic actuator as a tool, where the startup of the operation is enough with the push of a button, the process does not need technical skill as welding, nor require material addition or extensive maintenance. The present work aims to design a structure that supports cold forming equipment and enables any industrial operator to complete the production of structural modules of lifts. For this, the methodology of project development was used, more specifically its design phase, which consisted of an informational, conceptual and preliminary project. As a result we obtained the final design model in 3D CAD design software, its dimensions and specified technical drawings, assembly and operating manuals of the structure and simplified budget of the needed material and equipment.

Keywords: Cup Elevator, Structure, Clinching, Cold Conformation, Project.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de <i>Clinching</i> .....	14
Figura 2 - Divisão do processo de <i>clinch</i> ing .....	14
Figura 3 - Falha por material insuficiente .....	16
Figura 4 - Falha por interlocking insuficiente .....	16
Figura 5 - Principais tipos de ensaio.....	17
Figura 6 - Comportamento à fadiga de juntas de <i>clinch</i> ing (a) e (b) Curva de carga em função do número de ciclos; (c) e (d) Curva de força máxima em função do fator R .....	18
Figura 7 - Elevador de canecas.....	19
Figura 8 - Fases de projeção. ....	20
Figura 9 - Comparação de requisitos de cliente pelo Diagrama de <i>Mudge</i> .....	24
Figura 10 - Diagrama funcional da estrutura.....	27
Figura 11 - Esboço de concepção final.....	33
Figura 12 - Estrutura finalizada. ....	35
Figura 13 - Estrutura de base.....	36
Figura 14 - Estrutura de transporte (com mecanismo de extensão). ....	37
Figura 15 - Extensor de esteira. ....	38
Figura 16 - Extensor de esteira na montagem da estrutura. ....	39
Figura 17 - Vista explodida do extensor de esteira. ....	39
Figura 18 - Estrutura de transporte com mecanismo marca passo. ....	40
Figura 19 - Detalhamento da estrutura de movimentação.....	41
Figura 20 - Vista explodida do rolete de movimentação com mecanismo de marcação de passo.....	42
Figura 21 - Disco com marcação de passo. ....	43
Figura 22 - Rolete de movimentação da esteira. ....	43
Figura 23 - Vista detalhada do marcador de passo.....	44
Figura 24 – Vista isométrica do marcador de passo.....	45
Figura 25 - Vista isométrica posterior do marcador de passo. ....	45
Figura 26 - Suporte de ferramenta de <i>clinch</i> ing. ....	46
Figura 27 - Detalhe de encaixe do suporte. ....	47
Figura 28 - Lista com orçamento prévio do projeto. ....	48
Figura 29 - Catálogo de especificações técnicas do equipamento da GPTECH. ....	49
Figura 30 - Especificações do tubo de base da estrutura de transporte. ....	54
Figura 31 - Especificações do tubo de base da estrutura de base.....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultado do Diagrama de <i>Mudge</i> .....	24
Quadro 2 - Resultados do QFD .....	26
Quadro 3 - Combinações para possíveis concepções. ....	30
Quadro 4 - Justificativa para cada concepção. ....	31
Quadro 5 - Comparação entre concepções. ....	31
Quadro 6 - Justificativas da escolha das soluções. ....	33



## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da seção transversal do tubo (mm <sup>2</sup> )
a	Dimensão da lateral externa do tubo da estrutura de transporte (mm)
b	Dimensão da lateral interna do tubo da estrutura de transporte (mm)
a <sub>b</sub>	Dimensão lateral interna do tubo (mm)
b <sub>b</sub>	Dimensão lateral interna do tubo base (mm)
CS	Coefficiente de segurança (adimensional)
CS <sub>b</sub>	Coefficiente de segurança pra base (adimensional)
d	Densidade do aço SAE 1020 (g/cm <sup>3</sup> )
g	Aceleração da gravidade (m/s <sup>2</sup> )
d <sub>l</sub>	Deslocamento linear (mm)
e	Espessura de chapa (cm)
E	Módulo de elasticidade do aço SAE 1020 (GPa)
I	Momento de inércia do tubo da estrutura de transporte (mm <sup>4</sup> )
I <sub>b</sub>	Momento de inércia do tubo da estrutura de base (mm <sup>4</sup> )
l	Comprimento do módulo (cm)
L	Comprimento do tubo da estrutura de transporte (mm)
L <sub>b</sub>	Comprimento do tubo da estrutura de base (mm)
L <sub>fl</sub>	Comprimento do tubo para flambagem da estrutura de transporte (mm)
L <sub>flb</sub>	Comprimento do tubo para flambagem da estrutura de base (mm)
m <sub>et</sub>	Massa da estrutura de transporte (kg)
n	Número de chapas (adimensional)
P	Peso do módulo (N)
P <sub>adm</sub>	Peso considerado pra calculo de flambagem (N)
P <sub>admb</sub>	Peso considerado para flambagem estrutura completa (N)
P <sub>c</sub>	Peso da estrutura completa (N)
P <sub>cr</sub>	Carga crítica pra tubo da estrutura de transporte (N)
P <sub>crb</sub>	Carga crítica para tubo da estrutura de base (N)
P <sub>et</sub>	Peso da estrutura de transporte (N)
r	Raio do rolete (mm)
σ	Tensão limite de escoamento do aço SAE 1020 (MPa)
θ	Angulo de deslocamento (rad)
V	Volume do módulo (cm <sup>3</sup> )
w	Largura do módulo (cm)

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1.	OBJETIVOS GERAIS .....	12
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
2.1.	CONFORMAÇÃO MECÂNICA .....	13
2.2.	PROCESSO DE <i>CLINCHING</i> .....	13
<b>2.2.1.</b>	<b>Tipos de junção por <i>clinch</i></b> .....	14
<b>2.2.2.</b>	<b>Fatores que influenciam na formação do <i>clinch</i></b> .....	15
2.2.2.1.	<i>Comportamento estático</i> .....	15
2.2.2.2.	<i>Resistência à fadiga</i> .....	17
2.3	ELEVADORES DE CANECA .....	18
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	20
3.1.	PROJETO INFORMACIONAL .....	20
3.2.	PROJETO CONCEITUAL .....	21
3.3.	PROJETO PRELIMINAR .....	21
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	22
4.1.	PROJETO INFORMACIONAL .....	22
<b>4.1.1.</b>	<b>Requisitos de projeto</b> .....	22
<b>4.1.2.</b>	<b>Análise dos requisitos de cliente</b> .....	23
<b>4.1.3.</b>	<b>Relação entre requisitos de projeto e de cliente</b> .....	25
4.2.	PROJETO CONCEITUAL .....	27
<b>4.2.1.</b>	<b>Diagrama funcional</b> .....	27
<b>4.2.2.</b>	<b>Matriz morfológica</b> .....	28
<b>4.2.3.</b>	<b>Concepção final</b> .....	32
4.3.	PROJETO PRELIMINAR .....	35
<b>4.3.1.</b>	<b>Definição da estrutura</b> .....	35
4.3.1.1.	<i>Estrutura de base inferior</i> .....	36
4.3.1.2.	<i>Estrutura superior de transporte (com extensor da esteira)</i> .....	37
4.3.1.3.	<i>Extensor da esteira</i> .....	38
4.3.1.4.	<i>Estrutura superior de transporte (com mecanismo marca passo)</i> .....	40
4.3.1.5.	<i>Conjunto de marcação de passo</i> .....	41
4.3.1.6.	<i>Suporte da máquina ferramenta (atuador de <i>clinch</i>)</i> .....	46
<b>4.3.2.</b>	<b>Orçamento e comparação de custos</b> .....	47
<b>4.3.3.</b>	<b>Equipamento de <i>clinch</i> terceirizado</b> .....	48
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	50
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	50
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	51
	<b>APÊNDICE A - MEMORIAL DE CALCULO DO COEFICIENTE DE SEGURANÇA DA ESTRUTURA</b> .....	53
	ESTRUTURA DE TRANSPORTE .....	53
	ESTRUTURA DE BASE.....	56
	DIMENSIONAMENTO DO EIXO DO ROLETE.....	59
	DIMENSIONAMENTO DO CORPO DO ROLETE .....	60
	DIMENSIONAMENTO DO PARAFUSO FIXADOR DO ROLETE .....	60
	EXTENSOR DA ESTEIRA.....	60
	<b>APÊNDICE B – QFD (DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE)</b> .....	62

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2019) o Brasil teve um fechamento de colheita da safra 2018/2019 com uma produção de 242,1 milhões de toneladas de grãos. Toda essa produção de grãos que engloba soja, milho, trigo, arroz, feijão entre outros tem sua utilização planejada e determinada em períodos específicos do ano, o que implica que após realizada a colheita, parte destes grãos seja destinada ao consumo imediato, sendo no próprio consumo humano ou na produção de combustível no caso da soja, ou sejam sujeitados ao armazenamento.

O armazenamento de grãos é realizado através de silos, no caso dos silos cilíndricos elevados a sua altura pode chegar a ter 3 vezes o seu diâmetro, o que necessita de um transporte específico para levar os produtos até a parte superior do silo. Este transporte é realizado por meio de elevadores de caneca, que consistem em uma estrutura vertical dotada de um motor na parte superior que movimenta uma esteira onde estão acopladas canecas que realizam o transporte do grão do pé do elevador ou de alguma moega até o interior do silo.

A esteira transportadora do elevador de canecas necessita de uma proteção contra as intempéries ambientais, esta é feita através de módulos de aço de seção retangular, estes módulos são geralmente feitos através da união de duas chapas metálicas, uma reta e outra dobrada em forma de U. A união destas chapas normalmente é realizada através do processo de soldagem, a qual pode se tornar um processo caro e demorado devido à necessidade de um operador qualificado, consumo de energia das fontes de soldagem e adição de massa proveniente do metal de adição necessário para a união das chapas.

Em busca de substituir o processo de soldagem, opta-se pelo *clinch* processo de união de chapas metálicas através da conformação à frio dos materiais. O *clinch* basicamente se resume em um mecanismo portador de um conjunto punção/matriz que causa uma trava interna de material (*interlocking*) através de uma força que solicita os materiais entre o conjunto punção/matriz.

Este trabalho trata do projeto de uma estrutura portadora de um suporte para ferramenta de *clinch* capaz de unir chapas metálicas através de um processo de conformação à frio, além disso foi necessário que a estrutura tivesse um mecanismo de movimentação dos módulos passantes para realização de *clinch*, tal qual como mecanismos de trava do conjunto e adaptações para diferentes tamanhos de módulos.

Para chegar à concepção final do projeto foi utilizada a metodologia de projeto de produto descrita por Romano (2013). A composição do projeto ocorreu de acordo com as etapas de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Também se levantou informações sobre a tecnologia existente e as empresas que produziam este tipo de produto, assim como o orçamento da ferramenta que faz o processo de *clinking* e os materiais necessários para a fabricação e montagem da estrutura. Foram realizados também manuais de operação do conjunto e montagem da estrutura.

### 1.1. OBJETIVOS GERAIS

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver o projeto preliminar de uma estrutura que comporte uma máquina ferramenta de *clinking* com estrutura para movimentação de módulos de elevador de canecas.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender e identificar necessidades do projeto final;
- Analisar os sistemas vigentes de ferramentas de *clinking* no mercado;
- Levantar itens obrigatórios na estrutura final;
- Elaborar e classificar requisitos de projeto de acordo com sua importância;
- Definir uma concepção estrutural que atenda todos os requisitos de projeto;
- Desenhar e dimensionar os componentes principais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

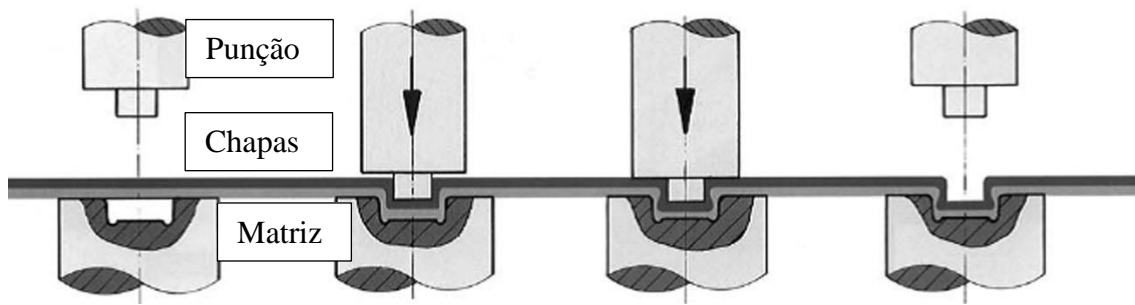
O capítulo é uma introdução com uma explicação geral de como é realizado o processo base deste trabalho, o *clinking*.

### 2.1. CONFORMAÇÃO MECÂNICA

Segundo Limberger *et al.* 2009, o termo conformação mecânica dos metais envolve os processos de fabricação em que os metais são transformados nos produtos desejados através de uma série de operações sem formação de cavacos, envolvendo máquinas especiais.

### 2.2. PROCESSO DE *CLINCHING*

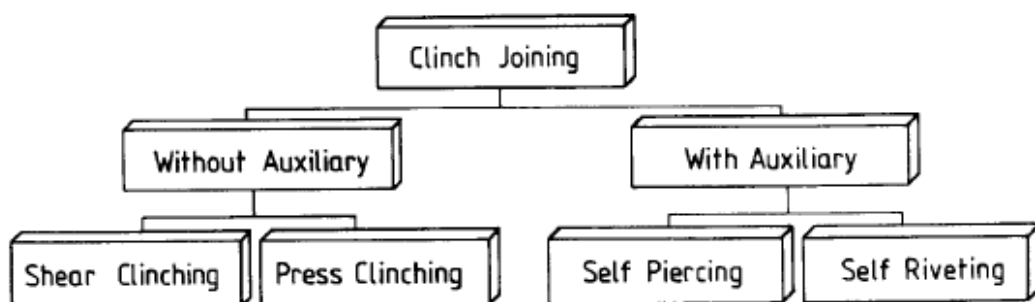
O processo de união de chapas por conformação a frio (UCCF), não é considerada uma tecnologia relativamente nova, pois a primeira patente emitida para esse processo foi em 1897 (VARIS; LESPITÖ, 2003). O *Clinching* é um método de união mecânica, especialmente para peças de chapa metálica. O processo é percebido como um simples método baseado simplesmente no movimento preciso de um punção contra uma matriz. Durante o processo, chapas metálicas são deformadas de forma localizada sem o uso de nenhum elemento adicional. Ferramentas selecionadas com precisão são um requisito para uma junta aceitável (VARIS, 2006). A Figura 1 mostra um exemplo do processo de *clinking*, na figura, a peça que se movimenta é o punção, ele pressiona o conjunto de chapas contra a matriz que está fixa abaixo do conjunto, este é o processo de *clinking*:

Figura 1 - Processo de *Clinching*

Fonte: ESHTAYEH; HRAIRI; MOHIUDDIN (2015).

### 2.2.1. Tipos de junção por *clinching*

De acordo com Gao e Budde (1994), o processo de *clinching* pode ser inicialmente dividido em dois tipos: com material auxiliar e sem material auxiliar. Posteriormente, pode-se dividir o processo de *clinching* em um processo com corte ou somente de pressão, Como pode ser visto na Figura 2, em tradução livre: a junção de *clinching* se divide entre não ter uso de material auxiliar (*clinching* cisalhante e pressionamento por *clinching*), ou ter uso de material auxiliar (auto perforante e auto rebitante).

Figura 2 - Divisão do processo de *clinching*

Fonte: adaptado, GAO; BUDDE (1994)

O formato é proveniente do formato da matriz e punção os quais são usados no processo. As duas geometrias que são mais frequentemente usadas nas ferramentas de *clinching* são as circulares e quadradas. Quando ferramentas circulares são usadas, a junta tem uma resistência à cisalhamento uniforme em todas as direções horizontais (VARIS, 2006).

### 2.2.2. Fatores que influenciam na formação do *clinch*

Segundo Eshtayeh, Hrairi e Mohiuddin (2015), existe um grande número de fatores que influenciam na formação do *clinch*, dentre eles podemos citar a espessura da chapa, os parâmetros geométricos do punção e da matriz, além da relação de fricção entre as duas placas e as propriedades mecânicas do material.

Segundo Abe, Kato e Mori (2007), em um estudo sobre a junção de chapas de alumínio, a propriedade mais importante para o *clinch* é a ductilidade. Outro fator importante destacado pelos mesmos autores é o raio de canto do punção, que aumenta a espessura mínima da camada entre as duas placas unidas. Segundo Varis e Lepistö (2003) a geometria da junta é simétrica axialmente, suas propriedades de resistência ao cisalhamento são iguais em todas as direções no eixo perpendicular ao punção, portanto a resistência ao cisalhamento, desde que homogênea, não tem grande influência para a junção de *clinch*.

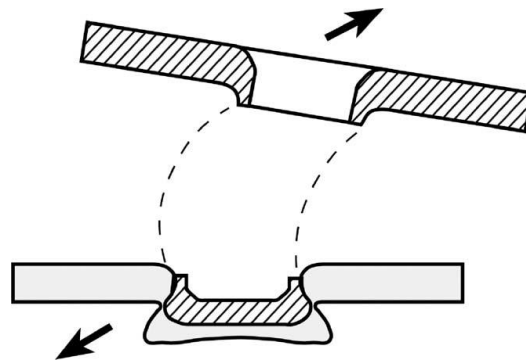
De Paula et al. (2007) por uma análise de elementos finitos, determina que os principais fatores que afetam a junção por *clinch* são a profundidade dos cantos do punção e a geometria da matriz de conformação. A maioria dos estudos comprova que os principais fatores que influenciam na junção por *clinch* são: o diâmetro e profundidade do punção e o formato dos materiais.

#### 2.2.2.1. Comportamento estático

Geralmente, na união mecânica de chapas, existem dois casos de esforços: estático (corpo rígido em equilíbrio) ou dinâmico (cargas cíclicas). Além disso existem duas formas de examinar as juntas: experimentalmente, com a aplicação de cargas nas juntas e aquisição de dados sobre a resposta mecânica das mesmas, e cálculo do comportamento mecânico sob seleção de métodos precisos (ESHTAYEH; HRAIRI; MOHIUDDIN 2015).

Segundo Varis e Lepistö (2003) existem três modelos de falha, onde o terceiro é a combinação dos dois primeiros modelos. Este primeiro modo de falha Figura 3 representa a falha por material insuficiente, o qual não irá suportar a carga pelo esforço, esta falha é causada pela matriz que possui um diâmetro estreito, ou o punção que produz uma deformação muito profunda, ou seja reduzindo demasiadamente a seção da junção, aumentando o risco de falha por carga axial.

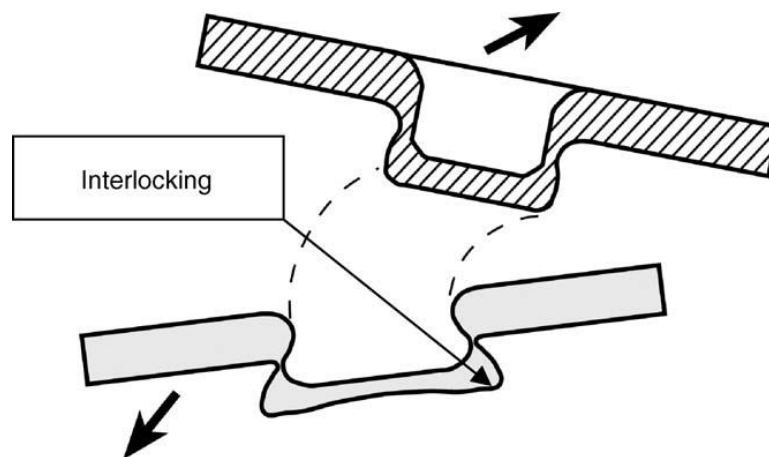
Figura 3 - Falha por material insuficiente



Fonte: VARIS; LEPISTÖ (2003).

Outro modelo de falha é o demonstrado abaixo Figura 4, o qual não produz o *interlocking* (trava) necessário para realizar o *clinching*, o qual é causado pela falta de deformação causada pelas ferramentas (VARIS; LEPISTÖ, 2003)

Figura 4 - Falha por interlocking insuficiente

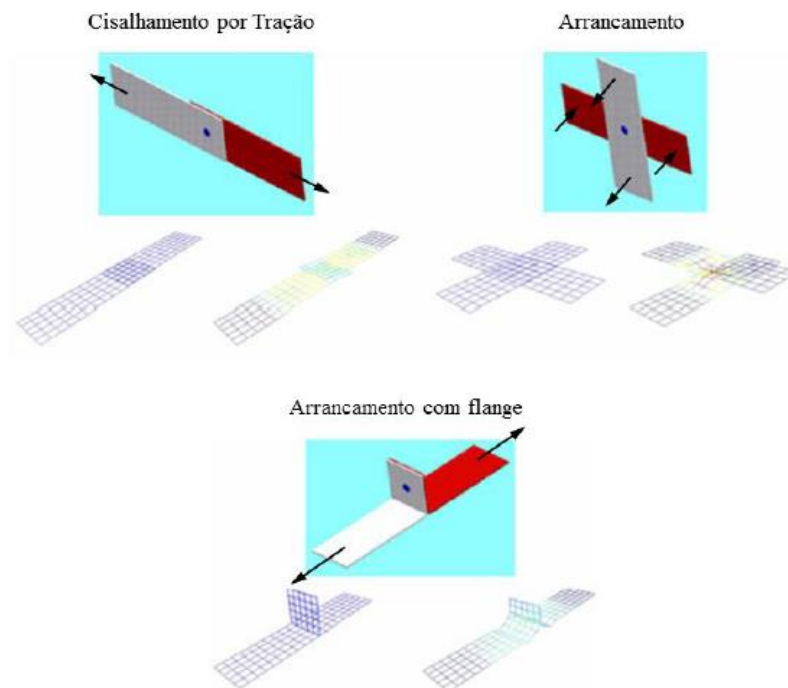


Fonte: VARIS e LEPISTÖ (2003).

Segundo Langrand e Combescure (2004), os ensaios abaixo são os mais comuns na avaliação de juntas de *clinching*. A Figura 5 exemplifica os modelos considerados.



Figura 5 - Principais tipos de ensaio

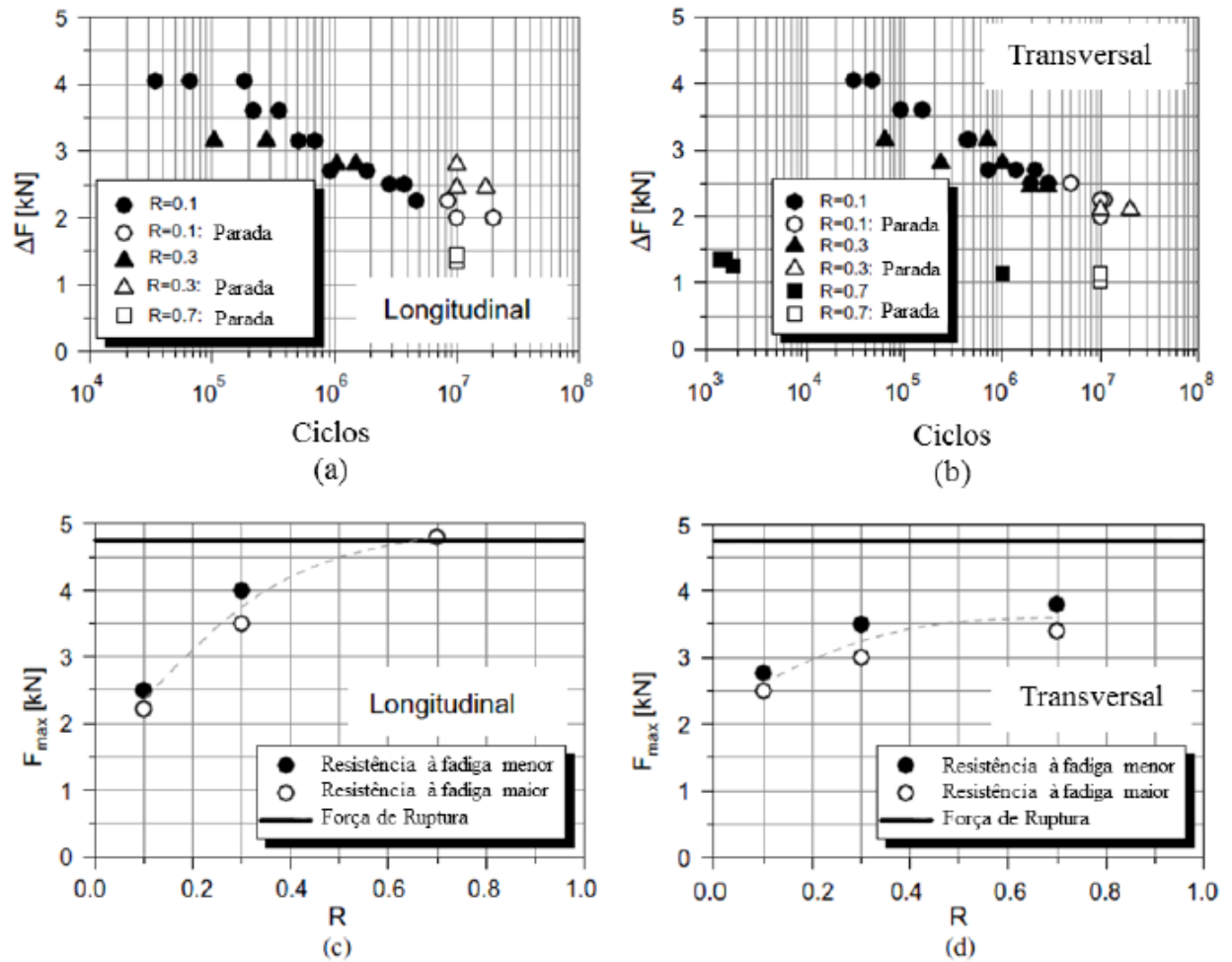


Fonte: LANGRAND; COMBESCURE, 2004.

#### 2.2.2.2. Resistência à fadiga

O estudo feito por Carboni, Beretta e Monno (2006) mostra o comportamento em fadiga das juntas de *clinch*, onde  $R$  é a relação entre a menor carga e a maior, portanto, onde  $R$  é menor o esforço em fadiga da junta é mais severo, devido a amplitude de atuação das cargas, a Figura 6 mostra casos de comportamento sob fadiga de junções de *clinch*.

Figura 6 - Comportamento à fadiga de juntas de *clinching* (a) e (b) Curva de carga em função do número de ciclos; (c) e (d) Curva de força máxima em função do fator R



Fonte: CARBONI; BERETTA; MONNO, 2006.

### 2.3 ELEVADORES DE CANECA

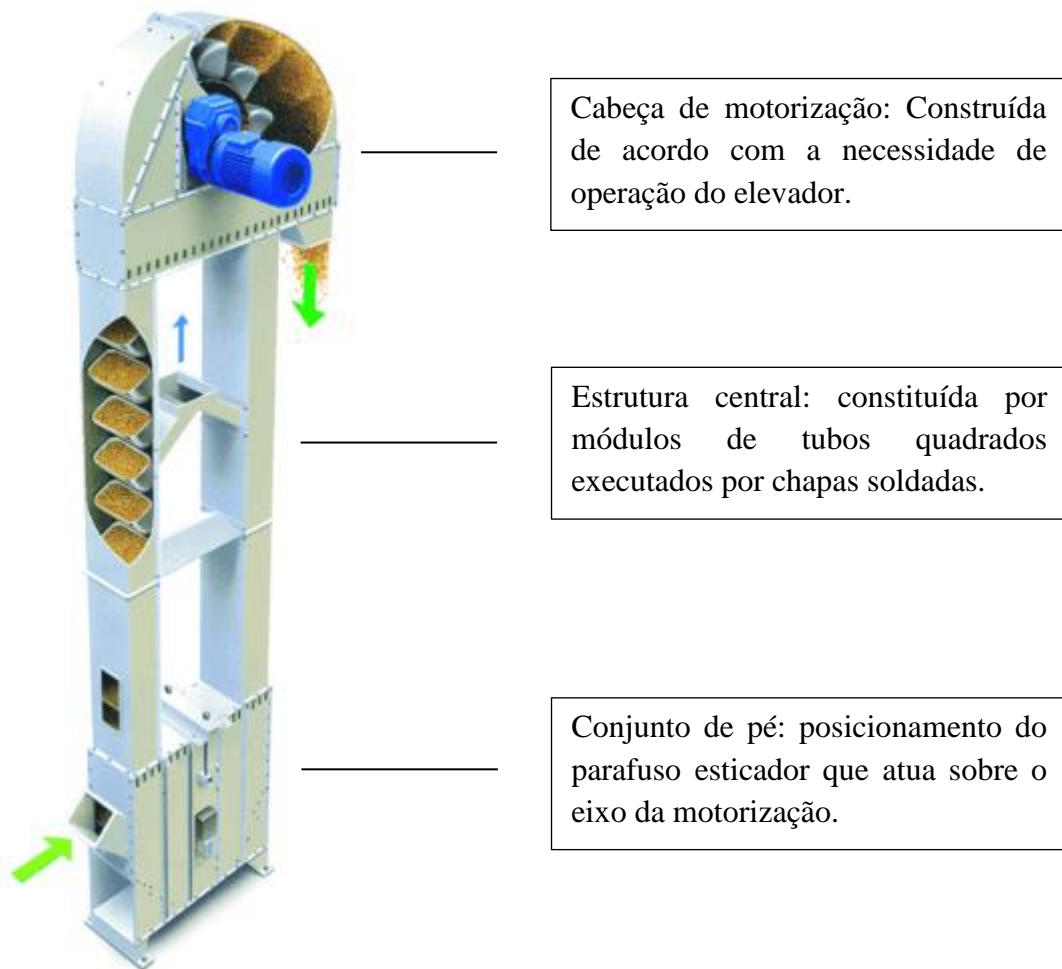
De acordo com a Fábrica de Aço Paulista (FAÇO, 1996), os elevadores de caneca se constituem em um meio econômico de transporte vertical de material a granel. São fabricados em vários tipos, em função do material a ser transportado, podem ser fixos ou contínuos, com as canecas fixas em correias ou correntes.

O autor também divide o elevador em 3 componentes principais:

- Cabeça de motorização;
- Estrutura central;
- Conjunto do pé.

Os componentes principais podem ser identificados de acordo com a Figura 7 abaixo.

Figura 7 - Elevador de canecas.



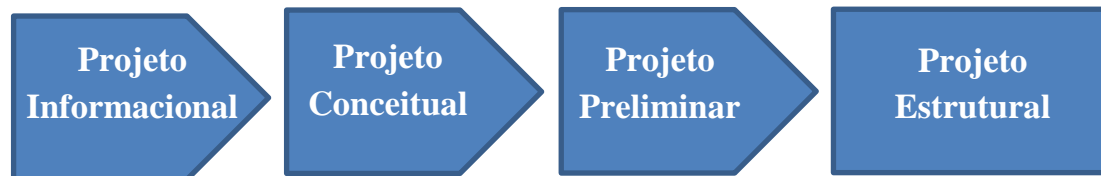
Fonte: <https://www.fabricadoprojeto.com.br/2013/02/serie-transportadores-elevador-de-canecas/>. Acesso em dezembro de 2019.

O produto de atuação deste trabalho são os módulos citados pelo mesmo autor onde se denomina a Estrutura central, porém, em vez de ser usado o processo de soldagem, será usado o processo de *clinking*.

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho terá como base a metodologia desenvolvida por Romano (2013), onde tem-se as 3 primeiras fases da macrofase de Projeção que podem ser vistas na Figura 8:

Figura 8 - Fases de projeção.



Fonte: adaptado, ROMANO, 2013.

O projeto se limita a realização das 3 primeiras fases, comprometendo-se a entrega do modelo final assim como manuais de construção e operação.

#### 3.1. PROJETO INFORMACIONAL

O projeto informacional tem como objetivo a definição das especificações do projeto, desde o levantamento das necessidades do cliente, até a transformação destas necessidades em requisitos de cliente, e o relacionamento destes requisitos com os requisitos de projeto. Estes requisitos visam elucidar e guiar a resolução dos problemas e por consequência, desenvolvimento do projeto.

No projeto informacional serão definidos:

- Os requisitos do cliente expressados verbalmente pelo cliente;
- Os requisitos de projeto estabelecidos através de reuniões de definição do projeto;
- Avaliada a relação de importância de cada requisito do cliente através do Diagrama de Mudge;
- Avaliada a relação de importância dos requisitos de projeto através do Desdobramento da Função Qualidade.

### 3.2. PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual destina-se a atender os requisitos de projeto definidos no projeto informacional e a partir disso gerar princípios de solução que atendam às necessidades do cliente. Estes princípios de solução podem ser definidos como a combinação das propostas de solução para cada requisito de projeto.

Nesta fase serão estabelecidos:

- O diagrama funcional do dispositivo é montado, o que possibilita a visualização do equipamento;
- Os subsistemas do equipamento e as tarefas desempenhadas por cada subsistema;
- O fluxograma de funcionamento do dispositivo.

A ferramenta utilizada para relacionar o diagrama funcional com os princípios de solução, foi a matriz morfológica, cada célula desta matriz representou um princípio de solução que tem por finalidade atender às necessidades do cliente. Com a matriz morfológica completa, todas as combinações de soluções são consideradas e agrupadas, gerando uma concepção alternativa para o dispositivo. Com os valores resultantes do Desdobramento da Função Qualidade do Projeto Informacional, é possível atribuir um valor de importância a cada requisito e a partir disso elevar a melhor solução.

### 3.3. PROJETO PRELIMINAR

O fator principal do projeto preliminar para este projeto será a modelagem 3D da estrutura, onde serão definidos todos os desenhos e os componentes dos sistemas. Além de definir a lista de materiais e serem obtidos, os desenhos de fabricação do dispositivo e ainda os cálculos necessários para o dimensionamento dos principais componentes dos projetos e a verificação dos mesmos, até que seja possível se estimar o custo de fabricação do dispositivo.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo serão relatados o desenvolvimento do trabalho de acordo com as etapas que ele foi definido na metodologia de trabalho.

### **4.1. PROJETO INFORMACIONAL**

O objetivo do projeto informacional foi coletar informações sobre equipamentos já presentes no mercado, assim como levantar requisitos do projeto por meio de conversa com o cliente ou discussão entre os integrantes do trabalho.

#### **4.1.1. Requisitos de projeto**

Essa fase do projeto caracterizou-se por reunir e identificar os requisitos que orientaram a obtenção do resultado final do projeto, sendo fundamentais na definição de prioridades e soluções de problemas do andamento do projeto, os requisitos foram divididos entre requisitos do cliente, expressos mediante reuniões realizadas com o mesmo, e requisitos de projeto, estabelecidos em reuniões da equipe de trabalho.

Depois de estabelecer as definições dos requisitos do cliente através de reuniões, são listados abaixo:

1. Atender as seguintes dimensões de largura dos módulos: 127mm, 152,4mm, 203,2mm, 254mm, 279,4mm e 330,2mm. (5”, 6”, 8”, 10”, 11” e 13” polegadas de acordo com as especificações originais do cliente).
2. Atender as seguintes dimensões de comprimento: 500mm, 1000mm, 1500mm e 2000mm.
3. Atender a demanda interna, de elevadores de caneca: 15 a 20 unidades de elevadores por mês.
4. Ter precisão suficiente para que não haja divergências entre módulos no momento de encaixe das peças.
5. Possuir um conjunto punção/matriz resistente o suficiente para conformar conjuntos de chapas de até 4,35mm de espessura.
6. Estabelecer uma estimativa de custo para o projeto.

7. Os módulos devem possuir resistência suficiente para suportar seu próprio peso e o de um ser humano adulto, já que esse é o maior atuante de esforços no elevador caso seja utilizado como escada.
8. Posicionar a chapa a ser conformada ou o conjunto punção/matriz na posição correta.
9. Possibilitar ajuste do conjunto punção/matriz para diferentes espessuras de chapas.

E as definições dos requisitos de projeto:

1. Possuir o processo de união das chapas em tempo igual ou menor do que o tempo do processo de soldagem.
2. Eliminar, dentro do possível, o fator humano do processo.
3. Ter fácil operação.
4. Ter componentes com boa vida útil.
5. Facilidade de posicionamento de chapa pelo operador, para que evite fadiga física do funcionário.
6. Possibilitar diferentes passos realizados pela máquina.
7. Altura da mesa ajustável.
8. Conjunto punção/matriz móvel.
9. Possuir alta confiabilidade de processo.

#### **4.1.2. Análise dos requisitos de cliente**

Nesta etapa utiliza-se o Diagrama de Mudge para elencar a importância de cada requisito. O Diagrama consiste em uma matriz que se repete os requisitos em linha e coluna e os comparam quantitativamente os requisitos entre eles, após o processo pode-se determinar qual o requisito é o mais importante e o quanto mais importante ele se mostra em relação aos outros.

Figura 9 - Comparação de requisitos de cliente pelo Diagrama de *Mudge*

REQUISITOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Soma	TOTAL	%
1	1	1A	1A	1A	5A	6B	7C	1B	1C	11	11	11%
2		2	3C	4A	5B	6C	7C	2A	9A	1	2	2%
3			3	3B	3B	3A	3A	3B	3C	16	21	21%
4				4	4A	6B	7B	4A	4A	3	4	4%
5					5	6B	7B	8B	5B	3	7	7%
6						6	6B	6B	6B	9	23	23%
7							7	7B	7C	8	24	24%
8								8	8B	3	6	6%
9									9	0	1	1%
Soma	0	0	5	1	4	14	16	3	1		99	100%

Fonte: Autor.

Na Figura 9, a letra A representa uma relação de pouca importância e, portanto, tem o valor atribuído de 1 unidade. A letra B denota um requisito medianamente importante, possuindo o valor de 3 unidades e, por fim, a letra C que representa um requisito muito importante recebe o valor de 5 unidades. O Quadro 1 apresenta os resultados obtidos a partir do Diagrama de Mudge, sendo esses ordenados sequencialmente por ordem de importância.

Quadro 1 - Resultado do Diagrama de *Mudge*

Requisitos	Importância
Os módulos deverão suportar o próprio peso e o de um ser humano adulto.	24
Estimativa de custo do projeto.	23
Atender a demanda interna.	21
Atender as dimensões de largura.	11
Possuir um conjunto punção/matriz resistente o suficiente.	7
Posicionar a chapa a ser conformada na posição correta.	6
Ter precisão suficiente para não haver divergências.	4
Atender as dimensões de comprimento.	1
Versatilidade nas operações, manualmente x automaticamente.	1

Fonte: Autor.

O Quadro 1 mostra que suportar o peso de uma pessoa adulta é o fator mais importante do projeto, isso é inegável sendo que não se pode priorizar outro fator como



economia do projeto acima da importância de preservar a vida do trabalhador que irá usar a estrutura.

Obter uma estimativa de custo do projeto está em segundo lugar em ordem de importância por que foi exatamente essa a motivação do projeto, ter conhecimento dos gastos para estabelecer um novo processo, assim como atender a demanda interna, é sabido que custo baixo e o bom atendimento da demanda interna sejam fatores decisivos para o cumprimento do projeto.

Já o requisito de possuir versatilidade de operação se mostrou pouco importante, devido à reunião realizada com o cliente, onde o próprio explicitou sua aversão pela automatização do projeto.

Com a hierarquização importante também a necessidade de atender todas as dimensões de largura do produto, já que estas são variadas estão diretamente relacionadas com a capacidade do elevador de canecas. Por isso, o fator de atender às dimensões de comprimento não se mostraram tão importantes quanto.

As várias alterações nas decisões do projeto causaram algumas divergências nas decisões que tinham sido tomadas, por exemplo, quando feito o Diagrama, não se sabia que haveria a terceirização da ferramenta de *clinch*, por isso, antes dessa decisão, os fatores que incluíam o trabalho para realização da ferramenta se mostravam mais importantes que alguns outros requisitos que não dependiam da integridade da ferramenta. Justificam-se então as relações de importância de precisão e resistência da ferramenta com posicionamento e atendimento às dimensões de comprimento dos módulos.

#### **4.1.3. Relação entre requisitos de projeto e de cliente**

Os requisitos de cliente e de projeto podem ser relacionados para que se saiba a importância quantitativa dos requisitos de projeto de acordo com as vontades expressas dos requisitos do cliente. Para tal, a relação é feita através do Desdobramento da Função Qualidade, conhecido como *Quality Function Deployment (QFD)*, que tem como objetivo traduzir os desejos do cliente ou necessidades do mercado em critérios técnicos quantizados.

Divide-se então os requisitos de projeto expressos pelo cliente na parte esquerda da tabela, horizontalmente, e os requisitos técnicos verticalmente na parte superior da tabela. Na parte central são distribuídos critérios de influência entre eles, que

denominam sua relação, forte, média, fraca ou inexistente, assim como a força e tipo de influência, positiva ou negativa. Na parte direita os requisitos são relacionados com os produtos dos concorrentes, essa relação não foi realizada para esse projeto devido a não ser um produto, mas somente uma estrutura que portará o “produto”, não foram encontradas estruturas concorrentes com os requisitos decididos pelo cliente. Na parte triangular superior é possível ainda comparar os requisitos técnicos, e relacionar interações positivas ou negativas, fortes ou regulares, conferindo a influencia entre os mesmos.

Depois de qualificar os requisitos do cliente pelo Diagrama de Mudge, é possível realizar o QFD. Reforçando que os requisitos que não receberam nenhum ponto foram atribuídos com um valor unitário. Após todas as configurações e o desenvolvimento do Diagrama de Mudge, obteve-se o QFD para o projeto da estrutura. O Quadro 2 relata os resultados obtidos, e o APENDICE B – DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE.

Quadro 2 - Resultados do QFD

<b>Requisitos</b>	<b>Importância</b>
Concluir o processo em tempo igual ou menor ao de soldagem.	422,4
Possuir alta confiabilidade de processo.	404,1
Componentes com boa vida útil	349,0
Eliminar, dentro do possível, o fator humano do processo.	310,2
Fácil operação	273,5
Possibilitar diferentes passos realizados pela máquina.	243,9
Facilidade de posicionamento de chapa pelo operador.	189,8
Altura da mesa ajustável.	30,6
Conjunto punção/matriz móvel.	18,4

Fonte: Autor.

O Quadro 2 mostra que concluir o processo com tempo igual ou menor ao processo de soldagem é o requisito mais importante desse projeto, isso não significa que outro requisito não será atendido em prol de satisfazer o mais importante.

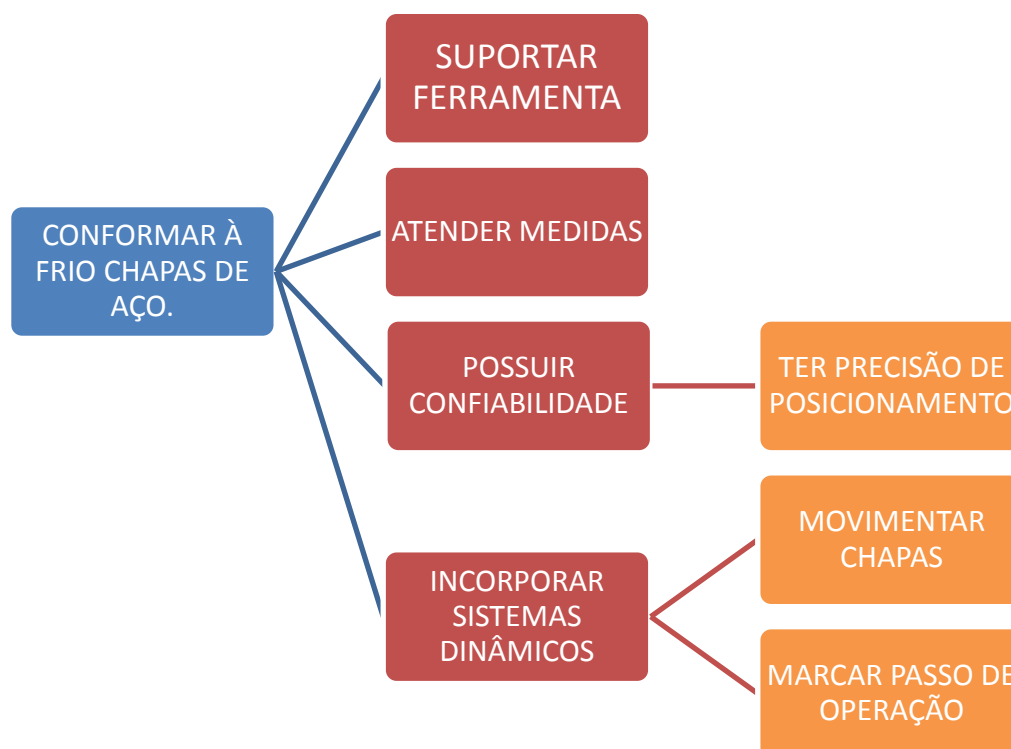
## 4.2. PROJETO CONCEITUAL

Depois de concluir e estabelecer os requisitos do projeto é necessário apresentar possíveis soluções para o mesmo, e isso será relatado no projeto conceitual. A solução que melhor atender os requisitos será projetada.

### 4.2.1. Diagrama funcional

O diagrama funcional da estrutura elaborada neste projeto é mostrado na Figura 10. Este diagrama é formado a partir dos requisitos determinados no Projeto Informacional, que irão dar origem às funções globais do projeto, estas serão divididas em funções parciais que ainda serão divididas em funções elementares. Para essas serão encontradas soluções para resolvê-las e conseqüentemente resolver a função inicial global.

Figura 10 - Diagrama funcional da estrutura.



Fonte: Autor.

É possível identificar as funções elementares da estrutura de acordo com a Figura 10:

- Suportar ferramenta;
- Atender medidas;
- Ter precisão de posicionamento;
- Movimentar chapas;
- Marcar passo de operação.

#### 4.2.2. Matriz morfológica

A matriz morfológica permite a ampliação de possibilidades de soluções para o problema sugerido, propõe o cruzamento de componentes de solução para o problema a fim de encontrar o melhor resultado possível. As linhas são compostas por cada função elementar e as colunas são limitadas pelo número de soluções propostas para cada função.

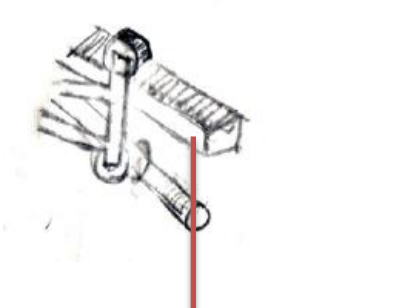
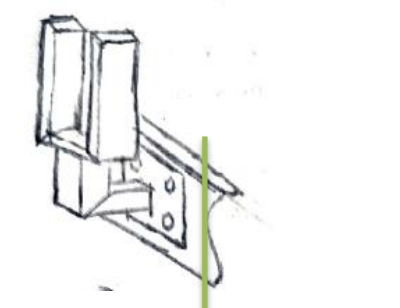
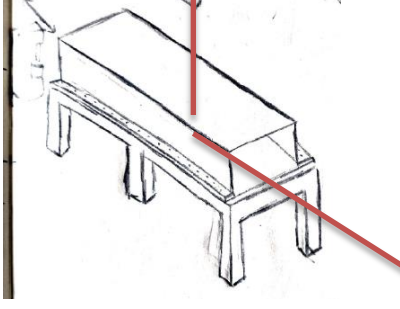
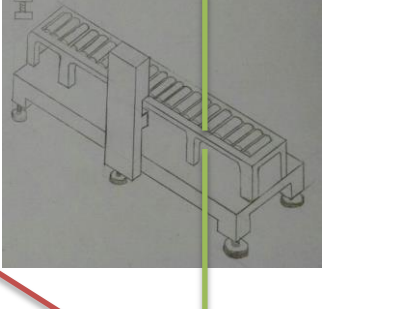
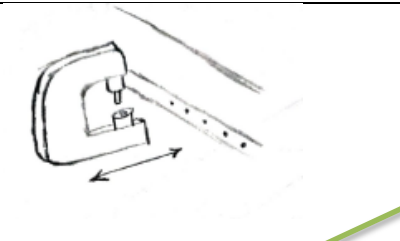
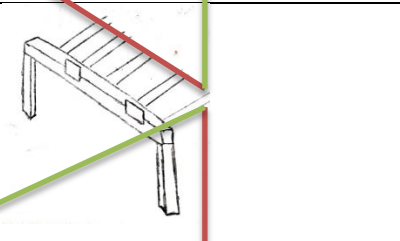
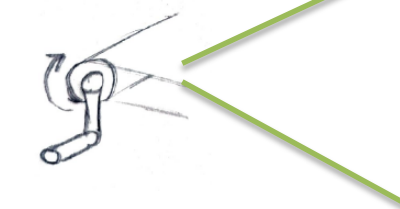
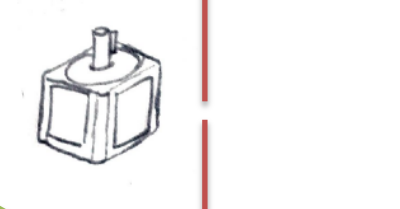
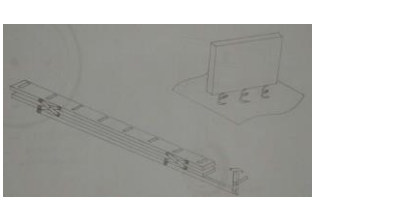
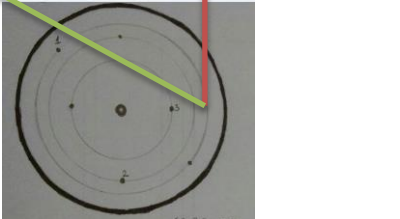
Para este trabalho cada função elementar teve duas soluções propostas para cada problema. Algumas das soluções foram acatadas e posteriormente descartadas devido às vontades do cliente. Outras não se mostraram viáveis para a solução de cada função.

No Quadro 3 são apresentadas todas as soluções propostas para a estrutura, e abaixo todas as soluções serão explicadas.

- Suporte da ferramenta: suporte móvel com apoio pinhão-cremalheira na parte superior e roldana na parte inferior (solução 1). Suporte fixado por parafusos na estrutura (solução 2). A função será suportar e acoplar a ferramenta de *clinchng* na estrutura completa, possibilitando a sua mobilidade ou sua fixação.
- Atender medidas: mesa de 2 metros de comprimento com suporte móvel para ferramenta (solução 1). Mesa de 4 metros de comprimento com suporte fixo para ferramenta (solução 2). A mesa deve ter capacidade de atender a medida completa do módulo que passará por ela, possibilitando o movimento da ferramenta através do módulo ou do módulo através da ferramenta.
- Precisão de posicionamento: mecanismo de posicionamento transversal da ferramenta (solução 1). Batente fixo para posição de módulo (solução 2). A estrutura necessita de algum mecanismo de correção ou garantia de posição correta para a efetuação do processo de *clinchng*.

- Movimentação de chapas: movimentação manual por meio de mecanismo de manivela (solução 1). Movimentação por meio de motor de passo (solução 2). Soluções tem como função movimentar a ferramenta através do módulo ou do módulo através da ferramenta.
- Marcar passo de *clinking*: batentes perpendiculares ao módulo passante e distribuídos paralelamente (solução 1). Roda de travamento de movimentação com pino posterior (solução 2). Ambas soluções servem para travar o módulo no momento que é necessário realizar o processo de *clinking*.

Quadro 3 - Combinações para possíveis concepções.

FUNÇÃO	SOLUÇÃO 1	SOLUÇÃO 2
SUPORTAR FERRAMENTA		
ATENDER MEDIDAS		
PRECISÃO DE POSICIONAMENTO		
MOVIMENTAR CHAPAS		
MARCAR PASSO DE CONFORMAÇÃO		

Fonte: Autor.

No Quadro 3 apresenta-se duas concepções para o sistema, demarcadas pela linha vermelha (concepção 1) e linha verde (concepção 2) e no Quadro 4 abaixo uma breve justificativa para a escolha das concepções.

Quadro 4 - Justificativa para cada concepção.

Subsistema	Concepção 1	Concepção 2
Suportar ferramenta	Modelo móvel facilita movimentação da ferramenta.	Modelo fixo facilita precisão e movimentação do módulo.
Atender medidas	Economiza material na construção da estrutura.	Facilita a dispensa de automação da estrutura.
Precisão de posicionamento	Facilita posicionamento dos módulos e operação da ferramenta.	
Movimentar chapas	Diminui a fadiga de operação por parte do operador.	Possibilita a dispensa da automação da estrutura.
Marcar passo de conformação	Economiza material devido a ser uma solução mais prática.	

Fonte: Autor.

E abaixo é feita a comparação das duas concepções para que se chegue ao resultado desejado.

Quadro 5 - Comparação entre concepções.

Requisitos	Importância	Concepção 1	Concepção 2
<b>Concluir o processo em tempo igual ou menor ao de soldagem.</b>	422,4	7	7
<b>Possuir alta confiabilidade de processo.</b>	404,1	7	7
<b>Componentes com boa vida útil</b>	349,0	5	7
<b>Eliminar, dentro do possível, o fator humano do processo.</b>	310,2	10	7
<b>Fácil operação</b>	273,5	7	10
<b>Possibilitar diferentes passos realizados pela máquina.</b>	243,9	10	10
<b>Facilidade de posicionamento de chapa pelo operador.</b>	189,8	7	7
<b>Altura da mesa ajustável.</b>	30,6	0	0
<b>Conjunto punção/matriz móvel.</b>	18,4	7	0
<b>Total</b>		<b>16443,4</b>	<b>16902,5</b>

Fonte: Autor.

No Quadro 5 foram utilizados valores (10, 7, 5, 3, 0) para avaliar, e se dividem respectivamente nos seguintes critérios: atende muito bem, atende bem, atende

medianamente, atende fracamente e não atende. E de acordo com o resultado nota-se que a concepção 2 apresenta uma pontuação maior do que a da concepção 1, fazendo com que ela seja a mais adequada a se adotar para o projeto. Porém alguns ajustes devem ser feitos para que o projeto fique completo.

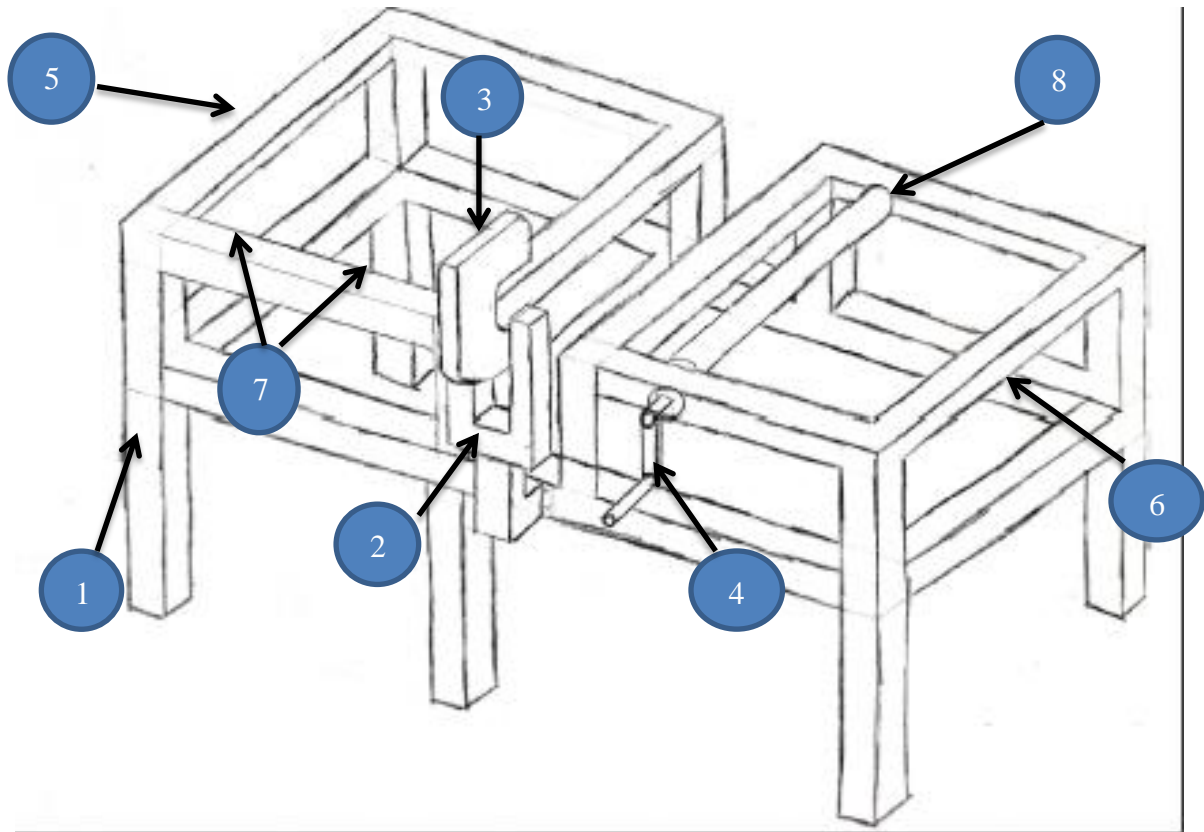
### 4.2.3. Concepção final

E após a avaliação comparativa feita entre as duas possíveis combinações de soluções, chega-se em um modelo final para a estrutura. Na Figura 11, é feita uma representação da ideia do conjunto de soluções para atender os requisitos do projeto.

- 1, mesa estrutural;
- 2, suporte da ferramenta;
- 3, ferramenta de *clinch*ing;
- 4, mecanismo de movimentação de módulos, conjugado com marcação de passo realizado por manivela.
- 5, local de entrada de chapa;
- 6, local de saída de chapa;
- 7, local de posicionamento de batentes para garantir precisão de operação do módulo;
- 8, rolete de movimentação.



Figura 11 - Esboço de concepção final.



Fonte: Autor.

E com base na Figura 11, se faz o Quadro 6 com as justificativas para cada solução aderida.

Quadro 6 - Justificativas da escolha das soluções.

Subsistema	Concepção 2
Suportar ferramenta	Modelo fixo facilita precisão e movimentação do módulo. Ferramenta fixa não apresentará discordâncias de pontos de conformação ao longo do módulo.
Atender medidas	Facilita a dispensa de automação da estrutura. Foi a escolha do cliente, mesmo que acarrete em utilizar mais material para construção da estrutura.
Precisão de posicionamento	Facilita posicionamento dos módulos e operação da ferramenta. Solução unânime.
Movimentar chapas	Possibilita a dispensa da automação da estrutura. E

	combina-se com o mecanismo de marcação de passo. Foi a escolha do cliente.
Marcar passo de conformação	Economiza material devido a ser uma solução mais prática. Solução unânime.

Fonte: Autor.

Na concepção final é interessante evidenciar alguns pontos, o vão entre as duas partes superiores deve ser menor que 250mm devido ao centro de gravidade da menor estrutura produzida pelo cliente. Existe a possibilidade de se usar esteira para movimentação dos módulos e roletes para transporte passivo deles, a esteira será acoplada ao rolete de movimentação que está ligado à manivela.

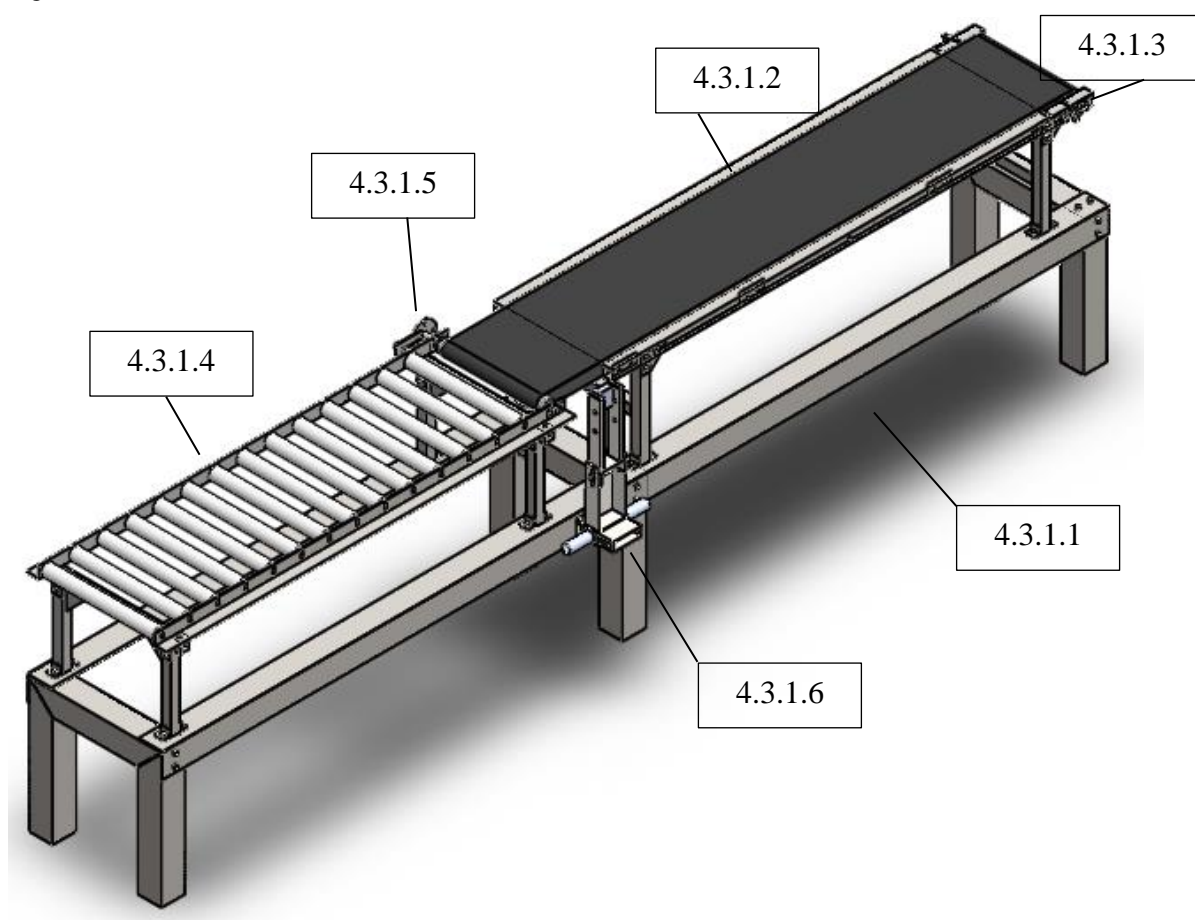
Devido ao fato da esteira apresentar um comportamento elástico sob tensão aplicada, será feito um mecanismo de extensão para a esteira, para ajuste inicial, e ajuste posterior devido ao desgaste da mesma.

Para o mecanismo de marcação de passo é criado um pequeno dispositivo de travamento do disco que tem os passos demarcados, uma chapa que liga um botão e um pino de travamento será posto atrás do disco, para efetuar o travamento da manivela.

### 4.3. PROJETO PRELIMINAR

A concepção final do trabalho visa desenvolver uma estrutura portadora de uma ferramenta *clinch* assim como entregar os manuais: de operação e de montagem. Nesta seção final será relatada a definição da geometria da estrutura assim como seus subsistemas e seus respectivos desenhos em software de CAD, desenhos 2D e 3D. Abaixo se apresenta a estrutura final projetada, vide Figura 12, os conjuntos estão marcados com suas respectivas seções no trabalho.

Figura 12 - Estrutura finalizada.



Fonte: Autor.

#### 4.3.1. Definição da estrutura

A base estrutural do projeto será o suporte para toda a estrutura de transporte, os mecanismos de operação e os módulos passantes que são os produtos finais. Mesmo que a estrutura não fique sujeita a tensões que comprometerão sua integridade, a base foi

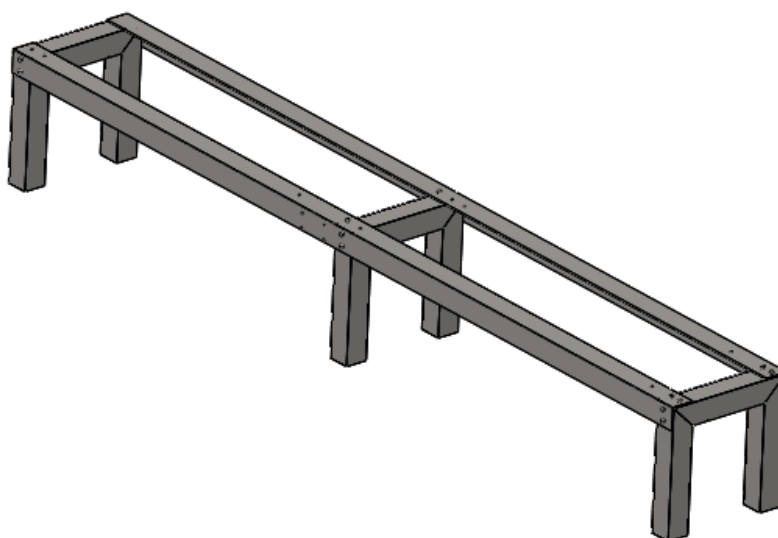
projetada de forma robusta, visando segurança extra para que seus componentes não precisem ser substituídos devido a esforços. Cálculos estão apresentados no Apêndice A após a apresentação das geometrias para expor o coeficiente de segurança da estrutura inferior e superior. Todos os componentes estruturais são compostos por aço ASTM A36, a escolha foi feita de acordo com a informação expressada pela empresa parceira, onde já se possui aquisição deste material.

#### 4.3.1.1. Estrutura de base inferior

Como determinado anteriormente, a estrutura teria 4 metros de comprimento para acomodar o tamanho de “dois” módulos. A operação deve ser feita colocando o módulo em uma ponta da estrutura e ele então é transportado pela estrutura até a outra ponta, por isso a estrutura de base terá como comprimento um mínimo de 4 metros, ou neste caso, exatos 4 metros. A Figura 13 mostra a estrutura.

E como estabelecido pelos requisitos, a estrutura deve ser capaz de comportar todas as dimensões de módulos, e o maior deles é de 13” (treze polegadas), ou 330,2mm, que engloba a dimensão do vão que passarão as canecas e as abas que serão usadas para conformar sob o processo de *clinking*, a dimensão de 572,7mm é suficiente para admitir todos estes requisitos. A folga extra serve para compensar as dimensões dos tubos da estrutura superior de transporte.

Figura 13 - Estrutura de base.



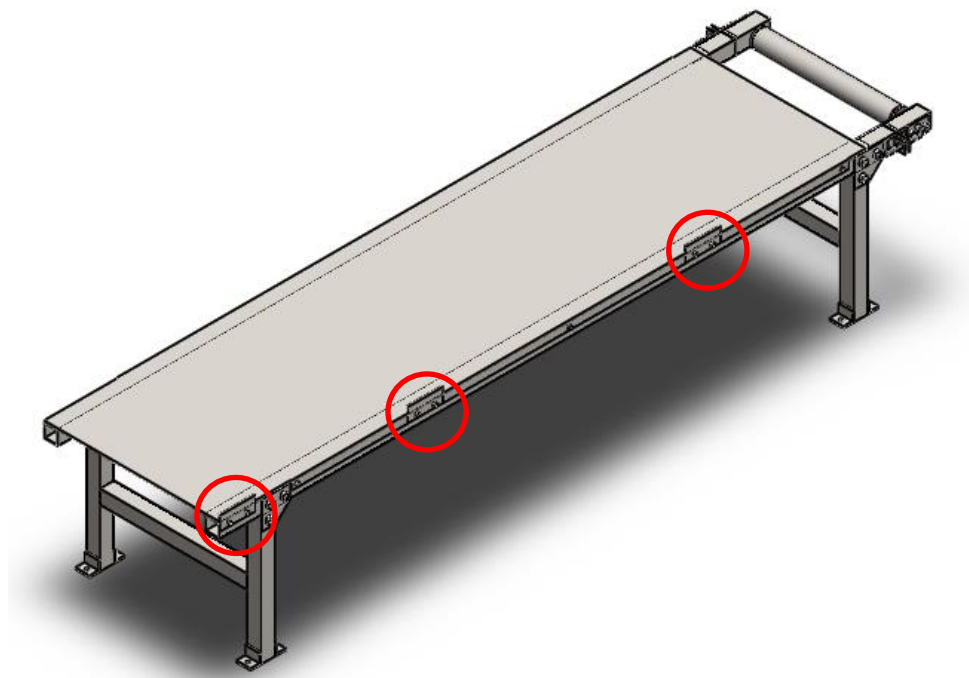
A estrutura também possui furos para sua própria fixação e para a fixação de outros subsistemas, neste caso, a estrutura superior de transporte e o suporte da ferramenta de *clinking*. Neste projeto foi visada também a versatilidade dos componentes, por isso foram estipuladas conexões parafusadas em vez da solda, para que, se for necessário a desmontagem dos componentes será possível fazê-la.

#### 4.3.1.2. Estrutura superior de transporte (com extensor da esteira)

Este subsistema da estrutura será um de dois que tiveram contato direto com o módulo que sofre o processo de *clinking*. Para esta seção será exposta a parte da estrutura que é envolta com a esteira que se conecta com seu extensor e o rolete de movimento.

Para este subsistema o apoio do módulo e da esteira é feito através de uma chapa de aço contínua, para melhor resultado de movimento, a chapa deve se manter limpa e preferencialmente polida antes da instalação da esteira. Os tubos quadrados de sustentação em forma de “H” são soldados e conectados através de ligações parafusadas com os tubos com comprimento de 1847mm e a chapa que faz o apoio. A Figura 14 apresenta a estrutura.

Figura 14 - Estrutura de transporte (com mecanismo de extensão).

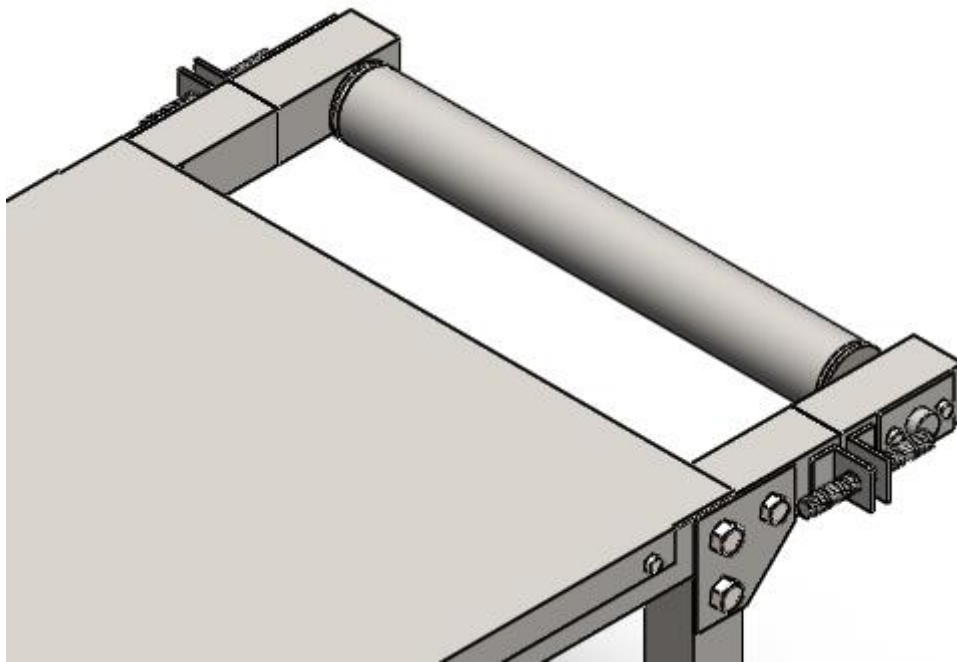


No subsistema pode-se ver também a presença dos batentes de ajuste de posição dos módulos (detalhados em vermelho). Posicionados para atender todas as medidas, de 500mm à 2000mm dos módulos.

#### 4.3.1.3. *Extensor da esteira*

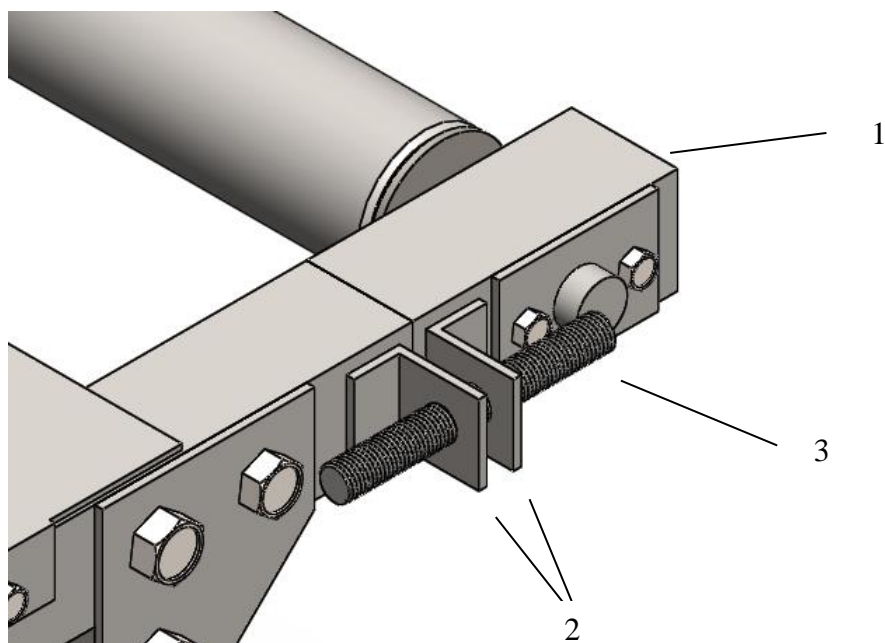
A esteira é constituída por borracha em seu exterior e fibras em seu interior, esta composição não é inflexível sob atuação de baixas cargas como o aço, e sua integridade pode mudar ao longo do tempo de uso. Por causa disso é necessária a existência de um dispositivo de correção da esteira, para que ela não se torne folgada e perca sua capacidade de transporte com o tempo. Na Figura 15 se apresenta o mecanismo projetado para realizar o ajuste de tensão da esteira.

Figura 15 - Extensor de esteira.



Fonte: Autor.

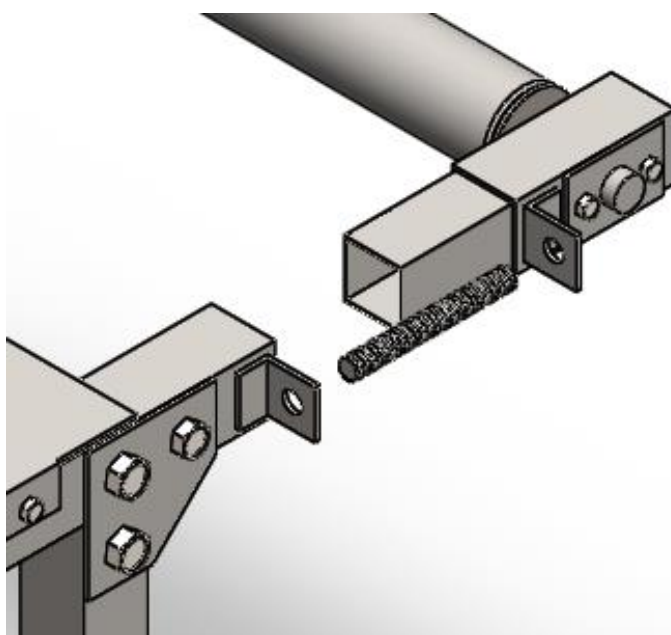
Figura 16 - Extensor de esteira na montagem da estrutura.



Fonte: Autor.

A Figura 16 mostra de forma ampliada os componentes que fazem este mecanismo. O rolete é ligado aos suportes de extensão (1), ambos localizados nas laterais são portadores de orelhas soldadas (2) que segurarão a extensão a medida que se rotaciona o parafuso com rosca sem fim (3). E na Figura 17 uma vista explodida do mecanismo.

Figura 17 - Vista explodida do extensor de esteira.



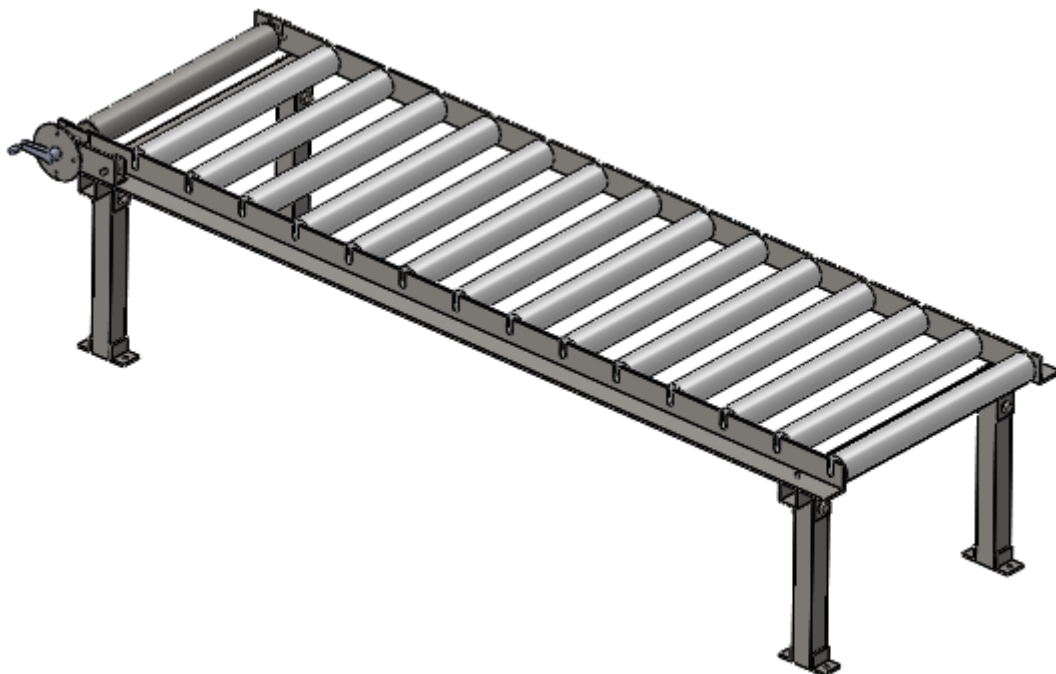
Fonte: Autor.

#### 4.3.1.4. Estrutura superior de transporte (com mecanismo marca passo)

O subsistema da estrutura superior conta com a mesa de saída do módulo, esta possui o mecanismo de marcação de passo pela máquina de *clinking*, feita com um rolete ligado à uma manivela, o mecanismo será especificado adiante.

A seção conta com um rolete ativo de movimento e outros 14 passivos, onde o módulo depois de sofrer o processo de *clinking* é retirado da estrutura pronto ou para entrar novamente para se fazer o processo em sua outra lateral, a Figura 18 apresenta a estrutura.

Figura 18 - Estrutura de transporte com mecanismo marca passo.

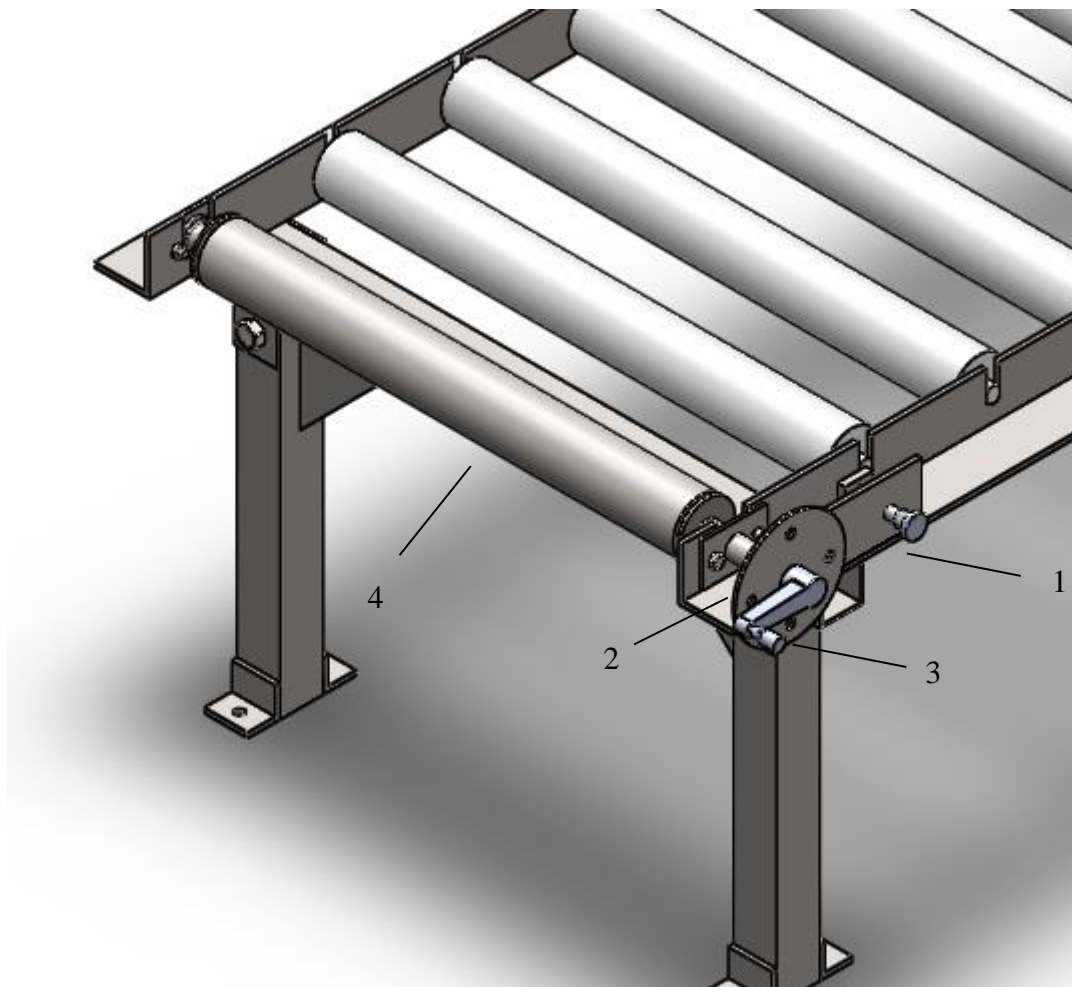


Fonte: Autor.

A estrutura possui um conjunto de movimentação do módulo que pode ser dividido em quatro partes, assim como a Figura 19 mostra. O marcador de passo (1), o disco de marcação (2), a manivela de movimentação (3) e o rolete ativo (4). Os dispositivos estão detalhados na próxima seção 4.3.1.5 – Conjunto de marcação de passo.



Figura 19 - Detalhamento da estrutura de movimentação.

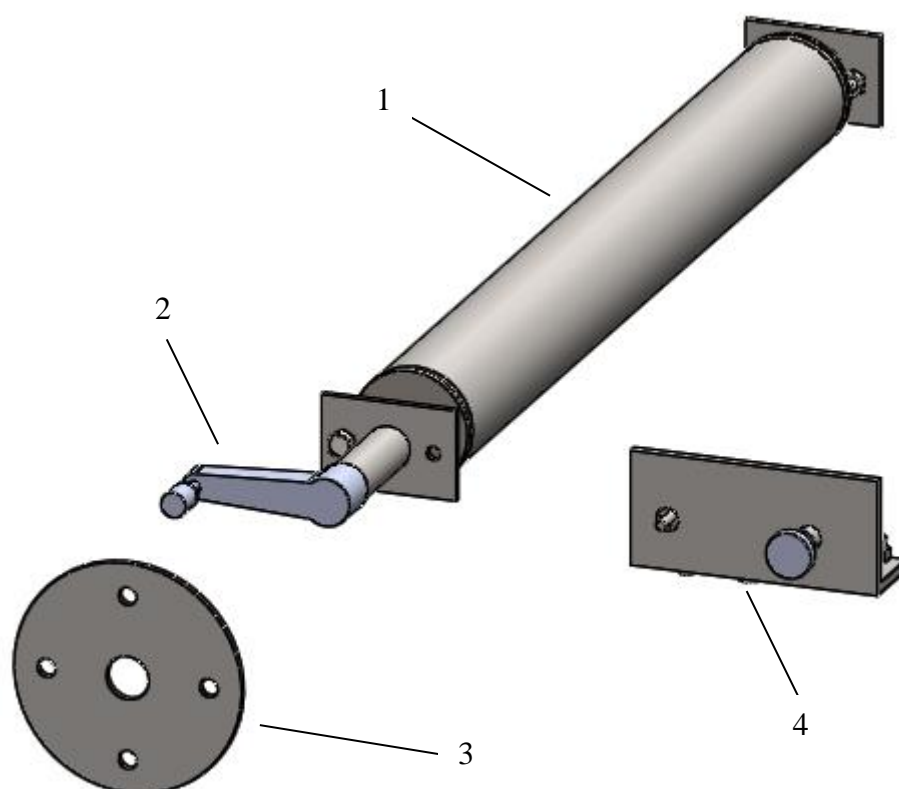


Fonte: Autor.

#### 4.3.1.5. Conjunto de marcação de passo

Segundo a empresa fornecedora da máquina, o módulo deve ter um passo de conformação de aproximadamente 10 cm para ter a segurança especificada para a sua máquina. O mecanismo estabelecido no Projeto Conceitual foi o dispositivo de passo limitado por disco furado com manivela para movimentação, apresentado na Figura 20, conta com o rolete ativo (1), a manivela para atuação de movimento (2), o disco de marcação de passo (3), e o mecanismo de travamento de pino para a marcação do passo (4).

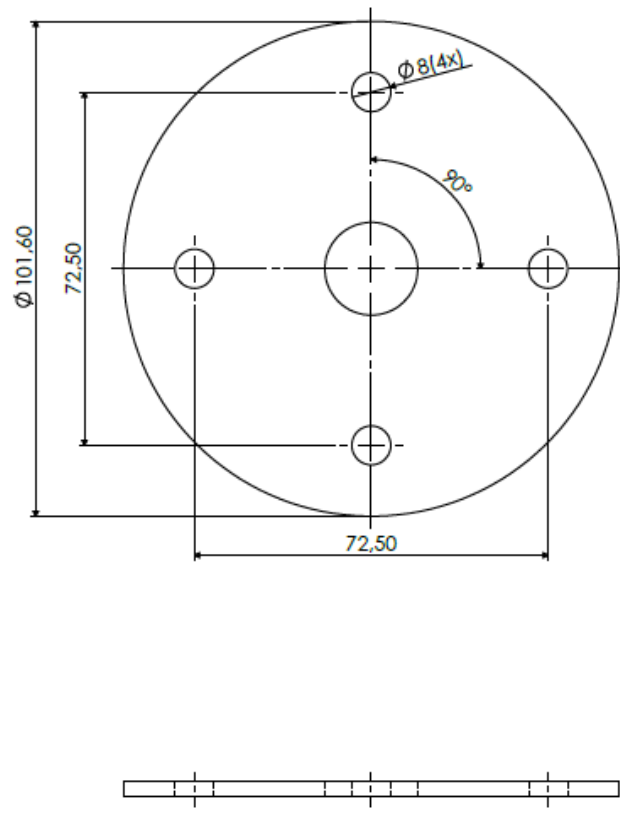
Figura 20 - Vista explodida do rolete de movimentação com mecanismo de marcação de passo.



Fonte: Autor.

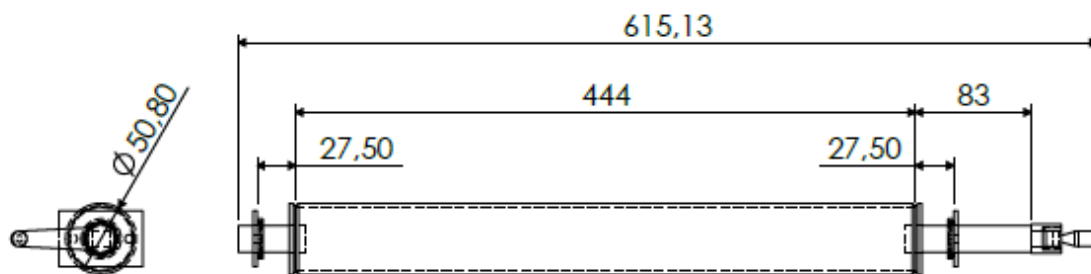
Nas Figuras 21 e 22 a seguir são especificadas as medidas para os componentes que fazem parte deste conjunto.

Figura 21 - Disco com marcação de passo.



Fonte: Autor.

Figura 22 - Rolete de movimentação da esteira.



Fonte: Autor.

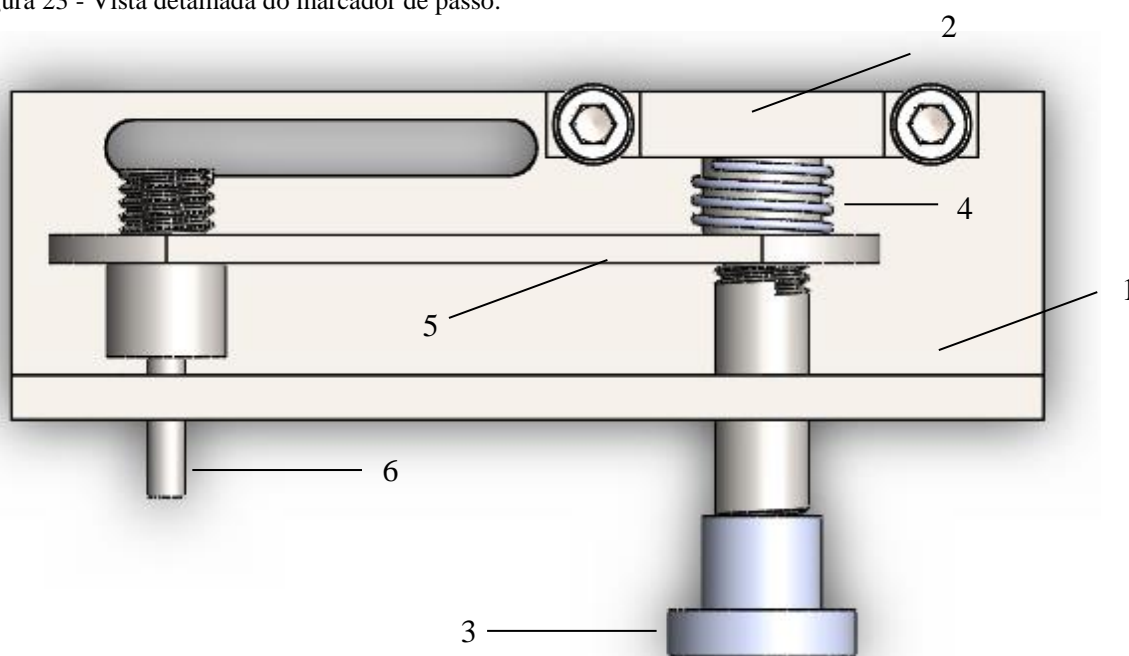
Se realizado um passo de um quarto de volta (90°) o deslocamento linear é de aproximadamente 43mm, se o passo for realizado com meia volta (180°), o deslocamento é 86mm.

$$d_l = \theta * r \quad (1)$$

De acordo com a Equação 1, os valores adotados foram de  $\theta$  como o espaço angular de deslocamento em radianos ( $\pi$  para  $180^\circ$  e  $\pi/2$  para  $90^\circ$ ), e  $r$  o raio do rolete (25,4mm) mais a espessura da esteira usada (2mm), totalizando (27,4mm).

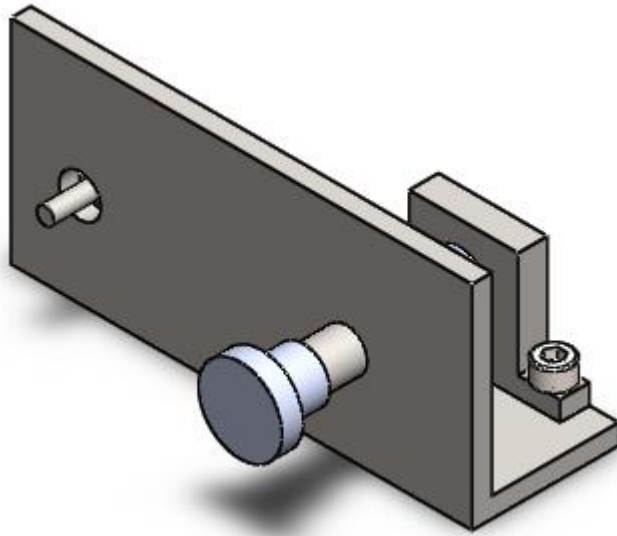
E o mecanismo que possibilita o travamento da rotação do disco oferecendo um posicionamento de passo é mostrado na imagem abaixo de acordo com a Figura 23, consiste em uma pequena cantoneira (1) com um suporte metálico (2) parafusado em uma de suas extremidades, neste suporte ficam localizados o botão (3), conectado a mola (4) e uma chapa perpendicular (5) ao seu eixo que realiza a ligação com o pino travador (6), paralelo ao eixo do botão (3).

Figura 23 - Vista detalhada do marcador de passo.



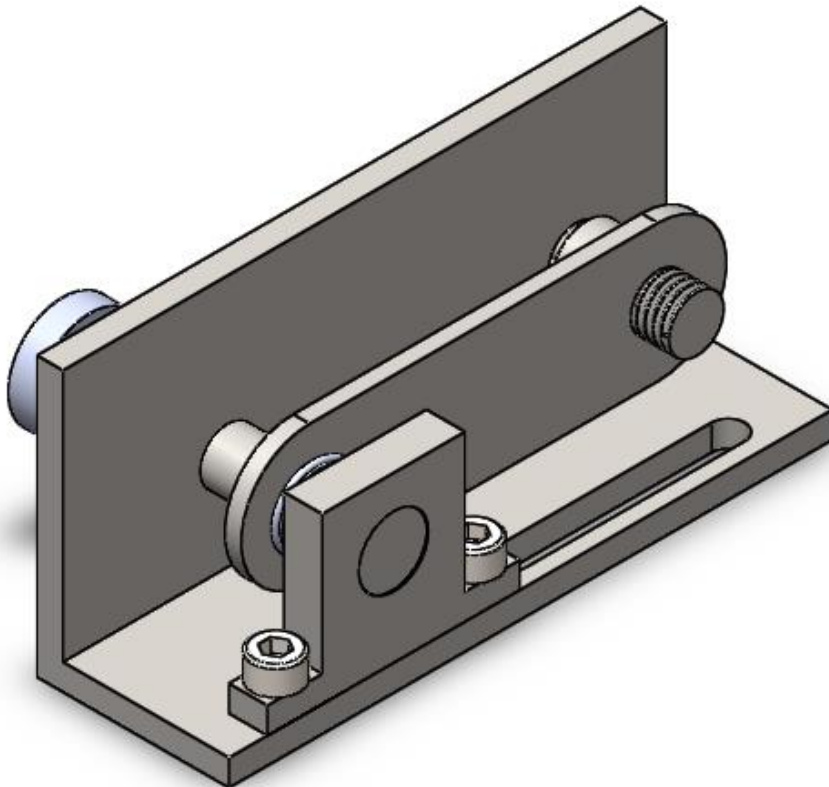
Fonte: Autor.

Figura 24 – Vista isométrica do marcador de passo.



Fonte: Autor.

Figura 25 - Vista isométrica posterior do marcador de passo.



Fonte: Autor.

As Figuras 24 e 25 auxiliam o entendimento do mecanismo através de uma vista isométrica frontal e posterior do mecanismo.

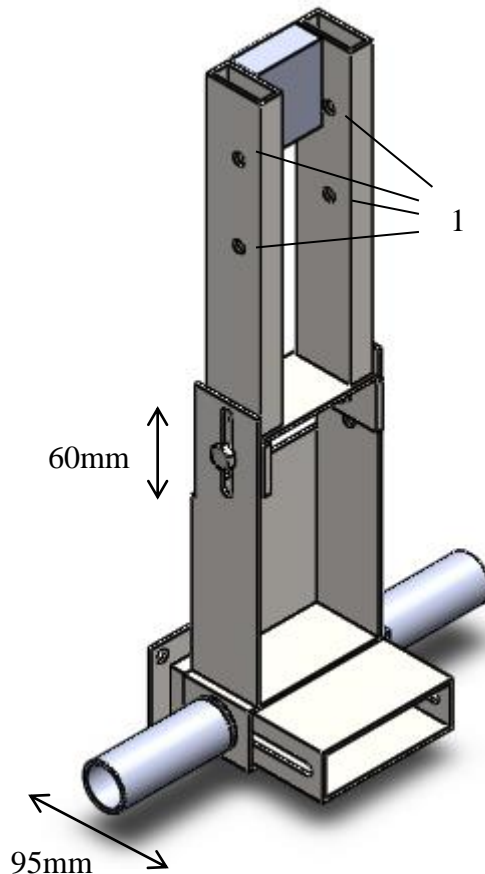
#### 4.3.1.6. Suporte da máquina ferramenta (atuador de clinching)

Para não haver discordâncias de posicionamento na entrada de módulo entre o vão de atuação do conjunto punção/matriz, é necessário um mecanismo de correção. A máquina de *clinching* que se pretende adquirir para este projeto possui nela furos para ligações parafusadas de fixação (1).

O suporte é fixado na estrutura de base e oferece um deslocamento de até 95mm entre centro dos parafusos de fixação, para acerto de distância da máquina, e deslocamento de até 60 mm de altura entre centro dos parafusos de fixação.

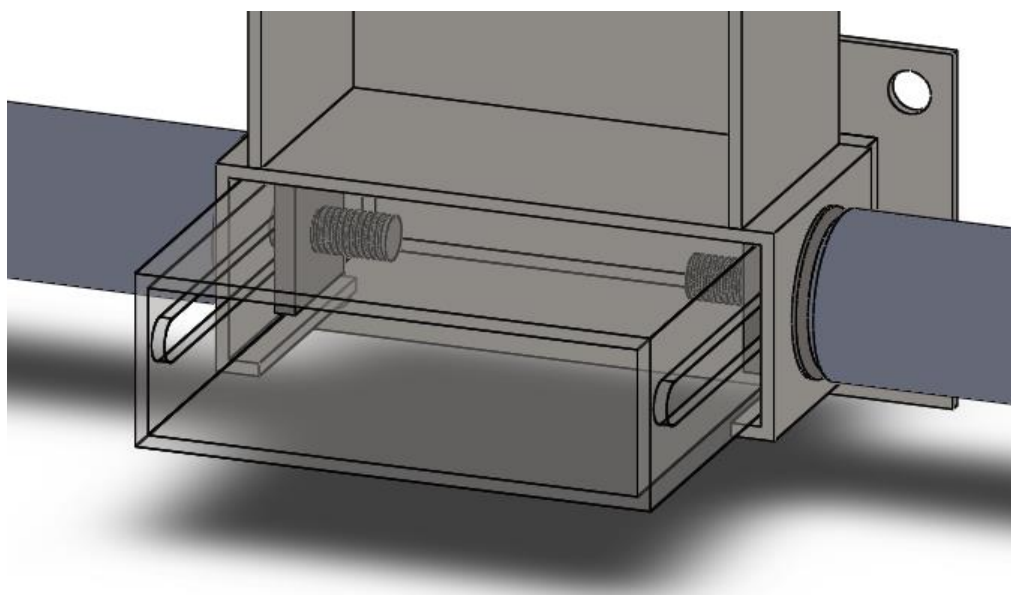
Os furos laterais são para comportar a máquina UNICLINCHING 3.8TON GPTech (especificações na seção 4.3.4 Equipamento de *Clinching* Terceirizado), que foi a escolhida para este projeto. A Figura 26 apresenta o suporte com a indicação de posicionamento da ferramenta, e a Figura 27, o detalhe de fixação do distanciamento horizontal da ferramenta que é feita através de aperto do parafuso da manopla, o distanciamento vertical é realizado por aperto de parafuso e porca.

Figura 26 - Suporte de ferramenta de *clinching*.



Fonte: Autor.

Figura 27 - Detalhe de encaixe do suporte.



Fonte: Autor.

#### 4.3.2. Orçamento e estimativa de custos

Assim como se estabeleceu no requisitos de cliente, foi necessário estabelecer uma estimativa de gastos para a aplicação deste projeto, através de uma pesquisa de mercado, foi levantado custos para cada uma das partes da estrutura, matéria – prima, componentes e equipamentos terceirizados. A Figura 28 apresenta uma estimativa de gastos para a aplicação do projeto.

Figura 28 - Lista com orçamento prévio do projeto.



Prévia do Orçamento

Data: 01/11/2017

Projeto 0007 – Mesa de Clinching – SR Engenharia

Tabela 1 : Prévia do orçamento do Projeto 0007 – SR Engenharia

Material / Peça	Preço	Por:	QTD.	Valor Total
Aço SAE 1020	R\$ 7,00	kg	200	R\$ 1.400,00
Manivela	R\$ 50,00	un.	1	R\$ 50,00
Mola	-	un.	1	-
Botão	R\$ 20,00	un.	1	R\$ 20,00
Rolamento SKF DW ER1634	-	un.	4	-
Rolete - Super Roletes	R\$ 36,00	un.	14	R\$ 504,00
Esteira de Lona	R\$ 250,00	un.	1	R\$ 250,00
Uniclinching 3,8 TON GPTEch	R\$ 27.800,00	un.	1	R\$ 27.800,00
Parafusos e Porcas	R\$ 4,00	un.	127	R\$ 508,00
Soldagem	R\$ 50,00	hr.	2	R\$ 100,00
Usinagem	R\$ 100,00	hr.	4	R\$ 400,00
Outros	R\$ 1.500,00	-	1	R\$ 1.500,00
<b>Total</b>				<b>R\$ 32.532,00</b>

Fonte: Autor.

#### 4.3.3. Equipamento de *clinching* terceirizado


Até o momento da entrega o equipamento de *clinching* estipulado a ser adquirido era da empresa GPTECH, uma revendedora da americana BTM Company que tem um dos processos de *clinching* patenteados, o Tog – L – Loc ®. A Figura 29 mostra algumas especificações sobre o equipamento da GPTECH.




Figura 29 - Catálogo de especificações técnicas do equipamento da GPTECH.

**DIFERENTES TIPOS DE PONTOS PARA APLICAÇÕES ESPECÍFICAS**


**TOG-L-LOC**




**LANCE-N-LOC**



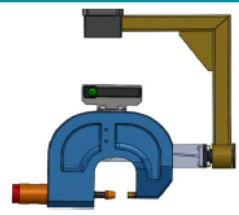
**V-LOC**

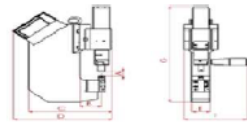


**OVAL-LOC**



<b>DIMENSÃO DO PONTO</b>	3,0 / 3,8 / 4,6
<b>MÁXIMA COBINAÇÃO DE CHAPAS</b>	4mm
<b>ABERTURA ACESSO / OPERAÇÃO</b>	6mm
<b>GARGANTA</b>	100 ou 200mm
<b>ACIONAMENTO</b>	Pneumático
<b>MÁXIMA PRESSÃO DE OPERAÇÃO</b>	345bar
<b>FORÇA DE Prensagem</b>	(4,0 TON)
<b>TEMPO DE CICLO</b>	1,5 segundos
<b>PESO DA UNIDADE</b>	60kgf
<b>COMPRIMENTO DE MANGUEIRA</b>	3metros
<b>BOUSTER (intensificador de pressão)</b>	Ratio 64 : 1
<b>PRESSÃO MÍNIMA DE ENTRADA</b>	5,5bar



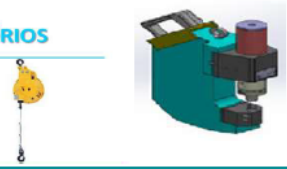


**GPTECH**  
PROVISION TECHNOLOGY

**BALANÇO MECÂNICO**

- \* Possui trava de segurança que evita queda da ferramenta em caso de quebra da mola;
- \* Trava de manobração, ganchos giratórios superior e inferior, guias-cabo anti-flexão que previne sobreposição do cabo (desbalanceamento);
- \* Possui parafuso externo de regulagem da tensão da mola e pode em qualquer posição sem a necessidade de regulagem do freio;
- \* Utilizado em equipamentos de até 220 Kg.

**ACESSÓRIOS**



ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QTD	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
01	UNI-4-30-4	UNICLINCH HIDROPNEUMÁTICA 4TON DESENVOLVIDO PARA APLICAÇÃO ESPECÍFICA ELEVADORES 1 CONJUNTO DE FERRAMENTA INSTALADO + UM RESERVA.	1	R\$ 26.868,00	R\$ 26.868,00
02	VPB	KIT VEDAÇÃO(OPCIONAL)	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
03	TOGPT	START UP / ENTREGA TÉCNICA - 8 horas de técnico (PASSAGEM E HOSPEDAGEM ADQUIRIDA PELO CLIENTE)	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
04	SEG	ART - LAUDO DE SEGURANÇA	1	R\$ 2.800,00	R\$ 2.800,00

Fonte: GPTECH.

## 5. CONCLUSÃO

Como resultado desse trabalho obteve-se o projeto preliminar de uma estrutura portadora de um equipamento de *Clinching*, ou união de chapas metálicas por conformação à frio para a empresa SR Engenharia. Para que opere o processo de conclusão dos módulos de 500mm, 1000mm, 1500mm e 2000mm e as larguras de 5, 6, 8, 10, 11 e 13 polegadas. Especificamente o desenvolvimento do projeto informacional, conceitual e preliminar com entrega dos desenhos 3D em CAD, desenhos técnicos, manuais de operação e montagem, lista de peças e orçamento da estrutura. As conclusões sobre cada um dos itens principais projetados será descrito abaixo:

- a) Estrutura: Foi projetada uma estrutura de dimensões 4000mm x780,86mm x987,15mm para comportar a produção dos variados módulos de elevadores de canecas produzidos pela empresa SR – Engenharia, a estrutura baseada em roletes e esteira para transporte do módulo e suporta um equipamento de *clinchng* para união das chapas metálicas.
- b) Mecanismos de solução: foram criados mecanismos de solução para esta estrutura, mecanismos de correção de tensão da esteira para que não perca sua potencialidade de transporte, mecanismo marcador de passo para que se padronize o passo realizado pela máquina e operador da estrutura e o suporte com correção de altura e distância do equipamento para que não haja divergências nas operações de conformação.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros podem ser desenvolvidos os seguintes estudos complementares deste projeto:

- a) Desenvolvimento do Projeto Detalhado do equipamento;
- b) Desenvolvimento da ferramenta de *clinchng*;
- c) Estudo de tratamento térmico para aumento de dureza do punção e matriz para otimizar a ferramenta de *clinchng*;
- d) Construção do equipamento em tamanho real;
- e) Automação do processo usando CLP;
- f) Compactação da mesa conjugada com a programação CLP utilizando movimentação de ferramenta.

## REFERÊNCIAS

- ABE, Y.; KATO, T.; MORI, K. **Joining of aluminum alloy and mild steel sheets using mechanical clinching**. Materials Science Forum. Trans Tech Publ. 2007. 1043–1046.
- BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. R. **Resistência dos Materiais**. 3. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1995. 1255p.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley**, Mc Graw Hill, 8ª Edição, 2011.
- CARBONI, M.; BERETTA, S.; MONNO, M. **Fatigue behavior of tensile-shear loaded clinched joints**. Engineering Fracture Mechanics, Milano, v. 73, n. 2, p. 178 – 190, 2006.
- DE PAULA, A.; AGUILAR, M.; PERTENCE, A.; CETLIN, P. R. **Finite element simulations of the clinch joining of metallic sheets**. J Mater Process Technol. 2007 182(1):352–357.
- ESHTAYEH, M. M.; HRAIRI, M.; MOHIUDDIN, A. K. M. **Clinching process for joining dissimilar materials: state of the art**. International Journal of advanced Manufacturing Technology. 2015.
- FECHAMENTO DE SAFRA 2018/19 APONTA RECORDE DE GRÃOS DE 242,1 MILHÕES DE T. CONAB. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3042-fechamento-da-safra-2018-2019-aponta-producao-recorde-de-graos-estimada-em-242-1-milhoes-de-t>>. Acesso em 20 dez. 2019.
- GAO, S.; BUDDE, L. **Mechanism of Mechanical Press Joining**. International Journal of Machines and Tools of manufacturing. 1994.
- LANGRAND, B.; COMBESCURE, A. **Non-linear and failure behavior of spot welds: a “global” finite element and experiment in pure and mixed modes I/II**. International Journal of Solid and Structures, p. 6631 – 6646, June 2004.
- LIMBERGER, I. F.; PAGNOSSIN, R. S. **Conformação mecânica dos metais: Volume 3**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, 2009.
- MANUAL DE TRANSPORTADORES DE CORREIA**. São Paulo, SP. FAÇO – Fábrica de Aço Paulista S.A. 1996.
- ROMANO, L. N. **Desenvolvimento de máquinas agrícolas: planejamento, projeto e produção**. São Paulo: Blücher Acadêmico, 2013.
- SÉRIE TRANSPORTADORES: ELEVADORES DE CANECA. FÁBRICA DO PROJETO. Disponível em: <<https://www.fabricadoprojeto.com.br/2013/02/serie-transportadores-elevador-de-canecas/>>. Acesso em 29 dez. 2019.
- VARIS, J. P.; LEPISTÖ, J. **A simple testing-based procedure and simulation of the clinching process using finite element analysis for establishing clinching parameters**. Department of Mechanical Engineering, Lappeenranta University of Technology. 2003.

VARIS. J. **Ensuring the integrity in clinching process.** Journal of Materials Processing Technology. 2006.

## APÊNDICE A - MEMORIAL DE CÁLCULO DO COEFICIENTE DE SEGURANÇA DA ESTRUTURA

### ESTRUTURA DE TRANSPORTE

Para fins de cálculo, a situação crítica considerada de peso para a estrutura é o peso do maior módulo, além do seu peso próprio, o maior módulo considerado é o de 2000mm de comprimento com 13” de largura e espessura de chapa de 2,5mm, seu material é o mesmo aço SAE 1020 usado para a estrutura.

$l = 200\text{cm}$  (comprimento)

$w = 33,02\text{cm}$  (largura)

$e = 0,25\text{cm}$  (espessura)

$n = 4$  (número de chapas)

$$V = l * w * e * n \quad (2)$$

$$V = 6604\text{cm}^3$$

Sendo assim, se tem o valor do volume do módulo (V), porém necessita-se do peso do módulo. Segundo Beer e Johnston (1995) foram coletados dados sobre o aço ASTM A36.

$d = 7,86\text{g/cm}^3$  (densidade)

$g = 9,81\text{m/s}^2$  (constante da gravidade)

$E = 200\text{GPa}$  (módulo de elasticidade)

$\sigma = 250\text{MPa}$  (tensão limite de escoamento)

$$P = \frac{g * d * V}{1000} \quad (3)$$

$$P = 509,21\text{N}$$

Com o valor do peso do módulo (P) pode-se obter o coeficiente de segurança final da estrutura de transporte, precisa-se também do peso da própria estrutura ( $P_{et}$ ) que segundo os desenhos técnicos é de:

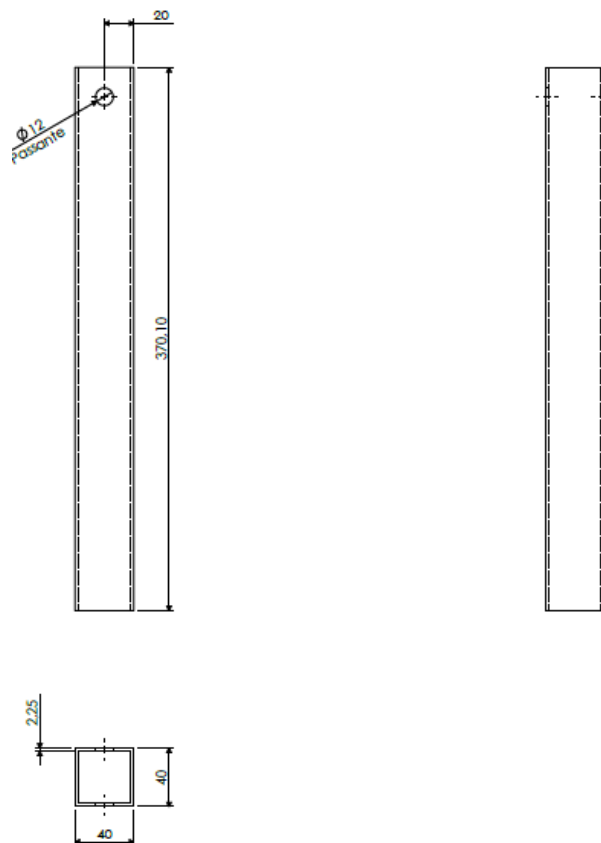
$m_{et} = 35,5\text{kg}$  (massa da estrutura de transporte)

$$P = \frac{g * d * V}{1000} \quad (4)$$

$$P_{et} = 348,36\text{N}$$

Para se calcular flambagem nos tubos da estrutura é necessário também saber o momento de inércia da seção do tubo quadrado.

Figura 30 - Especificações do tubo de base da estrutura de transporte.



Fonte: Autor.

O momento de inércia (I) para quadrados vazados de lados iguais pode ser calculado pela fórmula abaixo:

$$I = \frac{a^4 - b^4}{12} \quad (5)$$

Sendo:

$$a = 40\text{mm}$$

$$b = 35,5\text{mm}$$

$$I = 80980,83\text{mm}^4$$

Sabendo que a carga crítica ( $P_{cr}$ ) para colunas sob risco de flambagem é:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{fl}^2} \quad (6)$$

Sendo:

$$E = 200\text{kN/mm}^2 \text{ (módulo de elasticidade do aço ASTM A36)}$$

$$L_{fl} = 0,7L \text{ (comprimento da coluna de flambagem)}$$

$$L = 370,10\text{mm} \text{ (comprimento da coluna)}$$

Porém, sabe-se que o peso admissional para a estrutura é um quarto da soma do peso do módulo mais o peso da própria estrutura, ou seja:

$$P_{adm} = \frac{P + P_{et}}{4} \quad (7)$$

E também que o peso admissional é a divisão do peso crítico pelo coeficiente de segurança:

$$P_{adm} = \frac{P_{cr}}{CS} \quad (8)$$

Assim como a tensão de escoamento é dada pela divisão do peso admissional pela área da seção transversal da coluna em questão:

$$\sigma = \frac{P_{adm}}{A} \quad (9)$$

$$A = a^2 - b^2 \quad (10)$$

$$A = 339,75mm^2$$

Simplificando e colocando em evidência o coeficiente de segurança que é o fator de interesse, se chega na fórmula:

$$A = a^2 - b^2 \quad (11)$$

Sendo que:

$$P_{adm} = 214,39N$$

$$P_{cr} = 2381648,76N \text{ (2381,65kN)}$$

Então:

$$CS = 11108,95$$

O valor é absurdo, porém a estrutura foi projetada em modelos estéticos que oferecessem facilidade de encontrar os materiais e suas respectivas geometrias.

## ESTRUTURA DE BASE

Aproveitando alguns dados do calculo do coeficiente de segurança da estrutura de transporte é possível fazer o cálculo do coeficiente de segurança da estrutura de base. Porém, é necessário saber os valores para: o peso da estrutura completa e as dimensões dos tubos da estrutura de base.

$$P_{admb} = P_c + P \quad (12)$$

$$P_c = 185 * g$$

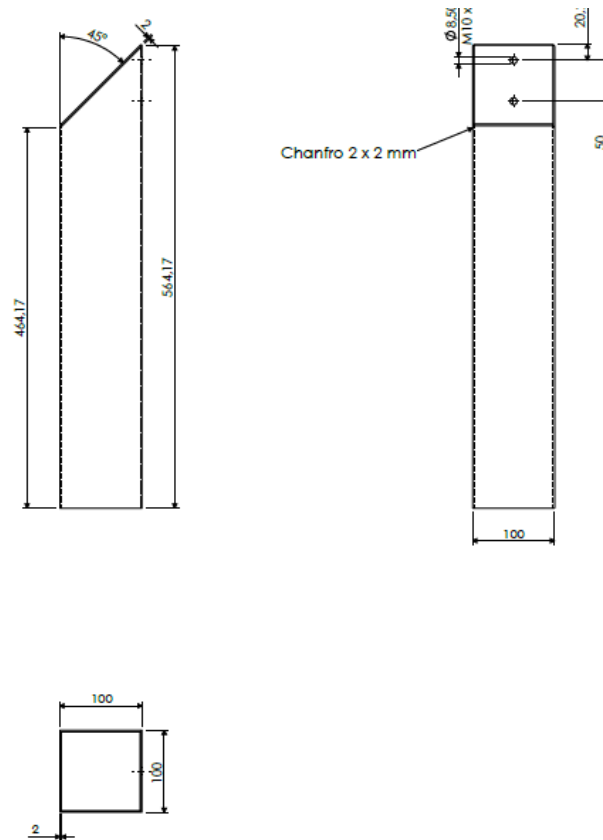
$$P_c = 1814,85N$$

O único fator que muda em relação ao calculo do coeficiente de segurança da estrutura de transporte além do peso geral utilizado e a divisão de peso, é o momento de inércia utilizado devido a seção transversal da estrutura de apoio.



O novo momento de inércia será de acordo com as dimensões do tubo abaixo:

Figura 31 - Especificações do tubo de base da estrutura de base.



Fonte: Autor.

Mesma equação do momento de inércia para tubos quadrados:

$$I_b = \frac{a_b^4 - b_b^4}{12} \quad (13)$$

Sendo:

$$a_b = 100\text{mm}$$

$$b_b = 96\text{mm}$$

$$I_b = 1255445,33\text{mm}^4$$

Sabendo que a carga crítica ( $P_{\text{crb}}$ ) para colunas sob risco de flambagem é:

$$P_{crb} = \frac{\pi^2 * E * I_b}{L_{flb}^2} \quad (14)$$

Sendo:

$E = 200\text{kN/mm}^2$  (módulo de elasticidade do aço ASTM A36)

$L_{flb} = 0,7L$  (comprimento da coluna de flambagem)

$L_b = 564,17\text{mm}$  (comprimento da coluna)

E também que o peso admissional é a divisão do peso crítico pelo coeficiente de segurança:

$$P_{admb} = \frac{P_c + P}{6} \quad (15)$$

$$P_{admb} = 387,34N$$

Colocando em evidência o coeficiente de segurança que é o fator de interesse, se chega na fórmula:

$$CS_b = \frac{P_{crb}}{P_{admb}} \quad (16)$$

Sendo que:

$$P_{admb} = 387,34N$$

$$P_{crb} = 15889546,10N \text{ (15889,54kN)}$$

Então:

$$CS_b = 41022,22$$

O valor é absurdo, porém a estrutura foi projetada em modelos estáticos que oferecessem facilidade de encontrar os materiais e suas respectivas geometrias.

## DIMENSIONAMENTO DO EIXO DO ROLETE

Os roletes de transporte do módulo foram escolhidos sob critério de dimensão comercial, foram distribuídas 14 unidades de roletes na mesa, todos da mesma dimensão. Para o dimensionamento do eixo será usado o cálculo de cisalhamento no eixo ( $\tau$ ) em MPa, na situação crítica de entrada e saída de módulo onde metade do peso da chapa se apoia em um único rolete.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (17)$$

Sendo que, a área considerada para o cisalhamento é a área transversal do apoio do rolete apoiado em dois pontos:

$$A = 2 \cdot A_t \quad (18)$$

E a força cortante  $V$  sendo o peso da chapa (ver ANEXO A) mais pesada dividido por dois.

$$V = \frac{P}{2} \quad (19)$$

Sendo assim:

$$\tau = \frac{P}{4 \cdot A_t} \quad (20)$$

$$P = 509,21N$$

$$A_t = 285mm^2$$

$$\tau = 1,78MPa$$

Segundo Beer e Johnston (1995) o aço ASTM A36, tem o limite de tensão de cisalhamento em 145MPa, valor muito acima do analisado para o caso acima.

## DIMENSIONAMENTO DO CORPO DO ROLETE

Usando o mesmo critério de carga do caso anterior, será avaliado as condições de resistência do corpo do rolete sob flexão quando solicitado pela carga do módulo. Tensão do momento flexor (MPa) é definida pela fórmula:

$$\sigma_{MF} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (21)$$

$M$  é o momento nas extremidades do rolete causado pelo peso da chapa posicionado ao centro do rolete em N.mm.  $I$ , o momento de inércia da seção transversal do rolete em  $\text{mm}^4$ , um círculo.  $c$ , a distância do centro da área neutra até o ponto de maior flexão, no caso a metade do diâmetro do rolete em mm. Ou seja:

$$\sigma_{MF} = \frac{\left(\frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2}\right) \cdot \left(\frac{d}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)} \quad (22)$$

$$\sigma_{MF} = \frac{\left(\frac{509,21N}{2} \cdot \frac{473mm}{2}\right) \cdot \left(\frac{19mm}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} ((50,8mm)^4 - (19mm)^4)} \quad (23)$$

$$\sigma_{MF} = 4,77MPa$$

Assim como se apresenta no ANEXO A deste trabalho, o limite de tensão de escoamento é de 250 MPa segundo Beer e Johnston (1995) para o aço ASTM A36. Estabelecendo alta segurança para o critério acima.

## DIMENSIONAMENTO DO PARAFUSO FIXADOR DO ROLETE EXTENSOR DA ESTEIRA

Os parafusos de fixação do rolete extensor da esteira são solicitados em dois eixos perpendiculares, solicitação trativa causada pela esteira e o apoio do módulo. Para o dimensionamento do parafuso será calculada a carga resultante destas duas forças e então determinado o diâmetro mínimo do parafuso levando em conta a força cisalhante causada pela carga. Para uma condição crítica será estabelecido uma força de tensionamento da correia atuando com mesma força que a chapa apoiada nos 4

parafusos de fixação do rolete. Carga resultante (CR) é a resultante das cargas atuando em sentido perpendicular:

$$CR^2 = \left(\frac{P}{4}\right)^2 + \left(\frac{P}{4}\right)^2 \quad (24)$$

$$CR = P\sqrt{2}/4$$

$$CR = 180,03N$$

Utilizando também a força cisalhante ( $\tau$ ) no parafuso fixador M6 (aço ASTM A36) de área transversal 28,3mm<sup>2</sup>, temos a tensão cisalhante de:

$$\tau = \frac{CR}{A_p} \quad (25)$$

$$\tau = \frac{180,03N}{28,3mm^2}$$

$$\tau = 6,36MPa$$

Segundo Beer e Johnston (1995) o aço ASTM A36, tem o limite de tensão de cisalhamento em 145MPa, valor muito acima do analisado para o caso acima.

## APÊNDICE B – QFD (DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE)

**Title:** QFD Desenvolvimento de uma estrutura portadora de um equipamento de cininging

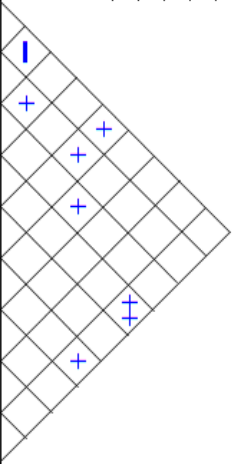
**Author:** João Victor Magalhães Garbato

**Date:** 16/06/2018

**Notes:**

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demand Quantity (aka. "Customer Requirements" or "Whats")	Quality Characteristics (aka. "Functional Requirements" or "Hows")	Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (⊙)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	9	24,5	24	Os módulos deverão suportar o próprio peso e o de um ser humano adulto.	Concluir o processo de união das chapas em tempo igual ou menor do que o tempo do processo de soldagem	▼									
2	9	23,5	23,0	Custo do processo menor ao da solda realizada pela empresa.	Eliminar, dentro do possível, o fator humano do processo.	▲	+								
3	9	21,4	21,0	Atender a demanda interna.	Fácil operação	○									
4	3	11,2	11,0	Atender as dimensões de largura.	Componentes com boa vida útil	○									
5	9	7,1	7,0	Possuir um conjunto punção/matriz resistente o suficiente.	Facilidade de posicionamento de chapa pelo operador, para que evite fadiga física do funcionário.	▲									
6	9	6,1	6,0	Posicionar a chapa a ser conformada na posição correta.	Possibilitar diferentes passos realizados pela máquina.	○									
7	3	4,1	4,0	Ter precisão suficiente para não haver divergências.	Altura da mesa ajustável.	▲									
8	1	1,0	1,0	Atender as dimensões de comprimento.	Conjunto punção/matriz móvel.	○									
9	10	1,0	1,0	Verzabilidade nas operações manualmente e automaticamente.	Possuir alta confiabilidade de processo.	○									
				<b>Target or Limit Value</b>											
				<b>Difficulty</b> (0= Easy to Accomplish, 10= Extremely Difficult)											
				<b>Max Relationship Value in Column</b>			9	9	9	9	9	9	3	3	9
				<b>Weight / Importance</b>			422,4	310,2	273,5	349,0	189,8	243,9	30,6	18,4	404,1
				<b>Relative Weight</b>			18,8	13,8	12,2	15,6	8,5	10,9	1,4	0,8	18,0



Legend	
○	Strong Relationship 9
○	Moderate Relationship 3
○	Weak Relationship 1
+	Strong Positive Correlation
+	Positive Correlation
-	Negative Correlation
▲	Strong Negative Correlation
▲	Objective Is To Minimize
▲	Objective Is To Maximize
X	Objective Is To Hit Target

