

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA E DE SISTEMAS
MECÂNICOS

Seletora de Mudas de Eucalipto

Fernando Antonio Torres Velloso da Silva Neto

Fernando Paes Lopes

São Paulo – 2015

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA E DE SISTEMAS
MECÂNICOS

Seletora de Mudas de Eucalipto

Monografia apresentada no
Departamento de Engenharia
Mecatrônica e Sistemas Mecânicos da
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Engenheiro. Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Francisco
Martha de Souza

Fernando Antonio Torres Velloso da Silva Neto

Fernando Paes Lopes

Catálogo-na-publicação

Lopes, Fernando

Seleção de mudas de eucalipto / F. Lopes, F. Velloso -- São Paulo, 2015.
68 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1. Automação 2. Eucalipto I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II. t.
III. Velloso, Fernando

Declaração de originalidade

Este relatório é apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecatrônico na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. É o produto do meu próprio trabalho, exceto onde indicado no texto. O relatório pode ser livremente copiado e distribuído desde que a fonte seja citada.

Fernando Paes Lopes

Fernando Antonio Torres Velloso Da Silva Neto

Resumo

Este trabalho consiste em desenvolver um protótipo de uma máquina seletora de mudas de eucalipto. A máquina tem como objetivo automatizar o processo da determinação do índice de qualidade das mudas de eucalipto. A alimentação da máquina deverá ser feita por meio de bandejas, nas quais estarão os tubetes com as mudas. A separação será feita por meio de um software de visão computacional, o qual será não desenvolvido neste trabalho, que irá identificar cada muda individualmente e classificá-la segundo os critérios de interesse. O foco do trabalho é o desenvolvimento da estrutura e sistema eletromecânico de acionamentos da máquina. No presente relatório apresenta-se o projeto básico da solução escolhida para o dispositivo.

Palavras-chave: Automação, eucalipto, muda, seletora.

Abstract

The goal of this assignment consists in developing a prototype of a selector eucalyptus seedlings machine. The machine aims to automate the process of determining the quality score of eucalyptus seedlings. The input of the machine should be made by means of plates where are the tubes with the seedlings. The separation will be made through a computer vision software, which will not be developed in this work, which will identify each seedlings individually and classify it according to the criteria of interest. The focus of this assignment is the development of the structure and electromechanical system machine drives. This report presents the basic design of the chosen solution for the device.

Key words: Automation, eucalyptus, seedlings, selector.

Lista de Ilustrações

Figura 1: Mecanismo em T para retirada dos tubetes (5)	13
Figura 2: Estrutura com acionamentos (5)	14
Figura 3: Linha de produção (6).....	15
Figura 4: Separação com auxílio de solenoides (7)	15
Figura 5: Separadora de flores (8)	16
Figura 6: Separadora de tomates (9).....	16
Figura 7: Solução 1.....	19
Figura 8: Módulo de Alimentação	20
Figura 9: Módulo de Alimentação (outra vista).....	20
Figura 10: Mecanismo para levantar os tubetes	21
Figura 11: Mecanismo de ventosas a vácuo.....	21
Figura 12: Descarte da bandeja	22
Figura 13: Linha de produção	22
Figura 14: Separação	23
Figura 15: Gerador de vácuo	24
Figura 16: Ventosa	24
Figura 17: Esboço da solução 2.....	25
Figura 18: Módulo de Alimentação	25
Figura 19: Tubetes suspensos nos garfos	26
Figura 20: Pré-Linha de Produção	26
Figura 21: Garfo em acrílico.....	27
Figura 22: Pesos.....	30
Figura 23: Visão geral da máquina	34
Figura 24: Módulo pré-linha.....	35
Figura 25: Mecanismos para as abrir portas	36
Figura 26: Linha	36
Figura 27: Buffer de saída.....	37
Figura 28: Use Case IHM.....	39
Figura 29: Use Case - CLP.....	40
Figura 30: Máquina de Estado - Alimentação	41
Figura 31: Máquina de Estado - Separação	42
Figura 32: Diagrama de Componentes - CLP	43
Figura 33: Diagrama de Componentes - IHM	44
Figura 34: Diagrama de Sequência - Produtividade	45
Figura 35: Diagrama de Sequência - Velocidade de Operação	45
Figura 36: IHM – Estado Inicial	46

Figura 37: IHM - Máquina Ligada	47
Figura 38: IHM - Máquina Desligada	47
Figura 39: Estrutura do programa do CLP	48
Figura 40: Diagram <i>ladder</i> do bloco PWM_0 (1)	50
Figura 41: Diagram ladder do bloco PWM_0 (2)	50
Figura 42: Bloco <i>main</i> (2).....	52
Figura 43: Bloco <i>main</i> (1).....	52
Figura 44: Ligações elétricas.....	54
Figura 45: Especificações do motoredutor.....	55
Figura 46: Força fornecida pelo solenóide	55
Figura 47: Modelo pré-linha	57
Figura 48: Verificação pré-linha.....	57
Figura 49: Verificação pré-linha (2)	58
Figura 50: Modelo linha.....	58
Figura 51: Esteira	59
Figura 52: Modelo garfo	59
Figura 53: Orçamento do protótipo	61
Figura 54: Protótipo funcional.....	62

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resultado das entrevistas	136
Tabela 2: Definição da intensidade de importância	29
Tabela 3: Tabela de notas.....	31
Tabela 4: Matriz de decisão AHP	31
Tabela 5: Pesos Finais	32
Tabela 6: Resultado final	32

Sumário

1. Introdução	12
1.1 Objetivos	12
1.2 Motivação	12
1.3 Escopo	12
2. Revisão Bibliográfica	13
3. Requisitos de Projeto	17
3.1 Levantamento de requisitos de clientes	17
3.2 Análise dos requisitos levantados	18
3.3 Especificações	18
4. Alternativas de Projeto	19
4.1 Listagem das possíveis soluções	19
4.2 Metodologia de escolha da melhor solução	28
5. Detalhamento da solução proposta	34
5.1 Projeto Mecânico	34
5.2 Projeto de Software de Controle	39
5.3 Projeto Elétrico/Eletrônico	54
6. Descrição dos subsistemas/experimentos	57
7. Orçamento	61
8. Conclusão	62
9. Referências	63
10. Apêndices	65

1 Introdução

O Brasil tem a maior área plantada de eucalipto do mundo, com mais de três milhões de hectares plantados, além de ser o maior produtor mundial de celulose. (1)

O modelo vigente de produção de eucalipto começa nos viveiros, locais onde as sementes germinam e as mudas se desenvolvem até que estejam aptas para serem comercializadas e posteriormente plantadas. No processo mais comum da criação das mudas de eucalipto, há a separação das mesmas, de modo que o seu crescimento seja otimizado. (2) O processo de separação é feito manualmente, onde um funcionário pode separar até 15 mil mudas por dia de trabalho. (3)

O desenvolvimento do projeto esta sendo feito em parceria com a empresa Mvisia (4), especializada em soluções baseadas em visão computacional, a qual se encarregará do desenvolvimento do software de visão computacional necessário para efetuar a separação das mudas.

1.1 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é projetar e desenvolver um protótipo de máquina que faça a separação das mudas de eucalipto, de forma que sejam minimizados os erros associados à separação manual, tais quais o elevado custo de mão de obra, a subjetividade dos critérios analisados e as elevadas margens de erro humano. Tornando o processo de controle de qualidade mais eficiente, acarretando em maior produtividade para os viveiros.

1.2 Motivação

A motivação para o desenvolvimento do projeto veio do entendimento que há uma demanda para alternativas que aumentem a competitividade dos produtores de mudas de eucalipto, dado que o processo em questão é feito de maneira totalmente manual. Dada esta análise, acredita-se que o projeto tem potencial para tornar-se um produto que pode impactar de maneira muito positiva o mercado brasileiro e mundial de eucalipto. Desta forma, espera-se, ao final deste trabalho, apresentar o desenvolvimento para potenciais investidores e clientes, com o objetivo de arrecadar fundos para o desenvolvimento do produto final.

1.3 Escopo

O escopo do projeto é neste primeiro momento projetar um protótipo eletromecânico que demonstre que a separação automática de mudas de eucalipto funciona e é viável. O projeto e a implementação do software responsável pela caracterização das mudas não será desenvolvido neste trabalho.

2 Revisão Bibliográfica

Como o escopo do projeto é a construção da parte eletromecânica da máquina, focou-se na busca bibliográfica de elementos que ajudassem a entender os principais mecanismos usados atualmente na seleção de objetos, não necessariamente baseados em visão computacional.

Especificamente para o ramo das mudas de eucalipto, encontrou-se um dispositivo (5), que consiste em um protótipo caseiro para o espaçamento das mudas dentro das bandejas antes do processo de crescimento, saindo de bandejas com 187 mudas para bandejas com 54 ou 36 mudas.

O mecanismo principal, conforme pode ser visto na figura 1, é composto de uma estrutura em forma de “T invertido” com dois graus de liberdade. Os acionamentos são feitos por meio de polias e correias acopladas a motores. Pode-se observar na figura 2 que na extremidade inferior desta estrutura há diversas pinças metálicas, responsáveis pela captura das mudas de eucalipto e sua posterior movimentação para a próxima bandeja.



Figura 1: Mecanismo em T para retirada dos tubetes (5)

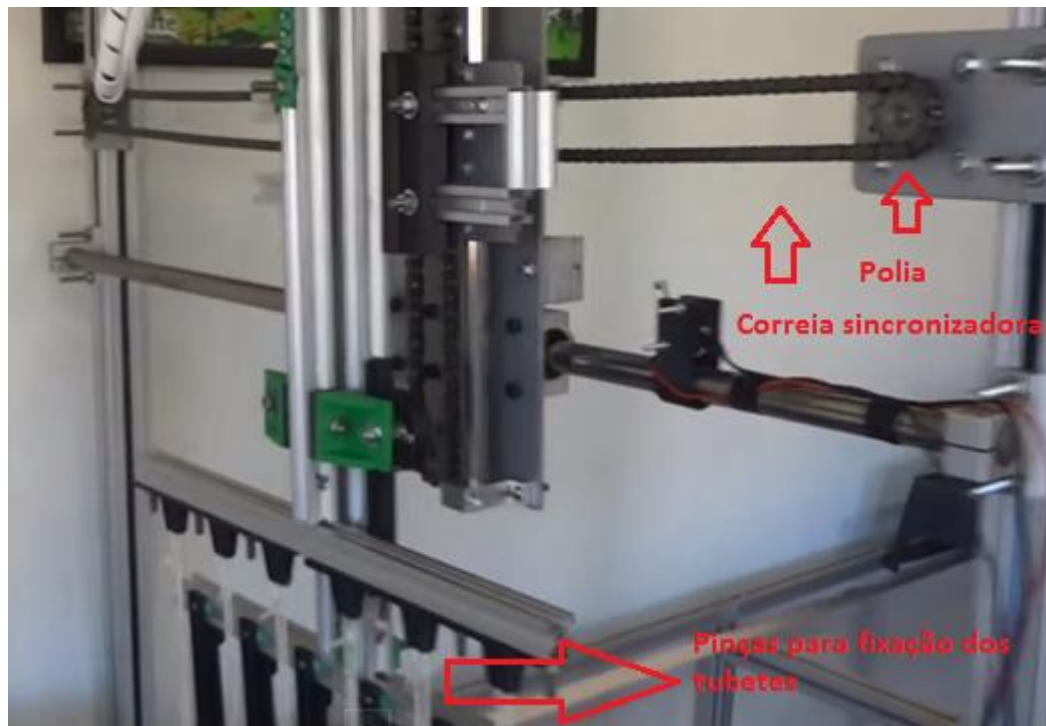


Figura 2: Estrutura com acionamentos (5)

Minjua (6) mostra um processo de separação de parafusos e porcas que pode ser considerado semelhante em alguns pontos com o projeto em questão. Inicialmente, há a linearização dos elementos (os elementos são transportados por um funil e se movem, um por um, em uma esteira), os quais são postos em uma linha de produção para análise visual. É interessante notar que o espaçamento necessário para a inspeção visual é feito diretamente nesta linha de produção, provavelmente por meio da variação de velocidade de rotação das correias que transportam as peças, conforme pode ser visto na figura 3.

Os elementos são inspecionados visualmente, sendo descartados ou não.

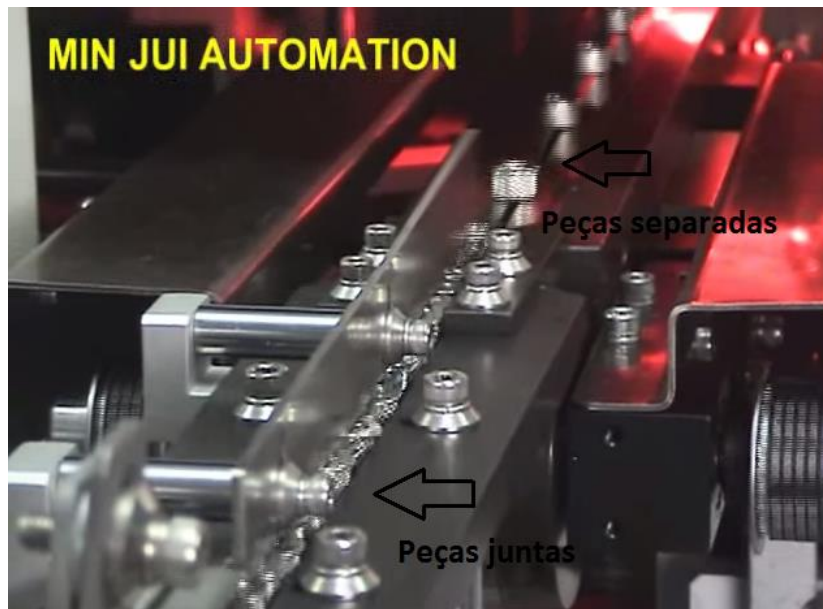


Figura 3: Linha de produção (6)

Tem-se em (7) uma solução similar à separadora de parafusos e porcas, porém aplicada a separação de uvas-passa. As uvas são linearizadas e inspecionadas visualmente, sendo separadas conforme suas dimensões por meio de solenoides que as “empurram” em diferentes vãos, de acordo com a categoria a qual elas pertencem (figura 4).



Figura 4: Separação com auxílio de solenoides (7)

Em (8) tem-se uma seletora de mudas de flores, que separa as mesmas em diversos níveis de qualidade (figura 5). As mudas são postas manualmente pelo operário da máquina, as quais, após passar pelo módulo de inspeção visual, são separadas em diferentes níveis de qualidade. Diferentemente da solução para separar uvas, esta utiliza ar comprimido como forma de “empurrar” os elementos a serem separados. A seletora de flores pode separar até 5400 mudas de flores por hora, em até 6 níveis de separações. A voltagem

de operação é de 220V e há a necessidade de uma linha de ar com pressão maior que 6 bar. (8)

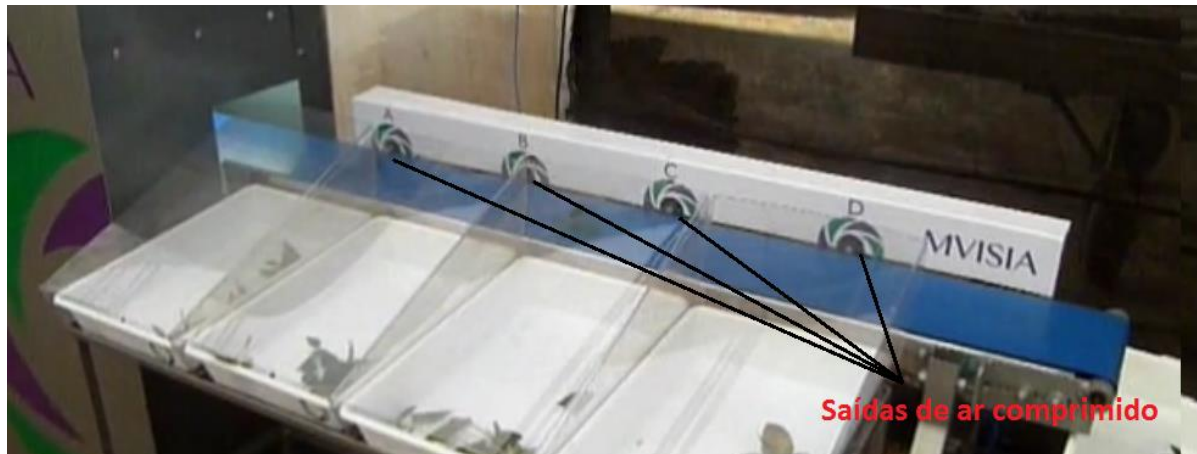


Figura 5: Separadora de flores (8)

A referência (9) mostra uma máquina calibradora eletrônica de tomates, que tem como objetivo separar tomates cereja em diversos tipos de tamanho, podendo identificar também os tomates verdes ou os danificados (figura 6). Os tomates são transportados em roletes acionados por corrente, inspecionados visualmente e separados com auxílio de jatos de ar. O processo pode ser visualizado na figura 6. A seletora de tomates pode selecionar até 90.000 tomates por hora, em até 6 classificações, entre doentes e verdes. A estrutura é feita em ferro, com dimensões de 6m (comprimento) x 1m (largura) x 2m (altura) (9).



Figura 6: Separadora de tomates (9)

Tanto (8) como (9) foram soluções desenvolvidas pela empresa Mvisia, a qual é parceira no desenvolvimento do protótipo da seletora de mudas de eucalipto. Sendo assim, tem-se acesso aos projetos das duas máquinas, com um canal de livre comunicação com os projetistas das máquinas supracitadas.

3 Requisitos de projeto

Para o desenvolvimento do projeto, foi necessária a definição dos requisitos que a máquina deverá cumprir. Por se tratar de um produto desenvolvido para um público específico, focou-se no entendimento do que os potenciais clientes consideram importante. O entendimento das necessidades do usuário foi priorizado e, para que isso fosse possível, visitaram-se dois viveiros, um localizado na cidade de Turvo-SC (10) e outro na cidade de Piracicaba-SP (11). Além disso, conversou-se com diversos produtores pelo telefone.

3.1 Levantamento de requisitos de cliente

Por meio de entrevistas qualitativas, levantaram-se as grandezas que os potenciais clientes consideram mais importantes para a máquina. De posse desta lista inicial, efetuou-se outra entrevista, desta vez quantitativa, de modo a ponderar a importância dos pontos levantados na primeira entrevista. Os usuários foram instruídos a dar notas de 1 a 5, em ordem crescente de importância do critério. Os resultados dessas entrevistas são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Resultado das entrevistas

Característica	Respostas dos entrevistados						Média
Custo	5	4	4	5	5	5	4.7
Segurança	5	5	5	5	5	5	5
Aparência	2	1	3	2	3	2	2.2
Facilidade de Uso	5	4	5	4	5	4	4.5
Baixa manutenção	4	4	5	5	5	4	4.5
Resistência ao ambiente	4	5	5	4	5	4	4.5
Separação por coloração das folhas	4	4	4	5	5	5	4.5
Separação por diâmetro	5	5	5	5	5	5	5
Separação por tamanho	5	5	5	5	5	5	5
Verificação de doenças	4	4	4	5	4	4	4.2
Verificação de ramificação	3	5	4	5	5	1	3.8
Presença de doenças	4	4	4	4	4	5	4.2

3.2 Análise de requisitos levantados

Analisando-se a tabela 1, percebe-se que há 2 grupos de requisitos: os requisitos de máquina (custo, segurança, aparência, etc.) e os requisitos de software (separação por tamanho, por diâmetro, presença de doença, etc.). Para a síntese da solução, somente serão considerados os requisitos de máquina, dado que o desenvolvimento do software foge ao escopo deste trabalho. Tais requisitos serão utilizados como base do esboço das alternativas de projeto, de forma a enviar as soluções para algo dentro das expectativas do cliente.

3.3 Especificações:

As especificações da máquina foram separadas em tópicos e são apresentadas a seguir:

- A máquina deve ser capaz de analisar 1 muda por segundo.
- Deve operar continuamente por até 4 horas (1 turno).
- Separação das mudas em 3 categorias distintas.
- Alimentação automática: um operador coloca a bandeja na máquina e esta faz a retirada dos tubetes.
- Retirada manual: após a separação, um operador retira os tubetes da área de classificação da máquina manualmente.
- Interface Homem-Máquina: deve existir uma IHM digital onde o operador da máquina possa ligá-la/desligá-la e ajustar sua velocidade de operação.
- Dimensões: deverá operar em uma área de no máximo 16m² (4m x 4m).
- Peso máximo: 300 kg.
- Alimentação: 110V – 220V AC (60Hz).
- Deverá existir um botão de emergência que corta toda a alimentação elétrica da máquina por motivos de segurança.

4. Alternativas de Projeto

4.1. Listagem das possíveis soluções

Começou-se a trabalhar com a síntese das soluções que atenderiam as necessidades levantadas pelos potenciais clientes, as quais já foram discutidas na seção *Requisitos de Projeto*, o que nos levou a duas possíveis soluções.

Para o esboço das soluções, optou-se pelo software Google Sketchup, dado a facilidade e rapidez em se fazer desenhos e modificá-los.

Solução 1: Mecanismo Baseado em Geradora de Vácuo (MBGV)

A solução 1 é apresentada na figura 7.

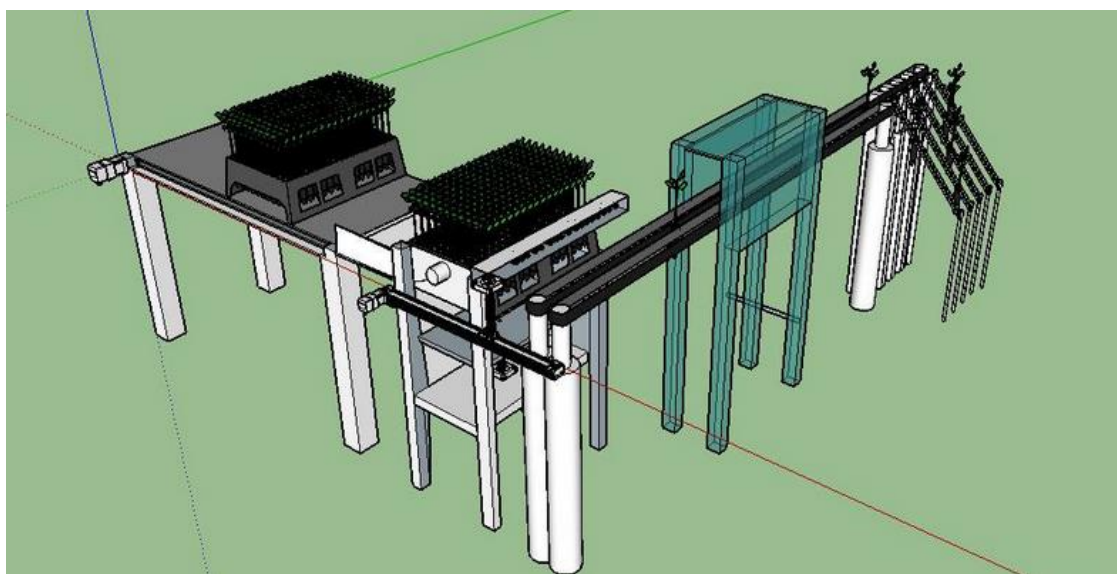


Figura 7: Solução 1

A solução em questão pode ser separada em dois módulos:

1º módulo: Alimentação

Este módulo está detalhado nas figuras 8,9 e 10.

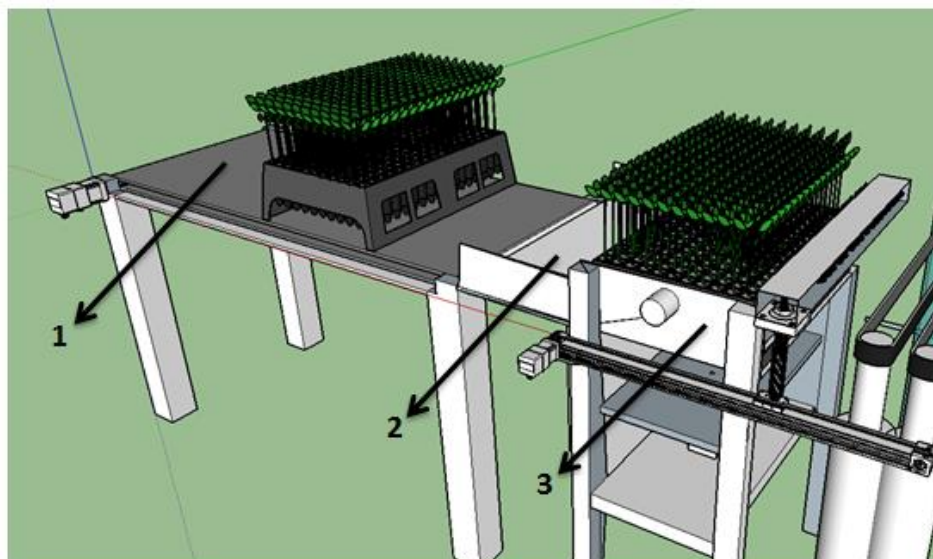


Figura 8: Módulo de Alimentação

Neste módulo, as bandejas contendo as mudas são colocadas pelo operador em uma esteira [1] e seguem até o seu fim de curso, caindo por um plano inclinado [2] em uma base [3], onde um pistão [4] empurra uma chapa dimensionada [5] para levantar *apenas* os tubetes.

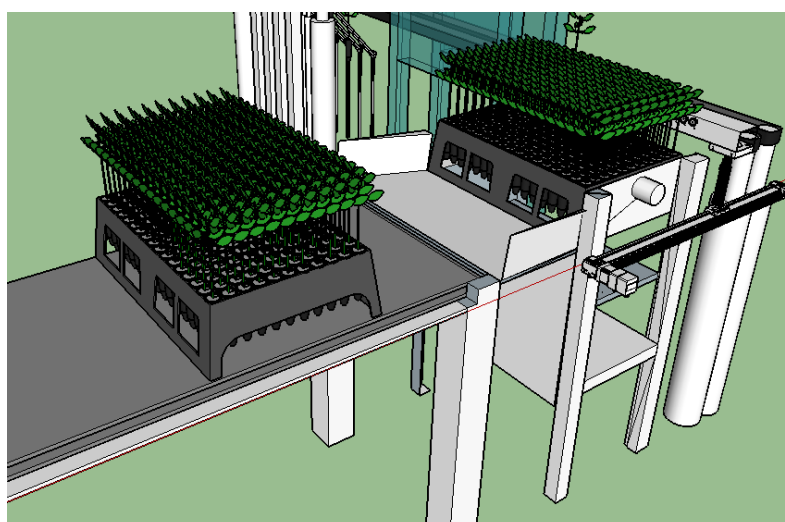


Figura 9: Módulo de Alimentação (outra vista)

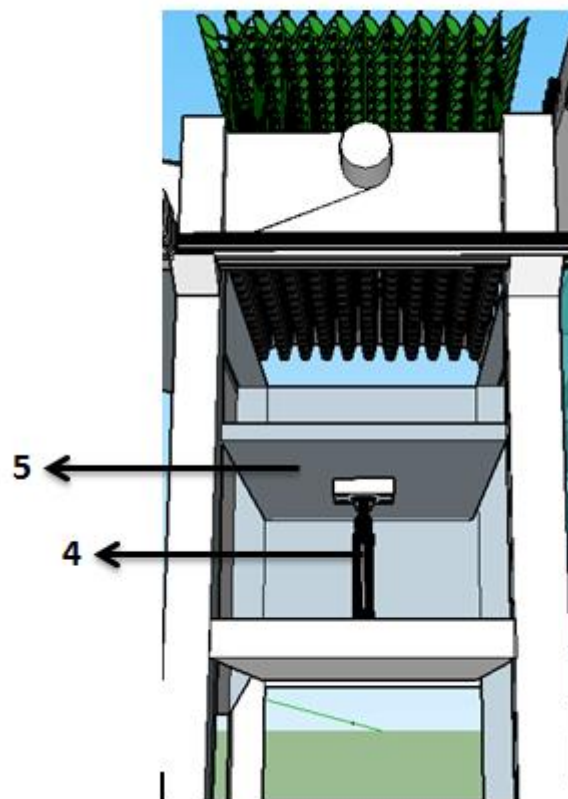


Figura 10: Mecanismo para levantar os tubetes

Como indicado na figura 11, os tubetes levantados são retirados, fileira por fileira, por meio de um mecanismo de ventosas a vácuo [6], movimentado no eixo x por uma guia linear [7] e no eixo z por um pistão pneumático [8], e são deixados na linha de produção [9], avançando para o próximo módulo.

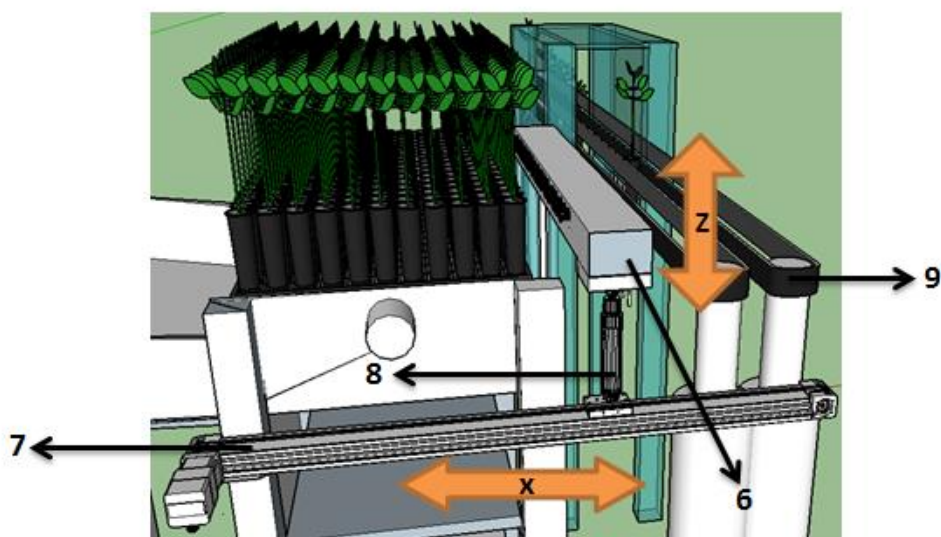


Figura 11: Mecanismo de ventosas a vácuo

Após a retirada de todos os tubetes, um acionamento pneumático é responsável por retirar a bandeja da máquina, a qual cai por um plano inclinado (figura 12).

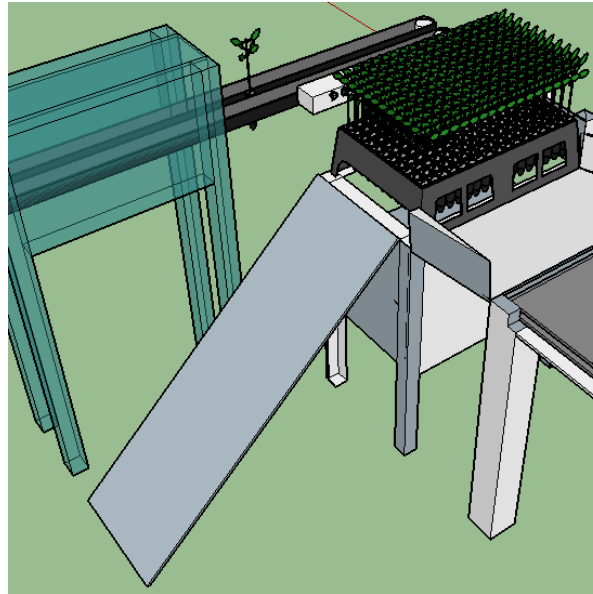


Figura 12: Descarte da bandeja

2º módulo: Separação

Uma vez na linha de produção, os tubetes são movimentados por uma correia acionada por uma polia acoplada em um motor e são inspecionados visualmente por câmeras [10], as quais os classificam em categorias, de acordo com os parâmetros de interesse, por meio de um software de visão computacional (figura 13).

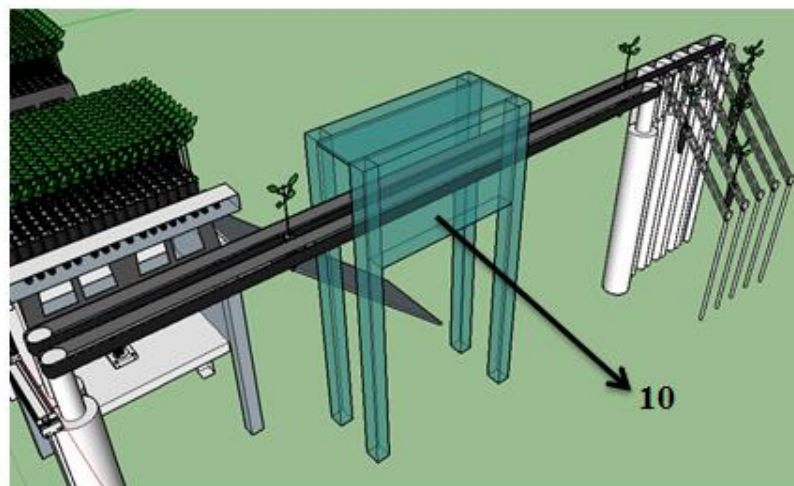


Figura 13: Linha de produção

Em seguida os tubetes são separados por mecanismos acionados por solenoides [11], de acordo com a classificação fornecida pelo software de visão computacional que os empurram para as devidas canaletas, permanecendo no buffer de saída [12] até serem retirados por um operador (figura 14).

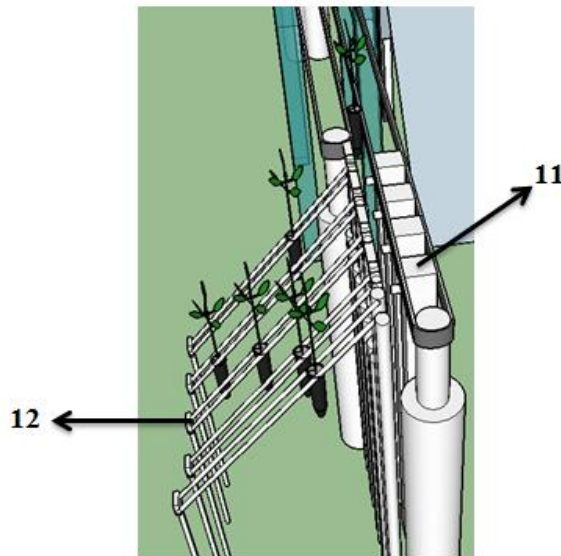


Figura 14: Separação

Prova de conceito da solução 1:

Uma dúvida inicial era a capacidade das ventosas conseguirem segurar os tubetes durante a movimentação do mecanismo. Para provar o conceito, o grupo fez uma visita agendada a Festo Brazil, em São Paulo, onde foram feitos testes com diferentes geradores de vácuo (figura 15) e ventosas (figura 16). O sistema de ventosas a vácuo foi capaz de suportar os tubetes com massa estimada de 200g, se mostrando uma solução viável.



Figura 15: Gerador de vácuo



Figura 16: Ventosa

Solução 2: Mecanismo Baseado em Garfos Suspensos (MBGS)

A solução 2 difere da anterior apenas no módulo de alimentação, onde trocou-se o aparato mecânico-pneumático por um exclusivamente mecânico, como indicado na figura 17. Esta troca foi motivada pelo alto custo dos componentes pneumáticos utilizados na solução 1.

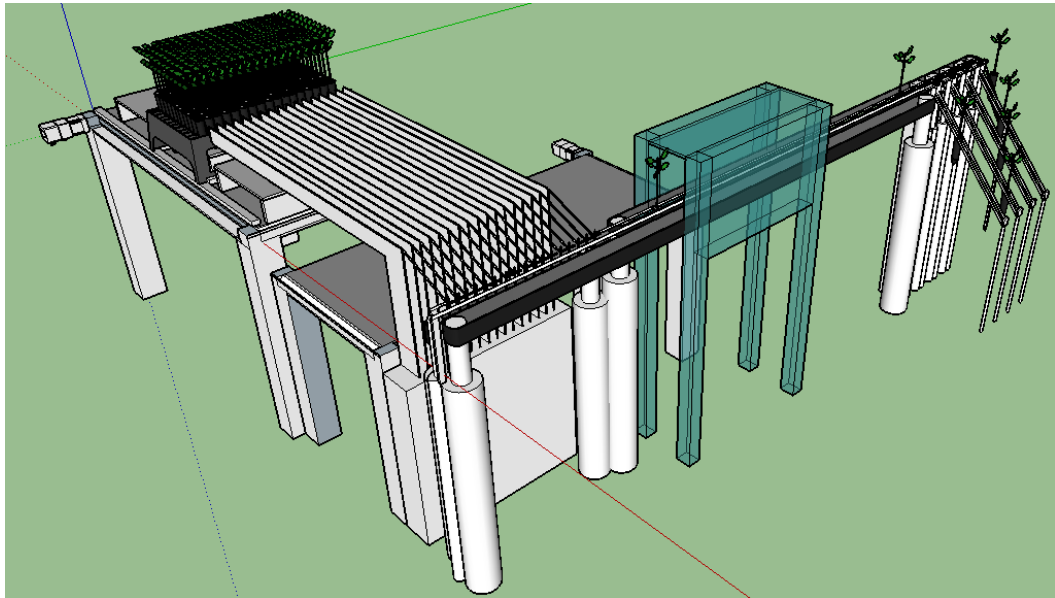


Figura 17: Esboço da solução 2

Módulo de Alimentação (Solução 2):

Neste novo módulo as bandejas são colocadas pelo operador em gabaritos [1] fixados na primeira esteira [2], levantando os tubetes em relação à bandeja. Com o avanço da bandeja, feito pela esteira, os tubetes “entram” nos garfos [3] onde ficam apoiados após a bandeja cair na segunda esteira [4] (figuras 18 e 19).

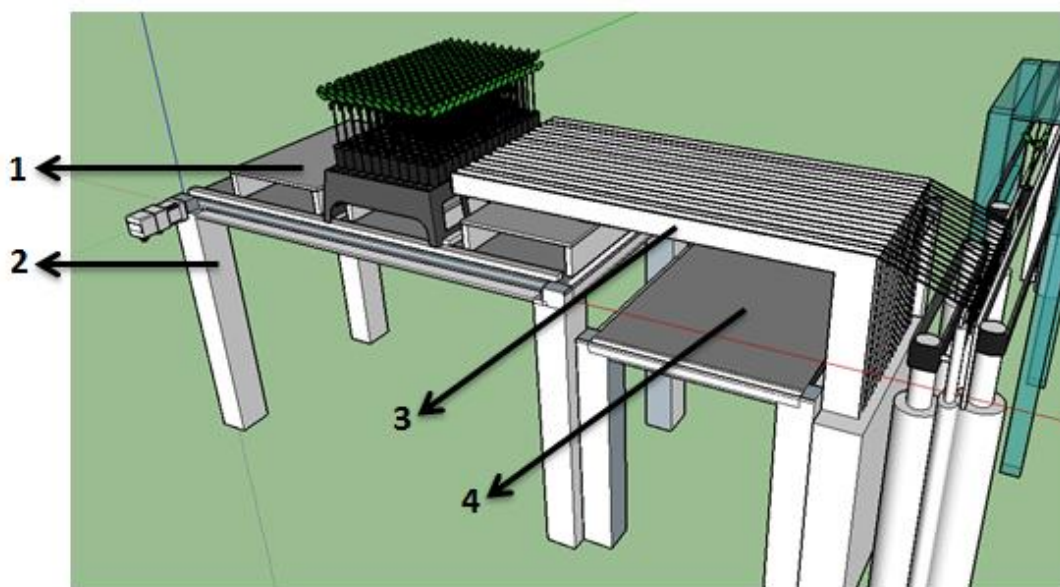


Figura 18: Módulo de Alimentação

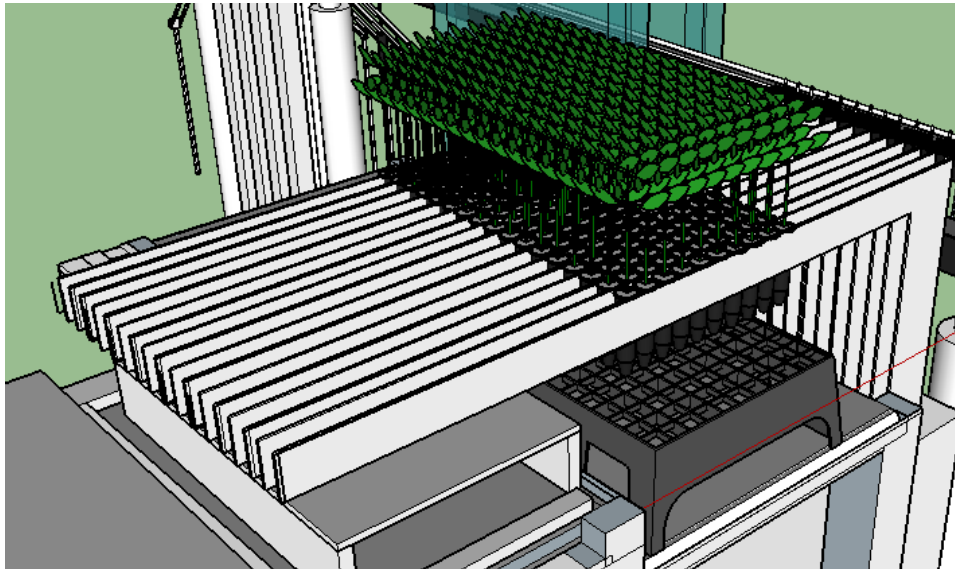


Figura 19: Tubetes suspensos nos garfos

Os tubetes suspensos nos garfos são empurrados pelo novo lote de tubetes que chega da bandeja seguinte. O processo se repete até os tubetes caírem por canaletas inclinadas [5] no mecanismo de pré-linha de produção. Tal mecanismo consiste em portas [6] que impedem que os tubetes caiam na linha de produção. Essas portas são rotacionadas de 90°, uma por uma, por outro mecanismo mecânico [7], liberando os tubetes para que cheguem à linha de produção [8] (figura 20).

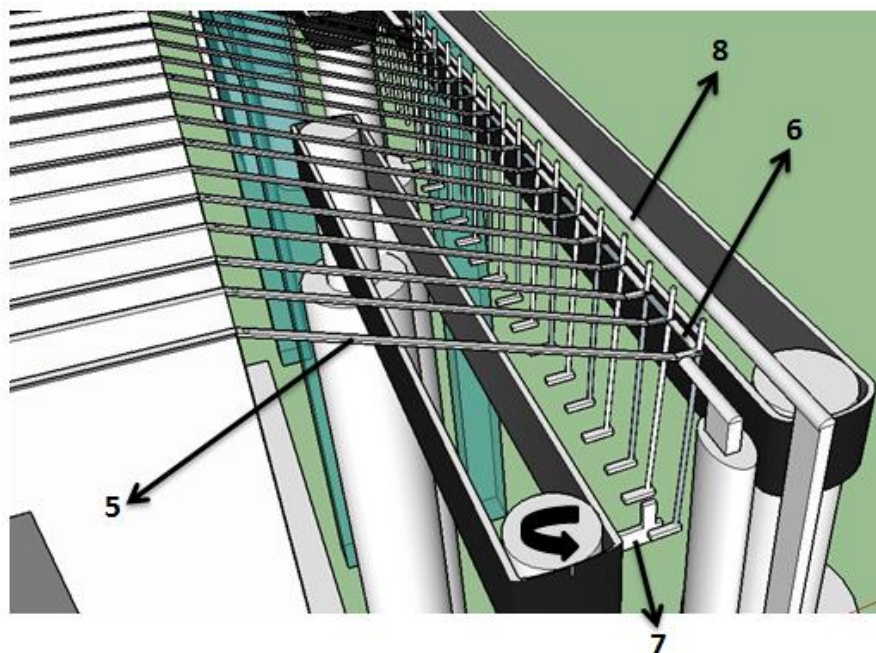


Figura 20: Pré-Linha de Produção

Uma vez os tubetes na linha de produção o processo de separação (2º módulo) ocorre do mesmo modo que na Solução 1.

Prova de conceito da solução 2:

Para comprovar a validade dessa solução foram construídos alguns protótipos dos garfos, em madeira e em acrílico, o qual é mostrado na figura 21.

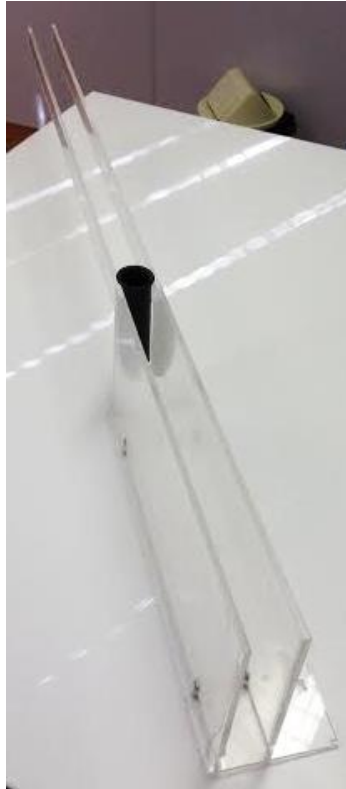


Figura 21: Garfo em acrílico

Constatou-se que havia uma grande flexão nas pontas dos garfos, que inviabilizava a solução (tanto em madeira quanto em acrílico).

Para se verificar a viabilidade dos garfos feitos em alumínio foram feitas diversas simulações utilizando-se o método dos elementos finitos, para verificar a deflexão do mecanismo, com o emprego do software SOLIDWORKS. Analisando os resultados das simulações e fazendo-se algumas modificações na estrutura do garfo original chegou-se a conclusão que a solução, feita com garfos de alumínio, é viável.

4.2 Metodologia de escolha da solução

Para a escolha da melhor solução, optou-se pela metodologia “Analytic Hierarchy Process”, a partir de agora referida como método AHP, apresentado na referência (12) .

O método AHP consiste em reduzir a análise de sistemas complexos em uma sequência de comparações entre as grandezas de importância, sempre feitas aos pares. O resultado de tal comparação pode ser expresso como prioridades, ou seja, os pesos relativos entre cada critério analisado. Desta forma, minimizam-se as falhas no processo de tomada de decisão. (13)

Segundo (14), é necessário elencar os critérios da matriz AHP que serão usados como base de comparação para a escolha da solução ótima, assim como atribuir importâncias relativas e notas aos mesmos.

Critérios de matriz de decisão AHP

Os critérios usados na confecção da matriz AHP foram os requisitos estruturais levantados junto aos potenciais clientes, conforme explicado na seção *análise de requisitos*. São eles: custo, segurança, aparência, facilidade de uso, baixa manutenção, resistência ao ambiente. Os critérios “baixa manutenção” e “resistência ao ambiente” serão considerados como um único critério, chamado de “robustez”. O critério “aparência” será considerado como “estética” e “facilidade de uso” como “operabilidade”.

Além disso, consideraram-se mais dois critérios de engenharia. São eles: “complexidade da máquina” e “peso”. Estes 7 critérios são descritos a seguir.

Custo

O custo, aqui considerado como “gasto relativo ao bem ou serviço utilizado na produção de outros bens e serviços.” (15), mantém forte correlação com o preço de venda do produto (16), o que influencia a decisão de compra do consumidor (17). De fato, o questionário mostrou o quão importante o preço do produto é para o cliente.

Segurança

O produto precisa estar apto a funcionar sem causar qualquer acidente que ponha em risco as pessoas que circulam pela área de operação ou o meio ambiente no qual ele está inserido.

Design

O *design* diz respeito às características físicas e funcionais do produto, englobando aspectos como forma, cor, acabamento e disposição espacial dos elementos constituintes do produto.

Operabilidade

A operabilidade mensura quão facilmente uma pessoa (independente de grau de instrução ou treinamento prévio) consegue operar a máquina.

Robustez

A robustez de um produto esta associada à capacidade do mesmo efetuar suas funções com qualidade, mesmo com a presença de ruídos (temperatura, umidade, poeira, etc.). (18)

Complexidade da máquina

A complexidade da máquina reflete a dificuldade de projeto e manufatura do produto, sendo julgada principalmente por:

- Complexidade mecânica: processos de fabricação, número de peças, montagem, precisão, tipos de acionamentos.
- Complexidade eletrônica: número de sensores, drivers, motores, interface homem-máquina.
- Complexidade de controle: desenvolvimento e implementação do software de controle.

Peso

O peso da máquina completa será levado em consideração principalmente pela influência que esta grandeza tem no transporte da estrutura e no local de operação da máquina.

Atribuição de importâncias relativas

Os pesos utilizados na tabela de importâncias relativas são obtidos por meio da comparação entre os critérios dois a dois, conforme definido por (14) na figura 22. O resultado pode ser visto na tabela 2.

Table 1 The fundamental scale of absolute numbers

<i>Intensity of Importance</i>	<i>Definition</i>	<i>Explanation</i>
1	Equal Importance	Two activities contribute equally to the objective
2	Weak or slight	
3	Moderate importance	Experience and judgement slightly favour one activity over another
4	Moderate plus	
5	Strong importance	Experience and judgement strongly favour one activity over another
6	Strong plus	
7	Very strong or demonstrated importance	An activity is favoured very strongly over another; its dominance demonstrated in practice
8	Very, very strong	
9	Extreme importance	The evidence favouring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
Reciprocals of above	If activity <i>i</i> has one of the above non-zero numbers assigned to it when compared with activity <i>j</i> , then <i>j</i> has the reciprocal value when compared with <i>i</i>	A reasonable assumption
1.1–1.9	If the activities are very close	May be difficult to assign the best value but when compared with other contrasting activities the size of the small numbers would not be too noticeable, yet they can still indicate the relative importance of the activities.

Figura 22: Pesos

Tabela 2: Definição da intensidade de importância

Custo	Segurança	1
Custo	Design	9
Custo	Operabilidade	4
Custo	Robustez	1
Custo	Complexidade	5
Custo	Peso	8
Segurança	Design	9
Segurança	Operabilidade	9
Segurança	Robustez	5
Segurança	Complexidade	9
Segurança	Peso	9
Design	Operabilidade	0,125
Design	Robustez	0,125
Design	Complexidade	0,125
Design	Peso	0,125
Operabilidade	Robustez	1
Operabilidade	Complexidade	6
Operabilidade	Peso	8
Robustez	Complexidade	9
Robustez	Peso	8
Complexidade	Peso	8

Atribuição de notas

Para que a atribuição de notas para os critérios nas duas soluções propostas fosse embasada, fez-se uma análise básica das relações dos critérios aplicados para cada solução.

Custo

A diferença principal entre as duas soluções propostas está no módulo de separação, sendo que na solução baseada em geração de vácuo (MBGV), há todo um conjunto de elementos (guia linear, pistão, compressor, bomba de vácuo, ventosas), enquanto que na solução baseada em garfos, há somente a estrutura que servirá como guia para os tubetes. Sendo assim, considerou-se que a primeira será mais cara que a segunda.

Segurança

Segundo a referência (19), a segurança de uma máquina pode ser avaliada pela sua “quantidade de risco”, grandeza que leva em consideração a severidade de lesões potenciais e a probabilidade de suas ocorrências.

Para as soluções apresentadas, considerou-se a severidade de lesões potenciais como sendo iguais, dado que a dinâmica de funcionamento dos potenciais geradores de riscos (partes móveis) é parecida. A diferença vem, portanto, da probabilidade da ocorrência das lesões potenciais, que foi considerada ligeiramente maior no MBGV, dado que há maior número de partes móveis (guia linear, pistão).

Design

O *design* (cor, tamanho, acabamento) das duas soluções é customizável, de forma que é possível alcançar uma solução igualmente agradável para o cliente. Sendo assim, consideraram-se as duas soluções com notas iguais.

Operabilidade

A operação da máquina será feita por meio de uma interface homem-máquina (IHM). No MBGV, tem-se uma estrutura com mais variáveis a ser controladas e, portanto, a IHM tende a ser mais complexa. Deste modo, o MBGS tem uma nota maior.

Robustez

No MBGV, a linearização das mudas é feita com auxílio de processos altamente controláveis (avanço da guia, avanço do pistão, acionamento do gerados de vácuo), diferentemente do MBGS, que se baseia no “encaixe” dos tubetes nos garfos suspensos. Dessa forma, a robustez do primeiro sistema é maior.

Complexidade da máquina

O MBGV é substancialmente mais complexo do que o MBGS, dado que no primeiro há a necessidade mais elementos, tanto como estruturais e eletrônicos, como de rotinas de controle.

Peso

O peso do MBGV foi considerado um pouco menor que o peso do MBGS, dado que toda a estrutura dos garfos, que substitui o aparato movido à vácuo, tem maior massa.

Tabela de notas

Após a compilação dos dados anteriormente discutidos, chegou-se nas notas indicadas na tabela 3.

Tabela 3: Tabela de notas

	MBGV	MBGS
Custo	1	3
Segurança	4	5
Design	5	5
Operabilidade	4	5
Robustez	5	3
Complexidade	2	5
Peso	4	3

Matriz de decisão AHP

Como resultado direto da tabela construída no item 4.2.2, tem-se a matriz, já normalizada (tabela 4).

Tabela 4: Matriz de decisão AHP

	Custo	Segurança	Design	Operabilidade	Robustez	Complexidade	Peso
Custo	0,37	0,37	3,35	1,49	0,37	1,86	2,98
Segurança	0,37	0,37	3,35	3,35	2,23	3,35	3,35
Design	0,04	0,04	0,37	0,05	0,05	0,05	0,05
Operabilidade	0,09	0,04	2,98	0,37	0,37	2,23	2,98
Robustez	0,37	0,06	2,98	0,37	0,37	2,23	2,98
Complexidade	0,07	0,04	2,98	0,06	0,06	0,37	2,98
Peso	0,05	0,04	2,98	0,05	0,05	0,05	0,37

Os pesos finais são obtidos somando as linhas da tabela anterior e normalizando-os. Têm-se então os resultados indicados na tabela 5.

Tabela 5: Pesos Finais

	Custo	Segurança	Design	Operabilidade	Robustez	Complexidade	Peso
Pesos	0,33	0,51	0,02	0,29	0,29	0,21	0,11

Finalmente, multiplicando os pesos encontrados pelas notas definidas em 4.2.2, tem-se o resultado desejado, apresentado na tabela 6.

Tabela 6: Resultado final

	MBGV	MBGS
Custo	0,33	1,00
Segurança	2,04	2,55
Design	0,10	0,10
Operabilidade	1,14	1,43
Robustez	1,43	0,86
Complexidade	0,41	1,04
Peso	0,46	0,34
Soma	5,92	7,31

Logo, a solução a ser desenvolvida é o mecanismo baseado em garfos suspensos (MBGS).

5 Detalhamento da solução proposta

5.1 Projeto Mecânico

Depois de definida a melhor solução, procedeu-se ao modelamento das principais peças da máquina em CAD.

Para a construção do protótipo serão utilizados apenas três garfos (dois canais por qual passarão os tubetes), sendo possível provar o conceito e testar o funcionamento da máquina com menor custo.

Como mencionado na seção 4.1 foram necessárias algumas alterações na estrutura mecânica dos garfos para que a deflexão em seu extremo não inviabilizasse a solução.

Visão geral da máquina:

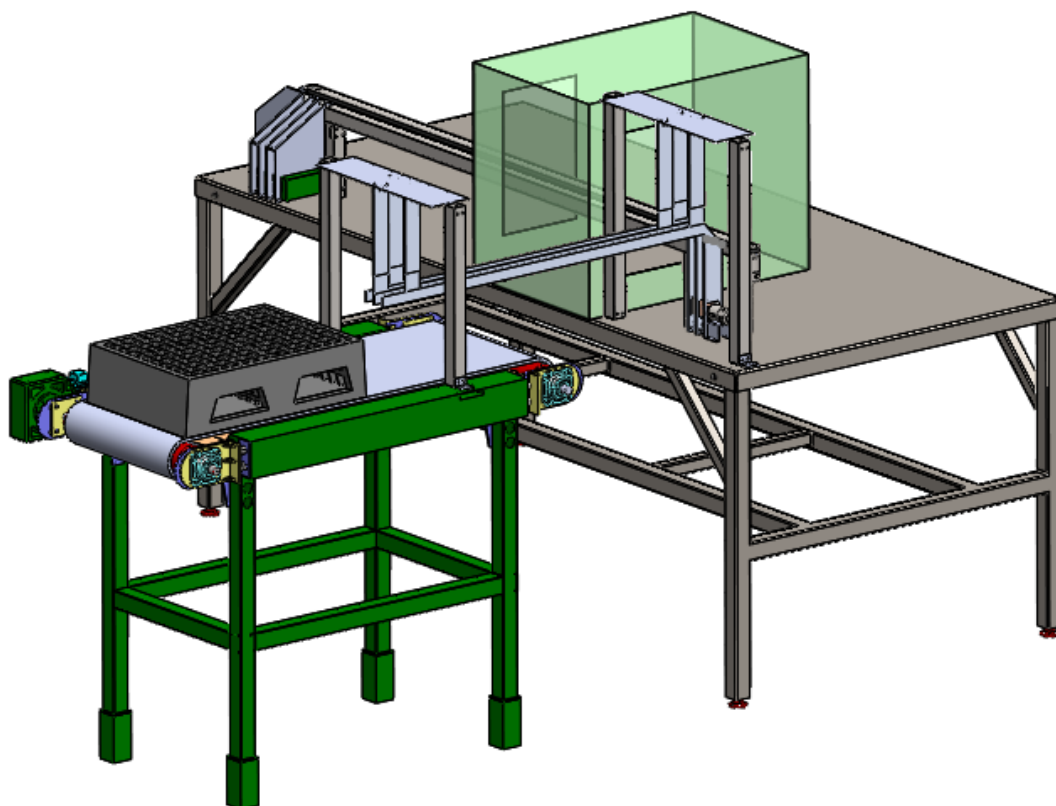
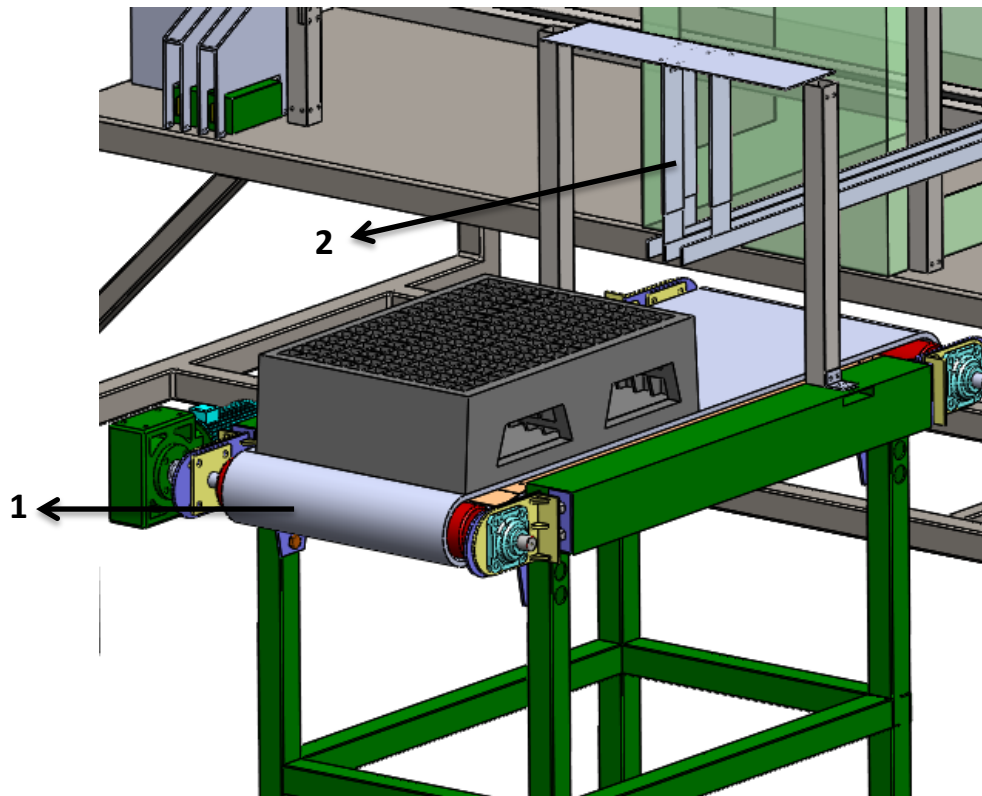


Figura 23: Visão geral da máquina



Será utilizada uma esteira transportadora para iniciar o processo de retirada dos tubetes das bandejas [1]. Com o avanço da bandeja, feito pela esteira, os tubetes “entram” nos garfos [2] onde ficam apoiados. Os tubetes seguem pelos garfos até chegarem ao próximo módulo:

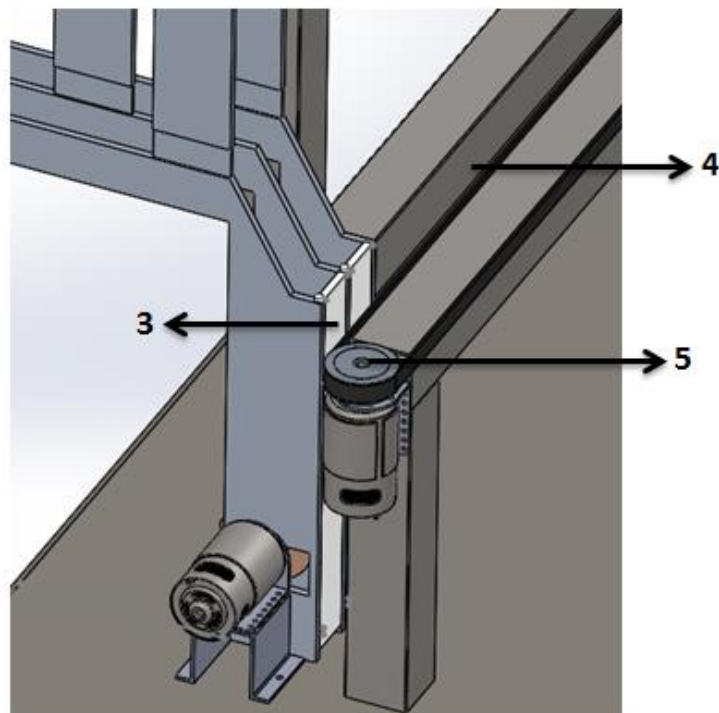


Figura 24: Módulo pré-linha

Nesse módulo os tubetes ficam presos por portas [3], sendo liberados para caírem na linha de produção [4] por um mecanismo de came que abre estas portas (o retorno é feito por molas).

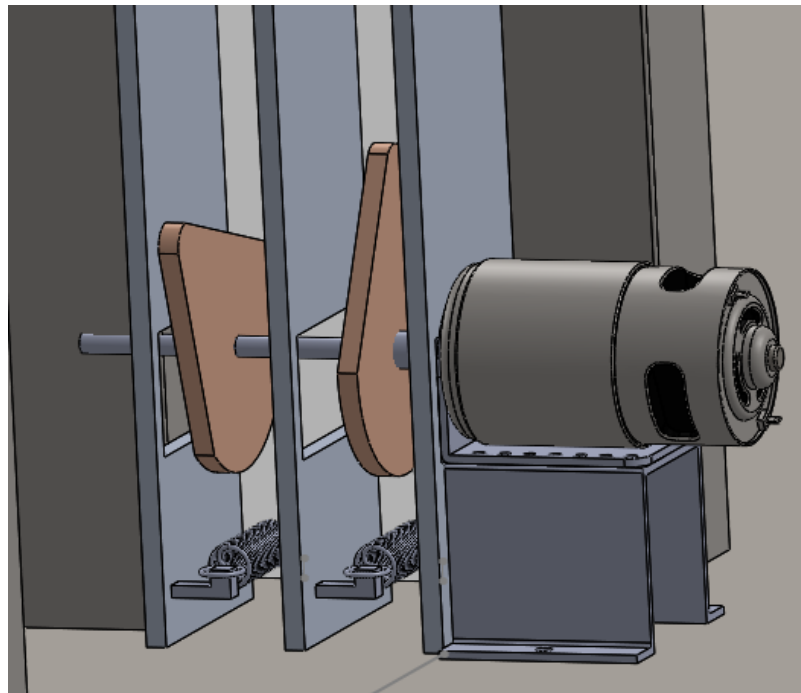


Figura 25: Mecanismos para as abrir portas

Após o tubete cair na linha de produção, ele é movimentado por um mecanismo de polia-correia [5] passando pelo sistema de reconhecimento de imagem (representado pela caixa [6]) que determina qual a categoria ao qual a muda pertence.

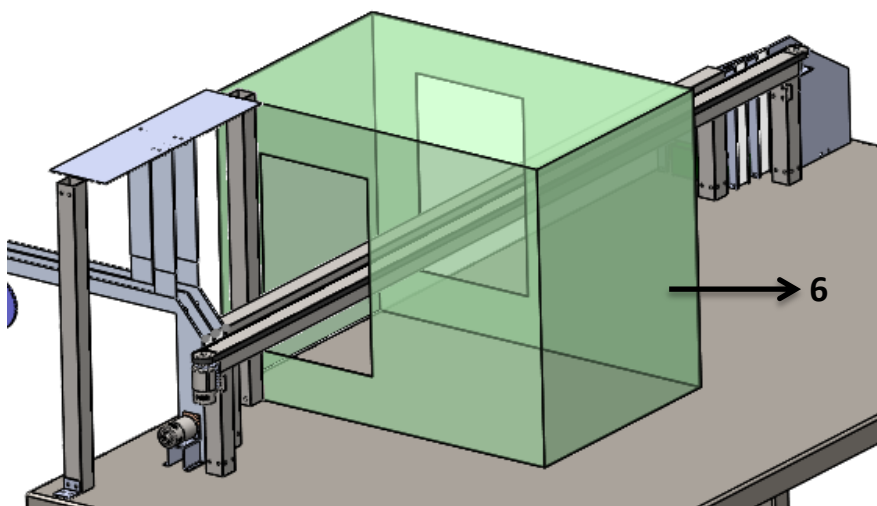


Figura 26: Linha

Após o software de visão computacional determinar qual categoria a muda pertence, o tubete é separado por um mecanismo que utiliza solenóides para abrir as portas [7]. Os tubetes permanecem no buffer de saída até um operador retirá-los da máquina.

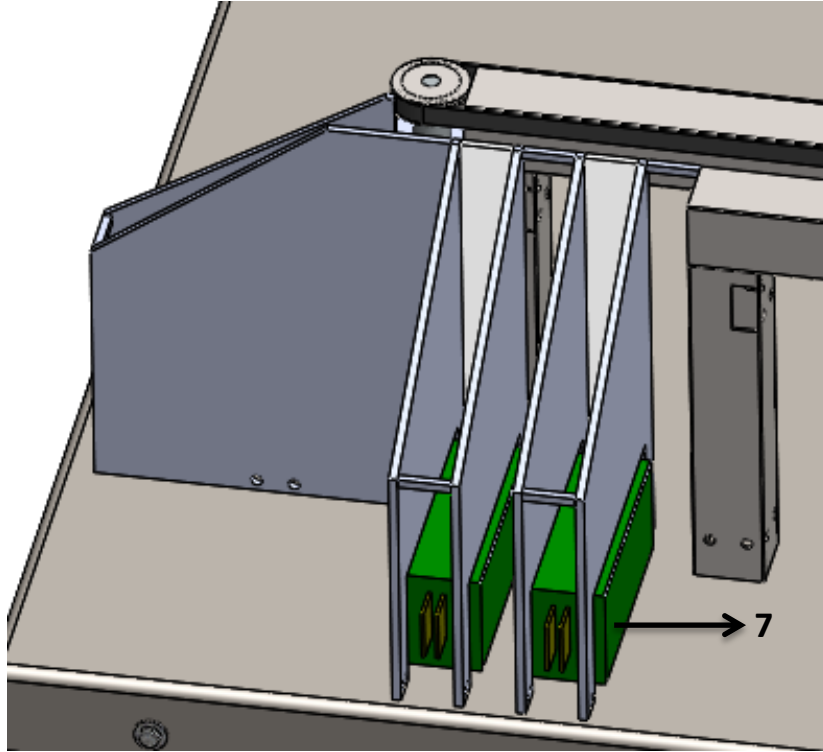


Figura 27: Buffer de saída

Para atender à especificação da máquina de analisar 1 muda por segundo mantendo um espaçamento de 200mm entre as mudas na linha de produção, a correia deve ter uma velocidade linear de $V_{lp} = \frac{200mm}{1s} = 200 \text{ mm/s}$ (desprezando-se o diâmetro dos tubetes). Considerando que o tempo de abertura da porta é desprezível, isto é, ao ocorrer o contato dos ressaltos o tubete cai instantaneamente na linha de produção, tem-se que a velocidade linear do ressalto movimentado pela correia é $V_c = \frac{37mm}{1s} = 37 \text{ mm/s}$, sendo que 37mm corresponde à distância entre dois ressaltos consecutivos nas portas.

O diâmetro da polia D_p é de 50mm portanto a velocidade de rotação do motor é $\omega = \frac{37mm/s}{50mm} = 0.74 \frac{rad}{s} \cong 7 \text{ rpm} \cong 0.117 \text{ rps}$.

Para acionar o sistema polia-correia será usado o motor de corrente contínua MR910-160 da Motron que fornece um torque de 2.35 N/m

(*datasheet*,). Esse torque fornecido corresponde a uma força de $F = \frac{2.35 \text{ N/m}}{0.05 \text{ m}} = 47 \text{ N}$ no ressalto movimentado pela correia, que é suficiente para se abrir a porta (força necessária estimada é de no máximo 10N).

5.2 Projeto de Software de Controle:

O projeto de software da máquina foi dividido em três partes:

- UML (Unified Modeling Language)
- IHM (Interface Homem-Máquina)
- CLP (Controlador Lógico Programável)

Na primeira parte são apresentados e explicados os diagramas UML (Diagramas de Casos de Uso, Diagramas de Máquina de Estado, Diagramas de Componentes e Diagramas de Sequência) do projeto.

Na segunda parte é apresentada a interface homem-máquina que será utilizada na máquina.

Na terceira parte é apresentada a lógica que será implementada no CLP (controlador lógico-programável).

UML:

Diagramas de Casos de Uso:

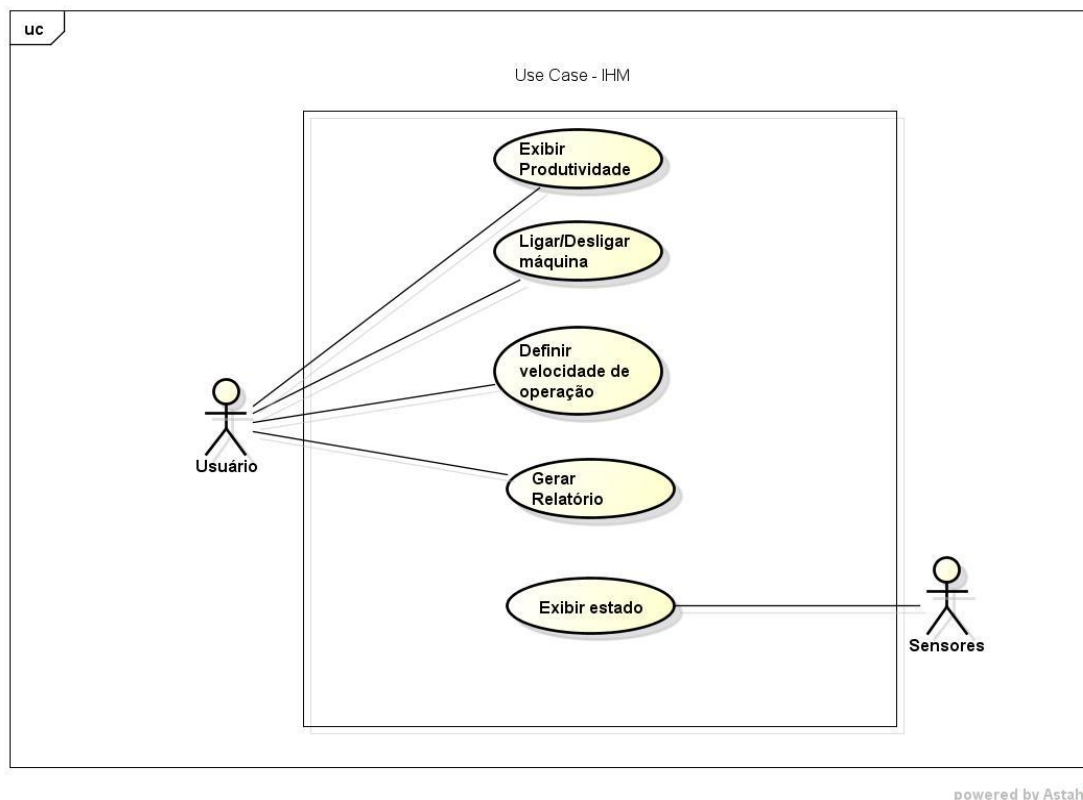
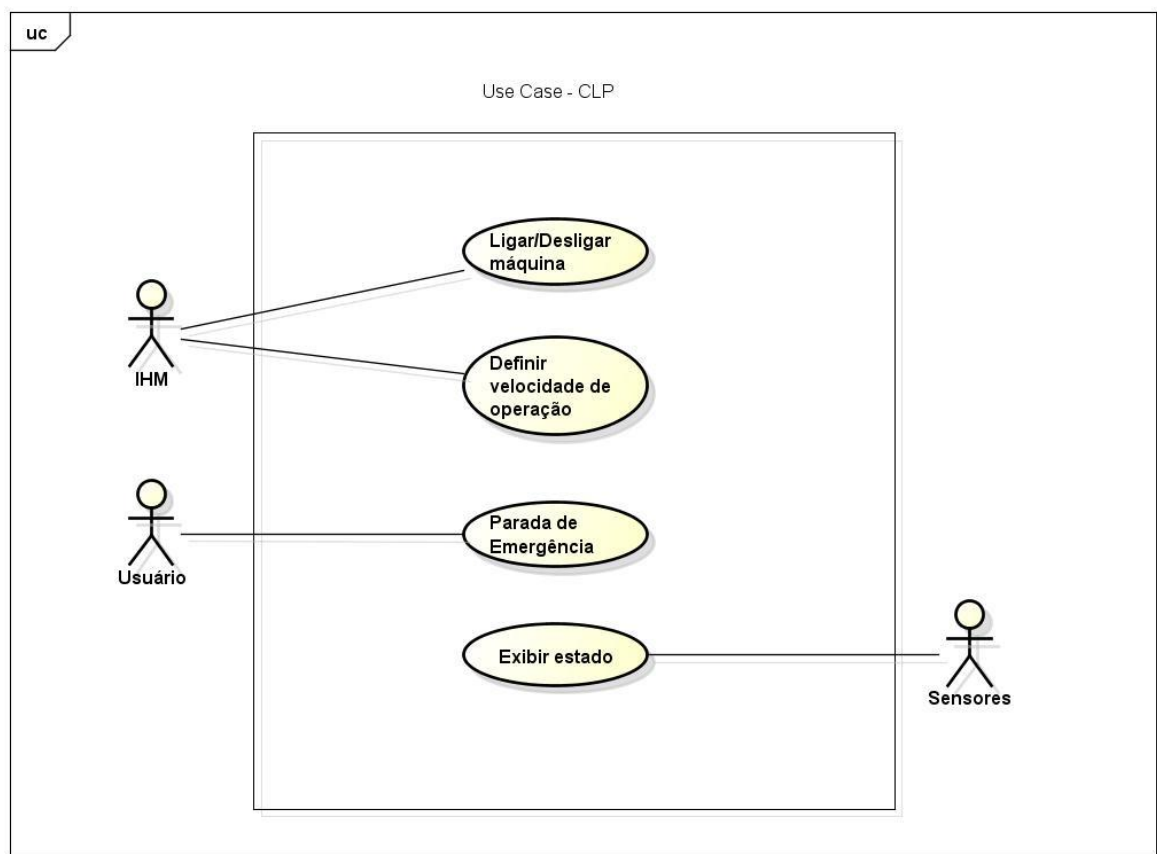


Figura 28: Use Case IHM

Use Case IHM (figura 30): o operador usa o sistema para ligar/desligar a máquina, definir a sua velocidade de operação (velocidade de todos os motores simultaneamente) e gerar um relatório contendo as informações da separação das mudas (quantidade total, quantidade por categoria, tempo de operação...). As mesmas informações geradas no relatório são mostradas em tempo real em um monitor.

Os sensores usam o sistema para mostrarem no monitor seu estado atual.



powered by Astah

Figura 29: Use Case - CLP

Use Case CLP (figura 31): a IHM interage com o sistema repassando as informações inseridas pelo usuário, como ligar/desligar a máquina e definir sua velocidade de operação.

Por sua vez o usuário, visto pelo sistema da CLP, pode interromper a operação da máquina através de um botão de emergência que desliga a máquina diretamente por hardware.

Diagramas de Máquina de Estado:

Como explicado anteriormente a máquina é separada em dois módulos tendo portanto duas máquinas de estado distintas (figuras 32 e 33).

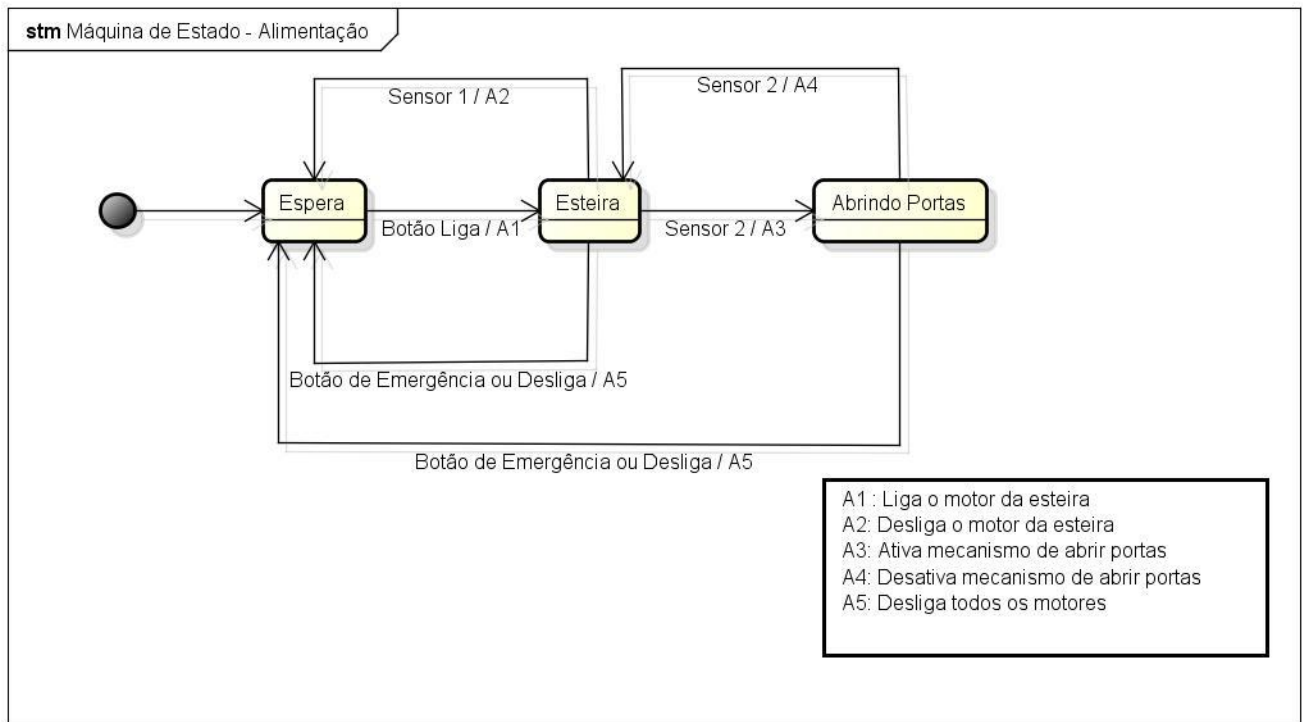
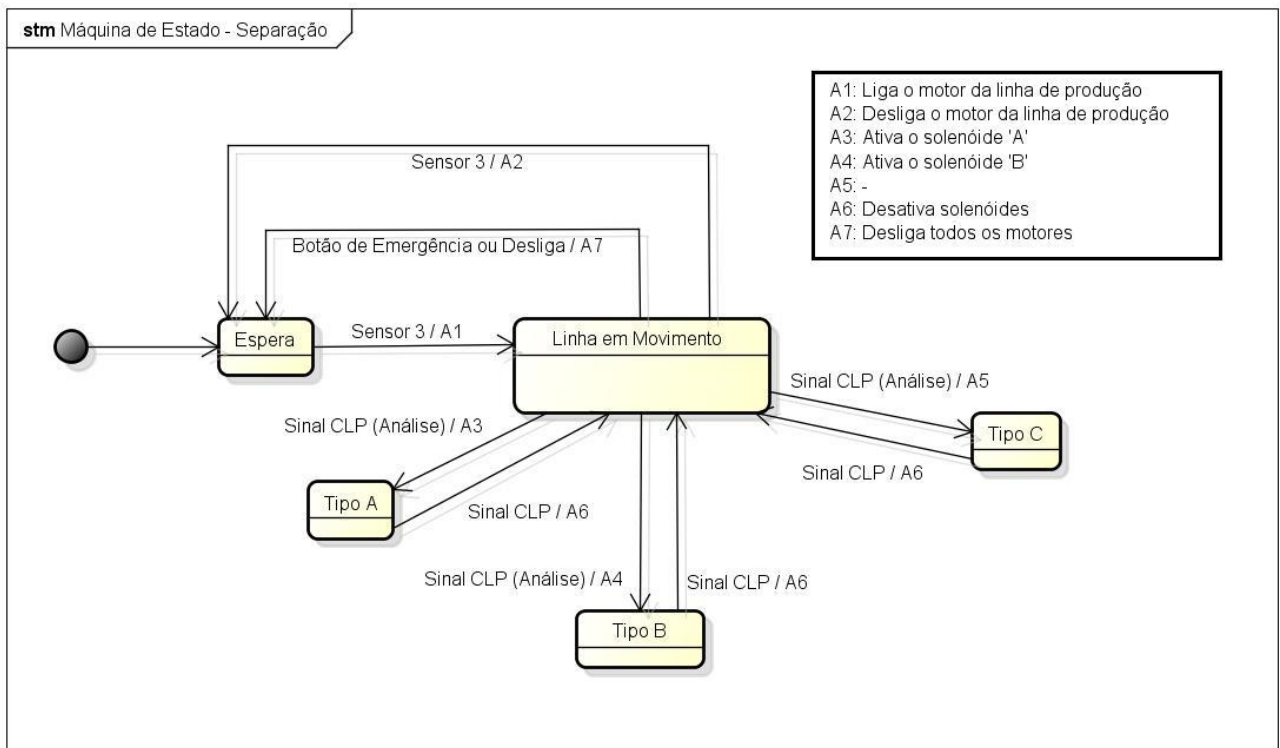


Figura 30: Máquina de Estado - Alimentação

No 1º módulo (Alimentação) a máquina fica em estado de espera até o botão “Liga” ser pressionado pelo usuário. Uma vez o botão pressionado ambas as esteiras são acionadas e permanecem assim até o botão de emergência (ou desliga) ser pressionado ou o sensor 1 ser ativado.

O sensor 1 localiza-se na ponta dos garfos e serve para indicar quando o buffer de entrada (tubetes nos garfos) estiver cheio, sendo necessário interromper o fluxo de tubetes vindo das bandejas na primeira esteira.

O sensor 2 localiza-se junto as portas no mecanismo de pré-linha de produção e indica a presença de tubetes no local. Detectada essa presença o mecanismo mecânico que abre as portas é acionado e permanece assim até que o sensor indique que não há mais tubetes naquele local.



powered by Astah

Figura 31: Máquina de Estado - Separação

O módulo de separação fica no estado de espera até ser ativado pelo sensor 3.

O sensor 3 representa um conjunto de sensores que estão localizados nos buffers de saída, indicando se um buffer está cheio sendo necessário interromper o fluxo de tubetes desligando o acionamento da linha de produção.

De acordo com o tipo de muda que foi analisada ocorre o acionamento do solenoide correspondente à sua categoria, separando assim os tubetes.

Caso sejam pressionados o botão de emergência (hardware) ou o botão desliga (software) a máquina volta a seu estado de espera.

Diagramas de Componentes:

A seguir são apresentados os diagramas de componentes do sistema (figuras 34 e 35).

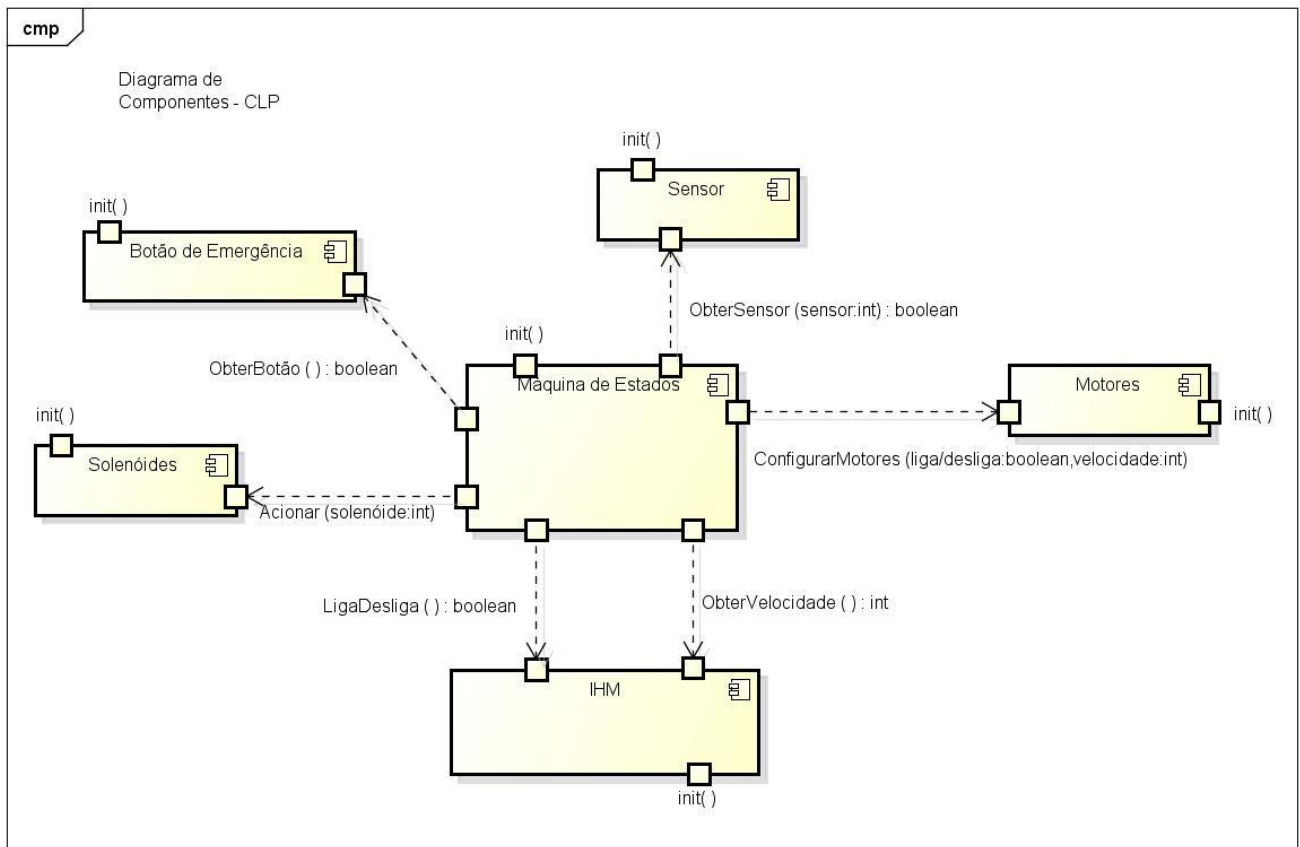


Figura 32: Diagrama de Componentes - CLP

Funções:

- `ObterVelocidade () : int` – Retorna um inteiro de 0 a 100 que representa o valor da velocidade de operação fornecido pelo usuário.
- `LigaDesliga () : boolean` – Retorna o estado do botão liga/desliga (se ele foi pressionado).
- `Acionar (solenóide:int)` – Aciona o solenóide correspondente.
- `ObterBotão () : boolean` - Retorna o estado do botão de emergência (se ele foi pressionado).
- `ObterSensor (sensor:int) : boolean` – Retorna o estado do sensor correspondente.
- `ConfigurasMotores (liga/desliga:boolean, velocidade:int)` – Liga ou Desliga todos os motores, caso ligado define suas velocidades.

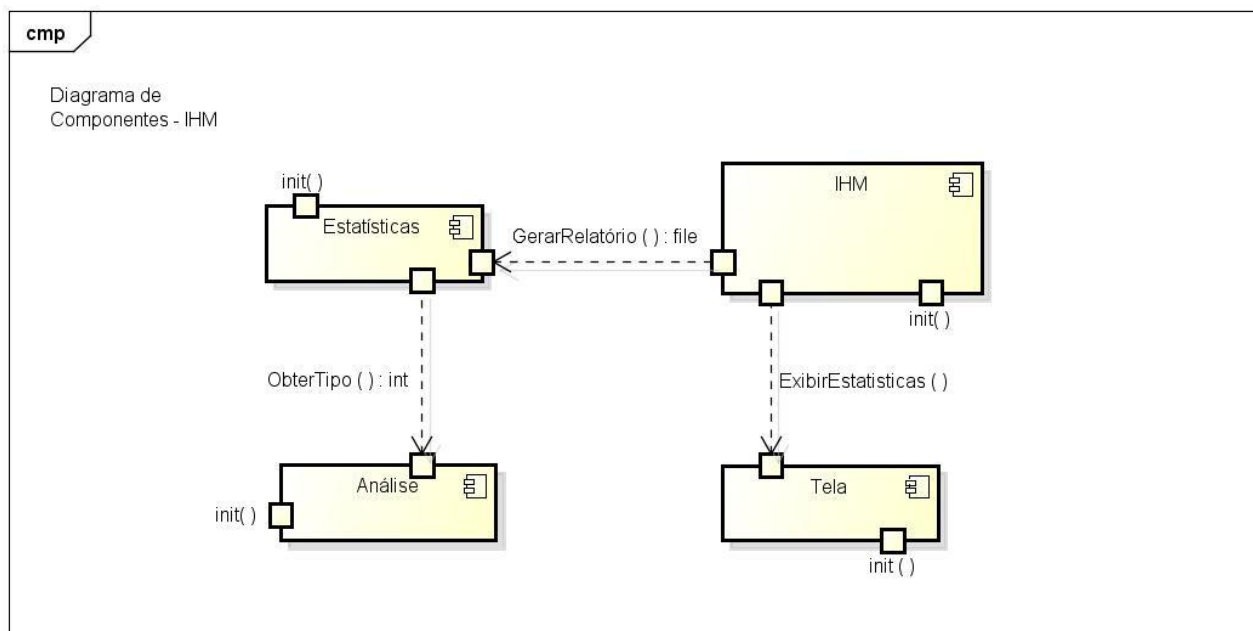


Figura 33: Diagrama de Componentes - IHM

Funções:

- ObterTipo () : int – Retorna o tipo da última muda analisada.
- GerarRelatório () : file – Retorna o arquivo com o relatório de processo.
- ExibirEstatísticas () : - Mostra na tela as estatísticas referentes a operação da máquina.

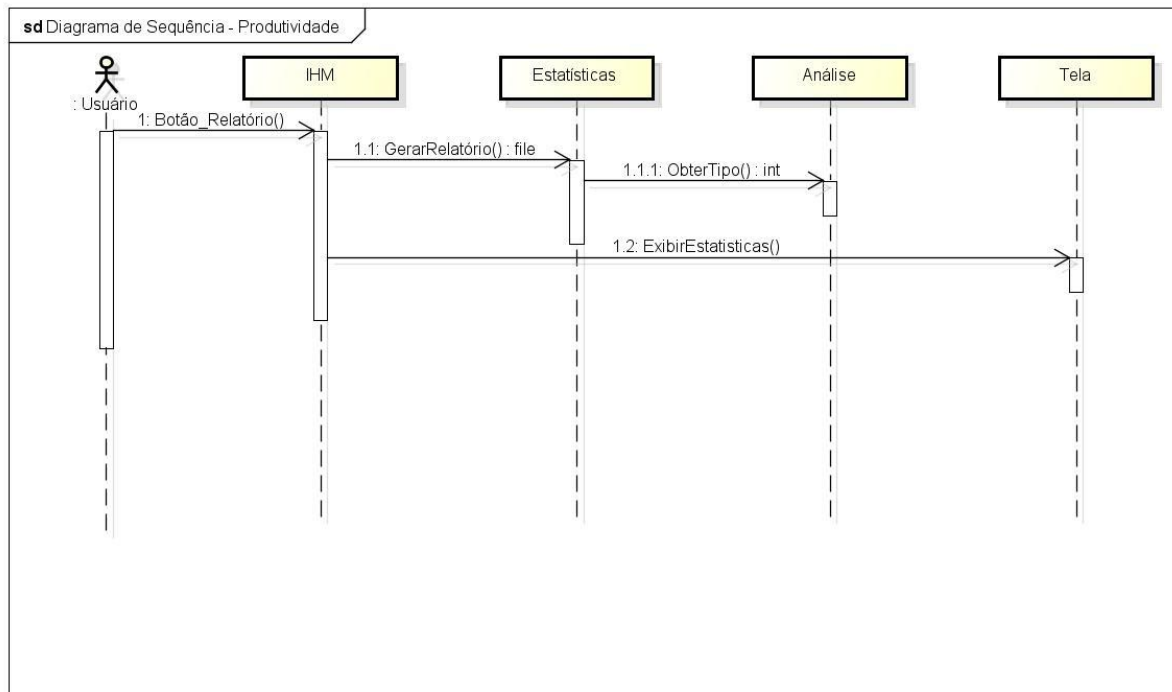
Observações:

O componente *Análise* representa as saídas do software de visão computacional que será desenvolvido pela empresa parceira.

O componente *Estatísticas* é responsável por receber as informações do componente *Análise*, processá-las e gerar as informações que serão usadas na geração do relatório e mostradas na tela em tempo real.

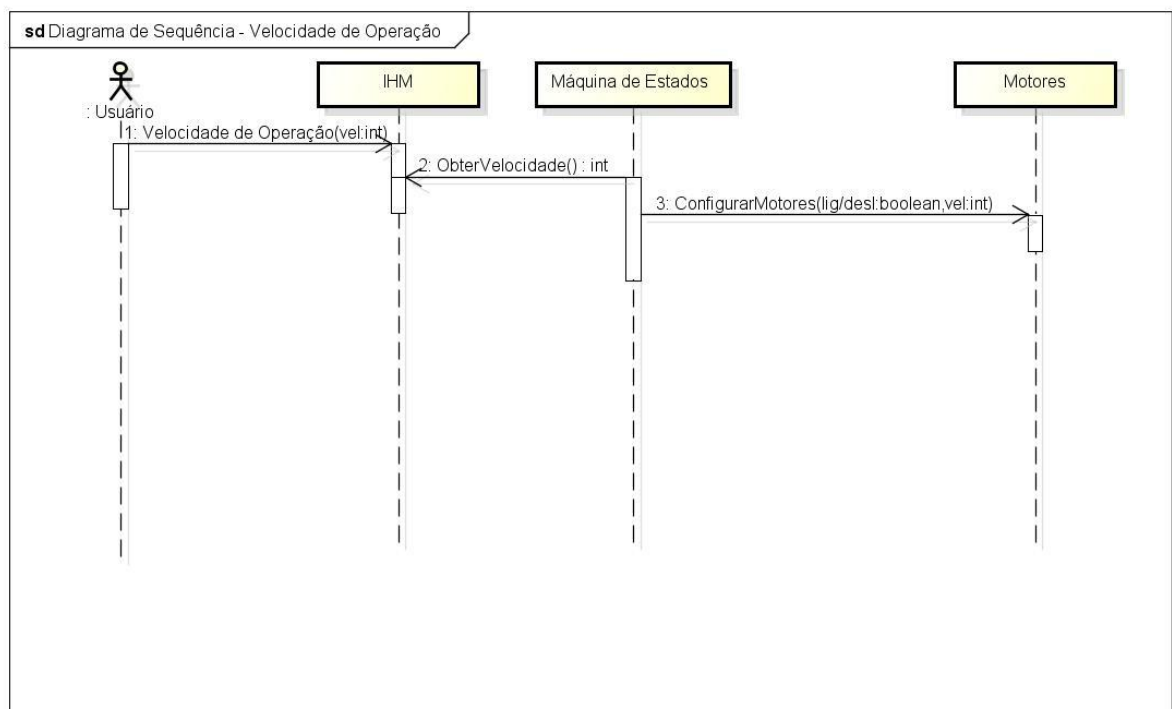
Diagramas de Sequência:

Em seguida são mostrados os diagramas de sequência que representam o fluxo de informações necessário para exibir as estatísticas na tela, e para definir a velocidade de operação da máquina (figuras 36 e 37).



powered by Astah

Figura 34: Diagrama de Sequência - Produtividade



powered by Astah

Figura 35: Diagrama de Sequência - Velocidade de Operação

IHM:

A IHM foi feita com o uso do software *QT Creator* e foi escrita em linguagem C++.

O código comentado pode ser encontrado no *apêndice*, ao final deste relatório.

A interação do sistema com o usuário é feita através de um botão que liga/desliga a máquina e de uma caixa de texto onde o usuário insere a velocidade de operação da máquina.

A velocidade de operação inserida pode variar de zero a cem e representa a porcentagem da velocidade máxima de operação pretendida pelo usuário.

No monitor também são mostrados os dados de produtividade do processo, isto é, quantas mudas de cada categoria foram separadas até o momento, o total de mudas analisadas e o tempo de operação da máquina em minutos.

A figura 38 mostra o estado inicial da IHM:

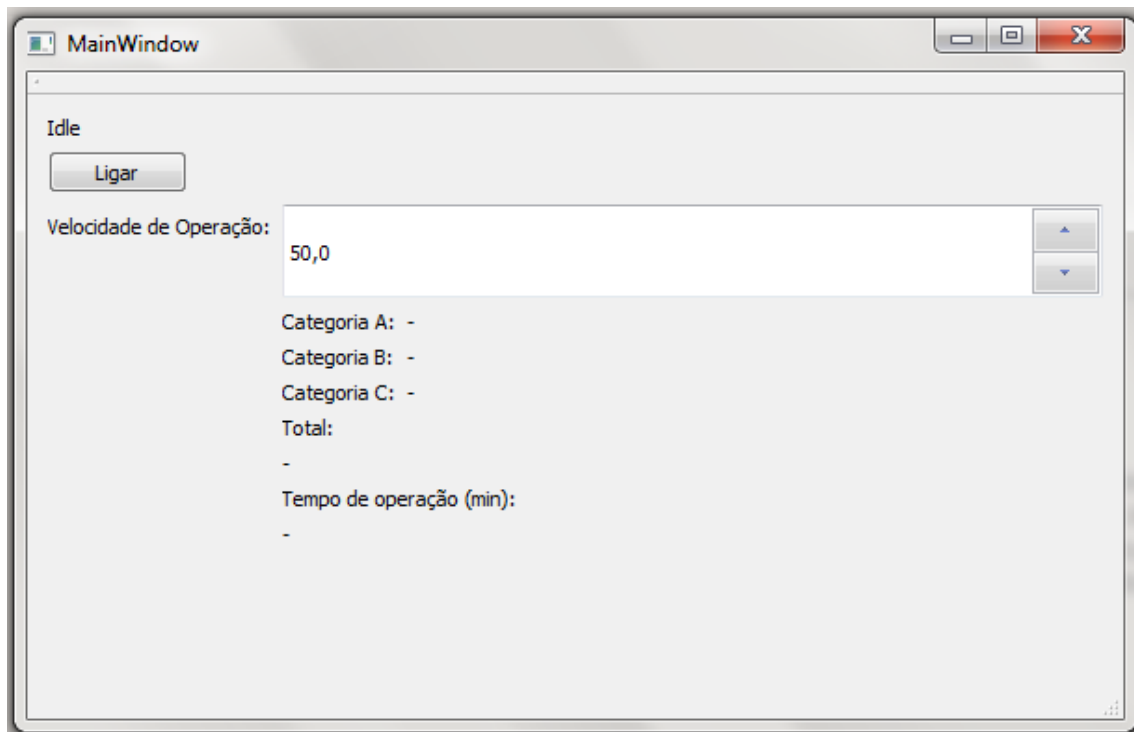


Figura 36: IHM – Estado Inicial

Ao ser ligada a máquina o botão 'Ligar' muda de nome para 'Desligar' e um texto na tela indica que a máquina está ligada. Para simular a separação da

muda foi utilizado um timer que gera um sinal a cada 1s e atualiza os dados de produtividade (figura 39).

Máquina ligada

Desligar

Velocidade de Operação: 50,0

Categoria A: 52
Categoria B: 104
Categoria C: 156
Total: 312
Tempo de operação (min): 52

Figura 37: IHM - Máquina Ligada

Ao se desligar a máquina o botão 'Desligar' muda de nome para 'Ligar' e os dados de produtividade ficam estáticos. Um texto na tela indica que a máquina está desligada (figura 40).

Máquina desligada

Ligar

Velocidade de Operação: 50,0

Categoria A: 70
Categoria B: 140
Categoria C: 210
Total: 420
Tempo de operação (min): 70

Figura 38: IHM - Máquina Desligada

CLP:

Para se realizar o controle da máquina foi utilizada um CLP modelo Micro850 da Rockwell Automation. O programa foi feito no software *Connected Components Workbench* fornecido pela mesma empresa, e será explicado a seguir.

A estrutura do programa pode ser vista no organizador de projeto (figura 40):

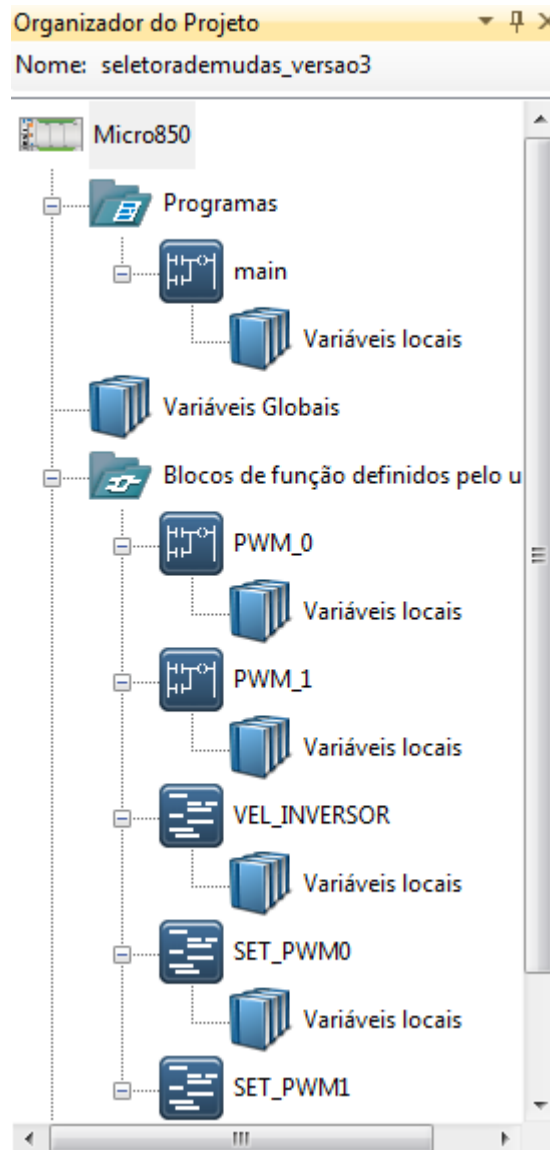


Figura 39: Estrutura do programa do CLP

Ele consiste na definição de blocos de função definidos pelo usuário (que são como rotinas) e no programa principal (main). Cada bloco possui suas variáveis locais e o programa como um todo utiliza as variáveis globais.

Os blocos SET_PWM0 e SET_PWM1 definem a velocidade de operação da máquina, modificando o valor do *duty cycle* das portas que possuem a função PWM (portas de saída 0 e 1):

SET_PWM0:

CASE velo OF

0: set_pwm := 0.0;

1: set_pwm := 6.0;

2: set_pwm := 9.0;

3: set_pwm := 12.0;

ELSE

erro := true;

END_CASE;

SET_PWM1:

CASE velo OF

0: set_pwm := 0.0;

1: set_pwm := 5.0;

2: set_pwm := 8.0;

3: set_pwm := 11.0;

ELSE

erro := true;

END_CASE;

A variável *velo* é definida por hardware através de um botão de 4 posições e reconhecida pelo CLP através de suas entradas.

As velocidades controladas por PWM correspondem ao motor da pré-linha e ao da linha de produção a relação entre elas está definida para o correto funcionamento da mecânica da máquina.

O bloco PWM_0 foi feito em diagrama *ladder* e corresponde a um bloco de função que vem definido pelo programa fornecido pela Rockwell Automation (figuras 41 e 42):

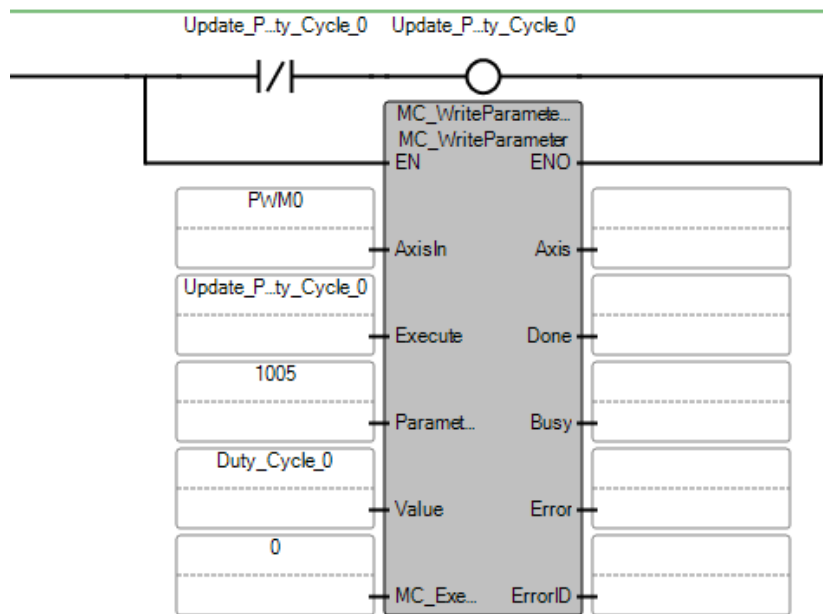


Figura 40: Diagram *ladder* do bloco PWM_0 (1)

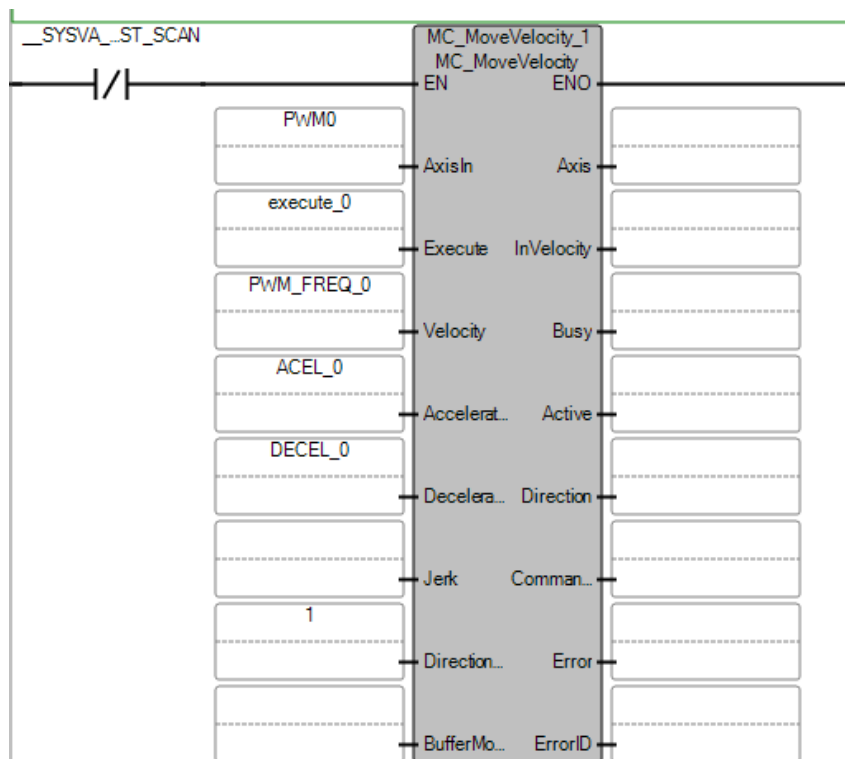


Figura 41: Diagram *ladder* do bloco PWM_0 (2)

Os parâmetros modificados são a frequência do PWM (definida em 1 kHz) e o valor do *duty cycle* que é modificado de acordo com a velocidade pretendida pelo usuário. Todos os demais parâmetros foram deixados em seus valores *default*.

O bloco PWM_1 é análogo ao bloco PWM_0.

A velocidade da esteira é variada pela utilização de um inversor de frequência, sendo reconhecida pelo bloco VEL_INVERSOR. O inversor recebe dois bits de dados, por hardware (com a utilização do botão de 4 posições e de relés) para definir sua velocidade. Esses bits também são passados para o CLP através de suas entradas e reconhecidos através do seguinte código:

```
IF ( bit0 = FALSE AND bit1 = FALSE ) OR botao_liga = false THEN
```

```
velo := 0;
```

```
ligado := false;
```

```
ELSIF bit0 = FALSE AND bit1 = TRUE THEN
```

```
velo := 1;
```

```
ligado := TRUE;
```

```
ELSIF bit0 = TRUE AND bit1 = FALSE THEN
```

```
velo :=2;
```

```
ligado := TRUE;
```

```
ELSIF bit0 = TRUE AND bit1 = TRUE THEN
```

```
velo :=3;
```

```
ligado := TRUE;
```

```
END_IF;
```

O programa principal (bloco *main*) pode ser visto nas figuras 43 e 44:

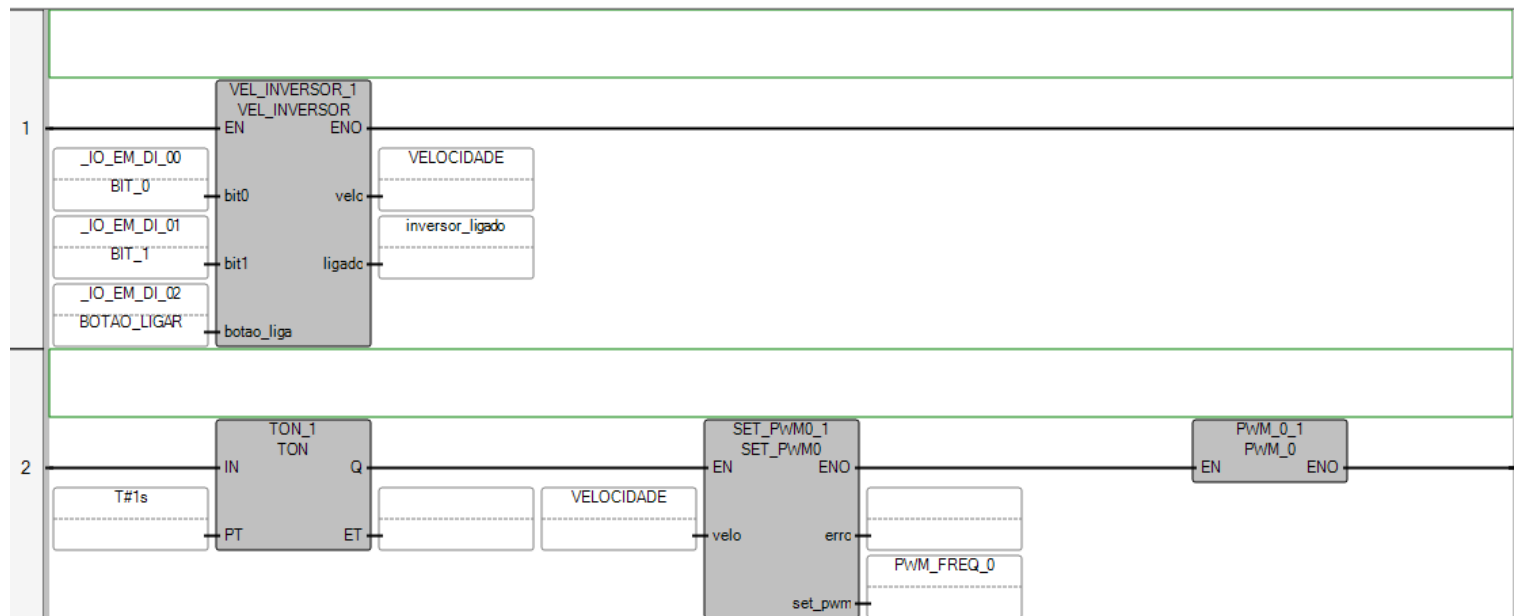


Figura 43: Bloco main (1)

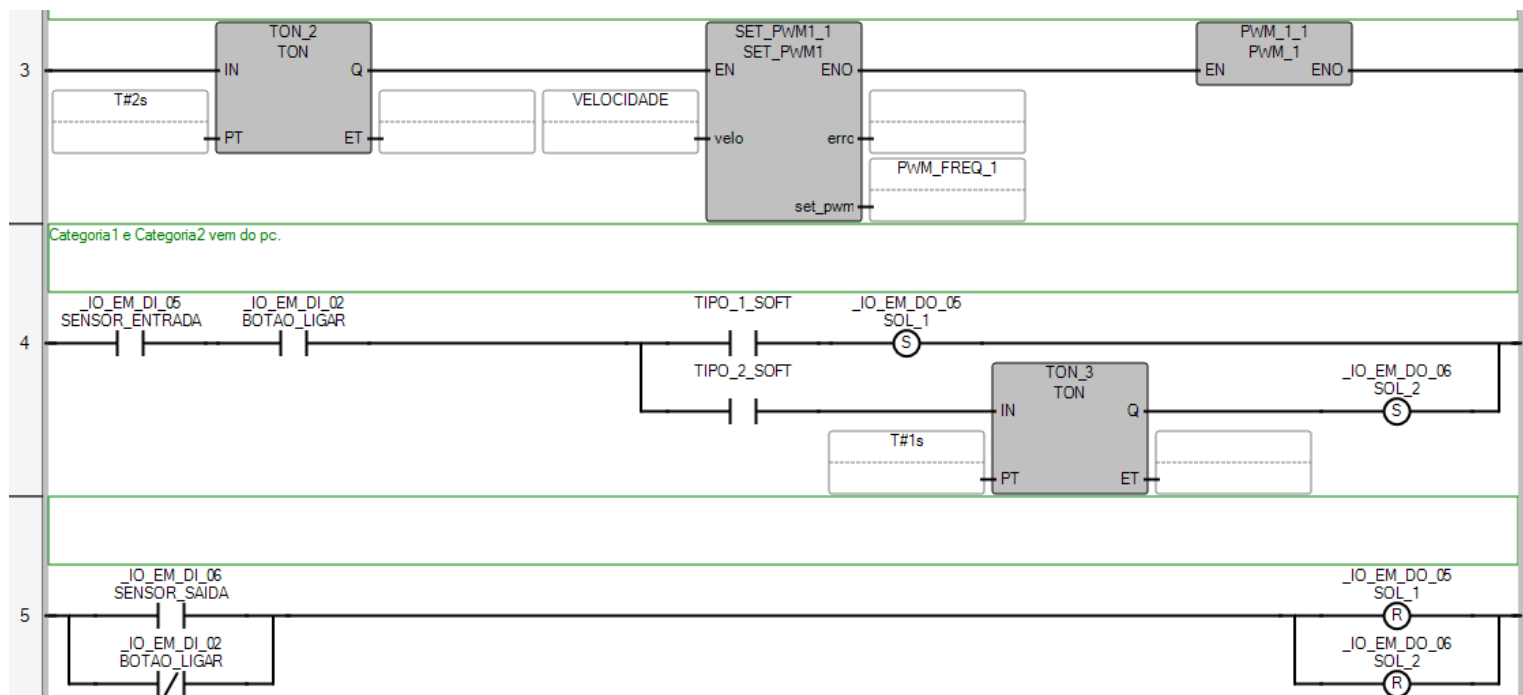


Figura 42: Bloco main (2)

Os blocos TON_1 e TON_2 correspondem a temporizadores.

Nas linhas 4 e 5 está a lógica de separação das mudas. A categoria da muda é definida pelo software de visão computacional e passada para o CLP através da comunicação ethernet. O sensor de entrada indica quando a porta de saída deve ser aberta pelo solenóide e o sensor de saída indica quando a porta deve ser fechada.

5.3 Projeto Elétrico/Eletrônico

O esquemático da ligação elétrica se encontra na figura 45 (fontes de tensão foram omitidas para efeitos de simplificação):

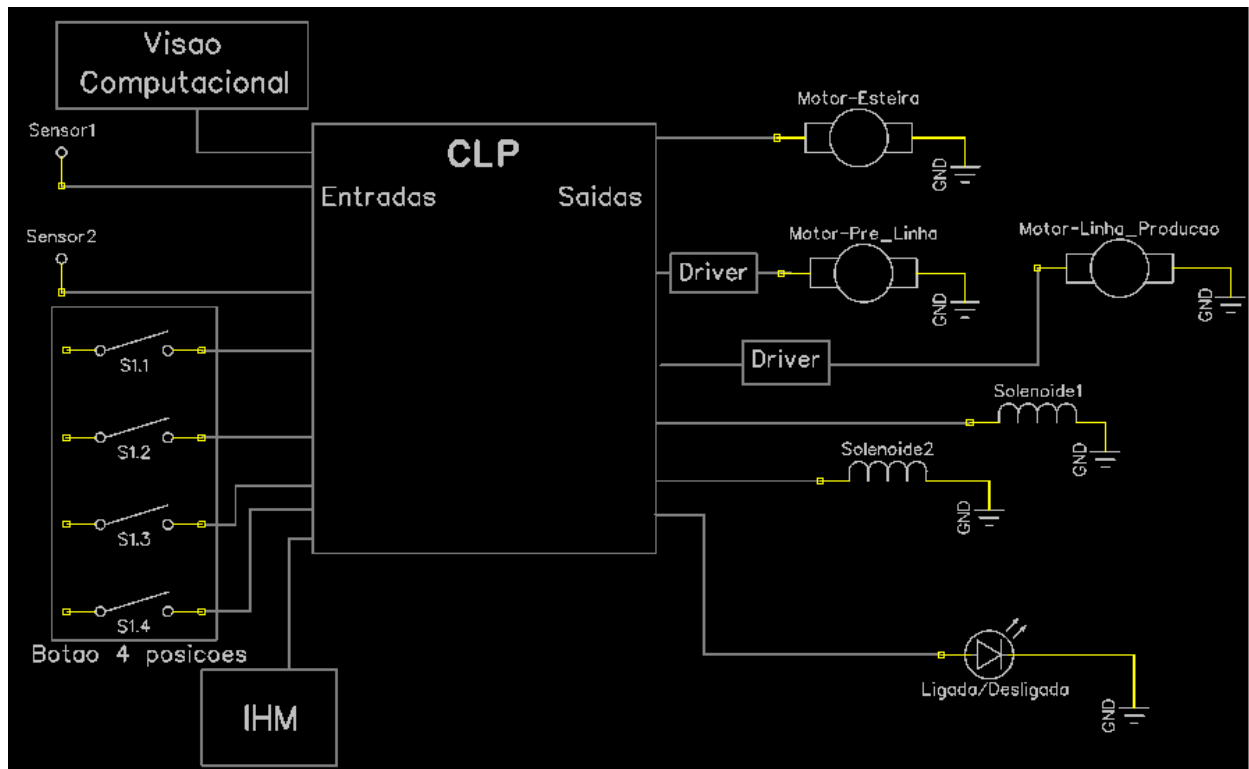


Figura 44: Ligações elétricas

Descrição de componentes eletroeletrônicos:

Motor de acionamento pré-linha e linha de produção (2 unidades) :

Motoredutor MR910-160 da Motron (<http://www.motron.com.br>) cuja especificação se encontra na figura 46:

MODELO	VOLTS V	S / CARGA		MÁXIMA EFICIÊNCIA					TORQUE TRAVADO kgf cm
		RPM	A	RPM	A	TORQUE kgf cm	POTÊNCIA W CONSUMO ENTREGA		
MR 910-27	24	27	0,3	18	1	59	24	11	175
MR 910-42	24	42	0,5	32	1,8	62	43	20	218
MR 910-62	24	62	0,8	51	2,6	66	62	35	271
MR 910-90	24	90	0,4	69	1,3	23	31	16	62
MR 910-115	24	115	0.5	78	1.8	27	43	20	94
MR 910-160	24	160	0,8	138	2,6	24	62	35	119
MR 910-260	24	260	0,8	210	2,6	17	62	35	88
MR 910-300	24	300	0,9	240	2,8	16	67	38	101

Figura 45: Especificações do motoredutor

Solenóides (2 unidades):

Solenóide série D 050 24V da Soletec com curso máximo de 20mm, PL de 40% e retorno por mola (<http://www.soletec.com.br>). A figura 47 mostra a curva de força do solenóide de acordo com sua posição:

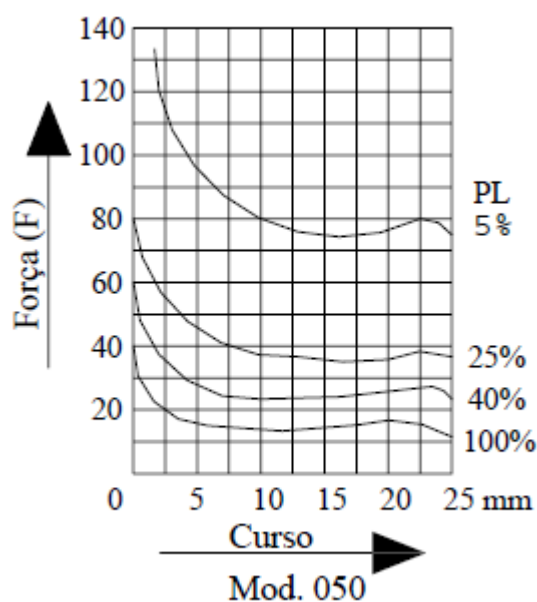


Figura 46: Força fornecida pelo solenóide

Sensores (2 unidades)

Sensor fotoelétrico de proximidade da Rockwell Automation.

(<http://ab.rockwellautomation.com/Sensors-Switches/General-Purpose-Photoelectric-Sensors/18-mm-Plastic-Cylindrical-Sensors>)

Controlador Lógico Programável (1 unidade)

Controlador lógico programável Micro850 da Rockwell Automation.
(<http://ab.rockwellautomation.com/pt/Programmable-Controllers/Micro850>)

Drivers (2 unidades)

Os drivers para o controle de velocidade dos motores foram feitos com a utilização de um MOSFET de potência modelo STP75NF75, que pode ser utilizado com uma tensão máxima de 75V e uma corrente máxima de 80A.

(<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00002771.pdf>)

Fonte de tensão (3 unidades)

Fonte industrial DC 24V 15A.

(<http://www.nodaji.com.br/fonte-industrial-dc-24v-15a---s-350-24-rfc2415000004/p>)

Quadro elétrico

Botões, Relés, Disjuntores, Cabos, etc.

6. Descrição dos subsistemas/experimentos

No mês de agosto foram realizados diversos protótipos/experimentos para validar os subsistemas da máquina.

Módulo de pré-linha:

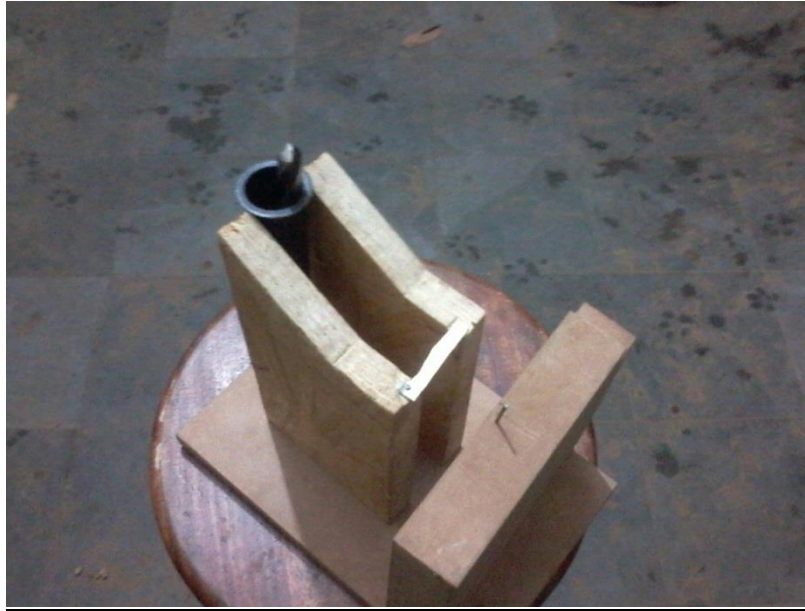


Figura 47: Modelo pré-linha

Com este teste foi possível comprovar que o tubete passa pela porta e cai na linha.



Figura 48: Verificação pré-linha

Também foi possível verificar se um tubete, que já está na linha, passa pela porta.



Figura 49: Verificação pré-linha (2)

Módulo Linha:

Outro subsistema testado foi o mecanismo de polia-correia que leva os tubetes pela linha, mostrando-se uma solução eficaz:



Figura 50: Modelo linha

Módulo de Entrada (Esteira):

Em uma visita a uma empresa que manufatura esteiras transportadoras, testamos o tamanho da esteira e possíveis modificações que devem ser feitas.



Figura 51: Esteira

Garfos:

Foi construído um protótipo do garfo em aço 1020, para verificar se os tubetes entram neles, não caem e conseguem se movimentar com facilidade uma vez dentro do sistema.

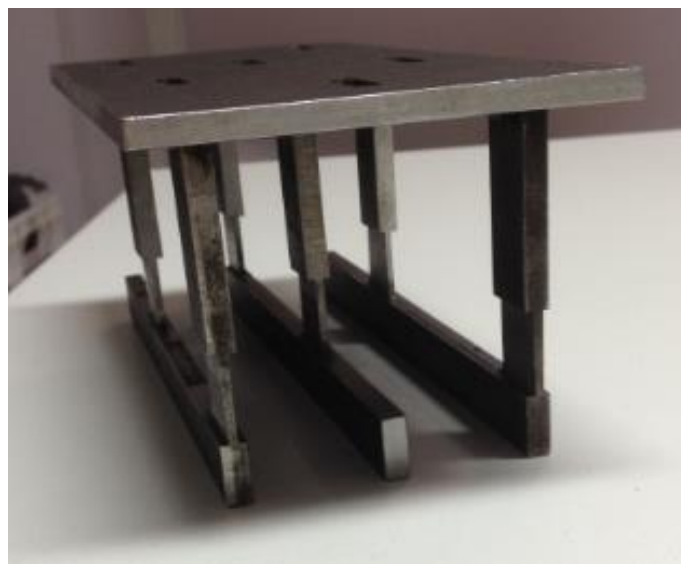


Figura 52: Modelo garfo

Todos os testes validaram o conceito, portanto os garfos se mostraram uma solução viável.

7. Orçamento

O projeto está sendo patrocinado pelo *Instituto Tim* por meio do programa *Academic Working Capital*. Este programa selecionou projetos de conclusão de curso de faculdades do Rio de Janeiro e de São Paulo, para oferecer recursos para a construção do protótipo da máquina, além de consultoria para o futuro negócio a ser desenvolvido a partir deste trabalho.

Para a viabilização do primeiro protótipo funcional da máquina, orçou-se com os diversos fornecedores (matéria-prima, manufatura, eletrônica, etc.) o custo total em aproximadamente R\$ 20.000,00. Com este protótipo, pretende-se testar o funcionamento da máquina em campo e, caso necessário, pivotar a solução para transformá-la no produto final que será comercializado.

Seletora de Mudas de Eucalipto

Item	Quantidade	Preço Unitário	Custo Total
Cantoneiras	1	R\$ 120.00	R\$ 120.00
Chapa de Alumínio	2	R\$ 420.00	R\$ 840.00
CLP	1	R\$ 2,800.00	R\$ 2,800.00
Correia	1	R\$ 100.00	R\$ 100.00
Driver	2	R\$ 300.00	R\$ 600.00
Eixo e acoplamento elástico	1	R\$ 100.00	R\$ 100.00
Esteira Transportadora	1	R\$ 10,000.00	R\$ 10,000.00
Fonte	1	R\$ 500.00	R\$ 500.00
Iluminação	1	R\$ 500.00	R\$ 500.00
Manufatura	*	R\$ 2,000.00	R\$ 2,000.00
Mesa	1	R\$ 600.00	R\$ 600.00
Mola	4	R\$ 90.00	R\$ 360.00
Motor DC	2	R\$ 120.00	R\$ 240.00
Perfil Quadrado (estrutura)	2	R\$ 105.00	R\$ 210.00
Polia	2	R\$ 50.00	R\$ 100.00
Sensor	2	R\$ 250.00	R\$ 500.00
Solenóide de tração	2	R\$ 160.00	R\$ 320.00
Orçamento Total			R\$ 19,770.00

Figura 53: Orçamento do protótipo

8. Conclusão

A estrutura eletromecânica está sendo integrada com os elementos eletrônicos e testes estão sendo conduzidos. Os resultados iniciais apontam a possibilidade de separação das mudas de eucalipto pelo modelo proposto, porém ainda não se tem resultados experimentais que comprovem confiabilidade da solução para escala mercadológica.



Figura 54: Protótipo funcional

9. Referências

1. **Chaul, Thiago Name e Tibiriçá, Luciana Gonçalves.** VIABILIDADE ECONÔMICA DE FLORESTAS DE EUCALIPTO NO ESTADO DE GOIÁS. [Online] 2 de 2006. <http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/VIABILIDADE%20ECON%20C3%94MICA%20DE%20FLORESTAS%20DE%20EUCALIPTO%20NO%20ESTADO%20%E2%80%A6.pdf>.
2. **Moura, Vicente Pongitory Gifoni e Guimarães, Daniel Pereira.** Produção de mudas de Eucalyptus para o estabelecimento de plantios florestais. *Embrapa*. [Online] 11 de 2003. <https://www.embrapa.br/documents/1355163/2020115/cot085.pdf/e3f184ce-6dee-4108-aa2f-4d2487af80f8>.
3. **Vieira, Israel Gomes.** *Dinâmica de funcionamento de viveiros de mudas de eucalipto*. 4 de 2015.
4. Mvisia . [Online] 2013. <http://www.mvisia.com.br/index.html>.
5. **Oliveira, João Camilo Ulhoa.** *Youtube*. [Online] 6 de 2014. https://www.youtube.com/watch?v=4_x1TprkeVQ.
6. **Minjua.** *youtube*. [Online] 12 de 2012. <https://www.youtube.com/watch?v=3TSEnck3Bnw>.
7. **Assurance, Industry Quality.** *Youtube*. [Online] 5 de 2012. <https://www.youtube.com/watch?v=vlR9vBSaKYQ>.
8. **Mvisia.** Máquina seletora de mudas. [Online] Mvisia, 2013. <http://www.mvisia.com.br/maquina-mudas.html>.
9. —. Calibradora Eletrônica - Tomates. [Online] Mvisia, 2013. <http://www.mvisia.com.br/maquina-tomates.html>.
10. **FLORESTAL, ANGELONI ENGENHARIA.** ANGELONI ENGENHARIA FLORESTAL. *Empresas do brasil*. [Online] 04 de 07 de 2013. <http://empresasdobrasil.com/empresa/angeloni-engenharia-florestal-18425075000180>.

11. *IPEF*. [Online] <http://www.ipef.br/>.
12. *The Analytic Hierarchy Process*. **SAATY, T. L.** N. York : McGraw-Hill, 1980.
13. **Silva, Diva Martins Rosas e.** Aplicação do Método AHP para Avaliação de *Maxwell*. [Online] 3 de 2007. http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10385/10385_1.PDF.
14. **Saaty, T.L.** *Decision making with the analytic hierarchy process*. s.l. : Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, pp.83–98., 2008.
15. DEFINIÇÃO DE CUSTO, DESPESA E PERDAS. *Portal de auditoria*. [Online] http://www.portaldeauditoria.com.br/tematica/auditoria-custos_definicao-custos-despesas-perdas.htm.

10. Apêndices

Códigos fonte:

Listagem do código da IHM:

Headers : mainwindow.h

```
#ifndef MAINWINDOW_H
#define MAINWINDOW_H

#include <QMainWindow>

namespace Ui {
class MainWindow;
}

class MainWindow : public QMainWindow
{
    Q_OBJECT

public:
    explicit MainWindow(QWidget *parent = 0);
    ~MainWindow();

private slots:
    void on_bot1_clicked(); //botão liga/desliga

    void on_doubleSpinBox_valueChanged(double arg1); //funcao que
guarda o
//valor da velocidade de operação inserida pelo usuário

    void atualizaTimer(); //funcao que gera o sinal do timer

private:
    Ui::MainWindow *ui;
    bool ligada; //variavel que guarda o estado do botao liga/desliga
    double velocidade; //variavel que guarda o valor de velocidade de
operação
    int i; //variavel auxiliar que guarda o valor de mudas separadas
da categoria A
    //variavel auxiliar que guarda o tempo de operacao
    int j; //variavel auxiliar que guarda o valor de mudas separadas da
categoria B
    int k; //variavel auxiliar que guarda o valor de mudas separadas da
categoria C
    int total; //variavel auxiliar que guarda o valor total de mudas
separadas
};

#endif // MAINWINDOW_H
```

Sources: main.cpp

```
#include "mainwindow.h"
#include <QApplication>

int main(int argc, char *argv[])
{
    QApplication a(argc, argv);
    MainWindow w;
    w.show();

    return a.exec();
}
```

mainwindow.cpp

```
#include "mainwindow.h"
#include "ui_mainwindow.h"
#include <QTimer>
#include <iostream>

MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::MainWindow)
{
    ui->setupUi(this);
    //valores iniciais
    this->ligada = false;
    this->velocidade = 0.0;
    this->i = 0;
    this->j = 0;
    this->k = 0;
    this->total=0;

    //timer
    QTimer *timer = new QTimer(this);
    connect(timer, SIGNAL(timeout()), this, SLOT(atualizaTimer()));
    timer->setInterval(1000); //sinal gerado a cada 1s
    timer->start();
}

MainWindow::~MainWindow()
{
    delete ui;
}

void MainWindow::on_bot1_clicked() //tratamento do botao liga/desliga
{
    if(!ligada){
        ui->label->setText("Máquina ligada");
        ui->statusBar->showMessage("Máquina ligada", 1000);
        ui->bot1->setText("Desligar");
    }
}
```

```

        ligada = true;
    } else{
        ui->label->setText("Maquina desligada");
        ui->statusBar->showMessage("Máquina desligada", 1000);
        ui->bot1->setText("Ligar");
        ligada = false;
    }
}

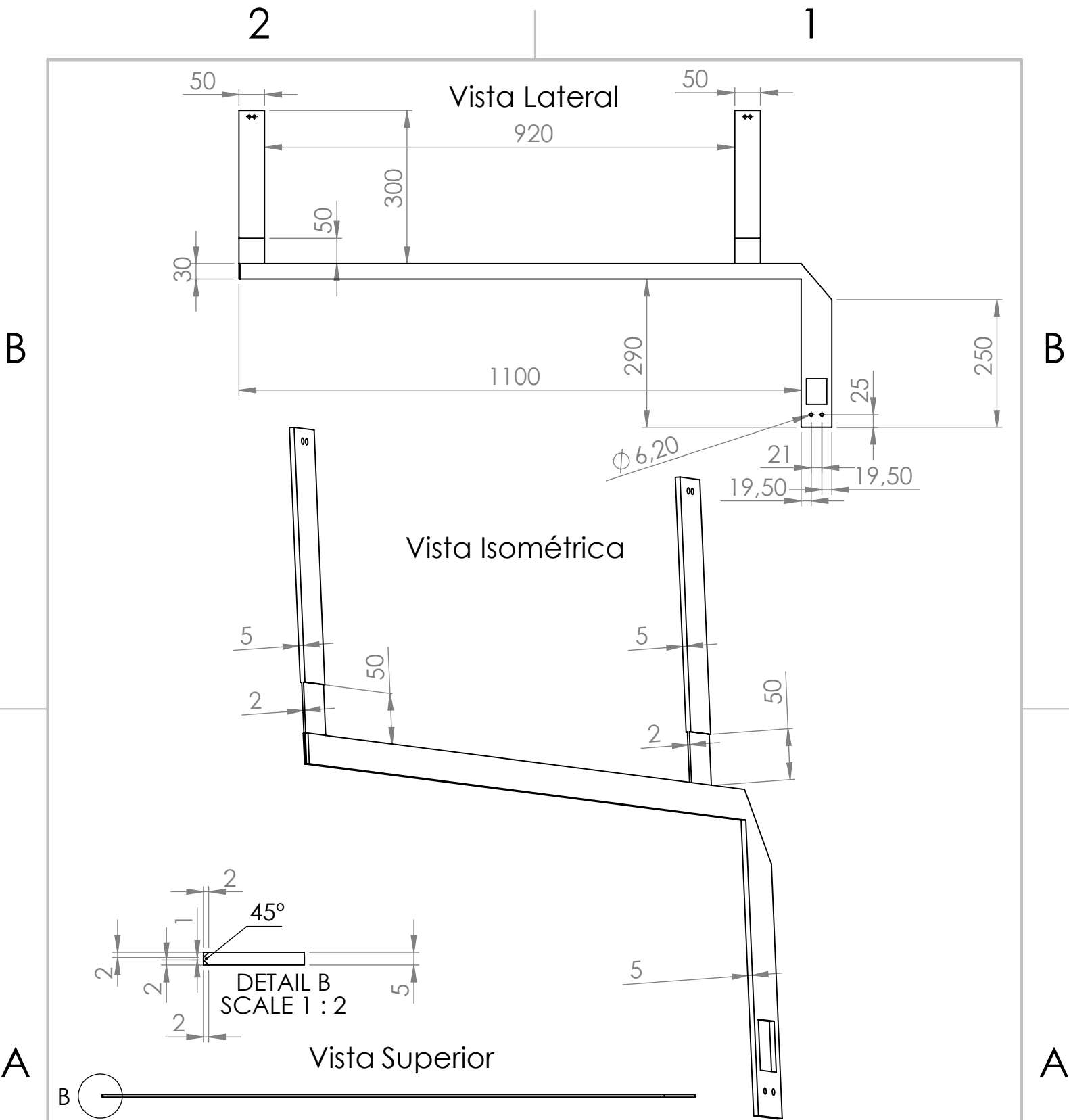
void MainWindow::on_doubleSpinBox_valueChanged(double arg1)
{
    this->velocidade = arg1; //armazena valor de velocidade de
    operação
}

void MainWindow::atualizaTimer(){ //tratamento do sinal emitido pelo
timer
    if(ligada){
        //valores que simulam a separacao das mudas
        this->i++;
        this->j=j+2;
        this->k=k+3;
        this->total = i+j+k;
        //atualizacao dos dados de produtividade
        ui->mudasA->setText(QString::number(this->i));
        ui->mudasB->setText(QString::number(this->j));
        ui->mudasC->setText(QString::number(this->k));
        ui->Total->setText(QString::number(this->total));
        ui->tempo->setText(QString::number(this->i));
    }
}

```

Desenhos Técnicos:

A seguir são apresentados os desenhos técnicos que foram enviados a manufatura para a fabricação dos garfos e o desenho de conjunto da máquina:



DATA: 19/11/2015	
ESCALA:1:20	
Material : Alumínio 7075	
TAM A	DES. Nº garfo_1_manufatura

1

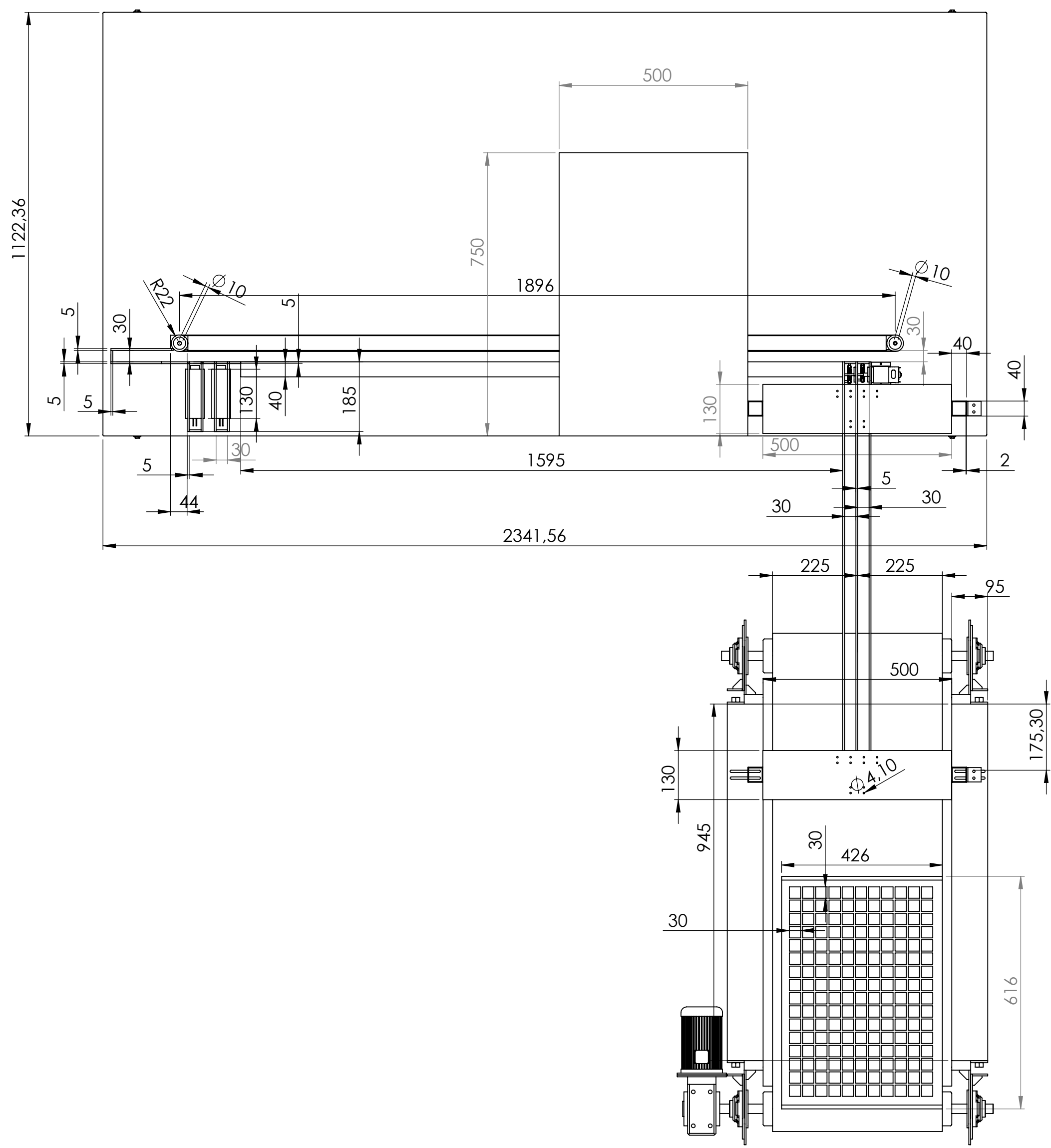
B



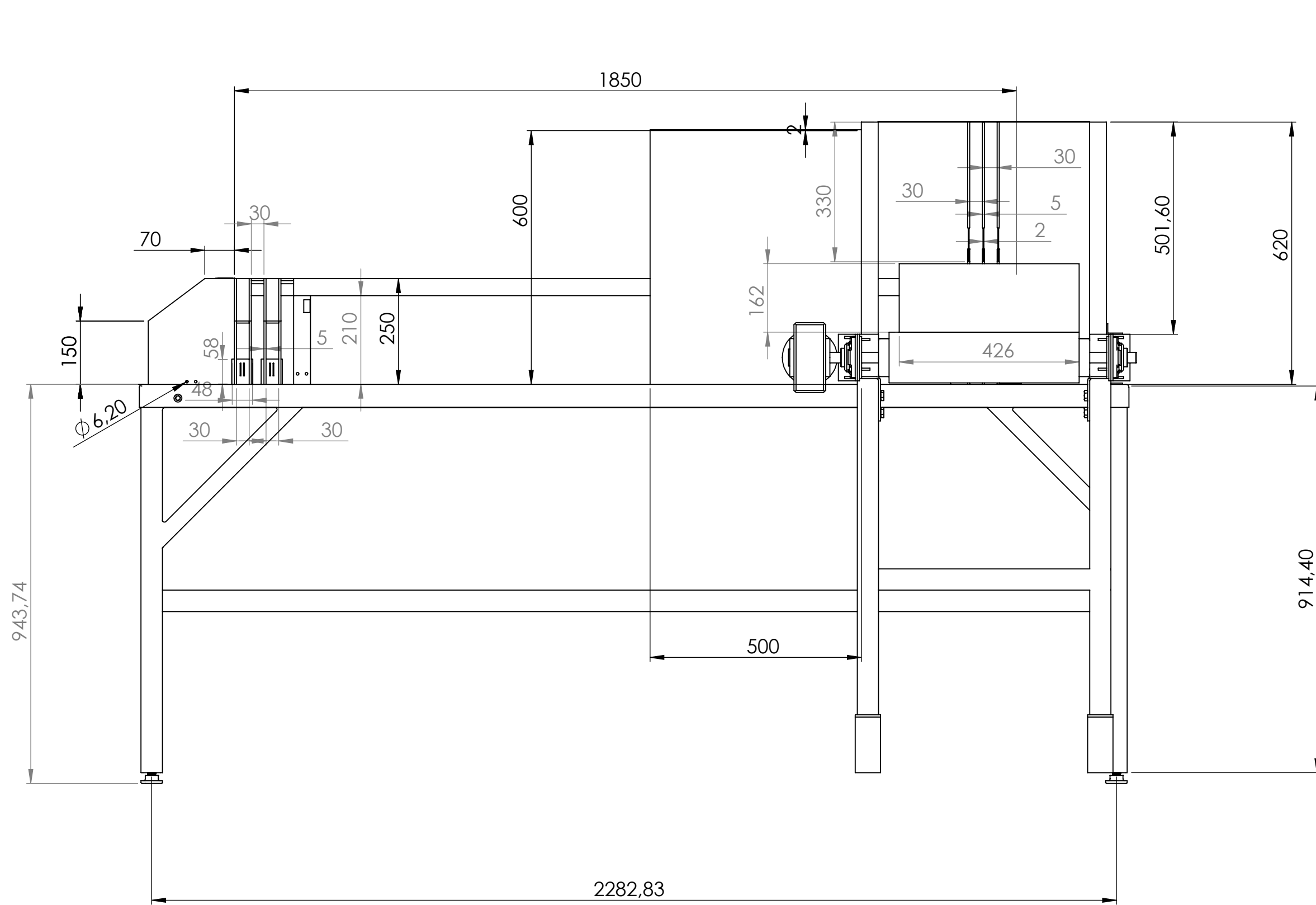
TAM A	DES. Nº garfo_2_manufatura
-----------------	-------------------------------

1

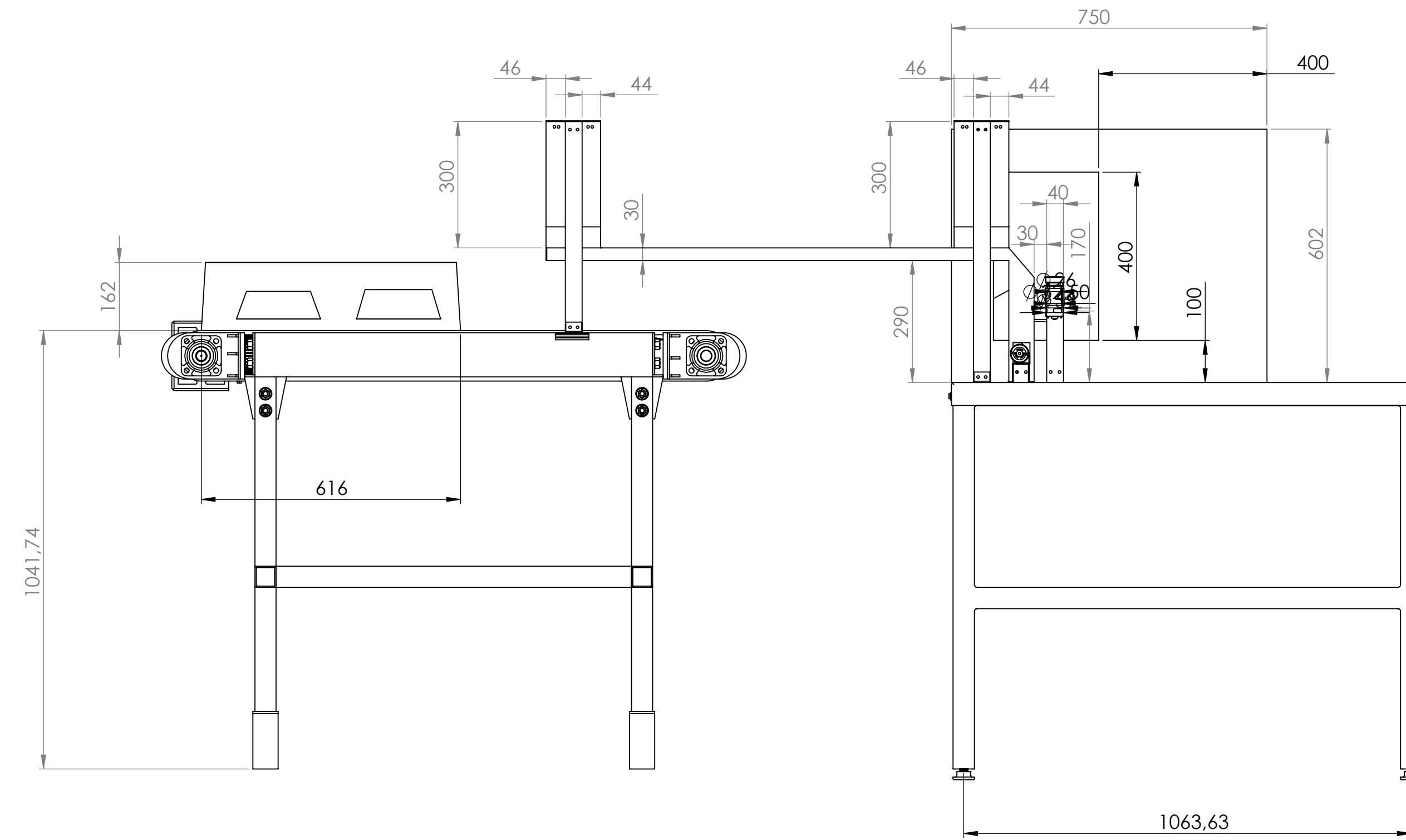
Vista Superior



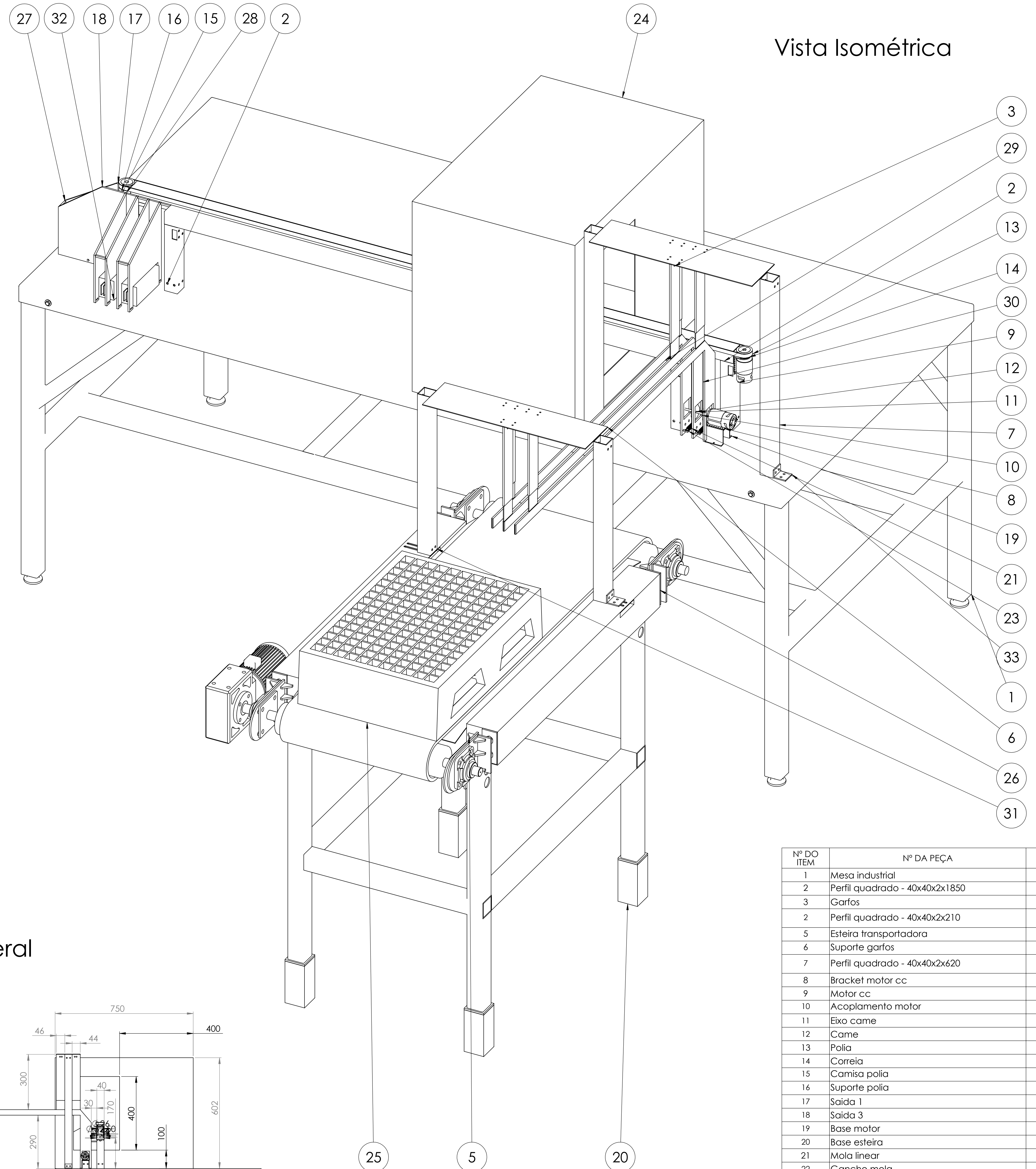
Vista Frontal



Vista Lateral



Vista Isométrica



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
1	Mesa industrial	1
2	Perfil quadrado - 40x40x2x1850	1
3	Garfos	1
2	Perfil quadrado - 40x40x2x210	4
5	Esteira transportadora	1
6	Suporte garfos	2
7	Perfil quadrado - 40x40x2x620	2
8	Bracket motor cc	2
9	Motor cc	2
10	Acoplamento motor	1
11	Eixo came	1
12	Came	2
13	Polia	2
14	Correia	1
15	Camisa polia	1
16	Suporte polia	1
17	Saída 1	1
18	Saída 3	1
19	Base motor	1
20	Base esteira	1
21	Mola linear	2
22	Gancho mola	2
23	Gancho mola [2]	2
24	Caixa visão computacional	1
25	Bandeja	1
26	Suporte esteira	2
27	Espaçador	5
28	Saída 2	4
29	Perfil quadrado - 40x40x2x1595	1
30	Porta	4
31	Perfil quadrado - 40x40x2x503	2
32	Salenóide	2
33	Cantoneira	2

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

TÍTULO:
desenho_conjunto_prototipo

DATA: 19/11/2015 ESCALA:1:10

A0