UFES
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TÉCNOLOGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Bernardo Catelan Marques

PROJETO DE MÁQUINA DE ESTAMPAGEM AUTOMATIZADA PARA PERFIS DE EXTRUSÃO DE PVC

Vitória
2016

Bernardo Catelan Marques

PROJETO DE MÁQUINA DE ESTAMPAGEM AUTOMATIZADA PARA PERFIS DE EXTRUSÃO DE PVC

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de engenharia mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica.

Orientador: Marcos Aurélio Scopel Simões
Co-orientador: Osmar Ferreira

Vitória
2016

Bernardo Catelan Marques

PROJETO DE MÁQUINA DE ESTAMPAGEM AUTOMATIZADA PARA PERFIS DE EXTRUSÃO DE PVC

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

_____

Osvaldo Paiva - UFES

_____

Osmar Ferreira - UFMG

_____

Marcos Aurélio Scopel Simões - UFES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os perfis que compõem o sistema RBS 8
Figura 2 - Vista de seção dos componentes internos da parede 9
Figura 3 - Representação de uma extrusão metálica 10
Figura 4 - Componentes da linha de extrusão 11
Figura 5 - Planta fabril ROYAL 12
Figura 6 - Perfis RBS com diferentes espessuras 13
Figura 7 - Empreendimento habitacional em Colatina / Centro pesquisa Ilha da Trindade - ES 14
Figura 8 - Exposição Engenhar / Creche infantil Recanto do Sol 14
Figura 9 - Interior projeto habitacional / Biblioteca de empreendimento educacional 15
Figura 10 - Vista frontal e lateral de um perfil acabado 17
Figura 11 - Matrizes de corte e punções 17
Figura 12 - Sentido de estampagem 18
Figura 13 - Carro de furação em azul 19
Figura 14 - Unicidade de corte 19
Figura 15 - Material cortado, coletado para reuso 20
Figura 16 - Matrizes de corte em vista isométrica 21
Figura 17 - Vista lateral das matrizes de corte 21
Figura 18 - Vista frontal e lateral do punção de corte 22
Figura 19 - Inserção da peça nas guias internas da máquina 23
Figura 20 - Movimento de fixação da pinça 24
Figura 21 - vista isométrica da pinça não acionada 25
Figura 22 - Alojamento das matrizes de corte nas cavidades do perfil 25
Figura 23 - Tipos de elos que compõem a corrente 29
Figura 24 - Diagrama de velocidades do sistema de translação 31
Figura 25 - Diagrama de esforços do sistema de translação 32
Figura 26 - Diagrama de corpo livre da garra 35
Figura 27 - Tabela do catálogo dos servos motores MITSUBISHI 37
Figura 28 - Diagrama de velocidades do sistema de estampagem 38
Figura 29 - Diagrama de esforços e torques do sistema de estampagem 39
Figura 30 - Diagrama de esforços na interface fuso - castanha 42
Figura 31 - Catálogo do servo motor de estampagem (MITSUBISHI) 45
Figura 32 - Rede de PETRI do funcionamento da Punchin Machine 50
Figura 33 - Planta elétrica da punching machine 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de produção ROYAL 12
Tabela 2 - Diferentes espessuras de perfis e suas aplicações 13
Tabela 3 - Parâmetros de trabalho do sistema de estampagem 20
Tabela 4 - Parâmetros de trabalho do sistema de translação 24
Tabela 5 - Tabela de polias Browning 26
Tabela 6 - Tabela dos modelos de conjuntos fuso/castanha de esferas 27
Tabela 7 - Tabela de mancais de rolamento SKF 28
Tabela 8 - Tabela de coroas DaltonGear 29
Tabela 9 - Tabela de correntes DaltonGear 30
Tabela 10 - Tabela com INPUTS e OUTPUTS do dimensionamento do sistema de translação 35
Tabela 11 - Catálogo Parker de cilindros pneumáticos 37
Tabela 12 - Propriedades mecânicas do PVC rígido FONTE: BRASKEM, 2002 40
Tabela 13 - Tabela com INPUTS e OUTPUTS do dimensionamento do sistema de estampagem 44
Tabela 14 - Lista de sensores e suas respectivas alocações 48
Tabela 15 - Descrição dos materiais usados para fabricação 52
Tabela 16 - Componentes elétricos da punching machine 54
Tabela 17 - Modalidade tarifária azul, subgrupo A4 54
Tabela 18 - Estimativa de gasto mensal de energia elétrica 55
Tabela 19 - Estimativa de preço de compra de material 56
Tabela 20 - Gastos com servos e PLC 56
Tabela 21 - Somatório total de gastos para fabricação da máquina 57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 8
1.1. INDUSTRIA ROYAL E O SISTEMA RBS: 8
1.1.1. ESTRUTURA INDUSTRIAL E CAPACIDADE PRODUTIVA 10
1.1.2. NICHO DE MERCADO 13
1.2. CONCEITUAÇÃO DA MÁQUINA 15
2. OBJETIVO 16
3. DESENVOLVIMENTO 16
3.1. DESCRIÇÃO GERAL DA MÁQUINA 16
3.1.1. SUB-SISTEMA DE ESTAMPAGEM 18
3.1.2. SUB-SISTEMA DE TRANSLAÇÃO 22
3.2. ESPECIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DE MÁQUINA 25
3.2.1. SISTEMA DE FURAÇÃO 26
3.2.2. SISTEMA DE TRANSLAÇÃO 28
3.3. DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DOS SERVOS-MOTORES 30
3.3.1. SERVO MOTOR ACIONADOR DO SISTEMA DE TRANSLAÇÃO 30
3.3.2. DISPOSITIVO ACIONADOR DO MECANISMO DE ESTAMPAGEM 38
3.4. SENSORIAMENTO 47
3.5. PLC - PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER 48
3.5.1. LÓGICA DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA: 48
3.5.2. REDES DE PETRI 49
4. MATERIAIS 52
5. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS 52
5.1. PLANTA ELÉTRICA 52
5.2. LISTA DE COMPONENTES 54
5.3. CONSUMO ENERGÉTICO 54
6. RESULTADOS 55
7. CONCLUSÃO 59
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 60
ANEXOS 61

1. INTRODUÇÃO

1.1. INDUSTRIA ROYAL E O SISTEMA RBS:

A empresa Royal trouxe ao Brasil o sistema RBS há aproximadamente 7 anos atrás. Esta tecnologia, oriunda do Canadá, é um método construtivo inovador que utiliza peças de PVC para a montagem e construção de casas e/ou quaisquer obras arquitetônicas. O sistema é constituído de vários perfis diferentes de PVC que, em conjunto, compõem a modulação completa para ser capaz de viabilizar qualquer projeto arquitetônico.

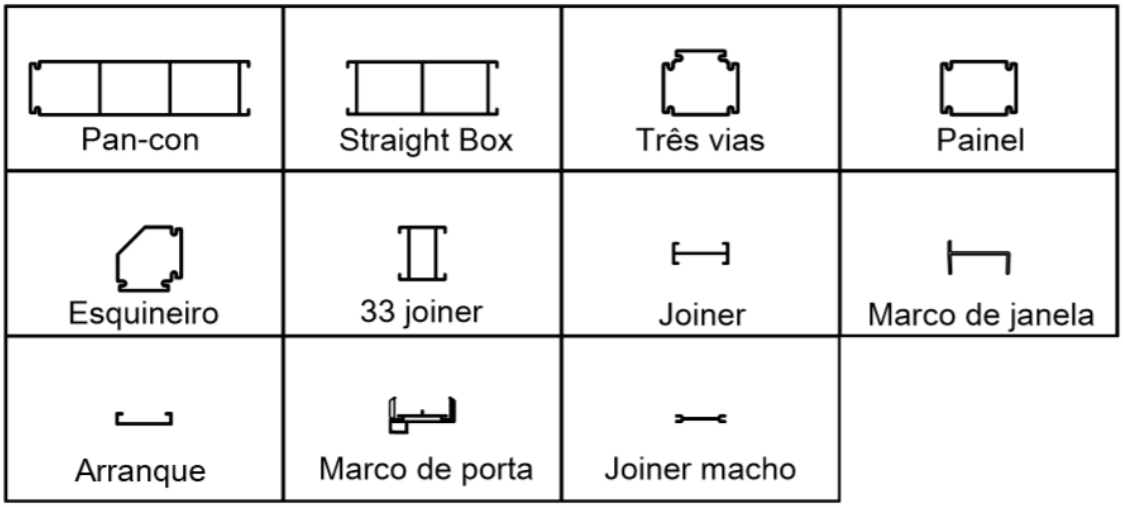


Figura 1 - Os perfis que compõem o sistema RBS

O material PVC detém varias vantagens no cenário dos polímeros devido a sua versatilidade e bom custo benefício. Contudo, o mesmo detém a deficiência quanto ao quesito resistência à incidência solar, vide que quando exposto por um longo período apresenta perda de brilho, ressecamento, aparição de trincas e degradação estrutural. Uma possível solução para este empecilho é inserir na composição química da peça o elemento titânio em grandes proporções. Contudo, esta é uma solução tecnicamente excelente, porém economicamente inviável.

A tecnologia RBS consegue unir a solução da incidência solar com uma proposta econômica viável. É possível obter isso utilizando uma película protetora (composição a base de titânio) que é aplicada única e exclusivamente onde existe incidência solar, fazendo assim, com que a proporção do titânio na composição do

perfil seja reduzida drasticamente e que a peça esteja protegida por décadas. Com isso, os perfis de PVC do sistema RBS se sobressaem no cenário da industria plástica fornecendo qualidade duradoura com um preço acessível.

Aliada à qualidade do material fornecido, o sistema RBS é também reconhecido pela rapidez no processo construtivo. Ao contrário do sistema convencional de construção civil (alvenaria) que utiliza tijolos e concreto para dar forma às paredes, o sistema Royal conta com formas ocas de PVC (perfil de PVC) de duplo encaixe que aloja internamente todos os componentes estruturais (concreto, vergalhões de aço), hidráulicos e elétricos. Tendo em vista que a própria forma de PVC já contém o revestimento com cor e aspecto definidas pelo cliente, não há necessidade de gastos com revestimento (reboco, pintura) nem retrabalho nas instalações hidráulicas e elétricas ,eliminando assim, o desperdício de material- aspecto este que é um dos grandes problemas na alvenaria. As etapas de construção se resumem à: concepção da fundação e base de concreto; alojamento dos vergalhões; montagem das paredes com os perfis; alocação dos componentes hidráulicos e elétricos; concretagem; acabamento do empreendimento.

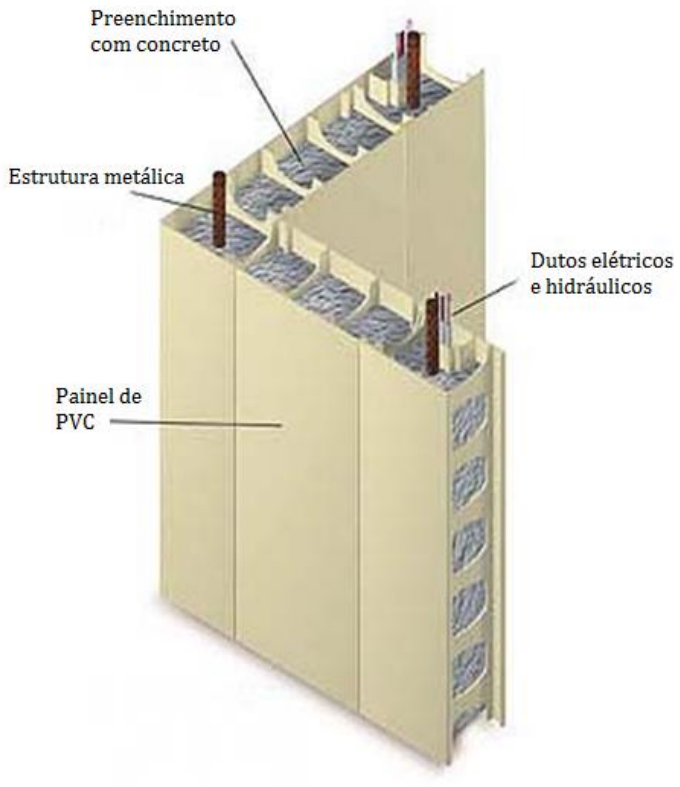


Figura 2 - Vista de seção dos componentes internos da parede

1.1.1. ESTRUTURA INDUSTRIAL E CAPACIDADE PRODUTIVA

A industria Royal, situada no CIVIT I - Serra / Espírito Santo, tem como vertente de trabalho o processamento de plástico através do processo de extrusão. Através de matrizes (moldes) de extrusão,a industria processa compostos de PVC em formato granular e os transforma em perfis acabados após todos o processo de extrusão

O processo extrusivo é, superficialmente falando, uma moldagem através de conformação mecânica. Pode ser feito em qualquer tipo de material, desde plásticos até aços e ligas metálicas. No processo convencional o tarugo do material a ser extrudado é empurrado por um êmbolo contra a matriz de extrusão que, através das forças de contato, conforma o material de acordo com a geometria da matriz.

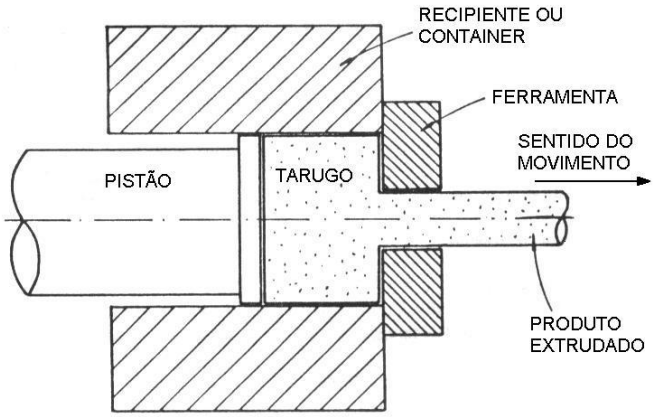


Figura 3 - Representação de uma extrusão metálica

No caso da extrusão plástica, a metodologia é um pouco diferente. Tendo em vista que o plástico é um material que detém seu ponto de fusão baixo (comparado à aços e ligas metálicas), o processo extrusivo é feito com o material no estado fluido - o que contribui significativamente para reduzir as forças de conformação.

Com isso, o dispositivo que irá empurrar o material não será mais um êmbolo e sim uma extrusora. Máquina esta que recebe o plástico em formato de grãos e os aquece até logo acima de seu ponto de fusão, empurrando-o à uma temperatura e pressão prescrita. Após sair da extrusora o PVC entra na matriz de conformação. Nesta etapa, o material é conformado para o perfil desejado e a aplicação da

película protetora é feita, simultaneamente. Após a saída da matriz com o plástico já conformado, o mesmo entra na seção de conformação e resfriamento.

O primeiro dispositivo é o calibrador, que tem como finalidade resfriar e enrijecer parcialmente o plástico que antes estava fluido. Através de um sistema de vácuo juntamente com um sistema de refrigeração, a peça ganha o formato final (parcialmente rígido) e é encaminhada para a banheira. Nesta etapa da fabricação a peça é totalmente submersa em água à 5ºC para que a mesma seja totalmente resfriada e que o processo de enrijecimento dela seja concluído. Em seguida a peça passa pelo puxador - esteira que traciona e da velocidade ao sistema de extrusão- que leva a mesma até a serra móvel que realiza o corte no perfil extrudado. Após o corte a peça é levada para as respectivas máquinas de furação e depois alocadas em containeres de exportação/ galpões de armazenamento.

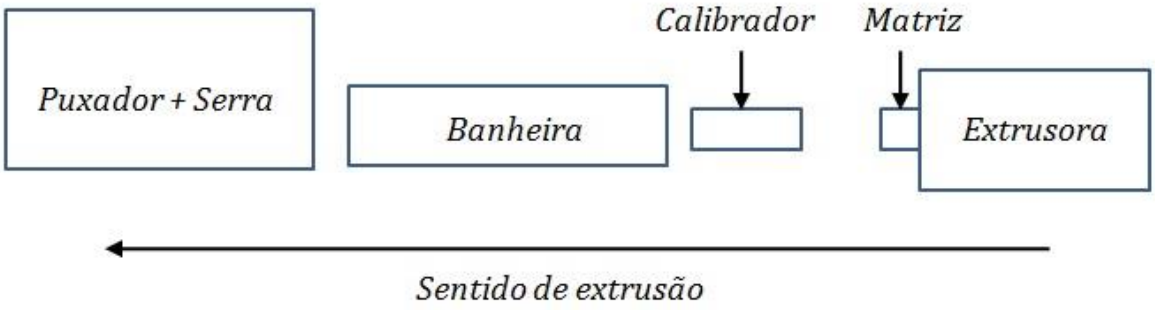


Figura 4 - Componentes da linha de extrusão

A figura 4 acima representa uma linha de extrusão completa, desde a extrusora até o corte do perfil. A estrutura industrial da Royal conta com um conjunto de 3 linhas completas de extrusão. Das mesmas, duas delas são destinadas à produção de perfis de parede - correspondentes à 80% do volume de produção - e uma delas para peças especiais (20%) - todos os outros perfis. Somando a capacidade produtiva das três linhas, temos aproximadamente 150 toneladas de PVC por mês de produção.

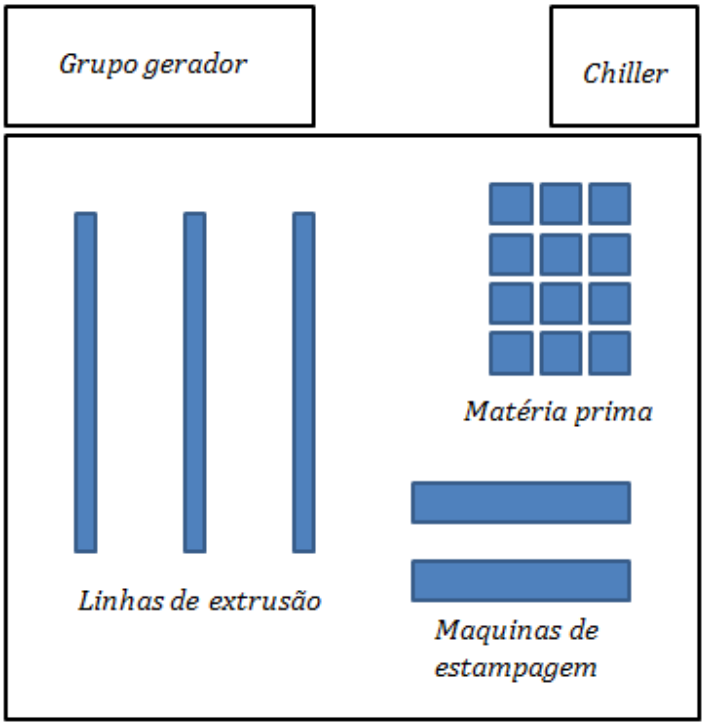


Figura 5 - Planta fabril ROYAL

Como já foi dito que cada tipo de perfil é singular e de diferentes geometrias, cada um detém seus parâmetros de fabricação. Para efeito de análise, deve-se converter a capacidade produtiva de tons para metros extrudados. Para isso, deve-se conhecer o peso linear de cada perfil (kg/m) e a porcentagem de produção dos mesmo. Segue abaixo uma tabela com tais dados:

Tabela 1 - Parâmetros de produção Fonte: ROYAL

Perfis	Peso linear [Kg/m]	Porcentagem de produção [%]	Velocidade de extrusão [m/min]	Produzido [ton/mês]
Pan-con	2	80,3	1,6	111,01
Striaght Box	1,3	2,86	2,1	3,37
Três Vias	1,5	2,74	2,1	3,73
Painel	1,45	2,75	2,1	3,62
Esquineiro	1,45	2,5	2,1	3,29
33 joiner	1,2	1,8	2,1	1,96
Joiner	1,1	1,8	2,1	1,80
Marco de janela	1,3	1,55	2,1	1,83
Arranque	1	1,35	2,1	1,22
Marco de porta	1,55	1,2	2,1	1,69
Joiner macho	1	1,15	2,1	1,04
			Total	**134,55**

1.1.2. NICHO DE MERCADO

O sistema RBS fora concebido com o objetivo de poder ser capaz de realizar construções em qualquer nicho de mercado. Para isso, foram desenvolvidos sets de perfis com espessuras de parede diferentes, para que o sistema possa abranger construções com maiores solicitações estruturais. Com isso a tecnologia conta com sets de perfis de 64, 100, 150 e 200mm, cada um com suas respectivas aplicações.

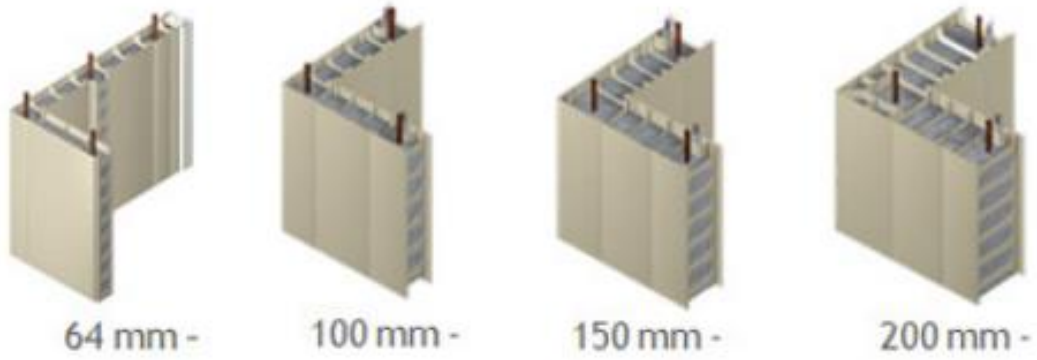


Figura 6 - Perfis RBS com diferentes espessuras

Casas, prédios, galpões industriais, postos de saúde, postos de gasolina, creches dentre outras inúmeras edificações podem ser construídas com tal tecnologia. Cada set de perfil detém seu nicho de mercado e suas limitações. Segue abaixo uma tabela especificando tais parâmetros:

Tabela 2 - Diferentes espessuras de perfis e suas aplicações Fonte: ROYAL

Espessura da parede	Aplicações		Restrições
64 mm	Casas	Banheiros	Até dois pavimentos
	Creches	Condomínios	
100 mm	Edifícios		Até quatro pavimentos
	Galpões (médio/pequeno)		
150 mm	Edifícios		Até seis pavimentos
	Galpões (médio porte)		
	Postos de Gasolina		
200 mm	Edifícios		Até oito pavimentos
	Galpões (Grande porte)		

A industria capixaba já teve sua tecnologia construída em todo o Brasil e em países latino -americanos como Panamá e Paraguai. O foco principal da empresa brasileira era a produção de perfis para construção de casas populares e projetos de baixo custo em todo território nacional, do varejo à programas de habitação governamentais. Com a expansão da mesma, a Royal começou a desbravar mercados latino-americanos e participou de alguns programas habitacionais dos governos locais. Hoje o acervo técnico da Royal é extremamente abrangente e diversificado como mostram as figuras 6,7 e 8.

Figura 7 - Empreendimento habitacional em Colatina / Centro pesquisa Ilha da Trindade - ES

Figura 8 - Exposição Engenhar / Creche infantil Recanto do Sol

Figura 9 - Interior projeto habitacional / Biblioteca de empreendimento educacional

1.2. CONCEITUAÇÃO DA MÁQUINA

A linha de produção de perfis de PVC tem como a furação a última etapa do processo. Etapa de suma importância na concepção da peça plástica, tendo em vista que as mesmas devem ser vazadas internamente para que o concreto que será inserido nelas flua livremente. É uma etapa que, se otimizada, permite acelerar o processo como um todo significativamente. O método convencional de furação é a usinagem. Após o corte dos perfis na linha de extrusão, o mesmo é levado à um pequeno centro de usinagem que faz cortes circulares por toda a extensão das peças. Contudo, o processo de usinagem é um processo razoavelmente demorado. Tendo em vista que cerca de 80% do volume de produção da fábrica é o perfil de parede, criou-se a necessidade da elaboração de uma máquina que conseguisse reduzir o tempo de furação do perfil para que aumentasse a vazão de saída dos mesmos. Com isso, nasceu a concepção da *punching machine.*

Com o intuito de reduzir o tempo gasto com a furação dos perfis, adotou-se o método de estampagem como mecanismo de corte dos perfis semi-acabados. A máquina, assim como o centro de usinagem que faz os cortes circulares nas peças de PVC, não é conectada à linha de extrusão e necessita de mão de obra humana para ser suprida. Portanto a maquina deve, após a inserção humana da peça na máquina, realizar todos os procedimentos de estampagem por toda a extensão do perfil de maneira automática e retornar a peça acabada e pronta para uso.

Esta maquina já existe em alguns lugares do mundo, contudo com tecnologia fechada. A máquina que hoje opera na Royal é uma com uma velocidade de operação muito reduzida com tecnologia antiga. Baseado na máquina de operação

atual da fábrica a concepção da nova máquina será feita com melhoramentos e principalmente redução de tempo de operação.

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso foi projetar uma máquina automatizada de estampagem de perfis de PVC.

Os objetivos específicos são:

- Revisão bibliográfica
- Especificação dos elementos de máquina ;
- Dimensionamento dos motores elétricos utilizados nos acionamentos dos mecanismos ;
- Concepção da lógica de funcionamento (redes de PETRI) para posterior programação do PLC;
- Escolha de materiais;
- Elaboração da planta elétrica;
- Elaboração das plantas de fabricação;
- Estimativa de preço de fabricação ;
- Análise de viabilidade;

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. DESCRIÇÃO GERAL DA MÁQUINA

A *punching machine* é uma máquina automatizada que realiza processos de corte por estampagem em perfil de parede do sistema RBS. A máquina, que não é unificada com a linha principal de extrusão, tem seu suprimento de perfis através da mão de obra humana. Após o operador posicionar a peça no sensor frontal a máquina realiza o movimento de inserção da peça através de um sistema de translação e realiza cortes sucessivos até toda a peça estar com furos em padrão linear.

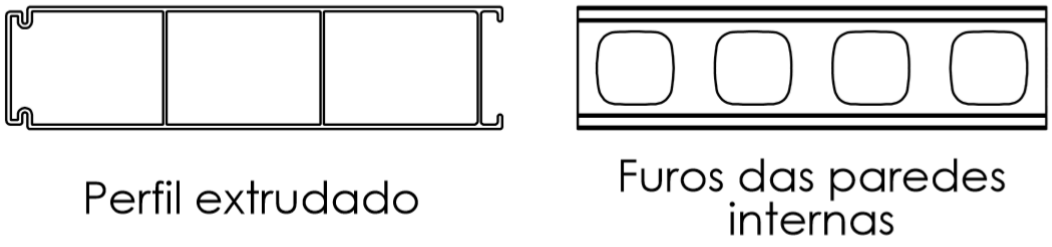


Figura 10 - Vista frontal e lateral de um perfil acabado

Basicamente a maquina realiza dois movimentos. Um para puxar a peça através de machos que funcionam como guias (preenchem os vazios internos do perfil) e também funcionam como matrizes para posterior corte. A outra dinâmica diz respeito ao corte. O carro de furação detém 4 punções (ferramentas que realizam o corte por estampagem) e uma guia que, quando acionados por um servo motor, perfuram o perfil perpendicularmente à direção de translação. Após o primeiro movimento de corte, o sistema de translação vai deslocando a peça em passos constantes para que a furação seja feita uniformemente e por toda a peça de PVC.

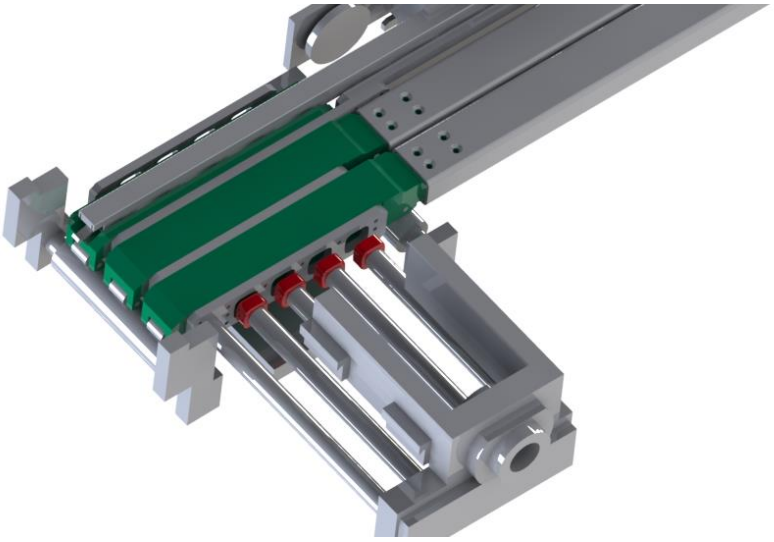


Figura 11 - Matrizes de corte e punções

De acordo com a figura 11, os punções são os sólidos em vermelho e em verde são as matrizes de corte. Esta maquina deve ser projetada para que consiga suprir duas linhas de produção ao mesmo tempo - aproximadamente 3,6 m/min.

A máquina pode ser dividida em dois grandes sub-grupos: translação e corte. Cada sub-sistema desse detém seus próprios mecanismos e estruturas. Com isso, à seguir tem-se uma melhor explanação sobre cada sub-grupo e suas respectivas singularidades.

3.1.1. SUB-SISTEMA DE ESTAMPAGEM

❖ FUNCIONAMENTO

Primeiramente a peça é reconhecida pelo sensor frontal. Com isso, o sinal do sensor faz com que a peça seja totalmente inserida nas guias internas de translação. Após isso, o sistema de corte por estampagem começa a atuar realizando o primeiro corte. Em seqüência a maquina translada a peça 247,6 mm (passo constante) para que o futuros cortes sejam feitos de maneira uniforme. Após sucessivos passos como estes citados acima, a peça estará totalmente perfurada e será devolvida para armazenamento e extradição. O corte é feito nas 4 paredes internas do perfil de parede com o movimento do punção indo de encontro com as matrizes de corte. Com uma folga de 0,1mm (medida empírica) entre punção e matriz, o corte sai com bom acabamento e sem rebarbas.

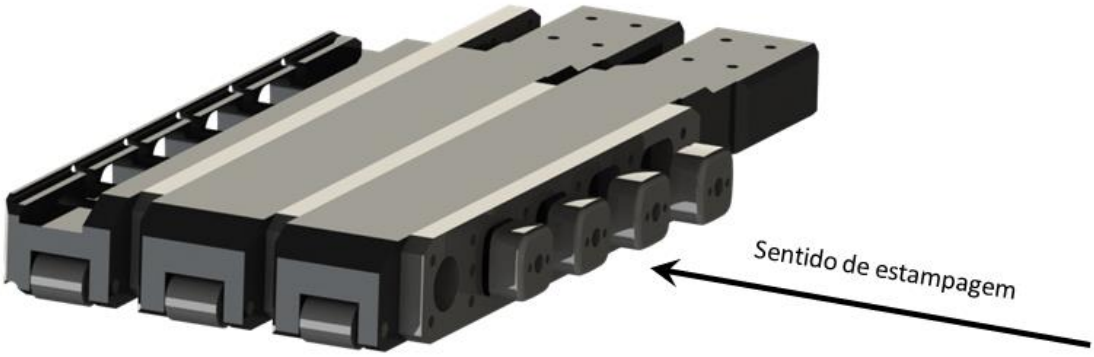


Figura 12 - Sentido de estampagem

O mecanismo de avanço da ferramenta de estampagem é composto por um conjunto fuso - castanha de rolamento de esferas. Este mecanismo é acionado através de um conjunto polias/correia, que é movido por um servo motor. Este carro de estampagem é fixado em dois patins que deslizam através de guias laterais à um

curso de 330mm , garantindo uma única direção de movimento (perpendicular ao movimento de translação).

Figura 13 - Carro de furação em azul

É válido ressaltar também que o movimento de corte não é feito com os quatro punções ao mesmo tempo. O design fora feito para que não haja mais de um punção cortando o PVC simultaneamente, vide figura abaixo.

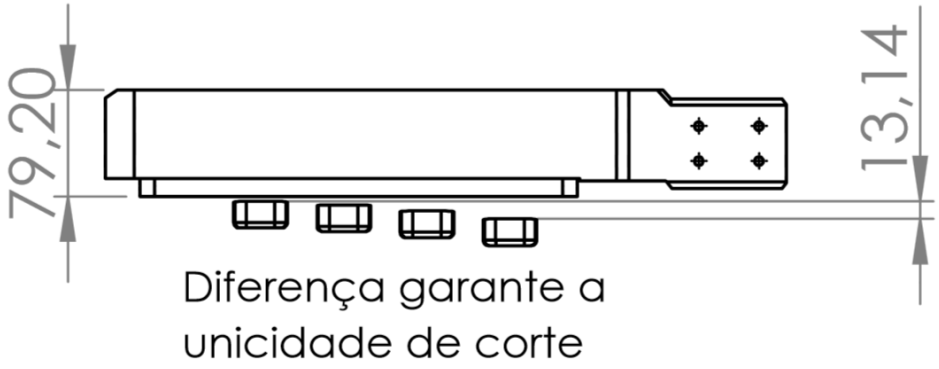


Figura 14 - Unicidade de corte

A mesma mostra notoriamente a espessura de uma matriz de corte e o intervalo entre o primeiro e o último punção, demonstrando que devido à essa geometria, não existirão cortes simultâneos feito por punções, reduzindo assim, a solicitação final no mecanismo de corte. Após cada corte, o material que fora cortado (sobras da estampagem) é expurgado no fim do curso dos punções e depositado em tonéis para posterior reciclagem e reuso.

Figura 15 - Material cortado, coletado para reuso

❖ PARÂMETROS DE TRABALHO

O sub-sistema de estampagem da máquina deve operar conforme a demanda gerada. Tendo em vista que o mesmo deve suprir a demanda de duas linhas produzindo à máxima capacidade, temos a seguir uma tabela contendo os principais parâmetros de trabalho do sub-grupo.

Tabela 3 - Parâmetros de trabalho do sistema de estampagem

Parâmetros de trabalho		
Velocidade [m/s]	**Curso de estampagem[mm]**	**Tempo de ciclo [s]**
0,45	330	1,47

❖ COMPONENTES

a) MATRIZ DE CORTE

O conjunto de matrizes de corte é composto por três peças principais. Estas peças detém cavidades internas de mesma geometria dos punções de corte (com folga), que tem como função conjunta de realizar o corte por estampagem. As arestas dos punções são periodicamente afiadas para que a função de corte seja executada com maior facilidade.

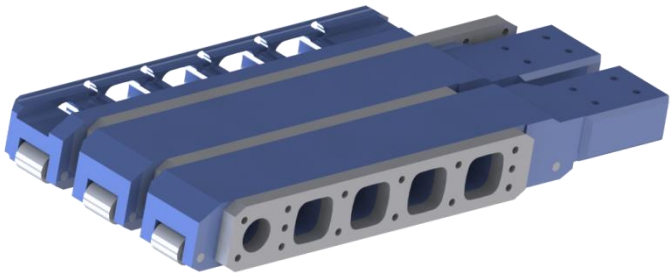


Figura 16 - Matrizes de corte em vista isométrica

A matriz de corte detém 5 cavidades diferentes. Dentre elas, uma de perfil circular e quatro com o perfil de corte. O primeiro perfil circular é a cavidade que funciona como um furo-guia, sendo essa a primeira parte do carro de furação a adentrar a matriz de corte, garantindo o alinhamento próprio entre as cavidades da matriz de corte e os punções. As matrizes de corte detém 2 roletes posicionados em suas extremidades para que facilite a entrada do perfil nas guias internas.

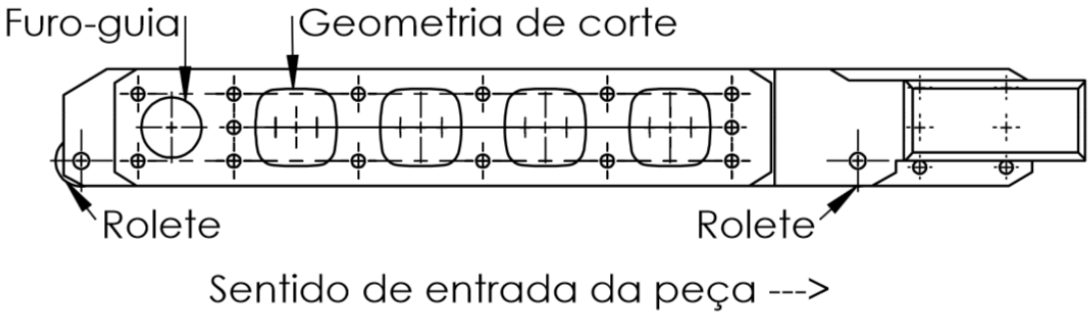


Figura 17 - Vista lateral das matrizes de corte

b) PUNÇÕES DE CORTE

Os punções de corte são peças de aço inox 420 que detém o mesmo formato das cavidades da matriz de corte. Os mesmos são fixados em hastes metálicas que, por sua vez são aparafusadas no carro de estampagem. Os quatro punções são defasados 2.76 mm uns dos outros para garantir que não ocorram cortes de simultâneos no perfil, garantindo que somente um punção seja solicitado por vez.

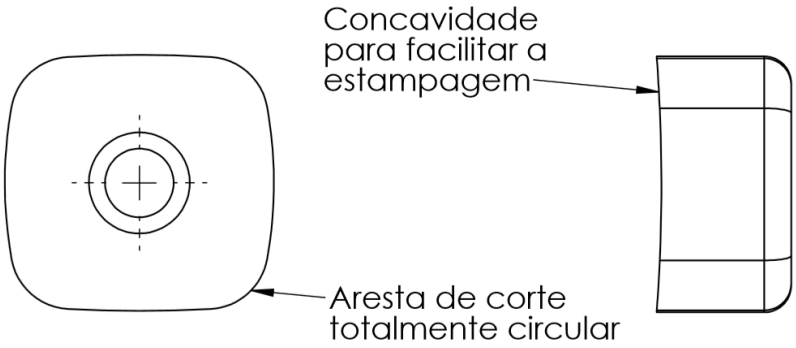


Figura 18 - Vista frontal e lateral do punção de corte

A geometria da aresta de corte é composta somente por arcos de forma que a mesma evite pontos de concentração de tensão. Concentradores de tensão no processo de estampagem podem fazer com que tenham aparecimento de trincas no PVC.

3.1.2. SUB-SISTEMA DE TRANSLAÇÃO

❖ FUNCIONAMENTO

O mecanismo de translação tem como principal função posicionar a peça para que o carro de furação execute sua função. Ao operador posicionar a peça na entrada da máquina, o sensor de presença faz com que o sistema de translação fixe a peça (através da pinça) e puxe ela através das guias internas até que toda a peça seja inserida na máquina. Vide figura 19.

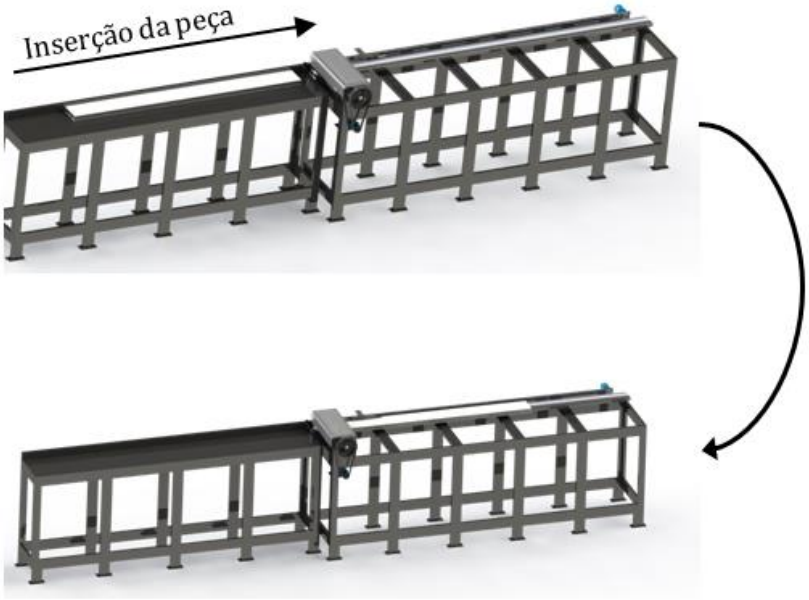


Figura 19 - Inserção da peça nas guias internas da máquina

É válido ressaltar que as três guias são independentes entre si, sendo somente pinadas na parte traseira e com o movimento que permite maior flexibilidade no encaixe das paredes internas do perfil entre as guias de translação. Após o sensor de presença verificar que não existe mais peça a ser puxada, o mecanismo pára o movimento e começa a transladar a peça em sentido contrário e em passos fixos que são sucedidos por cortes do carro de estampagem. Após sucessivos passos, o processo de corte é finalmente finalizado e a operação se repete novamente. O mecanismo é composto por duas coroas e uma corrente. Esta corrente é fixa ao carro de furação que por sua vez é acoplado a uma guia lateral para preservar o movimento em uma direção exclusiva (perpendicular à direção de corte). Uma coroa é acionadora e a outra acionada. A acionadora é acoplada ao eixo de um servo motor que se encontra no canto direito mais extremo da maquina.

❖ PARÂMETROS DE TRABALHO

O sub-sistema de translação deve ter sua velocidade otimizada ao máximo, tendo em vista que o mesmo tem grande contribuição no total de tempo gasto pela máquina em um ciclo. Seguem na tabela abaixo informações relevantes sobre a operação do mecanismo de translação.

Tabela 4 - Parâmetros de trabalho do sistema de translação

Parâmetros de trabalho			
Velocidade [m/s]	**Curso máximo de translação [mm]**	**Tempo máximo de ciclo [s]**	**Passo por ciclo de estampagem [mm/ciclo]**
0,75	4000	10,67	247,95

❖ COMPONENTES

a) PINÇA

A pinça é o mecanismo responsável pela fixação do perfil de PVC no carro de translação. A mesma é concebida por um simples conceito de deformação elastica de uma haste metálica. É composta por um anteparo e uma garra. Esta garra é pinada em um cilindro pneumático que, quando acionado, puxa a mesma para trás, fazendo com que haste sofra um "dobramento" -no regime elástico - e fixe a parede do perfil de PVC com o contato gerado com o anteparo.

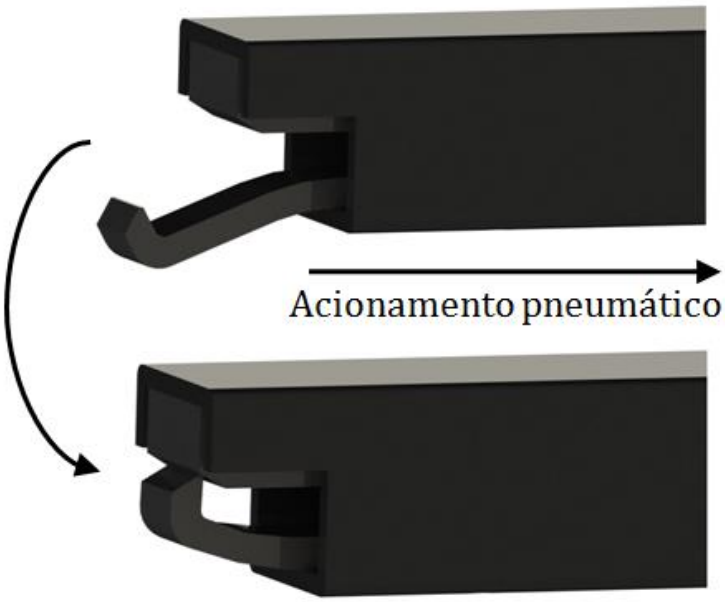


Figura 20 - Movimento de fixação da pinça

A figura 21 acima representa o a dinâmica do mecanismo de fixação com a ilustração do dobramento da garra e a fixação da peça.

Figura 21 - vista isométrica da pinça não acionada

b) GUIAS INTERNAS

As guias internas são responsáveis por dar direção à peça de PVC que é inserida na máquina. Cada guia é composta por uma matriz de corte (que também funcionam como guia) e as hastes extensoras, que funcionam como um prolongamento da matriz de corte. Cada guia é alojada em uma cavidade do perfil e assim a peça envolve as três guias externamente e é inserida na peça.

Figura 22 - Alojamento das matrizes de corte nas cavidades do perfil

3.2. ESPECIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DE MÁQUINA

A especificação dos elementos de máquina deve ser feita de maneira que se adapte melhor às condições de projeto prescritas. Contudo, para que o dimensionamento dos motores elétricos sejam feitos, primeiramente deve-se especificar cada elemento de máquina que compuser o mecanismo de acionamento em questão.

3.2.1. SISTEMA DE FURAÇÃO

❖ POLIAS/CORREIA

Para especificar as polias foi estipulado uma razão de transmissão de i ~ 3,27. Com isso, dentre as opções disponíveis no catálogo **Browning**, a que mais se adapta à geometria disponível de projeto é:

Tabela 5 - Tabela de polias **Browning**

Nominal Ratio	Combination Driver Number Grooves	Combination Driven Number Grooves	Nominal Center Distances using Browning® Gearbelt® 420 H	450 H	480 H	510 H	540 H	570 H	600 H	630 H	660 H	700 H	750 H	800 H	850 H
2.59	37	96	—	—	—	—	—	—	12.5	14.1	15.7	17.8	20.3	22.9	25.5
2.61	23	60	10.2	11.8	13.3	14.8	16.4	17.9	19.4	20.9	22.4	24.5	27.0	29.5	32.0
2.62	16	42	13.6	15.1	16.6	18.1	19.6	21.2	22.7	24.2	25.7	27.7	30.2	32.7	35.2
2.62	32	84	—	—	—	10.2	11.8	13.4	14.9	16.5	18.0	20.1	22.6	25.2	27.7
2.64	14	37	14.5	16.0	17.5	19.0	20.5	22.1	23.6	25.1	26.6	28.6	31.1	33.6	36.1
2.65	17	45	13.1	14.6	16.1	17.6	19.1	20.6	22.1	23.6	25.2	27.2	29.7	32.2	34.7
2.67	18	48	12.5	14.1	15.6	17.1	18.6	20.1	21.6	23.1	24.6	26.6	29.2	31.7	34.2
2.67	27	72	—	9.5	11.1	12.6	14.2	15.7	17.3	18.8	20.3	22.3	24.9	27.4	29.9
2.67	36	96	—	—	—	—	—	—	12.6	14.2	15.8	17.9	20.5	23.0	25.6
2.67	45	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15.8	18.4	21.0
2.69	16	43	13.5	15.0	16.5	18.0	19.5	21.0	22.5	24.0	25.5	27.5	30.1	32.6	35.1
2.71	14	38	14.4	15.9	17.4	18.9	20.4	21.9	23.4	24.9	26.4	28.4	30.9	33.4	36.0
2.71	31	84	—	—	—	10.3	11.9	13.5	15.0	16.6	18.1	20.2	22.7	25.3	27.8
2.73	22	60	10.3	11.9	13.4	14.9	16.5	18.0	19.5	21.0	22.6	24.6	27.1	29.6	32.1
2.73	44	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15.9	18.5	21.1
2.74	35	96	—	—	—	—	—	11.1	12.7	14.3	15.9	18.0	20.6	23.1	25.7
2.75	16	44	13.3	14.8	16.4	17.9	19.4	20.9	22.4	23.9	25.4	27.4	29.9	32.4	34.9
2.77	26	72	—	9.6	11.2	12.7	14.3	15.8	17.4	18.9	20.4	22.5	25.0	27.5	30.0
2.79	14	39	14.2	15.8	17.3	18.8	20.3	21.8	23.3	24.8	26.3	28.3	30.8	33.3	35.8
2.79	43	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.0	18.6	21.3
2.80	30	84	—	—	—	10.4	12.0	13.6	15.1	16.7	18.3	20.3	22.9	25.4	27.9
2.81	16	45	13.2	14.7	16.2	17.7	19.2	20.8	22.3	23.8	25.3	27.3	29.8	32.3	34.8
2.82	17	48	12.6	14.2	15.7	17.2	18.7	20.2	21.7	23.2	24.8	26.8	29.3	31.8	34.3
2.82	34	96	—	—	—	—	—	11.2	12.8	14.4	16.0	18.1	20.7	23.2	25.8
2.86	14	40	14.1	15.6	17.1	18.6	20.1	21.7	23.2	24.7	26.2	28.2	30.7	33.2	35.7
2.86	21	60	10.4	12.0	13.5	15.1	16.6	18.1	19.6	21.2	22.7	24.7	27.2	29.7	32.2
2.86	42	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.1	18.7	21.4
2.88	25	72	—	9.7	11.3	12.8	14.4	15.9	17.5	19.0	20.5	22.6	25.1	27.6	30.1
2.90	29	84	—	—	—	10.5	12.1	13.7	15.3	16.8	18.4	20.4	23.0	25.5	28.0
2.91	33	96	—	—	—	—	—	11.3	12.9	14.5	16.1	18.2	20.8	23.3	25.9
2.93	14	41	14.0	15.5	17.0	18.5	20.0	21.5	23.0	24.5	26.0	28.0	30.6	33.1	35.6
2.93	41	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.4	16.2	18.8	21.5
3.00	14	42	13.8	15.3	16.9	18.4	19.9	21.4	22.9	24.4	25.9	27.9	30.4	32.9	35.4
3.00	16	48	12.7	14.3	15.8	17.3	18.8	20.3	21.9	23.4	24.9	26.9	29.4	31.9	34.4
3.00	20	60	10.5	12.1	13.6	15.2	16.7	18.2	19.7	21.3	22.8	24.8	27.3	29.8	32.3
3.00	24	72	—	9.8	11.4	12.9	14.5	16.1	17.6	19.1	20.7	22.7	25.2	27.7	30.3
3.00	28	84	—	—	—	10.6	12.2	13.8	15.4	16.9	18.5	20.5	23.1	25.6	28.2
3.00	32	96	—	—	—	—	—	11.4	13.0	14.6	16.2	18.3	20.9	23.5	26.0
3.00	40	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.5	16.3	18.9	21.6
3.07	14	43	13.7	15.2	16.7	18.2	19.7	21.3	22.8	24.3	25.8	27.8	30.3	32.8	35.3
3.08	39	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.6	16.4	19.0	21.7
3.10	31	96	—	—	—	—	—	11.5	13.1	14.7	16.3	18.4	21.0	23.6	26.1
3.11	27	84	—	—	—	10.7	12.3	13.9	15.5	17.0	18.6	20.6	23.2	25.7	28.3
3.13	23	72	8.2	9.9	11.5	13.0	14.6	16.2	17.7	19.2	20.8	22.8	25.3	27.9	30.4
3.14	14	44	13.5	15.1	16.6	18.1	19.6	21.1	22.6	24.1	25.6	27.7	30.2	32.7	35.2
3.16	19	60	10.6	12.2	13.7	15.3	16.8	18.3	19.9	21.4	22.9	24.9	27.4	30.0	32.5
3.16	38	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.7	16.5	19.2	21.8
3.20	30	96	—	—	—	—	—	11.6	13.2	14.8	16.4	18.5	21.1	23.7	26.2
3.21	14	45	13.4	14.9	16.4	18.0	19.5	21.0	22.5	24.0	25.5	27.5	30.0	32.5	35.0
3.23	26	84	—	—	—	10.8	12.4	14.0	15.6	17.1	18.7	20.7	23.3	25.8	28.4
3.24	37	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.8	16.6	19.3	21.9
3.25	48	156	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.27	22	72	8.3	10.0	11.6	13.2	14.7	16.3	17.8	19.3	20.9	22.9	25.4	28.0	30.5
3.31	29	96	—	—	—	—	—	11.7	13.3	14.9	16.5	18.6	21.2	23.8	26.3
3.33	18	60	10.7	12.3	13.9	15.4	16.9	18.5	20.0	21.5	23.0	25.0	27.6	30.1	32.6

Com isso, temos que as polias escolhidas, juntamente com a correia correspondente, são:

POLIAS : Motora - **72XLB037** Movida - **22XLB037**

CORREIA : Modelo **570H**

- **FUSO/CASTANHA**

O sistema de transmissão de potência fora escolhido como fuso / castanha devido a necessidade de mudança de movimento rotacional para translação linear (estampagem). Dos possíveis tipos de parafusos de potência, o conjunto fuso / castanhas de esferas se sobressaiu por algumas razões segundo NORTON(2013): melhor eficiência mecânica (~98%); para um mesmo diâmetro de fuso, resiste à esforços maiores; maior vida útil. Primeiramente fez-se uma pesquisa de mercado dentre os possíveis fornecedores.

Após isso, o fornecedor com o preço mais em conta foi o **RAC Movimentação Linear LTDA.** Com isso, fez-se uma análise de acordo com a capacidade de carga axial do equipamento e escolheu-se o conjunto **SFE 5050**. Adotou-se este modelo também por adequações geométricas e características da rosca como avanço e angulo de avanço. Segue tabela do fornecedor:

Tabela 6 - Tabela dos modelos de conjuntos fuso/castanha de esferas

Modelo	Dimensões (mm)															
	d	l	Da	D	A	E	B	L	X	W	H	Q	n	Ca	Coa	K
SFE 1616	16	16	2.778	32	53	9.6	10	38	4.5	42	34	M6	1.7x2	650	1280	19
SFE 2020	20	20	3.175	39	62	12	10	47	5.5	50	41	M6	1.7x2	980	2140	25
SFE 2525	25	25	3.969	47	74	14	12	57	6.6	60	49	M6	1.7x2	1470	3350	31
SFE 3232	32	32	4.762	58	92	17	12	71	9	74	60	M6	1.7x2	2140	5260	40
SFE 4040	40	40	6.350	73	114	19.5	15	89	11	93	75	M6	1.7x2	3410	8820	49
SFE 5050	50	50	7.938	90	135	21.5	20	107	14	112	92	M6	1.7x2	5100	13800	60

Onde **d** é o diâmetro do fuso [mm], **l** o avanço[mm] e **Ca** a capacidade de carga dinâmica [Kgf].

❖ ROLAMENTO FUSO

Tendo em vista que o conjunto fuso / castanha gera um esforço axial na estrutura, temos que o conjunto não pode ficar sustentado por puramente mancais de deslizamento. Como o esforço mais relevante do contexto é o axial e que os outros - radial e tangencial - são desprezíveis perto do primeiro, temos que é necessária a procura de um rolamento axial de esferas de escora simples. Após pesquisa de preço no mercado, a empresa SKF se sobressaiu perante às outras sendo a mesma escolhida para o projeto. Analisando a tabela de rolamentos, temos que o rolamento **SKF 51110** é o que mais se aproxima da análise de esforço axial que posteriormente será apresentado. Segue tabela abaixo dos rolamentos SKF:

Tabela 7 - Tabela de mancais de rolamento SKF

Dimensões principais				Classificações de carga básica		Limite de carga de fadiga	Classificações de velocidade		Designações	
				dinâmica	estática		Velocidade de referência	Velocidade-limite	Rolamento	Arruela de assento
d	D	H	H_1	C	C_0	P_u				
mm				kN		kN	r/min			
50	78	23.5	26	49.4	116	4.3	3200	4500	**53210**	**U 210**
50	110	45.6	50	159	340	12.5	1900	2600	**53410**	**U 410**
50	70	14		27	75	2.8	4300	6300	**51110**	
50	78	22		49.4	116	4.3	3400	4500	**51210**	
50	110	43		159	340	12.5	2000	2800	**51410**	
50	95	31		81.9	170	6.3	2600	3600	**51310**	
50	95	34.3	37	81.9	170	6.3	2400	3400	**53310**	**U 310**

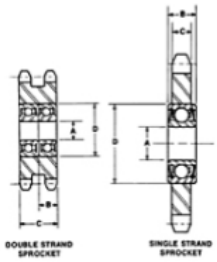
Onde **d** é o furo interno, **C** a carga axial dinâmica suportada, **H** a altura e **D** diâmetro externo.

3.2.2. Sistema de translação

❖ Coroas/corrente

Assim como todos os elementos de máquina, temos que as duas coroas e a corrente foram primeiramente, dimensionadas (geometria inicial) no projeto e após isso, uma pesquisa de mercado fora feita para análise de preço. Dentre os fornecedores, temos que o fornecedor com o preço mais em conta fora o **DaltonGear**. Com isso, temos que a corrente escolhida fora a **DG 50A17**, segundo tabela do fabricante:

Tabela 8 - Tabela de coroas DaltonGear



Items	105-1/2 Ball Bearing Idler Sprockets	205-1/2 Ball Bearing Idler Sprockets	105-5/8 Ball Bearing Idler Sprockets	205-5/8 Ball Bearing Idler Sprockets
Sprocket Number	50A17	D50A17	50A17	D50A17
A.S.A. Chain Number	50	50-2	50	50-2
Pitch	5/8 Inch			
No. of Teeth	17			
A - Stock Bores	1/2 Inch	1/2 Inch	5/8 Inch	5/8 Inch
B - Bearing Width	7/16 Inch	N/A	7/16 Inch	N/A
C - Sprocket Width	.343 Inch	1.045 Inch	.343 Inch	1.045 Inch
D - Bearing OD	1-3/8 Inch			
Bearing Radial Load Rating @ 500 rpm	476	962	476	962

A escolha da coroa necessariamente não leva a escolha de uma só corrente, tendo em vista que a mesma pode ser de várias formas. Com isso, a escolha do modelo da corrente fora feito de forma que o modelo E mais se encaixe com o projeto. Segue abaixo figura com os modelos de corrente e a respectiva tabela.

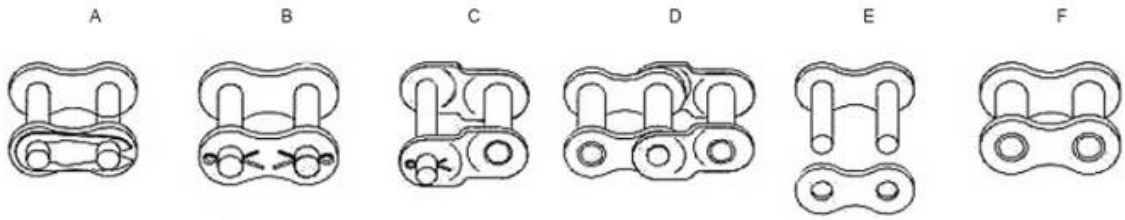


Figura 23 - Tipos de elos que compõem a corrente

Tabela 9 - Tabela de correntes DaltonGear

SINGLE STRAND

Intl. Ref. No.	ROMBO Chain No.	Pitch (P)	Width between Inner Plates (W) (Min)	Roller Dia (D) (Max)	Bearing Pin Dia (d) (Max)	Plate Height		Plate Thickness		Width Over Bearing Pin (A) (Max)	Width Over Joint Fasteners (B) (Max)	Proje -cted Bearing Area Sq.cm	Avg. Weight Per Metre (Kg)	Tensile Strength (KN) (Min)	Tensile Strength (KN) (Avg.)	Spares Availability
						IP (H1) (Max)	OP (H2) (Max)	IP (T1)	OP (T2)							
D25-1	B 04A 01	6.35	3.18	3.30*	2.31	5.80	5.25	0.75	0.75	7.80	9.60	0.11	0.13	3.47	3.89	A,B,C,D
35-1	B 06A 01	9.525	4.68	5.08*	3.59	8.65	7.48	1.25	1.25	12.18	13.18	0.27	0.34	7.83	10.17	A,B,C,D
40-1	D 08A 01	12.70	7.85	7.92	3.96	12.00	10.40	1.50	1.50	17.80	21.70	0.44	0.63	14.10	18.87	A,B,C,D
41-1	D 08D 01	12.70	6.25	7.77	3.60	9.55	8.26	1.25	1.25	14.80	18.70	0.33	0.43	6.67	8.27	A,B,C,D
50-1	D 102 01	15.875	9.40	10.16	5.08	15.00	13.00	2.00	2.00	21.80	25.90	0.71	1.04	22.20	30.40	A,B,C,D
60-1	D 121 01	19.05	12.58	11.91	5.94	18.00	16.60	2.39	2.39	26.90	31.50	1.04	1.52	31.80	41.70	A,B,C,D
80-1	D 161 01	25.40	15.75	15.88	7.92	24.10	20.80	3.15	3.15	33.50	38.90	1.77	2.58	56.70	72.60	A,B,C,D
100-1	D 201 01	31.75	18.90	19.05	9.53	30.10	26.00	4.00	4.00	41.10	47.20	2.59	3.85	88.50	110.40	A,B,C,D
120-1	D 241 01	38.10	25.22	22.23	11.10	36.20	31.20	4.70	4.70	50.80	57.40	3.90	5.61	127.00	144.65	B,C,D
140-1	D 281 01	44.45	25.22	25.40	12.70	42.20	36.40	5.56	5.56	54.90	62.30	4.67	7.24	172.40	190.80	B,C,D
160-1	D 321 01	50.80	31.55	28.57	14.27	48.20	41.60	6.30	6.30	65.50	73.40	6.38	9.91	226.80	253.40	B,C,D
180-1	D 361 01	57.15	35.48	35.71	17.46	54.31	46.86	7.14	7.14	73.90	83.00	9.38	13.23.	280.20	300.00	B,C,D
200-1	D 401 01	63.50	37.85	39.68	19.84	60.30	52.00	7.90	7.90	80.30	90.30	10.75	16.26	353.80	388.10	B,C,D
240-1	D 481 01	76.20	47.35	47.63	23.80	72.30	62.40	8.80	8.80	95.50	105.50	15.90	23.63	520.40	524.80	B,C,D

Portanto, a corrente escolhida fora a **DG 50-1** do modelo.

3.3. DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DOS SERVOS-MOTORES

3.3.1. SERVO MOTOR ACIONADOR DO SISTEMA DE TRANSLAÇÃO

❖ **MEMORIAL DE CÁLCULO**

a) SERVO-MOTOR TRANSLAÇÃO

Para dimensionar um servo-motor elétrico dois principais parâmetros devem ser mensurados: Torque e velocidade angular. Para tanto, é preciso fazer uma análise cinemática (velocidade angular) e uma análise de esforços do mecanismo (torque). Portando, para maior organização, segrega-se o dimensionamento entre estas duas áreas.

- **Cinemática**

Tendo em vista que sabemos a velocidade de translação linear desejada para atender a demanda industrial, podemos descobrir as velocidades angulares dos elementos do mecanismo. Segue abaixo croqui do mecanismo com as principais velocidades.

Figura 24 - Diagrama de velocidades do sistema de translação

Segundo MERIAN (2002), temos que, para um solido em rotação não acelerada (W constante) com um raio R, a relação entre velocidade linear e velocidade angular é dada por:

$$V_{translação} = W_{coroa} . R_{coroa}$$

Com isso obtém-se as velocidades $w_3 = w_4 = w_{coroa}$. A partir disso, é possível descobrir a velocidade através da razão de transmissor do moto-redutor. Segundo SHIGLEY (2005), temos que a velocidade angular da saída e da entrada em um redutor pode ser estimada através da seguinte equação:

$$W_{coroa} = i \, . W_{motor}$$

Onde *i* é o fator de redução do moto-redutor do mecanismo. Com isso, a velocidade angular necessária para especificação do servo motor é de

$$W_{motor} = 954.93 \, RPM$$

- **Dinâmica**

A análise dos esforços no mecanismo requer uma análise um pouco mais profunda. Neste sub-sistema deve-se considerar as forças resistivas devido ao atrito e também considerar os efeitos inerciais. Após mensurar as forças resistivas, estima-se o torque necessário na coroa, e conseqüentemente no servo-motor também. Para tal, segue o esquema de forças atuantes no mecanismo de translação:

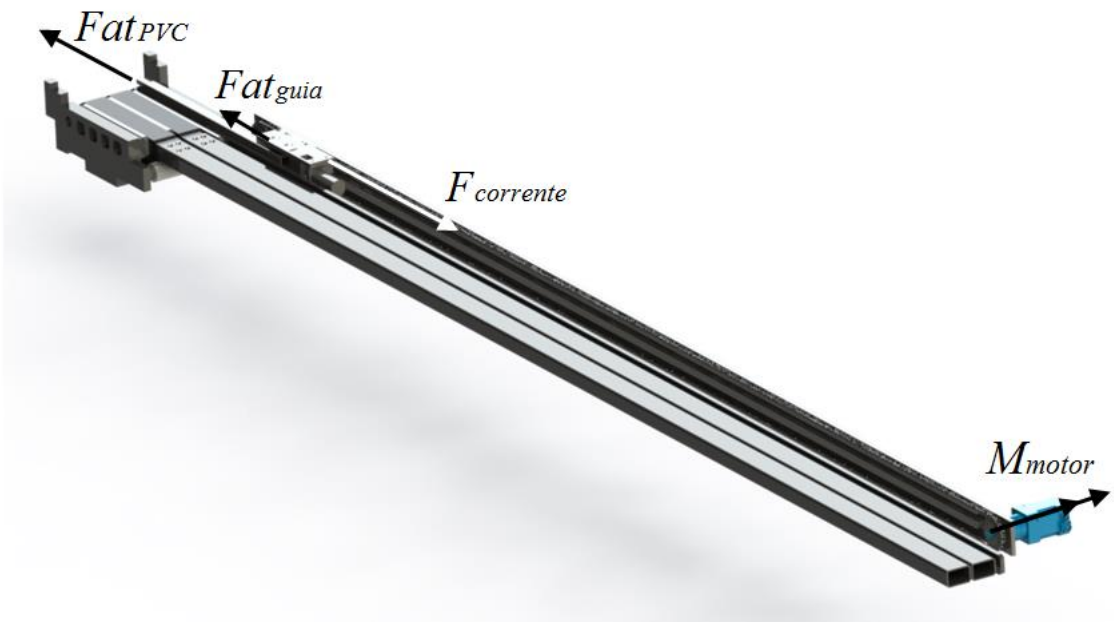


Figura 25 - Diagrama de esforços do sistema de translação

Onde o carro de translação sofre uma aceleração de $a = 30\ m/s^2$ para alcançar a velocidade de $V_{translação} = 0{,}75\ m/s$ num intervalo de tempo de 0,025 segundos. Portanto, para correlacionar tais parâmetros, segundo MERIAN,(2002), em um movimento acelerado, temos a equação vigente:

$$\sum \mathrm{F} = m\,.\,a$$

$$\sum \mathrm{F} = F_{corrente} - Fat_{PVC-guias} - Fat_{guias} = m\,.\,a \qquad (1)$$

Onde os valores das forças resistivas são desconhecidas. Segundo CES (2015) o coeficiente de atrito cinético entre o PVC e o alumínio é de $\mu = 0{,}2$. Para mensurar cada força resistiva, deve-se analisar caso a caso.

$\boldsymbol{Fat_{PVC-guias}}$:

Para estimar o atrito entre a peça que desliza sobre as guias internas é uma tarefa razoavelmente complexa. É possível estimar qual a região de contato entre a peça plástica e a guia de alumínio, o que pode colaborar para o equacionamento do atrito. Contudo, segundo HUTCHINGS (1992), temos que para um tribo sistema, a área não é necessariamente proporcional à força de atrito. Com isso, a escolha conservadora prevalece estimando a força de atrito a partir de uma normal equivalente ao peso total de uma peça. Tendo em vista que a máquina tem limitação de comprimento de peça de 4m, temos que o peso total do perfil mais pesado seria de

$$W_{peça} = L_{peça}.w_{linear} = 4\ x\ 2 = 8\ Kg$$

Para tal, a força de atrito resultante será de

$$Fat_{PVC-guias} = N.\mu = (m.g).\mu$$

$$\boldsymbol{Fat_{PVC-guias}\ =\ 15{,}70\ N}$$

$\boldsymbol{Fat_{guias}}$:

Assim como na estimativa da força de atrito entre o PVC e as guias internas, temos que o caso do atrito nas guias laterais não será possível mensurar a influência da área de contato na resultante de atrito. O carro de estampagem corre através da guia lateral em um contato lubrificado. Com isso, segundo NORTON (2013), temos que para uma interface de contato é metal-metal lubrificado, o coeficiente de atrito é de $\mu = 0{,}15$. Sendo a força normal a reação da guia com o peso do carro de estampagem, temos que

$$N = m_{carro\ estmp}.g\ =\ 12{,}94\ \ x\ 9{,}81\ =\ 126{,}94\ N$$

$$Fat_{guias} = \mu . N = 0{,}15\ x\ 126{,}94\ =\ \mathbf{19{,}05\ N}$$

Com todas as forças de atrito mensuradas, temos o valor de $F_{corrente}$ e com ela podemos descobrir o torque necessário na coroa. Segundo a equação 1,

$$\boldsymbol{F_{corrente}\ =\ 663{,}16\ N}$$

Segundo SHIGLEY (2005), o torque gerado por uma força tangencial em uma coroa é descrito por

$$M_{coroa} =\ F_{corrente}\ .R_{coroa}$$

Sendo $R_{coroa} =\ 75\ mm$,

$$M_{coroa}\ =\ 7{,}24\ N.m$$

Tendo o valor do torque na coroa, segundo SHIGLEY (2005), para uma redução temos:

$$M_{motor}\ =\ \frac{M_{coroa}}{i}$$

Para uma redução de *i* = 10,

$$\boldsymbol{M_{motor}\ = 7{,}24\ N.m}$$

Com a obtenção do torque necessário no motor, temos que os parâmetros necessários para especificação do servo-motor de translação foram mensurados ($W_{motor}\ e\ M_{motor}$). Todos os cálculos acima foram feitos através do programa Excel e estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 10 - Tabela com INPUTS e OUTPUTS do dimensionamento do sistema de translação

SISTEMA DE TRANSLAÇÃO						
INPUTS						
Vtrans [m/s]	**Dcoroa [m]**	**i (MR)**	**Eficiência coroa (%)**	**Fcorrente [N]**	**Fat total [N]**	**Fat pvc-guias [N]**
0,75	0,15	10	97	663,16	34,75	15,70
FS	**m(pvc)[Kg]**	**Wcoroa [rad/s]**	**Fat guias [N]**	**m (carro) [Kg]**	**a [m/s²]**	
1,5	8	10	19,05	12,947	30	
OUTPUTS						
Wmotor [rad/s]	**Wmotor [RPM]**	**Mmotor[N.m]**	**Pot [W]**			
100	954,93	7,24	723,67			

b) CILINDRO PNEUMÁTICO DE ACIONAMENTO DA PINÇA

O dimensionamento do cilindro pneumático deve ser feito de maneira que uma vez que a pinça travou a peça, a mesma não pode ser solta independente dos esforços externos. Portanto, para fazer essa análise, segue um croqui com os esforços atuantes na pinça no estado estático, primeiramente.

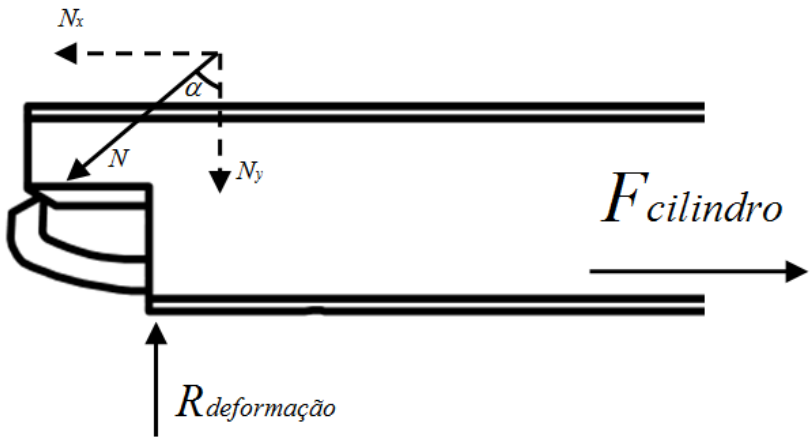


Figura 26 - Diagrama de corpo livre da garra

Logo, segundo MERIAN (2002), o somatório de forças em x:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{cilindro} = N_x = N.cos\alpha \quad (2)$$

Onde α é o angulo do chanfro do anteparo da pinça. Analisando os esforços no movimento de translação, temos que a componente horizontal do atrito gerado por N deve ser suficiente para resistir aos efeitos do atrito entre a peça de PVC e as guias internas. Logo,

$$Fat = \mu.N \quad (3)$$

$$Fat_x = Fat.cos\alpha \quad (4)$$

Isolando N em (2), inserindo-o em (3) e combinando-a com a equação (4), temos a equação reduzida

$$F_{cilindro} = \frac{tg(\alpha)\ .Fat_{PVC-guias}}{\mu}$$

$$\boldsymbol{F_{cilindro} = 77,79\ N}$$

- **ESPECIFICAÇÃO**

a) SERVO-MOTOR TRANSLAÇÃO

Com a obtenção da velocidade angular e o torque requisitado pelo motor, o procedimento de especificação pode ser feito. Para uma escolha conservadora segundo NORTON (2013), tendo em vista que existe uma razoável incerteza de alguns parâmetros no equacionamento, adota-se um **fator de serviço 1,5** para a especificação do servo-motor.

Portanto, o momento necessário para executar o movimento será:

$$FS = \frac{M_{motor}}{M_{calculado}}$$

$$\boldsymbol{M_{motor} = 1,5\ x\ 4,86 = 7,24\ N.m}$$

Assim como todo componente analisado neste projeto, fora feito uma pesquisa de mercado no quesito preço. Como resultado a MITSUBISHI se sobressaiu perante os

outros concorrentes sendo ela escolhida como fornecedora dos servo - motores. Segundo MITSUBISHI (2016), temos os catálogos de servos-motores:

Model	Output [kW]	Reduction Gear Model	Reduction Ratio	Brake Static Friction Torque [N・m]	Inertia Moment J[×10^{-4}kg・m^2]	Mass [kg]
HC-SFS102BG5・HC-SFS1024BG5	1.0	HPG-20A-05-F0KSAWS-S	1/5	8.3	16.4	11.8

[Unit: mm]

Figura 27 - Tabela do catálogo dos servos motores MITSUBISHI

O modelo que mais se adéqua aos parâmetros encontrados é, portanto, o modelo **HC-SFS102BG5** com potencia de **1 kW**.

b) CILINDRO PNEUMÁTICO DE ACIONAMENTO DA PINÇA

Após descobrir o esforço pontual necessário na haste do cilindro pneumático, é possível especificá-lo a partir desse requisito de projeto. Como já fora citado anteriormente, tendo em vista que existem muitas incertezas em alguns parâmetros de análise, escolheu-se um coeficiente de segurança 2. Com isso, temos

$$CS = \frac{F_{cilindro}}{F_{calculado}}$$

$$F_{cilindro} = 2\ x\ 77{,}99 = \mathbf{155{,}98\ N}$$

Sabendo que existem algumas restrições geométricas de projeto para a escolha deste cilindro, analisa-se o catálogo do fabricante **Parker** e adota-se como mais adequado o cilindro **P1M020VDMA9G200.**

Tabela 11 - Catálogo Parker de cilindros pneumáticos

Características técnicas	
Diâmetros	12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80 e 100 mm
Tipo	Dupla ação
Faixa de pressão	Até 10 bar
Faixa de temperatura	-20°C a +80°C (Standard) -10°C a +150°C (FKM)
Fluido	Ar comprimido filtrado, lubrificado ou não

3.3.2. DISPOSITIVO ACIONADOR DO MECANISMO DE ESTAMPAGEM

❖ **MEMORIAL DE CÁLCULO**

a) SERVO-MOTOR ELÉTRICO

Assim como no dimensionamento do sistema de translação, temos que para dimensionar o servo-motor acionador do sistema, deve-se obter os valores da velocidade angular e torque no mesmo. Para tal, deve-se fazer uma análise cinemática e uma análise dos esforços separadamente.

- **Cinemática**

Sabendo que temos o valor da velocidade linear de estampagem (translação da castanha), é possível obter todas as velocidades angulares. Abaixo segue um croqui com o mecanismo de estampagem juntamente com suas velocidades especificadas para cada elemento.

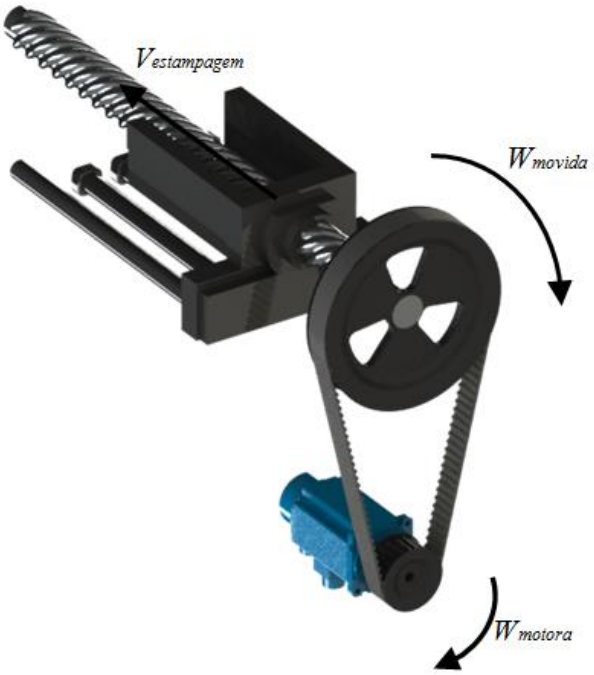


Figura 28 - Diagrama de velocidades do sistema de estampagem

Primeiramente, deve-se obter a velocidade angular de rotação do fuso. Para tal, segundo SHIGLEY (2005), temos que a relação entre velocidade linear e angular para um fuso com avanço A= 50 mm/revolução,

$$V_{castanha} = A.W_{fuso}$$

Logo, sabendo que a polia 1 está acoplada ao fuso, temos que a velocidade angular de ambos é a mesma. Com isso, segundo SHIGLEY (2005), temos que a relação entre velocidades angulares entre as polias motora e movida de um sistema de polias/correia é descrito como:

$$W_{movida} = i.W_{motora}$$

Logo,

$$W_{motora} = \boldsymbol{W_{motor} = 1765,8\ RPM}$$

- **Dinâmica**

Neste sub-sistema uma análise mais minuciosa é requerida. No conjunto fuso-castanha considera-se como esforços resistivos a força necessária para o corte de uma parede de PVC, o atrito lubrificado das guias laterais e os efeitos inerciais. Descobrindo a magnitude da força axial necessária na castanha, consegue-se obter os torques e, conseqüentemente, o torque no servo-motor. Para uma melhor visualização, tem-se o diagrama principal dos esforços nos mecanismos em vista isométrica:

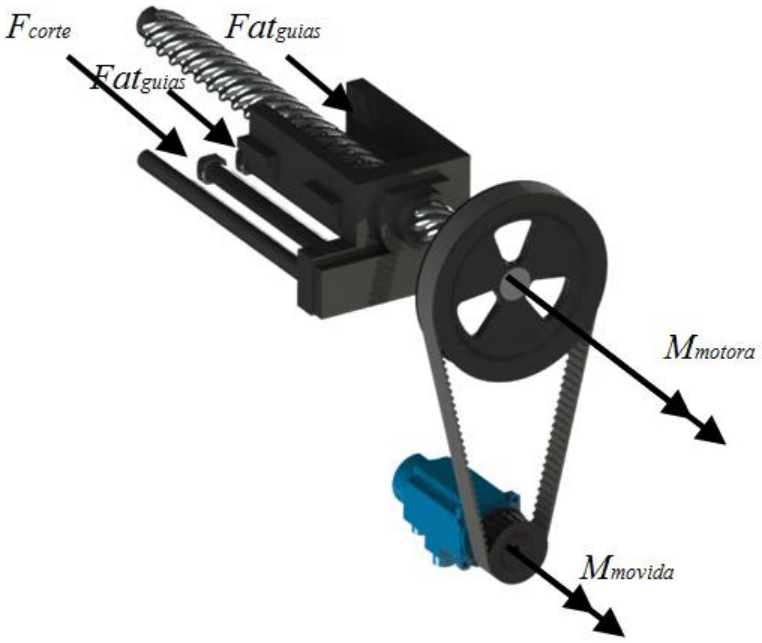


Figura 29 - Diagrama de esforços e torques do sistema de estampagem

Portanto, sabendo que o mecanismo será submetido à uma aceleração na direção axial do fuso de $a = 30\ m/s^2$ para atingir a velocidade de $V_{estampagem} = 0{,}45\ m/s$ em um período de tempo de 0,025 segundos, o somatório de forças, segundo MERIAN(2002)

$$\sum \mathrm{F} = m\,.\,a$$

$$\sum \mathrm{F} = F_{castanha} - F_{corte} - Fat_{guias} = m\,.\,a$$

Para obter a força axial na castanha, deve-se obter o valor das forças de corte e o atrito nas guias laterais. Analisa-se separadamente cada um dos casos:

$\boldsymbol{F_{corte}}$:

Para avaliarmos a força necessária para o corte do PVC, primeiramente deve-se reunir as propriedades mecânicas do material para posterior análise de resistência. Segundo BRASKEM (2002), segue a tabela de propriedades mecânicas do PVC

Tabela 12 - Propriedades mecânicas do PVC rígido FONTE: BRASKEM, 2002

Propriedades Mecânicas PVC rígido	
Peso específico	1,45 g/cm³
Resistência à tração	30 MPa
Resistência ao cisalhamento	15 MPa
Dureza	R220
Modulo de young	3,5 Gpa

Com isso, sabendo o resistência ao cisalhamento, é possível descobrir qual o esforço cortante necessário para uma determinada área. Sendo que a espessura da parede de PVC e o perímetro de corte do punção são conhecidos, segundo HIBBELLER (2010), a equação que descreve a tensão cisalhante é:

$$\tau = \frac{V_{cortante}}{A_{seção,}}$$

Para uma área resistiva de

$$A_{seção} = perímetro\,.\,espessura = 181{,}58\ mm^2$$

Logo, o esforço cortante necessário para executar o corte de uma parede de PVC é de

$$\boldsymbol{V_{cortante} = F_{corte} = 2723{,}7\ N}$$

$\boldsymbol{Fat_{guias}}$:

Para estimar a força de atrito nas guias laterais, deve-se adotar uma metodologia simplificada. Segundo HUTCHINGS (1992), a complexidade de mensurar todas as variáveis de um tribo sistema é razoavelmente alta. Devido à isso, faz-se uma análise simplificada com um coeficiente de atrito de uma interface lubrificada metal-metal. O coeficiente de atrito para tal contexto, segundo NORTON (2013), é de $\mu = 0{,}15$. A força normal é correspondente à metade do peso dos componentes, portanto:

$$Fat_{guias} = \mu\,.N = \mu\,.\frac{mg}{2}$$

logo,

$$\boldsymbol{Fat_{guias} = 58{,}84\ N}$$

$\boldsymbol{F_{castanha}}$:

Segundo especificação dos elementos de máquina nas seções anteriores temos que o elemento de transmissão de potência para a estampagem foi o conjunto fuso-castanha. Tendo em vista que a castanha sofre uma reação axial ao cortar o PVC, deve-se estimar o toque necessário para gerar um esforço axial suficiente para a estampagem. Para mensurar o valor da força axial exercida na castanha, tem-se que a metodologia é descrita por NORTON (2013). Para tal, temos os esforços atuantes em um fuso de transmissão de potência em movimento horizontal:

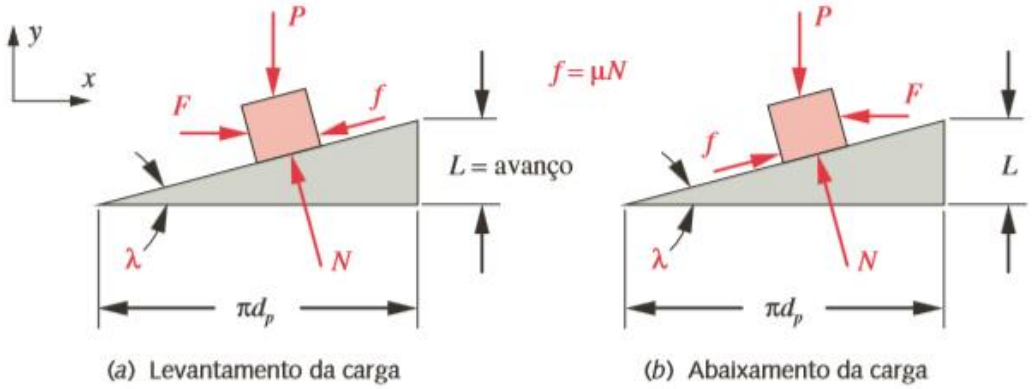


Figura 30 - Diagrama de esforços na interface fuso - castanha

Segundo NORTON (2013) para facilitar a visualização dos esforços, basta utilizar o método de linearização do filete do fuso. Para isso é necessário imaginar o filete do fuso "desenrolado", formando um triangulo retângulo com os catetos como o avanço (A) e o perímetro do diâmetro médio do fuso. No caso em questão, como temos uma reação contra o movimento da castanha, a metodologia adotada foi referente ao diagrama de corpo livre (a), sendo as reação da estampagem e atrito nas guias sendo a "carga". Neste diagrama de esforços P é a reação axial total sofrida na castanha devido ao corte e ao atrito nas guias, λ é o ângulo de avanço, N é a força normal de contato ao filete, f é a força de atrito gerada por N e $Fatc$ é a força de atrito devido ao peso da castanha e F é a força exercida no fuso para provocar o movimento linear.

Portando, segundo MERIAN (2002), temos que o somatório de forças em X e Y é descrito como:

Em x:

$$\sum F_x = 0$$

$$F - f\ cos\lambda - N\ sen\lambda = F - \mu N\ cos\lambda\ -\ N\ sen\lambda$$

$$F = N(\mu\ cos\lambda + sen\lambda\ ) \tag{5}$$

Em y:

$$\sum F_y = 0$$

$$N\ cos\lambda - f sen\lambda - P = N\ cos\lambda - \mu N\ sen\lambda - P$$

$$N = \frac{P}{(cos\lambda - \mu\ sen\lambda)} \tag{6}$$

Isolando N na equação (5) e inserindo-o na equação (6),

$$F = P\ \frac{(\mu\ cos\lambda + sen\lambda\ )}{(cos\lambda - \mu\ sen\lambda)} \tag{7}$$

Onde $\tan(\lambda) = \frac{A}{\pi \emptyset_m}$.

Para obtermos o torque gerado pela ação de F_h, segundo (MERIAN,xxxx),

$$M_t = \frac{\emptyset_m}{2}\left(P\ \frac{(\mu\ cos\lambda + sen\lambda\ )}{(cos\lambda - \mu\ sen\lambda)}\ \right) \tag{8}$$

Para o caso presente de estudo, temos que a força normal será a reação dos esforços referente ao corte do PVC e do atrito nas guias laterais. Portanto,

$$P = F_{corte} - Fat_{guias} = 2721{,}7 + 58{,}84 = 2780{,}54\ N$$

Substituindo as variáveis em (8) e utilizando o valor obtido de P temos que o valor do torque necessário no fuso é:

$$M_t = 55{,}37\ \ N.m$$

Sabendo que a polia movida está acoplada ao fuso transmissor de potência, é possível descobrir o torque correspondente na polia motora. Segundo (SHIGLEY,xxxx), temos que a equação vigente que relaciona o torque entre polias motora é movida é:

$$M_{motora} = \frac{M_{movida}}{i}$$

Substituindo os valores e sabendo que o motor está diretamente acoplado a polia motora, temos

$$M_{motor} = 16,93\ N.m$$

Todo o dimensionamento do sistema de estampagem fora feito atraves do programa EXCEL. Segue tabela com todas os dados necessários para o dimensionamento do sistema de estampagem:

Tabela 13 - Tabela com INPUTS e OUTPUTS do dimensionamento do sistema de estampagem

SISTEMA DE ESTAMPAGEM							
INPUTS							
Vestamp [m/s]	**A [m/volta]**	**D fuso [m]**	**i (Polias)**	**Perímetro punção [m]**	**Espessura parede [m]**	**Tensão ultima shear [Pa]**	**Fcorte [N]**
0,45	0,05	0,05	3,27	0,09079	0,002	1,50E+07	2723,70
Fat guias [N]	**m(carro) [Kg]**	**a [m/s²]**	**Eficiência fuso/castanha**	**Eficiência polias**	**Wmotora [RPM]**	**FS**	**Ângulo de avanço**
58,84	39,99	30	0,98	0,97	540	2	18,24
OUTPUTS							
Wmotor [rad/s]	**Wmotor [RPM]**	**Mmotor [N.m]**	**Pot [W]**				
184,91	1765,8	16,93	3131,01				

b) CILINDRO PNEUMÁTICO

A alternativa de acionamento através de um pistão pneumático foi abordada para uma melhor escolha criteriosa entre os dois métodos. Portanto, temos que a análise neste caso é razoavelmente mais simples, tendo em vista que não existe nenhum mecanismo para a transmissão de torque.

No procedimento de dimensionar o pistão pneumático, deve-se mensurar qual a força necessária na haste de saída do pistão para realizar a operação. Ainda

considerando os efeitos de atrito nas guias laterais e a força de corte como as forças resistivas, temos que segundo MERIAN (2002),

$$\sum \mathrm{F_x} = m \,.\, a_x$$

$$\mathrm{F_{pistão}} - \mathrm{F_{corte}} - \mathrm{F_{guias}} = m \,.\, a$$

Para uma aceleração de a=30 m/s² e os esforços resistivos encontrados anteriormente,

$$\mathbf{F_{pistão}} = \mathbf{2782,54\ N}$$

- **ESPECIFICAÇÃO**

a) SERVO-MOTOR

Assim como na especificação do motor de translação, com a obtenção da velocidade angular e o torque requisitado pelo motor, o procedimento de especificação pode ser feito. Para uma escolha conservadora segundo NORTON (2013), tendo em vista que existe uma razoável incerteza de alguns parâmetros no equacionamento, adota-se um **Fator de segurança 2** para a especificação do servo-motor.

Portanto, o momento necessário para executar o movimento será:

$$FS = \frac{M_{motor}}{M_{calculado}}$$

$$\boldsymbol{M_{motor} = 2\ x\ 8,465 = 16,93\ N.m}$$

Segundo o catálogo de motores elétricos MITSHUBISHI (2015),

Model	Output [kW]	Reduction Gear Model	Reduction Ratio	Brake Static Friction Torque [N・m]	Inertia Moment J[×10⁻⁴ kg・m²]	Mass [kg]
HC-SFS352BG5・HC-SFS3524BG5	3.5	HPG-50A-11-F0BBDF-S	1/11	43.1	100	42.1
		HPG-50A-21-F0BBDF-S	1/21		98.4	

[Unit: mm]

Figura 31 - Catálogo do servo motor de estampagem (MITSUBISHI)

O modelo que mais se adéqua aos parâmetros encontrados é, portanto, o modelo **HC-SFS352BG5** com potencia de **3,5 kW**.

b) CILINDRO PNEUMÁTICO

Haja vista que os esforços solicitados ao cilindro de estampagem, temos que, para uma abordagem conservadora, utilizamos o coeficiente de segurança de 2, devido às incertezas de alguns parâmetros de projeto. Portanto, temos,

$$CS = \frac{F_{cilindro}}{F_{calculado}}$$

$$F_{cilindro} = 2\ x\ 2782{,}54 = \mathbf{5565{,}07\ N.m}$$

Portanto, consultando o catálogo **Parker**, temos que o cilindro que mais se adéqua ao equacionamento é o cilindro **P1M080VDMA9G500**.

Contudo, fazendo uma análise superficial sobre os desdobramentos do uso de um cilindro pneumático de maior porte, temos que o mesmo irá necessitar de um sistema de ar comprimido com maior capacidade - tendo em vista que se é utilizado um pequeno cilindro que trabalha a baixas pressões no acionamento da pinça . Além deste empecilho, temos que aumentaríamos razoavelmente a manutenção (quando comparado ao mecanismo elétrico) e os custos de fabricação e instalação também.

Um outro ponto, este que culmina na decisão da utilização de um sistema de acionamento elétrico, é a incapacidade de controle de curso em um acionamento pneumático. Tendo em vista que a operação de estampagem é totalmente instrumentada com sensores de curso, o mecanismo deve ser capaz de realizar uma parada emergencial em qualquer parte do curso, o que não é o caso de um cilindro pneumático. Apesar de não utilizarmos a opção de acionamento pneumático, o mesmo foi necessário para efeito comparativo entre os dois sistemas.

3.4. SENSORIAMENTO

Tendo em vista que esta máquina é automatizada, o sensoriamento nos processos em que se deseja controlar é inevitável. Assim como noutros aspectos, o sensoriamento é dividido entre os dois sistemas, o de translação e o de corte.

No sistema de translação, logo no local de entrada da peça, existe um par de sensores de presença. Após o reconhecimento da peça e da sucessiva inserção completa da mesma, o mesmo par de sensores funciona para indicar quando a peça fora totalmente inserida. No mesmo segmento a maquina conta com sensores magnéticos (com anteparo de metal) para que, em caso seja inserida uma peça maior que o tamanho suportado da maquina (6 metros), este par de sensores magnéticos reconhecem e fazer parar o mecanismo de translação e assim começa o processo de furação (mesmo que não seja por toda a peça);

No sistema de furação, o sensoriamento é basicamente referente ao curso do carro de furação. Existem três sensores magnéticos que mapeiam o curso dos punções e dois sensores de contato nas extremidades do mesmo. Os sensores de contato servem como dispositivos de segurança, pois caso o mecanismo percorra o curso além dessas extremidades a ferramenta colidiria com sua carcaça causando problemas indesejáveis. Ao acionar este sensor de contato imediatamente o sistema de acionamento para furação é desligado para que evite tais problemas.

Existem também dois sensores de pressão alocados juntamente com o cilindro de atuação pneumática. Este cilindro serve como meio de acionamento do sistema de fixação da peça (pinça). Tendo em vista que o estado de atuação da pinça (atuando ou não) é extremamente importante para o seqüenciamento da máquina - a máquina só irá puxar a peça ou executar qualquer movimento de translação se a pinça estiver atuando - a existência destes dois sensores é necessária para a leitura de tal estado e posterior atuação do PLC.

Tabela 14 - Lista de sensores e suas respectivas alocações

Tipo de sensor	Quantidade	Alocação
Sensor de presença	1 par	Local de inserção da peça
Sensor magnético	2	Curso de translação (segurança)
	3	Curso de furação
Sensor de contato	2	Curso de furação (segurança)
Sensor de pressão	2	Cilindro pneumático

3.5. PLC - PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

3.5.1. LÓGICA DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA:

A lógica de funcionamento é feita de tal maneira que a produção da máquina seja suficientemente rápida para atender a saída de produtos semi-acabados das linhas de extrusão. No primeiro instante, o operador coleta o produto recém serrado da linha de extrusão e o coloca na bancada de inserção da punching machine. Ao posicionar a peça na entrada da máquina, o sensor de presença a detecta e faz com que o cilindro de atuação pneumática da pinça atue e prenda a peça ao carro de furação. Em seqüência, a peça é inserida até o ponto que o sensor de presença da estrada deixa de detectar a mesma, caracterizando assim, a inserção total da peça, além de mensurar o tamanho da mesma.

Após a inserção, o mecanismo de estampagem é acionado através do servo-motor e realiza a primeira estampagem na peça. Com o retorno do carro de furação após a estampagem, o servo-motor do sistema de translação realiza um deslocamento correspondente à um passo. Em sucessão a peça estará novamente posicionada para estampagem e assim o procedimento de corte é repetido. Este ciclo se repete até que toda a peça seja expurgada da maquina com o acabamento final realizado e pronta para comercialização.

É valido ressaltar que os sensores de curso de estampagem e de translação funcionam como inibidores nos respectivos processos. Uma vez que o sensor de segurança de curso é ativado, o servo-motor que está acionando o respectivo mecanismo realiza uma parada de emergência para evitar quaisquer problemas.

3.5.2. REDES DE PETRI

Para que uma máquina automatizada com centro de controle (PLC) seja concebida, temos que deve-se realizar uma programação em linguagem *ladder* correspondente a lógica de funcionamento do mecanismo. A rede de PETRI funciona como interface entre a idéia do projetista e a concepção da programação do centro de controle.
Com isso, a rede de PETRI é embasada em toda a lógica de funcionamento da máquina citada no item acima. Para tal, temos o diagrama:

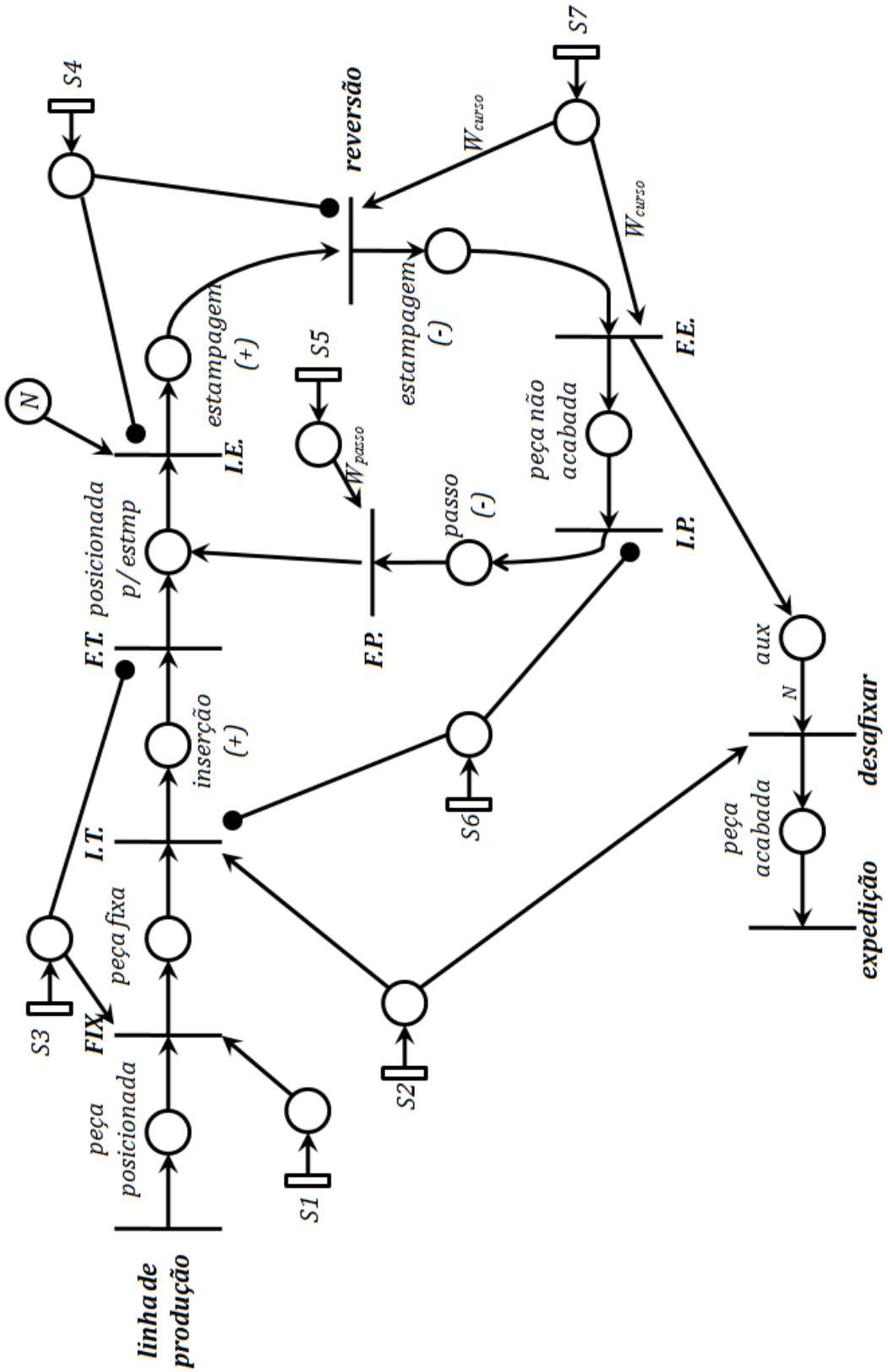


Figura 32 - Rede de PETRI do funcionamento da Punchin Machine

Legenda diagrama de PETRI:

S1: Solenóide na posição S1 (pinça não acionada);

S2: Solenóide na posição S2 (pinça acionada);

S3: Sensor de presença posicionado na entrada da máquina - utilizado para mensurar o tamanho da peça de entrada;

S4: Sensor de segurança do curso de estampagem;

S5: Entrada do número de giros realizados pelo servo-motor de translação para completar o curso correspondente a um passo;

S6: Sensor de segurança do curso de translação;

S7: Entrada do número de giros realizados pelo servo-motor de estampagem para completar o curso de estampagem;

FIX : Acionamento do cilindro pneumático indo da posição S1 para S2, realizando assim, a fixação da peça de PVC no carro de translação

I.T./F.T.: Respectivamente início e fim do processo de translação. No caso em questão a translação é referente à inserção completa da peça na maquina.

I.E./F.E.: Respectivamente início e fim do processo de estampagem. O processo de estampagem leva em conta a ida e a volta do carro de estampagem, sendo assim um ciclo de estampagem realizado.

I.P./F.P: Respectivamente início e fim do processo de passo. Leia-se passo a translação necessária para que a peça fique posicionada para a próxima estampagem.

Reversão: O processo de reversão faz com que o carro de estampagem desacelere e inverta o sentido de deslocamento com destino a retornar a posição inicial

Desafixar: Acionamento do cilindro pneumático indo da posição S2 para S1, liberando assim, a peça que uma vez estava fixa no carro de translação

Expedição : Expedição é o processo de encaminhamento dos produtos acabados para estocagem ou alocação em containeres para exportação

4. MATERIAIS

Os materiais utilizados no projeto da punching machine foram escolhidos com base nas características econômicas, nas propriedades mecânicas e a disponibilidade do mesmo. Portanto, na tabela X é possível visualizar que tipo de material e a quantidade de cada parte componente da máquina. É valido ressaltar que todos os materiais citados nesta seção são materiais que serão destinados à posterior usinagem, sendo então os materiais dos elementos de maquinas que já foram especificados excluídos dessa listagem.

Tabela 15 - Descrição dos materiais usados para fabricação

Componente	Material utilizado	Peso total [Kg]
Estrutura da máquina	ASTM A36 (aço estrutural)	203,85
Guias internas de translação		88,018
Carro de translação		17,46
Carro de estampagem		39,98
Matrizes de corte	Alumínio 7075	9,126
Roletes de apoio	Nylon 6.0	0,904
Tampa caixa de estampagem	Acrílico	1,52
Tampa guias de translação		30,11

5. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

5.1. PLANTA ELÉTRICA

A planta elétrica da máquina possui os elementos essenciais ao funcionamento da máquina. Primeiramente, foi analisada a alimentação dos servos motores escolhidos; como a tensão nominal dos servos é de 220 V, observou-se a necessidade da presença de um transformador abaixador, uma vez que a concessionária fornece tensão de 380 V no local da futura instalação.

A análise de curto-circuito levou em consideração à máxima corrente que pode circular em uma das fases. As fases estão carregadas com dois motores, entretanto, o motor com potência nominal de 3,5 kW drena uma corrente de 15,9 A, que é maior do que a corrente drenada pelo motor de potência nominal 1,0 kW. Desta forma, admitindo que na partida do motor, sua corrente seja 100% maior do que a nominal, escolheu-se um fusível de 40 A para proteção de cada fase (valor comercial maior

que 2*$I_{nominal}$). Como proteção adicional, foi instalado um DS (*disconnect switch*) de 45 A.

Para o acionamento de cada motor, foram utilizados amplificadores que recebem cada uma das três fases e , em ambos, há um pino do qual deriva um circuito que caso a chave *on-off* seja ligada, o amplificador envia um sinal para o motor que é ligado. Há um diodo em cada circuito de acionamento para impedir correntes no sentido inverso que poderiam danificar os componentes eletrônicos.

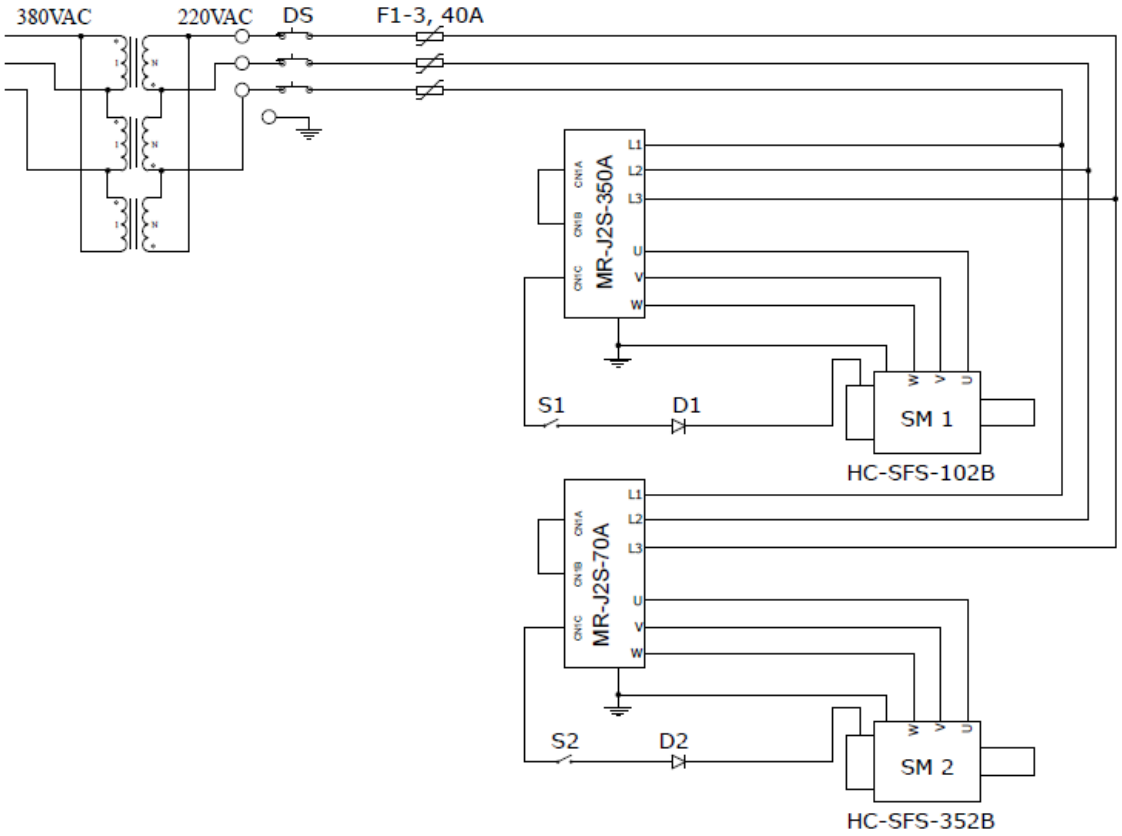


Figura 33 - Planta elétrica da punching machine

5.2. LISTA DE COMPONENTES

A lista a seguir descreve os componentes utilizados no projeto elétrico da máquina.

Tabela 16 - Componentes elétricos da punching machine

#	Descrição	Código	Qtde.
1	DISCONNECT SWITCH (45A)	OT-45EP	1
2	FUSE 40A	CCMR40	3
3	SERVO AMPLIFIER (1000W)	MR-J2S-350A	1
4	SERVO AMPLIFIER (5000W)	MR-J2S-70A	1
5	SERVO MOTOR	HC-SF2-102B	1
6	SERVO MOTOR	HC-SF2-352B	1
7	SWITCH *ON-OFF*	-	2
8	DIODO	1N4007	2

5.3. CONSUMO ENERGÉTICO

Com a intenção de operar durante todo o período tarifário fora ponta, foi realizado o estudo do consumo energético e do total gasto mensal da máquina em reais, considerando a modalidade tarifária azul, subgrupo A4. Para tal modalidade, há diferença entre a tarifa de energia (TE) e , para demanda, da tarifa de uso da rede de distribuição (TUSD) para os dois horários, conforme tabela mostrada abaixo.

Tabela 17 - Modalidade tarifária azul, subgrupo A4

	Ponta		Fora Ponta	
Consumo	**TUSD**	R$ 0,08471/kWh	**TUSD**	R$ 0,08471/kWh
	TE	R$ 0,37312/kWh	**TE**	R$ 0,23314/kWh
Demanda	**TUSD**	R$ 39,88/kW	**TUSD**	R$ 13,56/kW

Fonte: Auditoria Energética - Vitória Comércio de Aparas de Papel LTDA

A demanda dos dois motores é igual a 4,5 kW e o consumo será realizado durante todo horário fora ponta (21 horas), logo 94,5 kWh por dia, resultando em 2835 kWh por mês. Levando em consideração que a demanda nunca irá ultrapassar 5%

demanda contratada, para evitar geração encargos, análise do gasto mensal de energia elétrica gerado pela máquina pode ser visualizada na tabela abaixo:

Tabela 18 - Estimativa de gasto mensal de energia elétrica

Modalidade tarifária Azul, subgrupo A4	
Consumo Ponta	-
Demanda Ponta	-
Consumo Fora Ponta	R$ 61,02
Demanda Fora Ponta	R$ 901,10
Total sem impostos	R$ 962,12
Total com impostos (ICMS + PIS + CONFINS)	R$ 1.348,07

6. RESULTADOS

Tendo em vista que este projeto de graduação é uma concepção completa de uma máquina, tem-se que para aprovar a mesma, deve-se fabricá-la e testa-la. Tendo em vista que isto não pode ser feito em tempo hábil para verificação, uma análise orçamentária é um bom indicativo para analisar a viabilidade do projeto. Para tanto, deve-se analisar todos os gastos referentes a fabricação, sendo eles: compra de material, compra de servos-motores e PLC, usinagem e mão de obra para montagem

- **Compra de material**

Como já fora citado na tabela acima, temos a quantidade de material a ser comprada para a fabricação da máquina. Realizando uma pesquisa de mercado para o preço dos materiais, obteve-se a seguinte configuração:

Tabela 19 - Estimativa de preço de compra de material

Componente	Material utilizado	Peso total [Kg]	Preço [R$/Kg]	Total [R$]
Estrutura da máquina	ASTM A36 (aço estrutural)	203,85	17,13	3491,95
Guias internas de translação		88,018		1507,75
Carro de translação		17,46		299,09
Carro de estampagem		39,98		684,86
Matrizes de corte	Alumínio 7075	9,126	39,12	357,01
Roletes de apoio	Nylon	0,904	15	13,56
Tampa caixa de estampagem	Acrílico	1,52	25	38,075
Tampa guias de translação		30,11		752,63
			Total	7144,92

- **Servos-motores e PLC:**

Assim como fora citado no decorrer do trabalho, após uma pesquisa de mercado sobre os possíveis fornecedores de motores elétricos, a marca MITSUBISHI se sobressaiu perante às outras. Com isso, fez-se um orçamento dos servos-motores utilizados juntamente com o centro de comando (PLC). A tabela abaixo discretiza os preços de cada item a ser orçado.

Tabela 20 - Gastos com servos e PLC

Componente	Preço (R$)
Servo-motor translação	4150,95
Servo-motor estampagem	7750,53
PLC	19500
Total	**31401,48**

- **Usinagem:**

Para que um serviço de usinagem seja orçado, o fornecedor deve ter em mãos o desenho da máquina. Tendo em vista que o intuito deste trabalho é de projetar uma máquina para ser efetivamente fabricada, fora feito uma pesquisa de preço dentre os centros de usinagem para orçar um preço de fabricação. Após uma razoável busca de preço, estima-se que a usinagem desta máquina seja em torno de **R$ 42 530,00.**

- **Mão de obra para montagem:**

Estima-se que, contando com 2 homens sendo supervisionados por um engenheiro para montar o equipamento, os mesmos gastem cerca de 48h para concluir o serviço. É valido ressaltar que não haverá vinculo empregatício, caracterizando assim, trabalho informal. Estimando uma hora/homem da R$7 (um pouco acima do salário mínimo) para mão de obra não especializada, temos que o total será de

$$\boldsymbol{Total = 48\ x\ 2\ x\ 7\ = R\$\ 672,00}$$

Portanto, temos que o gasto total para fabricação da punching machine está descrito na tabela abaixo.

Tabela 21 - Somatório total de gastos para fabricação da máquina

Categoria	Preço (R$)
Material	7144,92
Servos e PLC	31401,48
Usinagem	42530,00
Mão de obra	672,00
Total (R$)	**81748,40**

Tendo em vista que optou-se por um orçamento conservador, é plausível dizer que o total terá grandes chances de estar superestimado. Em adição, temos que para empresas do porte da ROYAL, o valor de **R$ 81748,40** não é um investimento absurdo, tendo em vista o aumento de produtividade e conseqüente lucro que a máquina trará para sua planta industrial será enorme.

- **Análise de viabilidade:**

Para fazer a análise de viabilidade da máquina, deve-se obter primeiramente algum parâmetro de comparação. Para tanto, através de uma pesquisa de mercado, temos que uma máquina semelhante à apresentada neste projeto é avaliada no valor de USD $100.000,00 (cem mil dólares) segundo PROLINE (2016). Portanto, tendo em vista que a máquina proposta neste trabalho fora avaliada em R$ 81748,40 – menos da metade do preço - , é possível afirmar que o projeto é viável.

7. CONCLUSÃO

Conclui-se que ao longo deste trabalho, todos os objetivos propostos foram alcançados. Primeiramente toda a teoria referente ao equacionamento fora esplanada e explicitada. Com a teoria respaldada, fora feito toda a especificação dos elementos de máquina juntamente com o dimensionamento dos motores de acionamento dos mecanismos. Fez-se também uma análise entre a utilização de um cilindro pneumático ou acionamento via motor elétrico. Ficou evidente que a primeira opção não era viável devido às suas limitações de controle de curso e alto custo de instalação como justificado no decorrer do trabalho.

Fora feito também a lógica de funcionamento da máquina - redes de PETRI - para posterior programação do PLC caso a máquina venha a ser fabricada. Estimou-se os materiais de forma que fosse visado a economia em primeiro lugar, contudo não colocando em detrimento a qualidade do mesmo. Após a especificação dos motores elétricos, fez-se a análise, mesmo que superficial, das instalações elétricas da máquina incluindo consumo médio e listagem dos componentes elétricos da mesma.

Para que a fabricação possa ser feita com nenhum empecilho, todas as plantas de todos os componentes foram elaboradas, totalizando 10 plantas de fabricação. E para critério qualitativo, fez-se uma análise orçamentária para a fabricação e em cima disso elaborou-se uma análise de viabilidade para o caso em questão.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASKEM. **Propriedades mecânicas do pvc**. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/portal/principal/arquivos/html/boletm_tecnico/tabela_de_propriedades_de_referencia_dos_compostos_de_pvc.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2016.

BUDYNAS, RICHARD G.; NISBETT, J. KEITH. **Elementos de máquina de shigley**: PROJETO DE ENGENHARIA MECÂNICA. 8 ed. [S.L.]: BOOKMAN, 2011.

HIBBELLER, R. C.. **Resistência dos materiais**. 7 ed. [S.L.]: PEARSON, 2010.

HUTCHINGS, I. M.. **Friction and wear of engineering materials**. 1 ed. [S.L.]: BUTTERWORTH HEINEMANN, 1992.

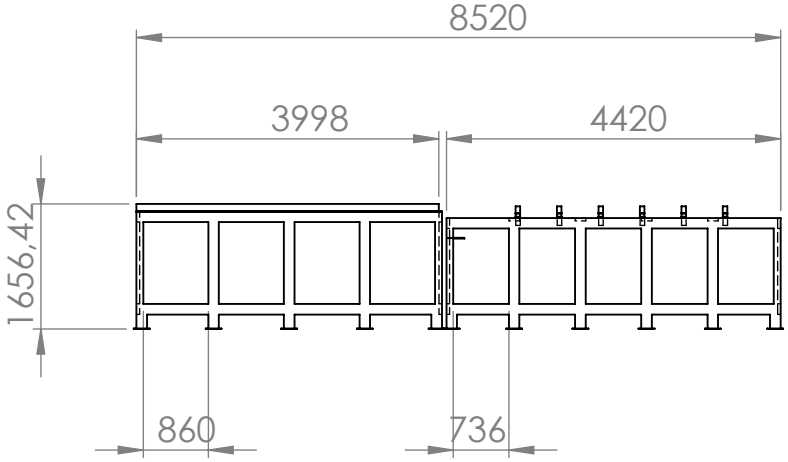
MERIAM, J.L.; KRAIGE, L. G.. **Mecânica para engenharia**: Dinâmica. 6 ed. [S.L.]: LTC, 2002.

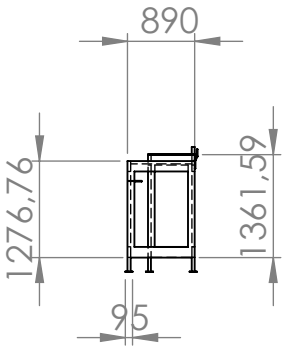
NORTON, ROBERT L.. **Projeto de máquinas**: UMA ABORDAGEM INTEGRADA. 4 ed. [S.L.]: BOOKMAN, 2013.

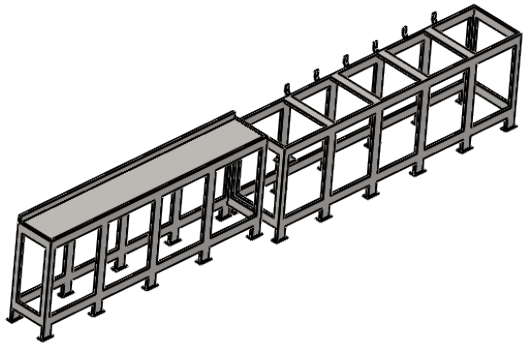
ROYAL, **Royal Industrial do Brasil,** Disponível em: <https://www.royal-es.com>. Acesso em: 05 mai. 2016.

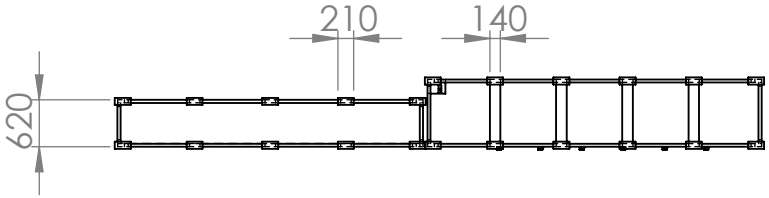
PROLINE, **Proline Automation Systems LTD,** Disponível em: <https:// http://www.prolineautomation.com/>. Acesso em: 05 mai. 2016.

ANEXOS

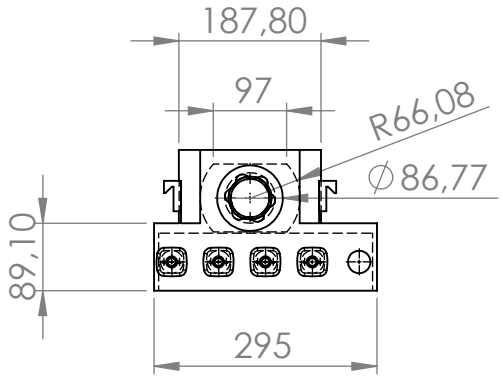


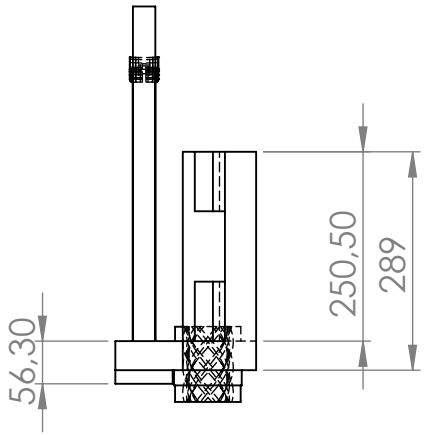


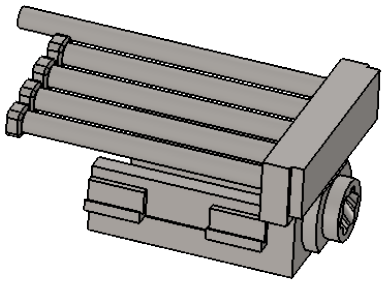


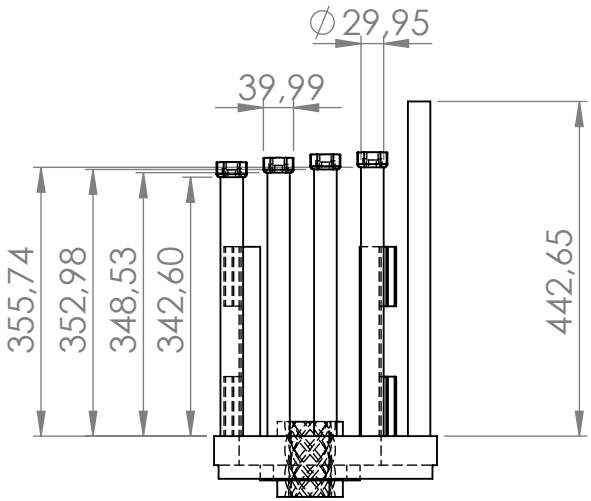


Bernardo Catelan Marques		
TITLE: SUPORTE MAQUINA		
SIZE **A**	DWG. NO. B3.2.9	UNID [mm]
SCALE: 1:100		SHEET 1 OF 1







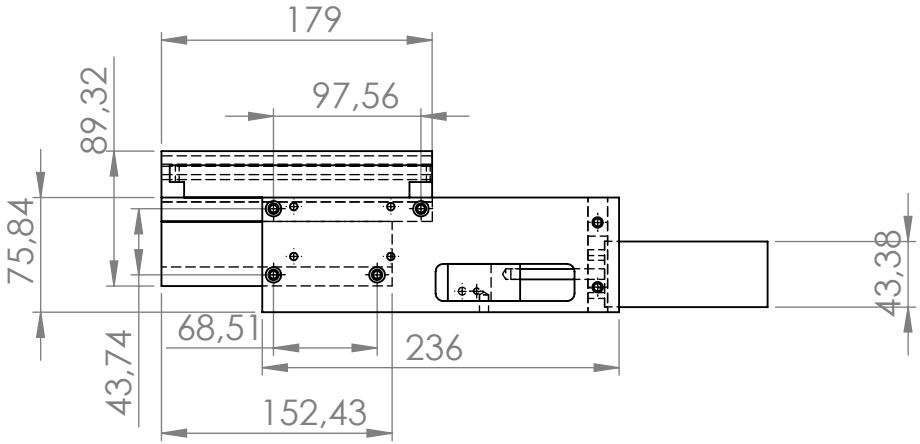


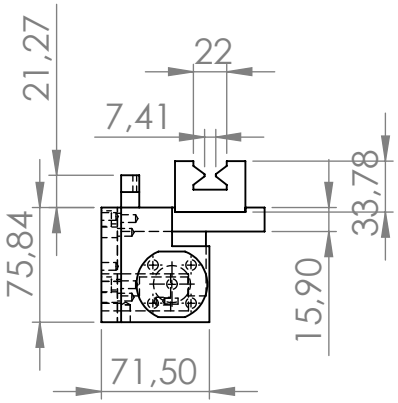
Bernardo Catelan Marques

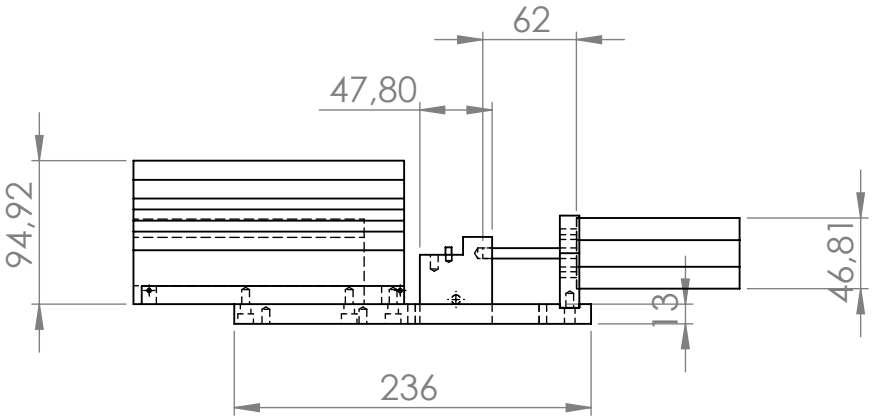
TITLE:

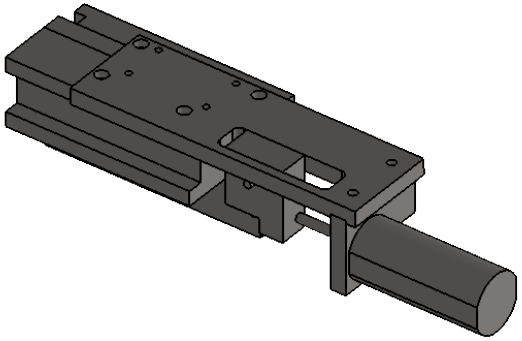
CARRO DE FURAÇÃO

SIZE	DWG. NO.	UNID
A	B3.2.3	[mm]
SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1

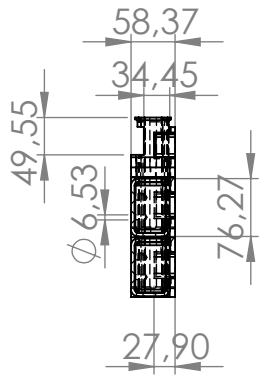


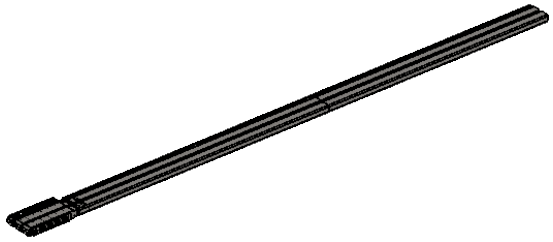


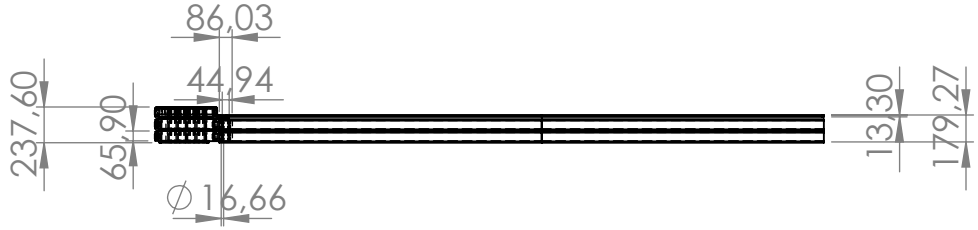




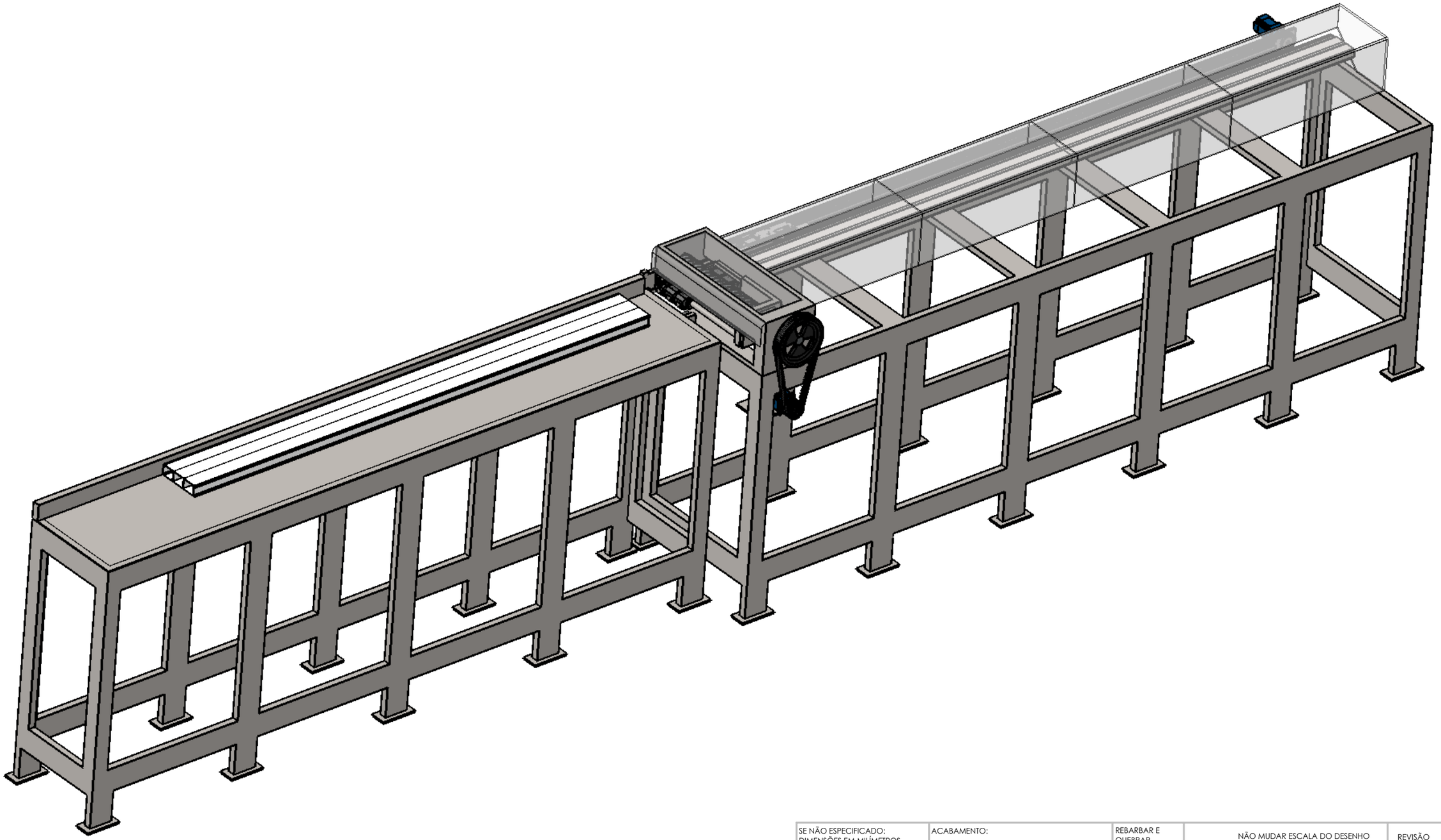
Bernardo Catelan Marques		
TITLE: CARRO TRANSLAÇÃO		
SIZE A	DWG. NO. B3.2.6	UNID [mm]
SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1



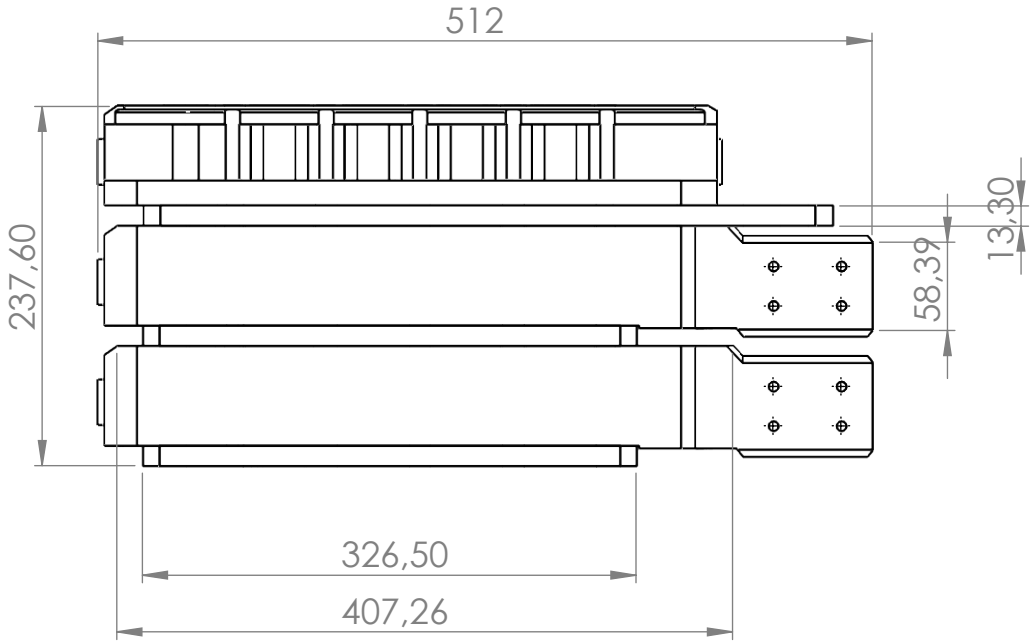


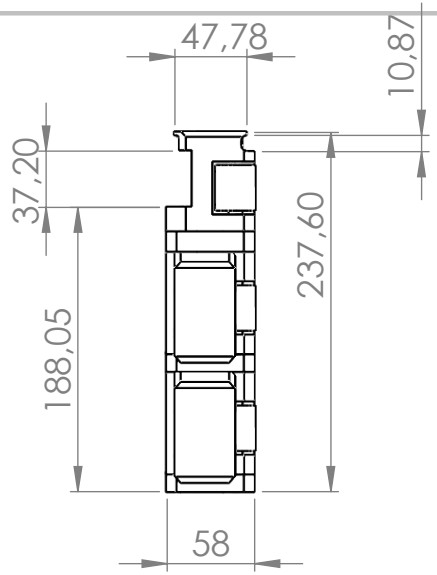


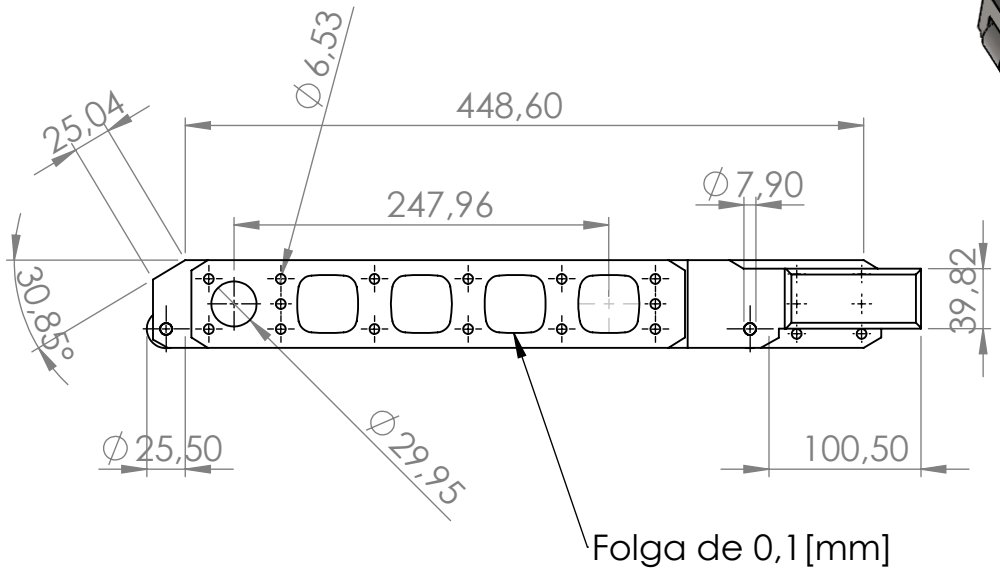
Bernardo Catelan Marques		
TITLE: GUIAS INTERNAS		
SIZE A	DWG. NO. B3.2.8	UNID [mm]
SCALE: 1:50		SHEET 1 OF 1

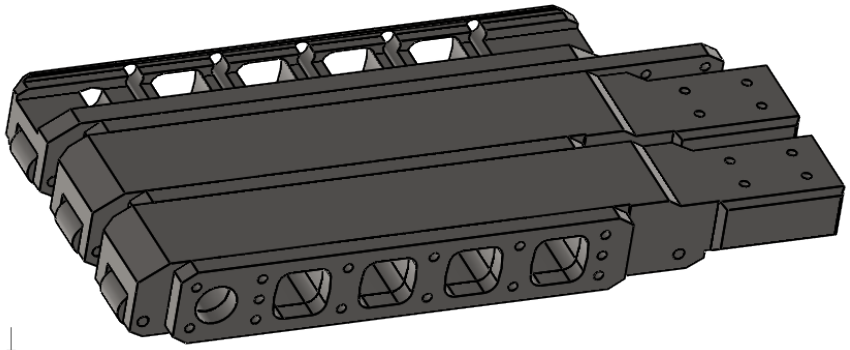


SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:	ACABAMENTO:			REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
	NOME	ASSINATURA	DATA		TÍTULO:	
DESEN.						
VERIF.						
APROV.						
MANUF.						
QUALID				MATERIAL:	DES. Nº	A3
					Maquina completa	
				PESO:	ESCALA:1:50	FOLHA 1 DE 1

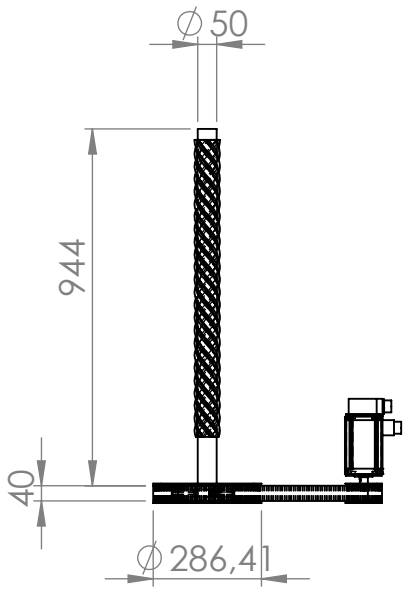


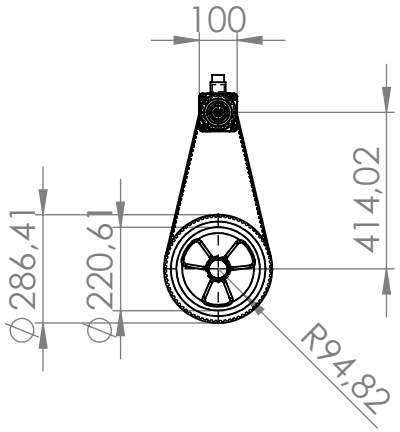




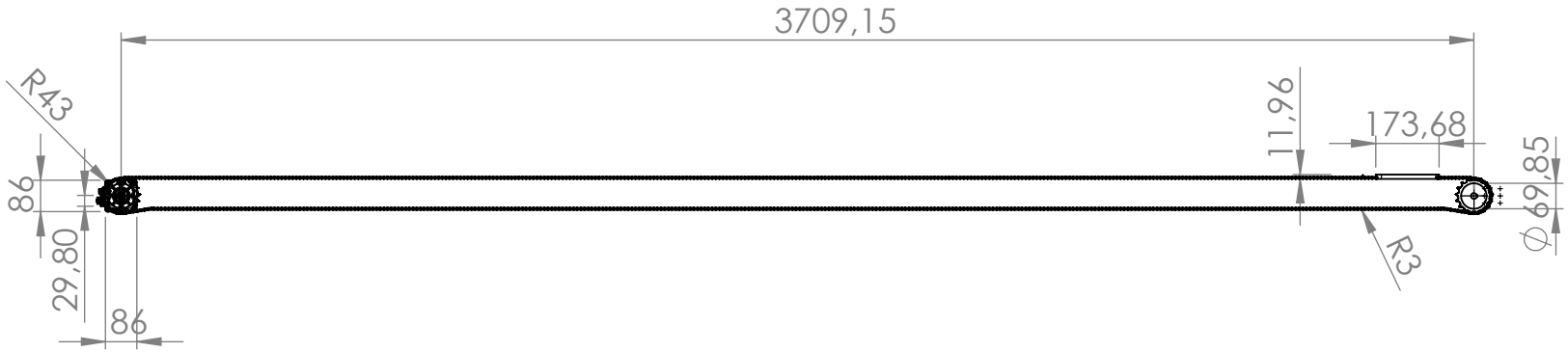


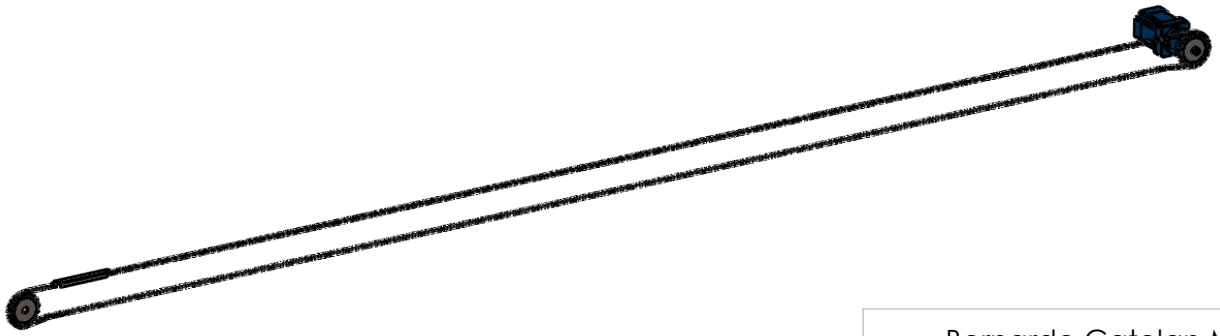
Bernardo Catelan Marques		
TITLE: MATRIZES_CORTE		
SIZE A	DWG. NO. B3.2.1	UNID [mm]
SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1



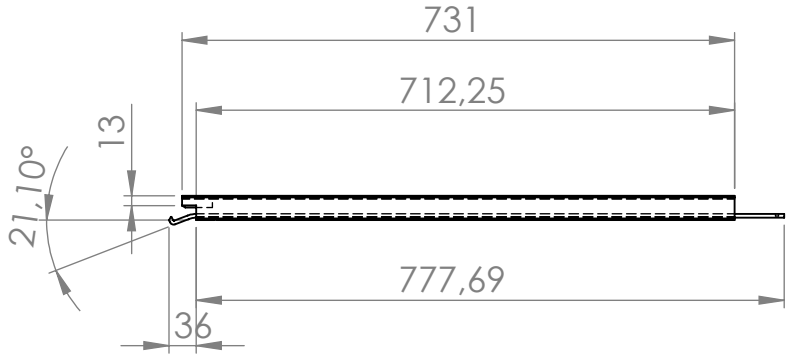


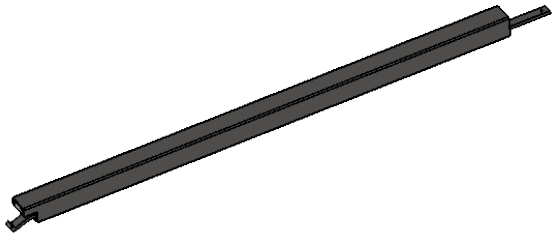
Bernardo Catelan Marques		
TITLE: MECANISMO DE FURAÇÃO		
SIZE **A**	DWG. NO. B3.2.4	UNID [mm]
SCALE: 1:20		SHEET 1 OF 1

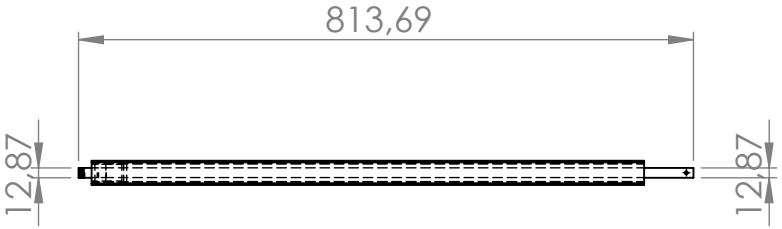




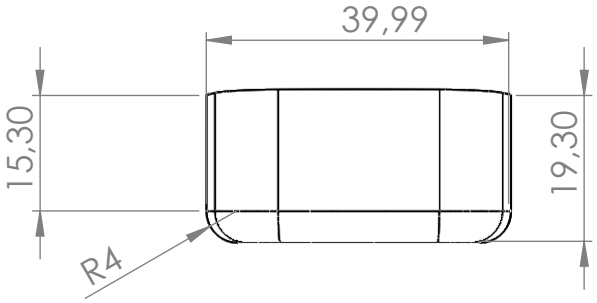
Bernardo Catelan Marques		
TITLE: MECANISMO TRANLAÇÃO		
SIZE A	DWG. NO. B3.2.7	UNID [mm]
SCALE: 1:50		SHEET 1 OF 1

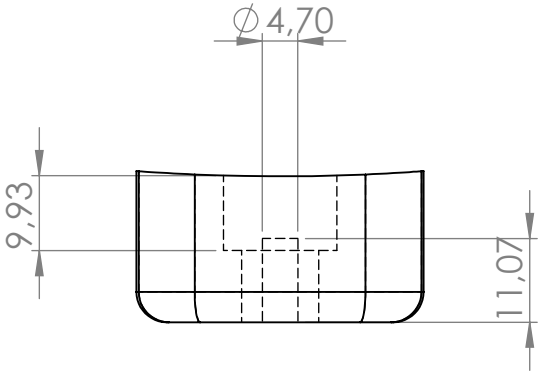


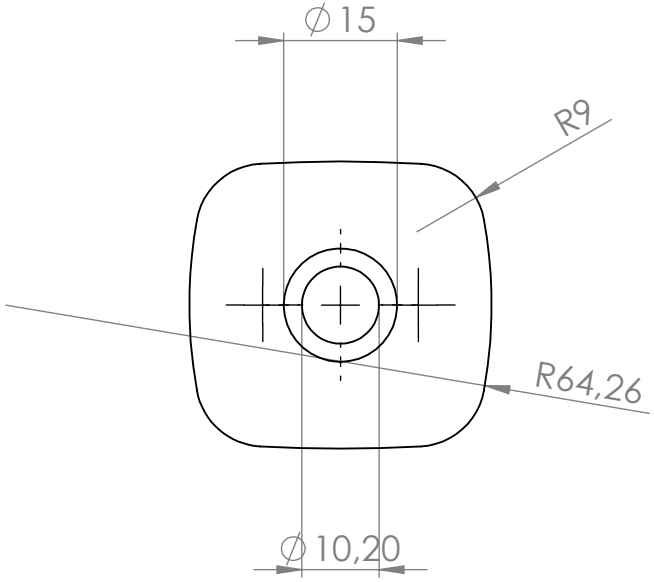


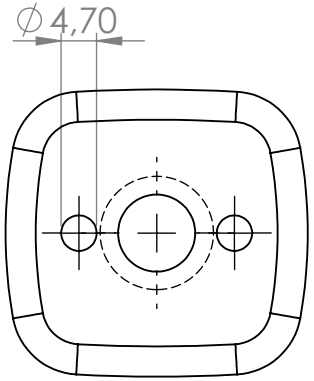


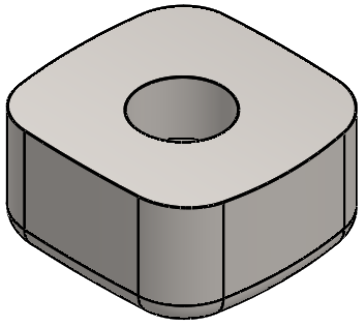
Bernardo Catelan Marques		
TITLE: PINÇA		
SIZE A	DWG. NO. B3.2.5	UNID [mm]
SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1











Bernardo Catelan Marques

TITLE:

PUNÇÃO DE CORTE

SIZE	DWG. NO.	UNID
A	B3.2.2	[mm]
SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1