

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

**HENRIQUE KOZECHEN PEREIRA SOUTO
JEFFERSON KOLODA DOS SANTOS**

**AUTOMAÇÃO E REPROJETO MECÂNICO DE UMA MÁQUINA
ENSILADORA DE GRÃOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

HENRIQUE KOZECHEN PEREIRA SOUTO
JEFFERSON KOLODA DOS SANTOS

**AUTOMAÇÃO E REPROJETO MECÂNICO DE UMA MÁQUINA ENSILADORA DE
GRÃOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado a disciplina do Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica – DAELN e Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Nilton Cararo

CURITIBA
2012

HENRIQUE KOZECHEN PEREIRA SOUTO
JEFFERSON KOLODA DOS SANTOS

AUTOMAÇÃO E REPROJETO MECÂNICO DE UMA MÁQUINA ENSILADORA DE GRÃOS

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 25 de maio de 2012, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Milton Poli

Coordenador do Curso

Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Décio Estevão do Nascimento

Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso

Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Ubiradir de Mendes Pinto

Prof. Nilton Cararo

Orientador

Prof. Edenilson Wichineski

AGRADECIMENTOS

Temos certeza que estes parágrafos a seguir não irão contemplar todas as pessoas que contribuíram para que esse trabalho fosse concretizado, porém, com certeza sempre são lembradas aquelas por nós e, nem por esse motivo, são menos importantes do que as aqui descritas.

Primeiramente, devemos reverenciar o Professor Nilton Cararo que disponibilizou seu escasso tempo para nos orientar e dedicar-se neste trabalho tão importante para nós.

Agradecemos aos nossos colegas de trabalho e superiores, que nos apoiaram e mantiveram seus esforços concentrados para que nos elevasse a disposição e vontade para realizar este projeto.

A todos os especialistas, fabricantes, colegas, que disponibilizaram informações técnicas e aumentaram a qualidade dos dados requeridos na realização deste estudo.

Agradeço aos professores da banca examinadora pela disponibilidade de nos atender e avaliar este trabalho.

E por fim, gostaríamos de agradecer também, aos nossos familiares que sempre nos apoiaram nos momentos mais difíceis, e sempre lutaram para garantir que fosse possível vencer mais este desafio em nossas vidas.

RESUMO

SOUTO, Henrique K. P.; DOS SANTOS, Jefferson K. **Automação e reprojeto de uma máquina ensiladora de grãos**, 2012. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2012.

Este trabalho refere-se ao reprojeto e automatização de uma ensiladora de grãos, a qual consiste de um sistema de laminação, ensacamento e compactação de grãos em campo, para posterior armazenagem. A ideia surgiu a partir da necessidade de refinamento mecânico, para o aumento da eficiência, e da automatização do equipamento. Com este projeto tem-se aplicado o conhecimento do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, validando tanto o projeto mecânico como o projeto da automação. O objetivo do trabalho consiste em automatizar o processo de silagem, assim como o refinamento mecânico do equipamento. Utiliza-se a metodologia de Pahl et al. para a concepção de várias soluções para o problema, avaliando uma a uma e escolhendo a mais favorável para o desenvolvimento mecânico final. Do lado da automatização segue-se a metodologia GRAFSET, identificando os componentes atuais de mercado. Espera-se projetar um sistema mecânico aplicável ao segmento de mercado, e inovar aplicando a automatização à máquina em questão. Do ponto de vista da automação, desenvolveu-se uma lógica capaz de controlar todo o sistema e também foram definidos elementos chave da automação de uma máquina tais quais o CLP e os sensores. Por outro lado, na mecânica foi desenvolvido um sistema de alimentação rápida e também um sistema de freio equalizado.

Palavras-chave: Automação. Projeto de Sistemas Mecânicos. Ensiladoras.

ABSTRACT

SOUTO, Henrique K. P.; DOS SANTOS, Jefferson K. **Automation and Mechanical Re-design of grains forage harvester machine**, 2012. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2012.

This research concerns the re-design and automation of a grains forage harvester. The system consists in lamination, packing and compression of grains on the field, to be stored after the process. The idea has shown up from the need of a better performance in the mechanical design and the automation of the equipment. Within this project it has been applied the knowledgement of the graduation in Industrial Mechatronics Technology, validating as much the mechanical design as the automation design. The main objective of the research is to turn the system in a automated one and also, the update of the mechanicals parts of this machine. It has been used the Pahl et al. methodology for all the conceptions of the solution for the problem, evaluating each one and choosing the best option for the final development. From the automation point of view, it has been followed the applied methodology, identifying the market components nowadays. It has been wondered to design a mechanical system applicable to the market, and making something new with the automation of this machine. From the automation point of view, it has been developed a capable logical system that controls all the system and it has been defined the autiomation key components as well, like the CLP and the sensors. On the other hand, on mechanics it has been developed a fast feed system and a equalized brake system as well.

Keywords: Automation. Design of Mechanical Systems. Forage harvester.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de alimentação da máquina ensiladora de grãos.....	14
Figura 2 – Fluxograma de funcionamento da máquina ensiladora.....	15
Figura 3 – Representação do sistema completo do freio.	16
Figura 4 - A Casa da Qualidade	32
Figura 5 – Diagrama FAST.....	34
Figura 6 – Função global do processo	35
Figura 7 – Desdobramento da função global em primeiro nível	35
Figura 8 – Desdobramento de segundo nível.....	36
Figura 9 – Produto atual.....	42
Figura 10 – Concepção 1	43
Figura 11 – Concepção 2	44
Figura 12 – Concepção 3	45
Figura 13 – Concepção 4	46
Figura 14 – Partes do Transportador Helicoidal.....	51
Figura 15 – Diagrama de forças em um freio a tambor de cinta.....	58
Figura 16 – Desenho de conjunto do sistema de freio	62
Figura 17 – Grafcet 1 – Funcionamento da Máquina	66
Figura 18 – Grafcet 2 – Alimentação.....	67
Figura 19 – Acionamento hipotético da tampa do laminador	68
Figura 20 – Acionamento hipotético da tampa do laminador – detalhe.....	68
Figura 21 – Programa em Ladder para S7-200 da automação da ensiladora de grãos.	71
Figura 22 – Programa em Ladder para S7-200 da automação da ensiladora de grãos (continuação).....	72
Figura 23 – <i>Screenshot</i> da tela do simulador do S7-200	73
Figura 24 – Novo modelo da ensiladora de grãos.....	76
Figura 25 – Novo modelo da ensiladora de grãos (continuação).....	77
Figura 26 – Novo modelo da ensiladora de grãos (continuação).....	78
Figura A.1 – Desenho do helicóide de alimentação	84
Figura A.2 – Desenho do helicóide de alimentação (continuação).....	85
Figura A.3 – Desenho do helicóide de alimentação (continuação).....	86
Figura A.4 – Desenho do helicóide de alimentação (continuação).....	87
Figura A.5 – Desenho da tuba de suporte para o helicóide de alimentação	88

Figura A.6 – Desenho da tuba de suporte para o helicoide de alimentação (continuação).....	89
Figura A.7 – Desenho da tuba de suporte para o helicoide de alimentação (continuação).....	90
Figura A.8 – Desenho da tuba de suporte para o helicoide de alimentação (continuação).....	91
Figura A.9 – Desenho do braço de suporte do transportador helicoidal.....	92
Figura A.10 – Desenho do braço de suporte do transportador helicoidal (continuação).....	93
Figura A.11 – Desenho do braço de suporte do transportador helicoidal (continuação).....	94
Figura B.1 – Desenho de referência do tambor de freio.....	95
Figura B.2 – Desenho de referência da cinta de freio	96
Figura B.3 – Desenho do apoio do cilindro de atuação.....	97
Figura B.4 – Desenho de referência do cilindro de atuação.....	98
Figura B.5 – Desenho do pino extensor	99
Figura B.6 – Desenho do pino extensor (continuação)	100
Figura C.1 – Desenho da base da caixa do CLP	101
Figura C.2 – Desenho da base da caixa do CLP (continuação).....	102
Figura C.3 – Desenho da base da caixa do CLP (continuação).....	103
Figura C.4 – Desenho da tampa da caixa CLP	104

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Bolsas com problema devido a regulagem do freio.....	17
Fotografia 2 – Bolsas corretamente produzidas.....	18
Fotografia 3 – Sistema de freio atual.....	19
Fotografia 4 – Laminador estático.....	20
Fotografia 5 – Tampa do Laminador aberta.....	20
Fotografia 6 – Hélice simples.....	52
Fotografia 7 – CLP Siemens S7-200 CPU 224.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Requisitos do cliente para requisitos de projeto.....	31
Quadro 2 – Matriz Morfológica.....	39
Quadro 3 – Lista de seleção para ensiladora de grãos.....	40
Quadro 4 – Critérios usados na decisão da escolha das variantes.....	41
Quadro 5 – Geração das concepções.....	41
Quadro 6 – Critérios de avaliação usados na tabela de avaliação.....	49
Quadro 7 – Graus utilizados como peso.....	63
Quadro 8 – Graus utilizados como nota.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação das concepções.....	48
Tabela 2 – Coeficiente de correção com base na inclinação do transportador.....	54
Tabela 3 – Matriz de Decisão.....	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	21
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 Objetivo Geral	21
1.3.2 Objetivos Específicos	21
1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	21
1.5 ETAPAS DO PROJETO.....	22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 METODOLOGIA DE PAHL & BEITZ PARA REPROJETO MECÂNICO DO SISTEMA	23
2.1.1 Procedimento Metodológico para o Desenvolvimento de Produto	23
2.1.2 Análise de Valores	24
2.2 PESQUISA APLICADA PARA AUTOMAÇÃO DO PROCESSO.....	25
2.3 REENGENHARIA APLICADA AO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	25
2.3.1 Processos de Pesquisa.....	26
2.3.2 Processo de Reengenharia e Projeto de Produto	26
2.4 AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS.....	28
3 RESULTADOS ESPERADOS.....	30
4 DESENVOLVIMENTO.....	31
4.1 REQUISITOS DO CLIENTE x REQUISITOS DO PROJETO	31
4.1.1 A Casa da Qualidade	32
4.2 ESTRUTURA DE FUNÇÕES	33
4.3 MATRIZ MORFOLÓGICA	38
4.4 LISTA DE SELEÇÃO DAS SOLUÇÕES	40
4.5 GERAÇÃO DAS CONCEPÇÕES	41
4.5.1 Produto Atual.....	42
4.5.2 Primeira Concepção.....	43
4.5.3 Segunda Concepção.....	44
4.5.4 Terceira Concepção.....	45
4.5.5 Quarta Concepção	46
4.6 AVALIAÇÃO DAS CONCEPÇÕES.....	47
4.7 REVISÃO GERAL DO PROJETO.....	49
4.8 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO E PARTES DO TRANSPORTADOR HELICOIDAL	51
4.8.1 Hélice ou Helicoide.....	52
4.8.2 Dimensionamento do Transportador Helicoidal.....	53
4.9 PROJETO DO FREIO.....	56
4.9.2 Dimensionamento do Freio	57
4.9.3 Cálculo da Pressão no Cilindro para Equalização do Freio.....	60
4.10 AUTOMAÇÃO.....	63
4.10.1 Definição do Hardware de Controle da Automação.....	63
4.10.2 Automação do Processo	64
4.10.3 Escolha do Controlador Lógico Programável e sua Programação.....	70
4.10.4 Definição dos Sensores	74
4.10.4 Resultado Final do Projeto da Automação.....	75
4.11 PROPOSTA DA NOVA VERSÃO DA MÁQUINA ENSILADORA	76
5 CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS.....	81
APÊNDICES.....	83

1 INTRODUÇÃO

Uma máquina Ensiladora de Grãos, pertencente ao grupo dos implementos agrícolas, é utilizada para a laminação e compactação de grãos e silagem. Esse processo também pode ser chamado de ensilagem. A ensilagem é uma técnica onde o material da lavoura ou da pastagem é colhido, picado e armazenado sob compactação dentro dos silos onde, na ausência de oxigênio, sofre fermentação anaeróbica, que irá conservá-lo até que seja fornecido aos animais.

As técnicas de ensilagem visam facilitar e acelerar a fermentação anaeróbia dentro do silo. Porém, este processo requer alguns cuidados por parte do produtor, com o propósito de reduzir perdas e garantir a qualidade da do milho, tais como: o material colhido deve ser picado em partículas com tamanho entre 2 e 2,5 cm antes de transportá-lo para o silo (LANES; NETA, 2008). O corte é importante pelo fato de facilitar a acomodação do material dentro do silo e expor os carboidratos solúveis e facilitar a ação dos microrganismos fermentadores. Se o material colhido ficar exposto ao ar servirá de substrato para as bactérias aeróbias e sofrerá fermentações indesejáveis impossibilitando sua preservação.

O processo de ensilagem é dividido em fase aeróbica, fase anaeróbica, fase de estabilidade e fase de descarga (LANES; NETA, 2008):

A fase aeróbica acontece logo após a colheita, essa fase é caracterizada pela presença de oxigênio no material a ser ensilado. Após a compactação e vedação do silo, o oxigênio ainda está presente, o qual será usado para realizar a respiração celular pelas bactérias. Quanto maior o volume de oxigênio dentro do silo, mais tempo as bactérias aeróbicas irão atuar, fazendo com que os carboidratos solúveis sejam consumidos, gerando gás carbônico, água e calor (LANES; NETA, 2008).

A fase anaeróbica é caracterizada após o oxigênio ser reduzido a zero, nesse momento a atividade das bactérias aeróbicas é finalizado e inicia-se o processo das bactérias anaeróbicas. As bactérias anaeróbicas agirão sobre os carboidratos solúveis, gerando gás carbônico e ácidos orgânicos. O ácido que deve aparecer em maior quantidade é o ácido láctico, que devido a sua acumulação acidificam o ambiente. O ácido burfítico deve aparecer sempre em pequena

quantidade, pois sua presença gera intensa degradação das proteínas (LANES; NETA, 2008).

Na fase de estabilidade os valores de pH ficam entre 3,8 e 4,5, fazendo com que a ação das bactérias anaeróbicas seja reduzida. Após finalizado a ação das bactérias, o processo de fermentação é interrompido, ocorrendo a estabilização da silagem (LANES; NETA, 2008).

O processo de ensilamento é composto por duas etapas principais, a laminação e a compactação. A laminação é utilizada para que seja feita a quebra do grão, fazendo microfissuras nos fragmentos, que facilitam a absorção dos nutrientes e melhoram a digestibilidade do alimento pelos animais (SINUELO AGROPECUÁRIA, 2012).

Posteriormente a laminação, tem-se a compactação dos grãos, que consiste em armazenar o produto dentro de uma bolsa armazenadora. No interior desta bolsa, obtém-se um alto índice de gás carbônico e ausência de luz. Essas condições permitem que os grãos fiquem em dormência, mantendo todas as características do momento da armazenagem, como: valores nutritivos e vigor sem quebra técnica. (NORTENE, 2012).

Grande parte dos agricultores realiza o processo de compactação de duas formas arcaicas, sendo elas: silo trincheira e silo superfície. Segundo Amaral, Bernardes e Nussio (2011), “Esses silos são atrativos em razão de seu baixo custo de confecção, porém suas conformações geram uma grande superfície de exposição do produto, o que torna as silagens mais susceptíveis a deterioração aeróbia e, conseqüentemente, às perdas, principalmente nas regiões periféricas do silo, devido à intensa troca gasosa que existe com o ambiente.”. Já com a máquina ensiladora de grãos esses problemas são reduzidos, pois a superfície de contato do produto armazenado na bolsa com o ambiente externo é nulo, porém as ensiladoras atuais não possuem a automação necessária para o seu funcionamento ideal.

Segundo os fabricantes de ensiladoras no Brasil, constatou-se que as máquinas existentes no mercado atual têm características exclusivamente mecânicas, ou seja, não possuem automação e dispositivos para controlar o processo de ensilamento (SINUELO AGROPECUÁRIA; TMR MÁQUINAS, 2011). Os processos de ensilamento são métodos arcaicos que precisam ser melhorados com a aplicação de novas tecnologias, pois com a implementação dessas, serão obtidas diversas vantagens, como por exemplo: aumentar a segurança das pessoas

envolvidas no trabalho, produto final com maior qualidade, evitar a quebra do equipamento, e o problema de regulagem do freio, que leva a uma frenagem não equalizada, o que acarreta a deformação das bolsas, não formando exatamente uma linha reta.

Devido aos problemas apresentados, tanto do silo trincheira e superfície quanto na máquina ensiladora atual, surgiu a ideia de fazer o desenvolvimento da automação e *retrofitting*¹ de uma máquina ensiladora de grãos. Para solucionar esses problemas, o novo conceito proposto da ensiladora de grãos em conjunto com uma bolsa de armazenamento é responsável por armazenar de maneira segura a silagem e os grãos.

Esse tipo de implemento é constantemente utilizado por pecuaristas, pois esses têm a grande necessidade de armazenar o alimento animal de uma forma segura e de fácil utilização. Além da segurança de armazenamento é possível obter vantagem também no ganho de área territorial e tempo, pois com a ensiladora se obtêm uma redução no número de tarefas a serem executadas pelos colaboradores se comparadas ao silo trincheira e ao silo superfície.

A máquina atual, figura 1, é composta por 6 elementos principais, sendo eles numerados abaixo.

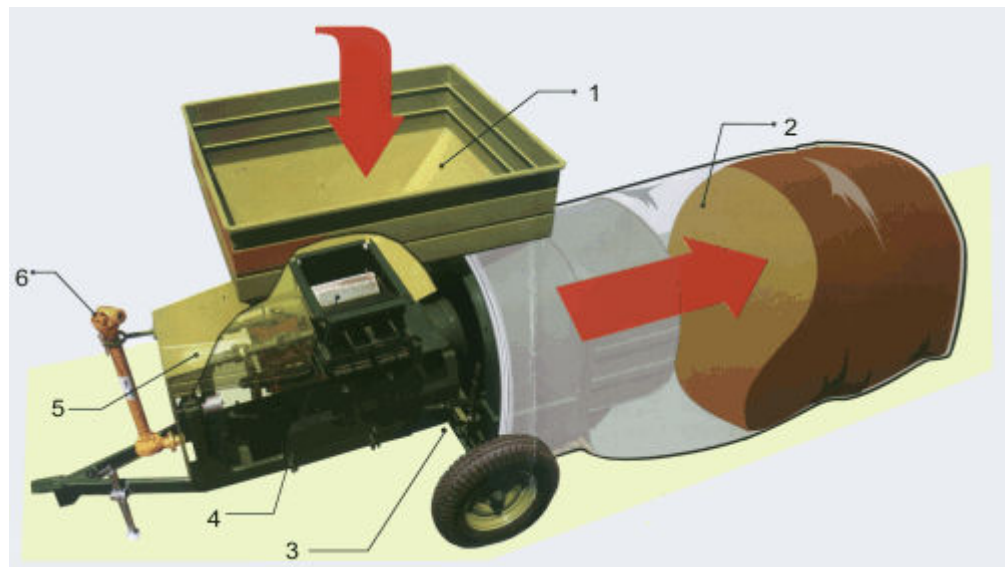


Figura 1 – Esquema de alimentação da máquina ensiladora de grãos
Fonte: Ideagro (2011).

¹ *retrofitting* é um termo utilizado principalmente em engenharia para designar o processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma. (BEREZOVSKY, 2008)

1 – Tuba de Alimentação: responsável pelo armazenamento dos grãos para posteriormente serem laminados e ensilados na bolsa de armazenamento.

2 – Bolsa Ensiladora: representação do material laminado e compactado dentro da bolsa de armazenamento.

3 – Sistema de Freio: sistema de freio tipo lona, responsável por aumentar a força contrária à compactação do material, garantindo assim uma boa qualidade da silagem.

4 – Rolos laminadores: responsáveis pela quebra de grãos secos ou úmidos, o que auxilia a digestão dos animais.

5 – Caixa de Engrenagem: acionada pelo eixo força da máquina é composta de duas engrenagens responsáveis pela rotação dos rolos laminadores em sentidos contrários, possibilitando assim a laminação.

6 – Cardan: acoplado ao eixo força do trator e ao eixo força da máquina, é responsável por acionar o laminador e a rosca helicoidal de compactação.

A figura 2 representa o funcionamento da ensiladora:

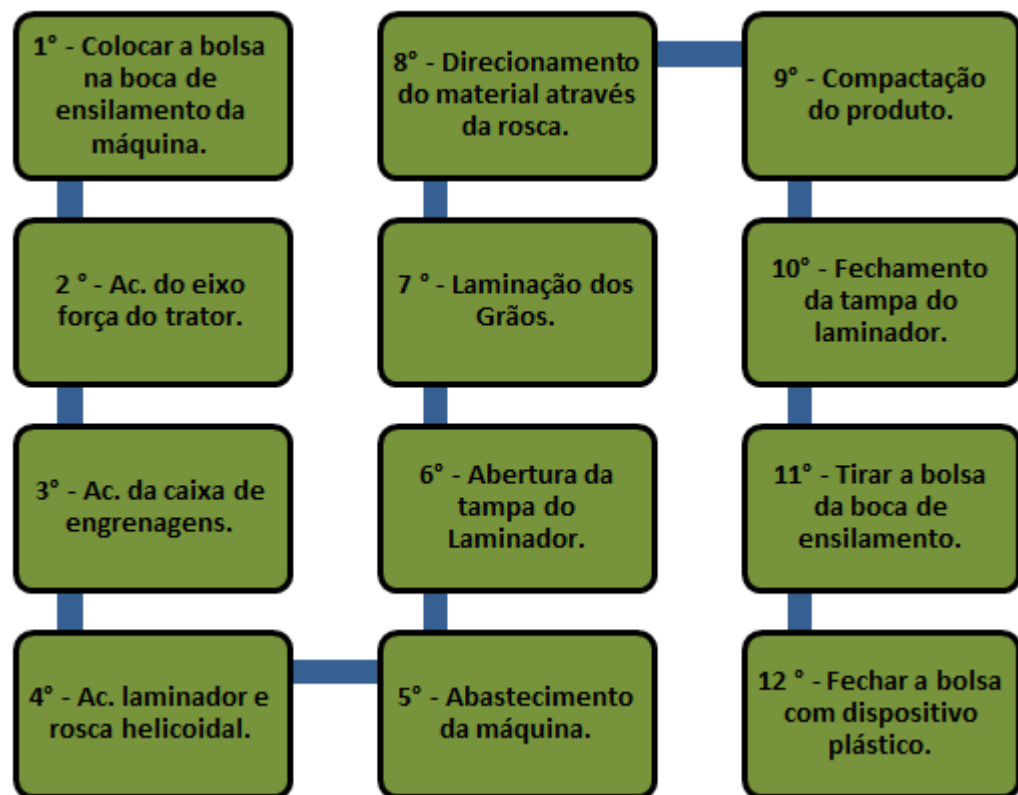


Figura 2 – Fluxograma de funcionamento da máquina ensiladora
Fonte: Autoria própria.

1.1 PROBLEMA

Após identificados os principais elementos da máquina, é possível compreender melhor o seu funcionamento e seus problemas. O funcionamento da máquina é feito em 3 etapas, sendo elas: abastecimento, laminação e compactação.

O primeiro problema identificado que afeta a compactação, é a eficiência do sistema de frenagem da máquina.

O sistema de frenagem utilizado na ensiladora atual é composto por um tambor e cinta flexível. Esse modelo satisfaz as necessidades requeridas pela máquina. O freio possui um problema de regulagem e acionamento, que muitas vezes faz com que a máquina esteja desbalanceada, gerando assim uma compactação ruim da silagem. Essa má compactação pode ser observada no formato irregular de algumas bolsas armazenadoras. Essa compactação permite que existam alguns espaços vazios dentro da bolsa e uma concentração maior de grãos em alguns pontos do que em outros, possibilitando assim espaços para acúmulo de oxigênio.

A figura 3 representa o sistema completo do freio. A máquina original possui um acionamento manual dos freios, através de uma alavanca (A) e uma barra de acionamento (B) que aciona o freio das duas rodas simultaneamente. Dessa forma, qualquer desvio de regulagem pode travar mais um lado do que o outro, o que trará um maior esforço na rosca helicoidal podendo comprometer o funcionamento ideal da máquina, além de que, a máquina não percorrerá um caminho retilíneo, gerando desperdício de espaço de armazenamento das bolsas, para pequenas propriedades.

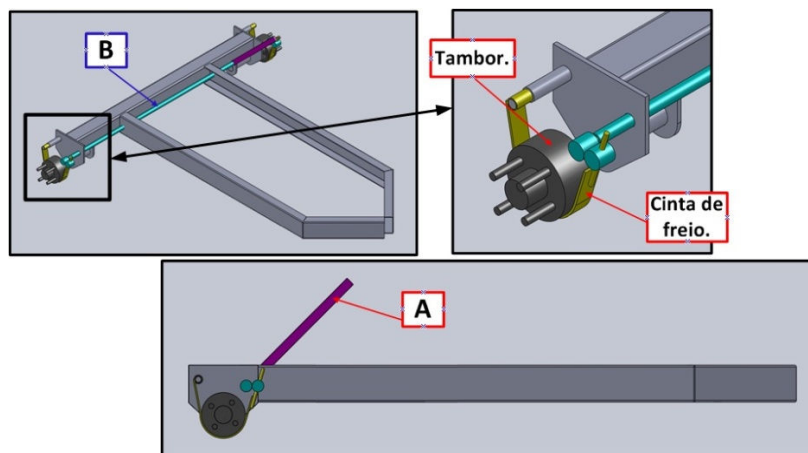


Figura 3 – Representação do sistema completo do freio.
Fonte: Autoria própria.

Na fotografia 1, é possível observar a forma irregular das bolsas de armazenamento. No item (A), observa-se a curvatura que a bolsa apresenta, isso trará perdas de espaço para o produtor, pois esse formato utiliza mais espaço que o espaço retilíneo. No item (B), é mostrado o problema que o acúmulo de ar causa no interior da bolsa. Como o freio está desregulado, não é possível obter uma compactação uniforme dos grãos, sobrando assim espaços para que o ar ocupe o interior da bolsa, o que fará que a fermentação aeróbica, descrita na introdução, dure por um tempo maior que o desejado.



Fotografia 1 – Bolsas com problema devido a regulação do freio
Fonte: Adaptado de Thompson (2011).

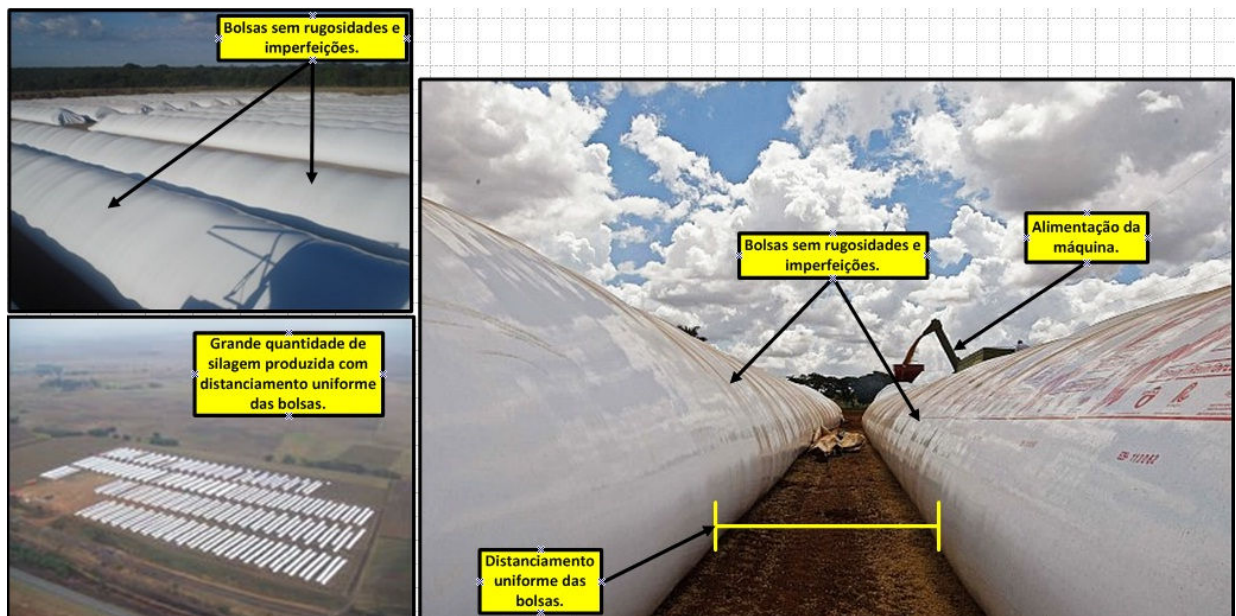
Em entrevista com o gerente, Vilson Kirchner, de uma empresa fabricante de ensiladoras de grãos em Curitiba-PR, chamada Usinek, foi questionado sobre o problema do desalinhamento das bolsas e da compactação irregular em alguns trechos da bolsa.

“Quando fazíamos entregas técnicas em algumas fazendas, notava-se que as bolsas não ficavam de forma adequada. Iniciamos um estudo para ver qual era o real problema da máquina, pois em algumas fazendas era possível obter bolsas

perfeitas. Fazendo vários testes no campo pudemos observar que a regulagem do freio afetava o desalinhamento, problema o qual ainda persiste em nossas máquinas, porém com uma atenção maior na hora da montagem e regulagem”.

“Já o problema da compactação é gerado pelo problema no acionamento do freio da máquina em conjunto com o freio do trator. Caso a potência do freio da máquina esteja desbalanceada teremos problemas, pois em conjunto com o desalinhamento do freio é possível armazenar uma maior quantidade de material de um lado do que em outro. Além de ter um sistema balanceado é necessário que o operador da máquina saiba regular a força necessária que será exercida no freio do trator, esse cuidado deve ser tomado para que não haja rompimento da bolsa”.

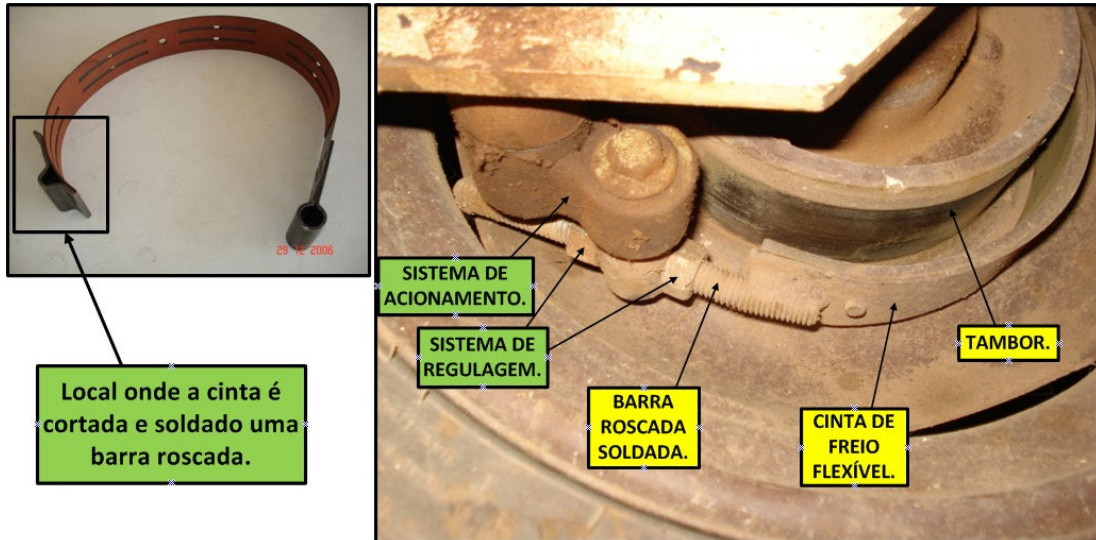
Para comparar as diferenças entre uma bolsa de má qualidade e uma bolsa de boa qualidade, mostra-se o formato ideal de uma boa compactação na fotografia 2. Observa-se que as bolsas não têm irregularidades se comparadas com as mostradas na fotografia 1.



Fotografia 2 – Bolsas corretamente produzidas
 Fonte: Adaptado de Tudo Link (2011).

O formato da cinta do freio atual, mostrada na fotografia 3, tem uma forma que varia de fabricante para fabricante, possibilitando assim uma infinidade de regulagens. A primeira ação que é feita na cinta, é cortar um dos seus lados de encaixe, e nesse local soldar uma barra roscada que servirá como regulagem. Em conjunto com essa barra são utilizadas duas porcas que travarão a altura do freio.

Essas operações acabam desperdiçando tempo e também dificultando a montagem do freio, além de que, não oferecem uma repetibilidade nos equipamentos fabricados.



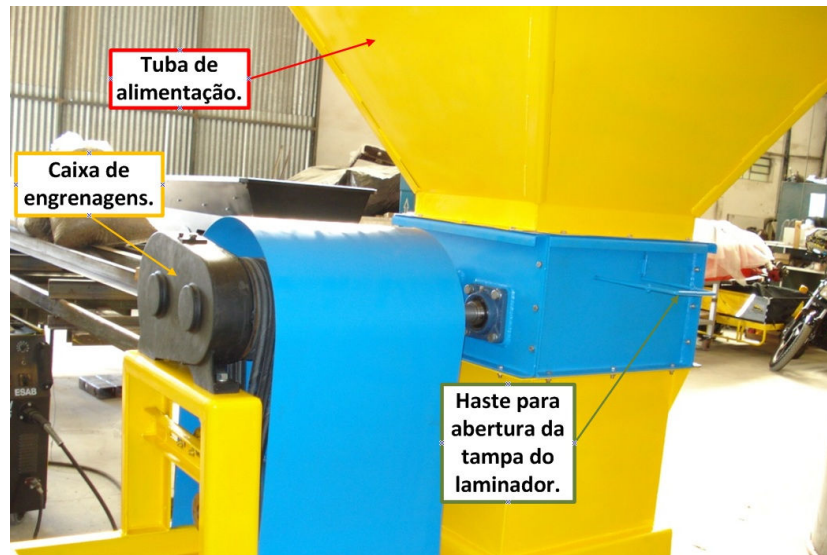
Fotografia 3 – Sistema de freio atual
Fonte: Autoria própria.

Outro problema a ser resolvido, é com a forma de abastecimento da ensiladora, que tem a necessidade de utilizar mão de obra para fazer esse trabalho. Os operadores contam com ajuda de pás para lançar grãos dentro da Tuba de Alimentação (Item 1 da figura 1 e na fotografia 4), com isso, o potencial produtivo da máquina não é utilizado completamente. Esse tipo de abastecimento gera perdas no sistema, sendo elas: esforço repetitivo dos colaboradores; sistema não possui uma alimentação constante e regular, fazendo com que a potência do trator seja utilizada em alguns momentos no vazio; gasto de material para fabricação da tuba, pois essa não terá sua capacidade totalmente utilizada.

Outro problema encontrado é com a tampa do laminador, que não pode estar aberta e com grãos sobre os rolos laminadores (Item 4 da figura 1), pois isso fará com que a força necessária para colocar os rolos em movimento seja alta demais, o que afetará e comprometerá partes mecânicas da máquina. A máquina atual permite que essa ação fique sobre controle do operador, o que permite a possibilidade de falha no processo.

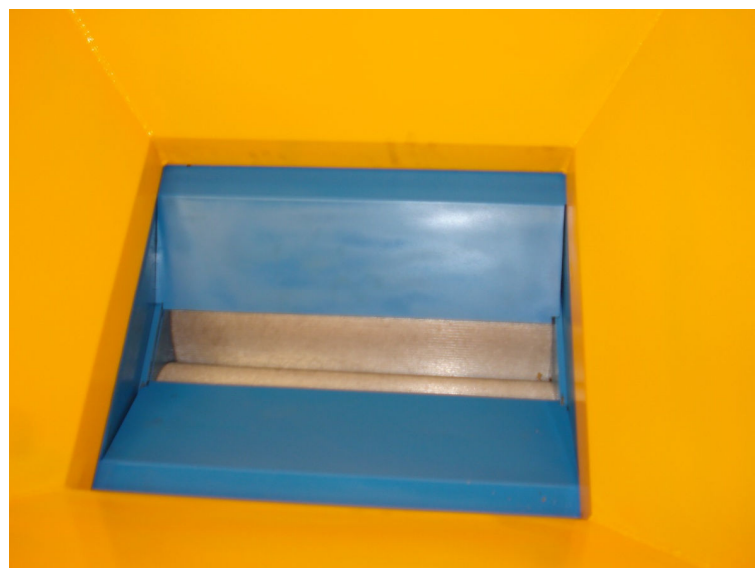
Outro complicador com a tampa do laminador é a abertura da mesma, pois essa é feita de forma manual pelo operador da máquina. Devido ao grande volume de grãos na tuba de alimentação, o operador precisa exercer uma força considerável para abri-la.

Na fotografia 4 pode-se visualizar a tuba de alimentação e também a haste para abertura da tampa. Nessa foto apresenta-se um laminador estático, geralmente utilizado por pequenos produtores rurais que não necessitam fazer o armazenamento de grãos, pois este tem apenas a função de laminar os grãos e rapidamente levá-los aos animais.



Fotografia 4 – Laminador estático
Fonte: Autoria própria.

Já na fotografia 5, são apresentados os rolos laminadores que estão com a tampa aberta. Nesse caso não seria possível começar a abastecer a tuba de alimentação, pois ocorreria o travamento dos rolos.



Fotografia 5 – Tampa do Laminador aberta
Fonte: Autoria própria.

1.2 JUSTIFICATIVA

A motivação gerada a partir deste projeto consiste em sobrepor novos desafios, e o grande conhecimento técnico que será agregado aos desenvolvedores. Outro fator motivacional é a questão de ajudar a agricultura a desenvolver novos métodos produtivos, trazendo mais segurança e confiabilidade no armazenamento do milho para o produtor.

Com este projeto será possível estudar e buscar melhorias para este segmento da agricultura, sendo um campo escasso de estudos no Brasil, e assim projetando melhores processos e menores perdas no procedimento de ensacamento de milho que esta ensiladora de grãos está proposta a fazer.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Aprimorar o projeto mecânico de uma máquina ensiladora de grãos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Conhecer o funcionamento de uma ensiladora de grãos;
- Desenvolver um projeto de produto visando consolidar os conhecimentos levantados e obtidos durante e após o pré-projeto;
- Automatizar o processo.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho será utilizada a metodologia de Pahl e Beitz para o refinamento do projeto mecânico, e pesquisa aplicada para automação do processo.

O projeto em questão abrange as mais diferentes áreas do conhecimento. Com ele, será colocada em prática nossas aptidões teóricas decorrentes do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial. Conceitos mecânicos, eletroeletrônicos e computacionais serão utilizados para o desenvolvimento e conclusão do objetivo proposto. O conhecimento técnico que será gerado a partir deste estudo será de grande valor para vida.

Serão utilizados conceitos básicos de mecânica dos sólidos e elementos de máquinas para desenvolver os mecanismos de medição e de apoio para a entrada

dos dados. Entretanto, conhecimentos adicionais serão necessários, tendo em vista que apesar de utilizar conceitos básicos, na mecânica aplicada a dispositivos agrícolas existem peculiaridades, agregando um conhecimento ainda maior aos integrantes deste projeto.

Na área eletrônica, pode-se identificar e caracterizar os componentes atualmente comercializados, e adequando um arranjo dos mesmos para que o circuito proposto colete os dados mecânicos e os transforme em informações legíveis ao controlador, o qual contará com um software para leitura e interpretação dos dados obtidos.

1.5 ETAPAS DO PROJETO

Até agora, definiram-se todos os conceitos que serão necessários para o início do projeto, sendo assim, deve-se elaborar uma lista que contém todas as etapas do projeto, visando quantificar e aclarar o que será feito para atingir os objetivos específicos.

Aqui são apresentadas:

- Caracterizar o contexto ao qual o projeto se aplicará;
- Avaliar os componentes atualmente existentes no mercado;
- Utilizar o conceito de “casa da qualidade”, obtendo os requisitos do projeto e características de qualidade;
- Montar um fluxograma de funções do equipamento para a identificação das grandezas funcionais do processo;
- Elaborar uma matriz morfológica, combinando as variações geométricas do produto, a fim de aumentar sua robustez;
- Desenvolver um sistema de abastecimento rápido do equipamento;
- Desenvolver um sistema de regulagem automática do freio;
- Desenvolver um sistema eletrônico de inter-travamento a fim de garantir a correta utilização da máquina.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 METODOLOGIA DE PAHL & BEITZ PARA REPROJETO MECÂNICO DO SISTEMA

2.1.1 Procedimento Metodológico para o Desenvolvimento de Produto

Face à grande importância do desenvolvimento de um produto no momento certo e que desperte interesse por parte do mercado, torna-se necessário um procedimento para o desenvolvimento de boas soluções, que seja planejável, flexível, otimizável e verificável. Tal procedimento só é aplicável quando, além do conhecimento especializado, os projetistas souberem trabalhar de modo sistemático (PAHL et al., 2005).

Por metodologia de projeto, entende-se um procedimento planejado com indicações concretas de condutas a serem observadas no desenvolvimento e no projeto de sistemas técnicos, que resultaram de conhecimentos na área da ciência de projeto e da psicologia cognitiva e também da experiência com diferentes aplicações (PAHL et al., 2005).

Uma metodologia de projeto deverá, segundo Pahl et al.(2005):

- Possibilitar um procedimento orientado por problemas, ou seja, ser aplicada em princípio em qualquer atividade de projeto, independente da especialidade;
- Incentivar invenções e conhecimentos, ou seja, facilitar a busca de soluções ótimas;
- Ser compatível com conceitos, métodos e conhecimentos de outras disciplinas;
- Não gerar soluções somente por acaso;
- Ser apropriada para ser usada no computador.

2.1.2 Análise de Valores

Análise de valores segue a DIN 69910 (*Deutsche Ingenieurnormen*) (1978). Um dos pontos chave na análise de valores é o desdobramento da função global a ser satisfeita em subfunções de complexidade decrescente, bem como sua correlação com os portadores de funções (PAHL et al., 2005).

Outro ponto, registra-se um empenho no sentido de que uma análise de valores não seja efetuada somente posteriormente à apresentação dos desenhos do anteprojeto ou de desenhos de componentes específicos, mas já durante o desenvolvimento do conceito, no caso do trabalho aqui apresentado. Com isso, a análise de valores se aproxima dos objetivos de uma metodologia geral do projeto (PAHL et al., 2005).

Procedimento geral da análise de valor, segundo a DIN 69910 (1978):

- Preparar o projeto:

- Escalar a equipe;
- Análise de valor – Delimitar o escopo;
- Definir a organização e o sequenciamento.

- Análise do objeto (situação atual):

- Identificar funções;
- Determinar o custo das funções.

- Definir situação-alvo:

- Definir as funções-alvo;
- Determinar os demais requisitos;
- Relacionar metas de custo com as funções-alvo.

- Desenvolver ideias de solução:

- Coletar as ideias existentes;
- Buscar novas ideias.

- Definir soluções:

- Avaliar as ideias das soluções;
- Detalhar as soluções das ideias de soluções selecionadas;
- Avaliar e decidir com relação às soluções.

- Materializar soluções:

- Detalhar as soluções selecionadas;
- Planejar a concretização.

Para o desenvolvimento do projeto não será seguida a norma acima integralmente, devido aos itens como: escalar equipe, que não é aplicável à questão, também às análises de custo e planejar a concretização, o que não é objetivo deste projeto. Porém todos os outros quesitos apresentados são plausíveis de acompanhamento e a consideração deve ser levada entre eles.

2.2 PESQUISA APLICADA PARA AUTOMAÇÃO DO PROCESSO

Pesquisa aplicada, como seu próprio nome diz, é o princípio da geração do conhecimento para a aplicação dos resultados obtidos, ou seja, sempre visando colocar em prática o que foi obtido, para que a solução seja aplicada o mais rapidamente ao problema real (BARROS; LEHFELD, 2000).

Coleta de dados, são imprescindíveis para a pesquisa aplicada, podendo ser realizadas de diversas formas: pesquisas de campo, entrevistas, pesquisas laboratoriais, documentos, etc. (NUNAN, 1997). Vilaça (2010, p.65) apresenta em seu artigo que “ao contrário da pesquisa teórica, investigações de natureza aplicada apresentam complexidades metodológicas e éticas muito mais complexas. Devido a estas questões, as práticas de pesquisas aplicadas estão mais frequentemente associadas ao ensino superior e à pós-graduação”.

2.3 REENGENHARIA APLICADA AO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Para uma empresa, é de extrema importância possuir a capacidade de desenvolver sempre novos produtos. Os processos que são envolvidos são possíveis itens que possam ser submetidos à reengenharia (RICARDO, 2012).

Roberts (1988, p.11-12) observa que “o gerenciamento da reengenharia tecnológica é complexo, envolvendo a integração eficiente de pessoal, processos organizacionais e planos”. Como muitos processos estão interligados, a reengenharia no desenvolvimento de produtos, muitas vezes, no aperfeiçoamento das interfaces entre processos e sub-processos.

2.3.1 Processos de Pesquisa

A pesquisa, sendo apenas um componente do processo de desenvolvimento de produto, não deve ser o centro exclusivo de uma iniciativa de reengenharia de processos. Como, porém, a pesquisa muitas vezes representa o início do processo de desenvolvimento de produto e, em algumas indústrias, é uma causa importante de atrasos nesse desenvolvimento, de custos excessivos e do fracasso de alguns produtos, ela merece atenção individualizada.

É importante encarar a pesquisa como parte de uma abordagem ampla e abrangente do desenvolvimento de produto. De fato, ela é geralmente apenas um subprocesso, realizado antes (como no caso da pesquisa básica) ou depois (na pesquisa aplicada) do projeto conceitual de um produto. Os habilitadores da reengenharia em processos de pesquisa são (NEVINS; WHITNEY, 1989):

- Modelagem e análise de laboratório baseadas no computador;
- Testes de campo baseados no computador;
- Acompanhamento e sistemas de gerenciamento de projetos;
- Ampla denominação das informações sobre o status do projeto.

2.3.2 Processo de Reengenharia e Projeto de Produto

As inovações na engenharia, no projeto e nos processos de pesquisa compartilham do mesmo objetivo primordial: o de lançar cada vez mais rápido os produtos no mercado (NEVINS; WHITNEY, 1989).

“Engenharia simultânea” e “projeto para industrialização” são meios amplamente defendidos, embora não amplamente aplicados, de se reduzir o tempo de ciclo. Por mais importantes que esses conceitos sejam, outros objetivos não devem ser negligenciados. Projetar produtos que sejam valorizados pelo mercado e

desenvolvê-los a um custo razoável também são objetivos importantes e devem ser gerenciados como objetivos de processo. Os habilitadores dos processos de reengenharia nos processos de engenharia e de projeto, segundo Nevins e Whitney (1989), estão identificados abaixo:

- Projeto e modelagem física auxiliado por computador;
- Bancos de dados de projeto integrados;
- Bancos de dados de componentes padrão;
- Sistemas especialistas de projeto para fabricabilidade;
- Bancos de dados do histórico de desempenho de componentes;
- Sistemas de conferência entre funções de projeto e entre projeto, fabricação e vendas;
- Equipes interfuncionais compreendendo o pessoal responsável pelos projetos e pela fabricação.

A engenharia simultânea para Nevins e Whitney (1989, p15):

Implica uma transferência do fluxo de processo em série para o fluxo paralelo (a expressão usada pelas empresas japonesas para descrever a engenharia simultânea é “abordagem paralela”). Qualquer que seja a denominação, o conceito compreende a realização simultânea do projeto e da engenharia de componentes ou aspectos múltiplos de um produto. O sucesso da interação na realização simultânea do projeto do produto com o processo de fabricação frequentemente determina quais serão as exigências de tempo de custo do processo de desenvolvimento

Estações de *CAD/CAE*², *software* e redes fornecem um suporte à rápida criação e modificação de projetos bidimensionais e tridimensionais e facilitam a comunicação intersetorial e internacional de projetos. A precisão e a capacidade de simulação dessas ferramentas permitem ao engenheiro, usando apenas especificações de alto nível, projetar componentes que se adaptarão a outros, e os recentes progressos nos recursos de prototipação rápida tornam possível a criação

² *CAD* e *CAE* são acrônimos de *Computer Aided Design* e *Computer Aided Engineering*. São ferramentas utilizadas para o processo de projeto e análise estrutural computacional dos elementos projetados.

de protótipos físicos quase imediatamente. Segundo Gomory e Schmitt (1988, p1132):

A fase de projeto do ciclo de desenvolvimento tem se concentrado tradicionalmente nas características e desempenho do produto e não nos processos pelos quais é fabricado. Projetamos um produto primeiro, e depois nos incumbimos da tarefa de fazê-lo. Não obstante o custo e a qualidade finais do produto são inseparáveis da maneira pela qual é feito. Se o produto pode ser feito com facilidade, seus custos serão baixos e, provavelmente, sua qualidade será alta.

2.4 AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS

A automação se verifica sempre que novas técnicas de controle são introduzidas num processo. Associado ao aumento de produtividade, como fator preponderante do aumento da qualidade de vida por meio do poder de compra adquirido pela sociedade, torna-se o maior poder gerador de riquezas que jamais existiu. Segundo Silveira e Santos (1999), “as técnicas de produção e a produtividade do trabalho são o fator preponderante do poder de compra”.

A técnica do controle automático é um dos aspectos da automação. Esquemáticamente, a técnica do controle automático é realizada através de elementos constituindo um circuito fechado ou, como é habitual dizer, uma *cadeia fechada* ou uma *malha fechada*. Há retorno ao sistema controlado de um sinal de correção o qual depende do sinal de saída. Em virtude deste retorno diz-se que há *feedback* (SILVEIRA; SANTOS, 1999).

Aos sistemas em malha fechada também se pode chamar sistemas de controle com realimentação. O estudo do comportamento dos sistemas de controle em cadeia fechada faz-se na *teoria da realimentação*, a qual é um dos grandes capítulos da cibernética. Segundo a definição de Wiener, a cibernética estuda o fenômeno da comunicação e controle, no homem, na máquina e na natureza (SILVEIRA; SANTOS, 1999, p.31).

Além da teoria de controle e da realimentação, estuda-se também na cibernética a teoria da informação e da comunicação.

Da convergência das descobertas da cibernética com as realizações da técnica moderna, especialmente eletrônica, resultou a automação a qual está se apoderando de um grande número de atividades humanas.

A compreensão dos princípios da cibernética é hoje tão importante para o engenheiro e para o técnico como o estudo da eletricidade ou da mecânica: devia ser cadeira obrigatória em todas as especializações técnicas. Também seria necessário ensinar a teoria da informação aos futuros administradores (SILVEIRA; SANTOS, 1999).

O controle automático tem como finalidade a manutenção de alguma variável ou condição num certo valor (fixo ou variando no tempo a nossa vontade). Este valor que se pretende é o valor desejado (SILVEIRA; SANTOS, 1999).

3 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se eliminar o problema com o desalinhamento das bolsas, ponto crucial para o êxito ou não do projeto. Isto irá acarretar a escolha correta do tipo de freio e do seu correto acionamento para que seja feita sua perfeita equalização, evitando desvio de rota do equipamento durante o percurso.

Entretanto, o abastecimento também é um ponto fraco na máquina. Espera-se projetar um correto e eficiente sistema de abastecimento, a fim de reduzir ao máximo a intervenção manual próxima a partes potencialmente perigosas no equipamento, aumentando a segurança do operador e a eficiência da máquina.

Com a automação as possibilidades de melhoria no equipamento são inúmeras, porém, duas principais é que chamam mais atenção para a ensiladora em questão: o intertravamento e a segurança operacional.

4 DESENVOLVIMENTO

Nesta primeira abordagem, é definido os requisitos do projeto, levantados com o cliente, e utilizando-os na matriz da qualidade para assim, definir os requisitos do projeto e dar prioridade no que deve ser desenvolvido na máquina.

4.1 REQUISITOS DO CLIENTE X REQUISITOS DO PROJETO

Para Pahl e Beitz (2005), a lista de requisitos precisa estar sempre atualizada, pois dela poderá decorrer a liberação para os demais trabalhos. Ainda assim, os requisitos dos clientes são as expressões linguísticas dos clientes convertidas (qualitativamente) em necessidades reais (AKAO, 2004). Seguindo essas duas afirmações, foi elaborado o quadro 1, mostrado abaixo, o qual transforma cada requisito do cliente em requisito do projeto, identificando, primeiramente, a qual elemento da máquina cada requisito do cliente encaixa-se.

Requisito do Cliente	Elemento do Produto	Requisito do Produto (variável mensurável)
Maior segurança do operador	Automatização da operação	-
Maior produtividade	Aumento na capacidade de transporte de matéria	Capacidade de transporte (m ³ /h)
Sistema de fácil operação	Automatização da operação	Automatização da operação
Evitar desperdício	Capacidade de abastecimento da máquina	Capacidade de abastecimento (m ³ /min)
Evitar o movimento em curva da máquina quando em operação	Sistema de frenagem	Equalização da força de frenagem (ΔN)
Ruptura da bolsa de ensilamento	Falta de escape de ar	Sistema para escape do ar
Esmagamento ou quebra do grão, conforme necessitado	Laminador	Formato do Laminador

Quadro 1 - Requisitos do cliente para requisitos de projeto

Fonte: Autoria própria.

4.1.1 A Casa da Qualidade

Segundo Akao (2004), “a casa da qualidade é obtida pelo cruzamento da tabela dos requisitos do cliente (ou da qualidade exigida) com a tabela das características de qualidade”. Sendo assim, cruzam-se os dados obtidos no quadro 1 entre si e forma-se uma matriz mais complexa, a qual é possível definir as prioridades do projeto. Na figura 4 é mostrada a casa da qualidade.

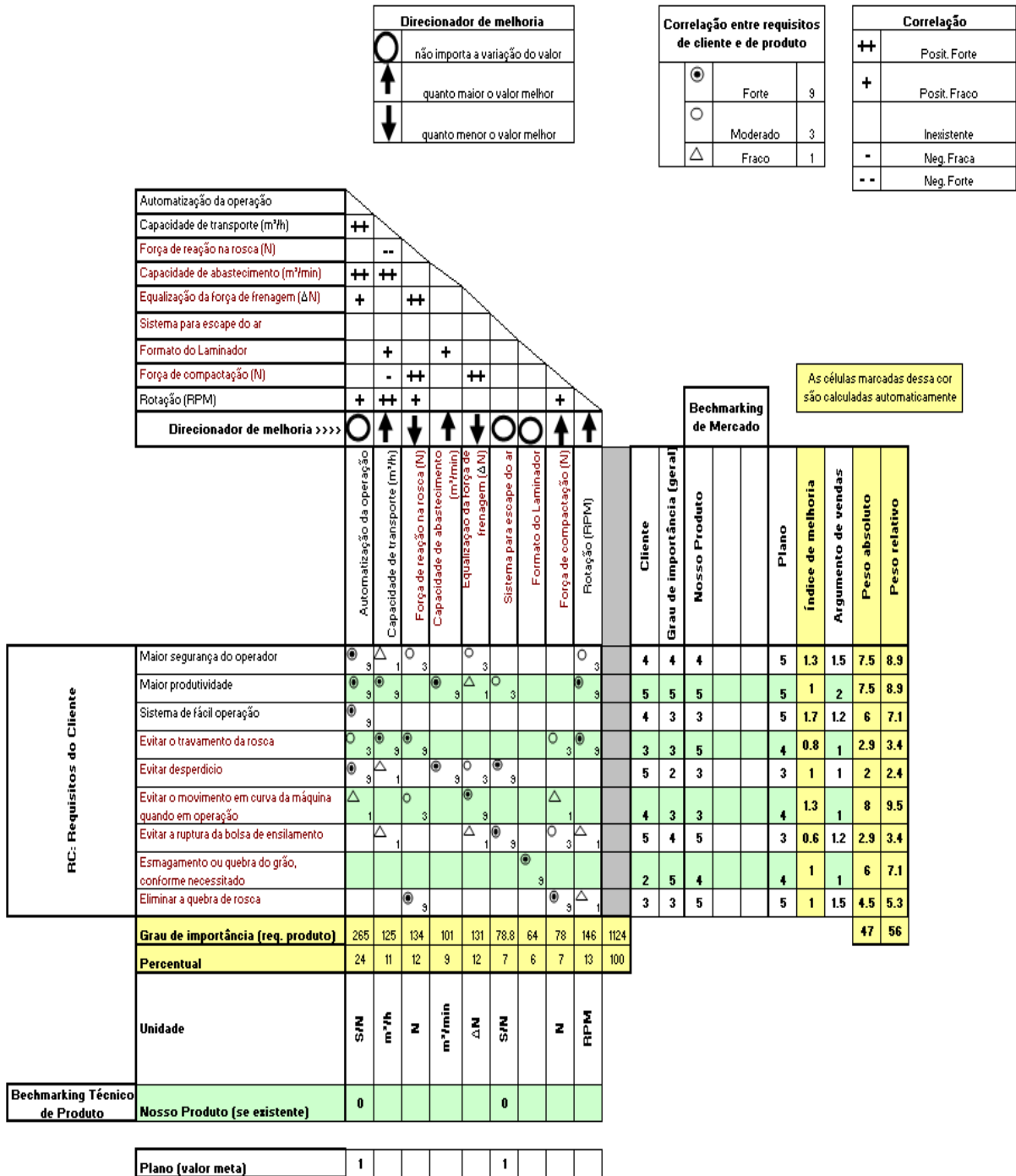


Figura 4 - A Casa da Qualidade
 Fonte: Adaptado de Akao (2004).

Contudo, identifica-se o grau de importância de cada elemento no projeto, e assim definem-se prioridades, e até mesmo excluir alguns requisitos que, com base nos resultados obtidos na matriz não se julgam tão importantes para o projeto em questão. Para Akao (2004), “o grau de melhoria é a forma de inserir na importância final dos requisitos (peso absoluto e relativo) a intenção da empresa, ou seja, o plano estratégico da empresa”.

Assim, utilizando os quatro mais importantes requisitos de projeto, os quais se encontram, em ordem de importância:

- 1 - Automatização da operação;
- 2 - Rotação (RPM) (no eixo árvore);
- 3 - Força de reação na rosca (N);
- 4 - Equalização da força de frenagem (ΔN).

Agora, define-se preliminarmente uma solução. É possível através da elaboração de vários diagramas de funções, combinando vários fatores, passando pelos diagramas *FAST*, matriz morfológica, e por fim, montando o diagrama de concepções, o qual mais favorável será escolhido.

4.2 ESTRUTURA DE FUNÇÕES

Um dos métodos sistemáticos especialmente apropriados para engenharia reversa, da descrição funcional de produto já existente, é o método *FAST* (*Function Analysis System Technique*) (OTTO; WOOD, 2001).

Na figura 5 é mostrado o diagrama *FAST*, no qual é possível fazer a análise do processo e dos elementos a serem abordados na matriz morfológica.

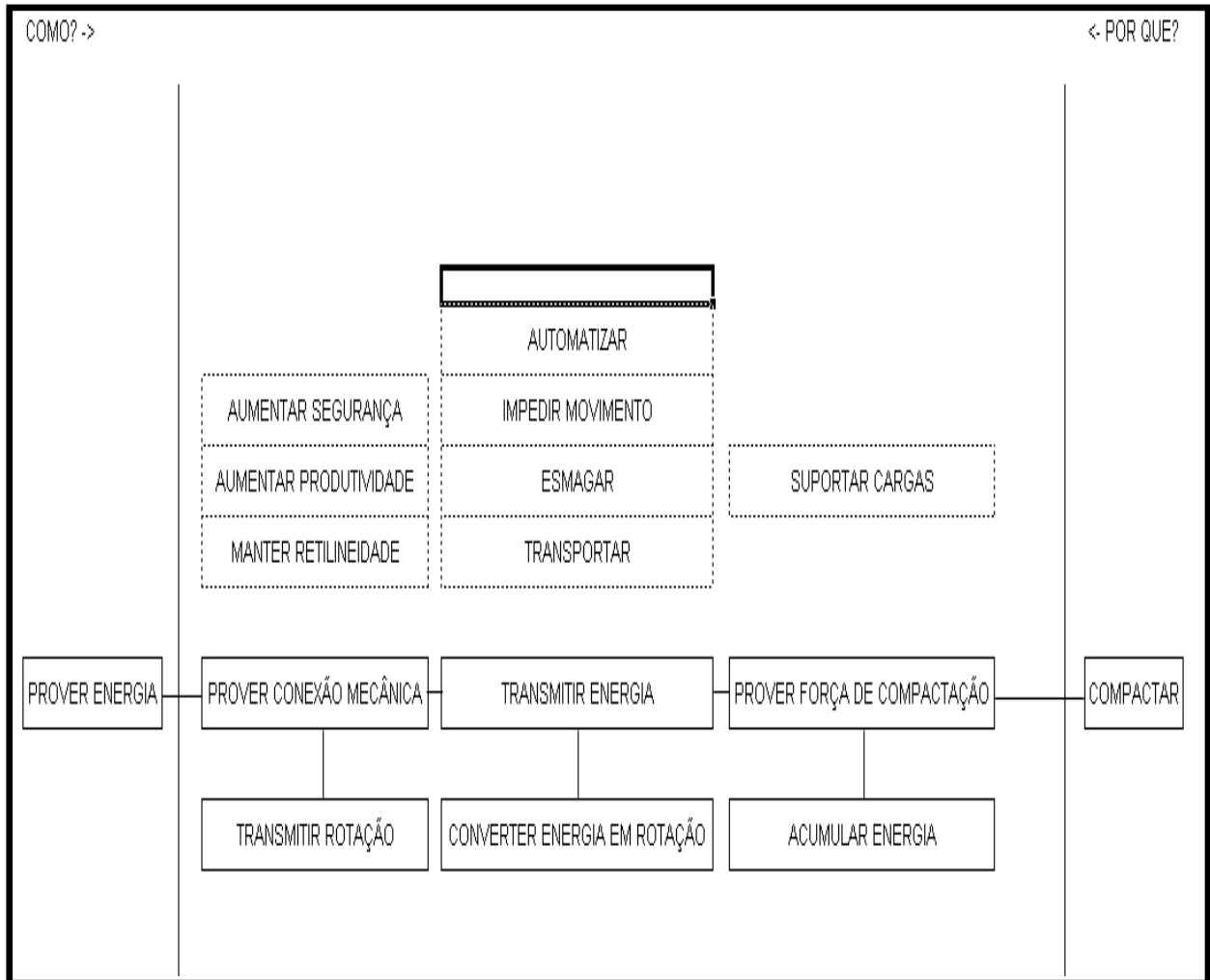


Figura 5 – Diagrama FAST
Fonte: Autoria própria.

Nas células tracejadas a primeira coluna tem-se: aumentar segurança, aumentar produtividade e manter retilineidade sendo objetivos do projeto. Já ao lado, continuando nas células tracejadas são funções pertinentes a cada operação do sistema, e finalmente na última coluna tem-se “suportar cargas”, sendo uma função permanente ao sistema.

No centro do diagrama encontra-se o mapeamento do processo, da esquerda para direita, pergunta-se “como?” se dará o processo e, no caminho inverso, o “por quê?”. Na vertical, listam-se as funções críticas a cada etapa do mapeamento. Assim tem-se o modo como prover-se-á energia ao sistema e porque tem-se a compactação como efeito final do processo.

Na Figura 6 é mostrada a função global do sistema, em uma forma simples e compacta. Tem-se ao centro a principal função da máquina, assim como as suas entradas e saídas para que o processo global ocorra.

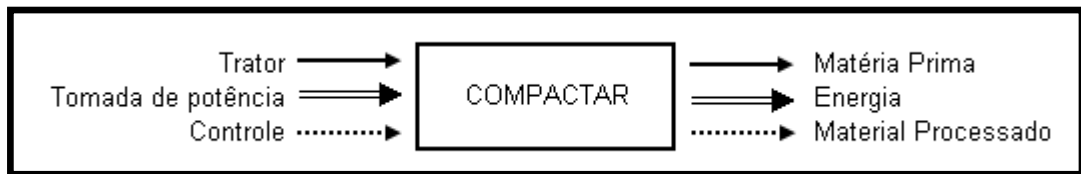


Figura 6 – Função global do processo
Fonte: Autoria própria.

Entende-se que é necessário basicamente um trator, a tomada de potência para prover a energia necessária na saída, e a automação na questão do controle como as decisões tomadas eletronicamente pelo módulo de controle.

A seguir, na figura 7, representam-se os desdobramentos dessa função global, em subfunções de até 2º nível, podendo assim, identificar as funções específicas que serão utilizadas na matriz morfológica na sequência.

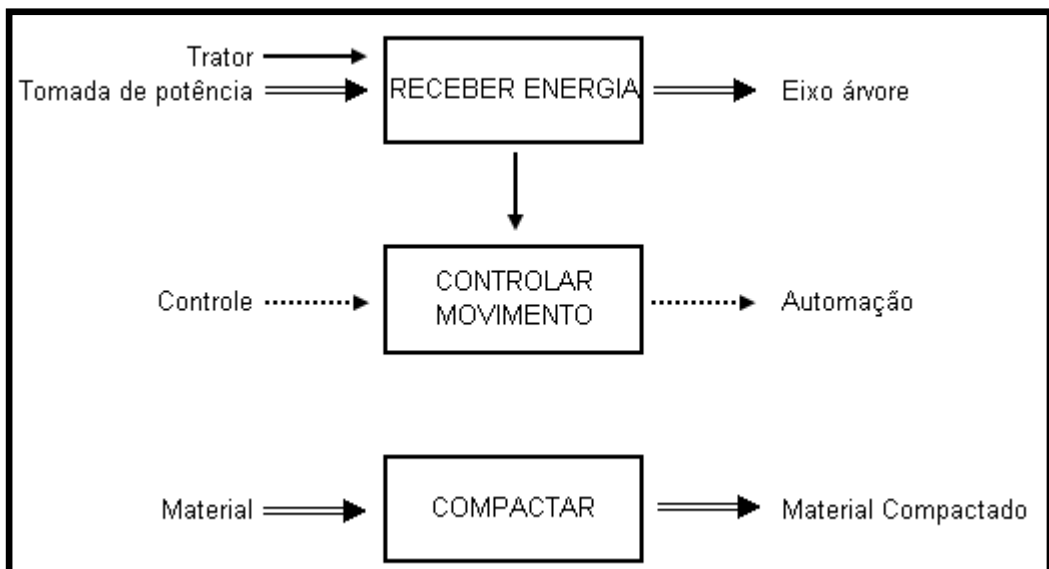


Figura 7 – Desdobramento da função global em primeiro nível
Fonte: Autoria própria.

No desdobramento de primeiro nível, foi adicionado o material como entrada na compactação, agora vista como subfunção do equipamento. Criaram-se duas novas subfunções: Receber energia e controlar o movimento. A primeira fica clara como se relacionam com suas entradas, e sua saída, o eixo árvore irá receber toda energia mecânica do sistema. Já, o controle é a entrada para a função que controla o movimento do mecanismo, tendo como saída a automação do sistema. Pode-se assim ter uma breve previsão dos requisitos específicos da máquina: Material, que será o produto a ser compactado; automação, que proverá o controle

necessário do equipamento; e elementos mecânicos, que por fim, irão transmitir a energia que vem do trator para o eixo árvore da máquina, realizando a compactação.

Na figura 8 percebe-se que a função compactar foi desmembrada em “laminar” também, tendo em vista que a laminação é uma subfunção a qual prepara o material para a função principal de compactação.

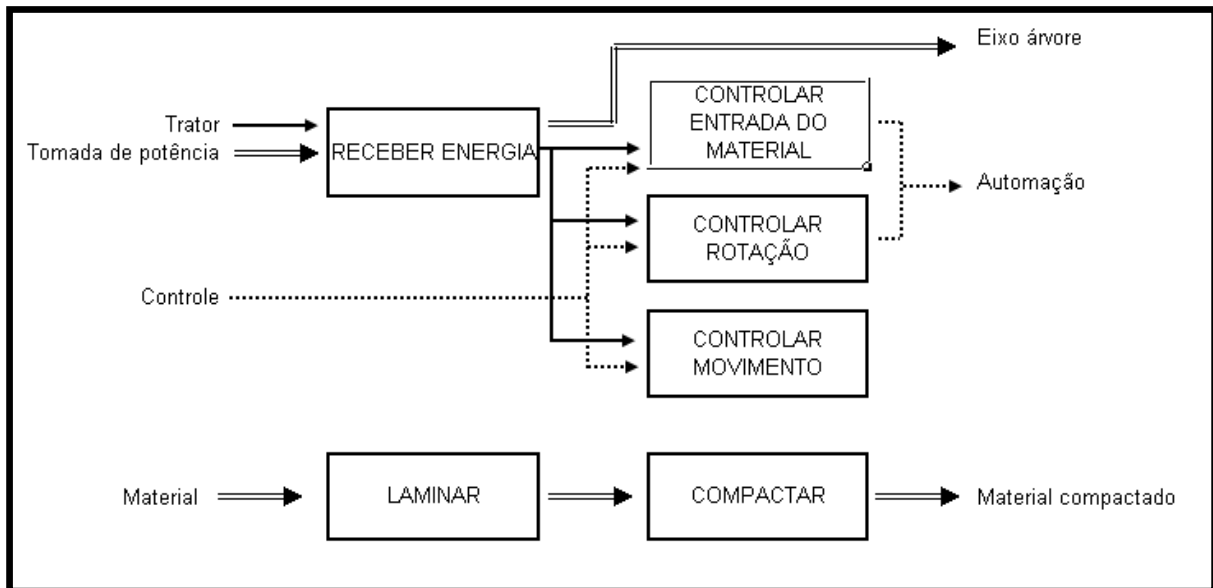


Figura 8 – Desdobramento de segundo nível
Fonte: Autoria própria.

É visto também, que a subfunção “controlar movimento” também é desmembrada em: controlar entrada do material e controlar movimento, porém a mesma é mantida, pois ainda tem-se o movimento da própria máquina a ser controlado, devido à força de compactação exercida pelo eixo árvore da máquina.

As funções de controle exigem automação por si só, menos a terceira (controlar movimento), a qual não requer nenhum tipo de comando automático. E, também, todas requerem energia como entrada, por necessitarem que o movimento exista para ser controlado.







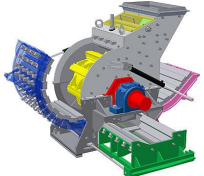
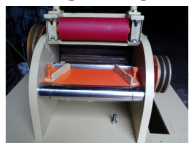


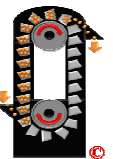

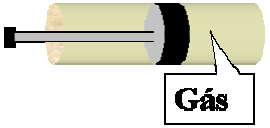







Sendo assim, com o desdobramento da função global do dispositivo no segundo nível, consegue-se gerar a matriz morfológica para o equipamento, que será listada no próximo item.

O item automatizar foi consolidado nas etapas anteriores, porém não irá constar nas próximas etapas, como matriz morfológica e etc. Pois devida a

complexidade da automatização, a mesma será incluída em um capítulo a parte para melhor avaliação.

4.3 MATRIZ MORFOLÓGICA

Pode-se agora organizar as subfunções obtidas anteriormente em uma matriz, apresentada no quadro 2, cuja finalidade é analisar todos os conceitos disponíveis atualmente para cada subfunção, para posterior análise e escolha do melhor conceito para o dispositivo em questão.

		1	2	3	4	5	6
A	IMPEDIR MOVIMENTO	FREIO A TAMBOR 	FREIO A DISCO 	CATRACA 	TRAÇÃO LONGITUDINAL 	BUCHA 	
B	TRITURAR	ROLOS LAMINADORES 	PILÃO 	BRITADEIRA 	MOINHOS DE MARTELO 	MOINHOS GRANULADORES 	
C	TRANSPORTAR	ESTEIRA 	ROSCA HELICOIDAL 	REDLER 	ELEVADOR DE CANECAS 	SISTEMAS DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO 	
D	COMPACTAR	ROSCA HELICOIDAL 	ÊMBOLO 	ROLOS COMPACTADORES 	PRENSA 	PILÃO 	
E	TRANSMITIR ENERGIA	ENGRENAGENS 	POLIA E CORREIA 	SEM FIM E COROA 	MANUALMENTE 	CORRENTE DE ROLOS 	CORRENTE 

Quadro 2 – Matriz Morfológica
Fonte: Autoria própria.

4.4 LISTA DE SELEÇÃO DAS SOLUÇÕES

Com a lista de seleção, pode-se cruzar as informações obtidas na matriz morfológica e descartar as soluções pouco prováveis para o projeto em questão. Cada solução é avaliada e comentada no quadro 3, lembrando que, pelo menos um critério não satisfeito, elimina a solução, ou “variante da solução” conforme Pahl et al. (2005).

ASSINALAR VARIANTE DE SOLUÇÃO (L.V)	JULGAR VARIANTES DE SELEÇÃO SEGUNDO CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO:						DECISÃO	
	(+) SIM (-) NÃO (?) FALTAM INFORMAÇÕES (!) VERIFICAR LISTA DE REQUISITOS							
	OBSERVADA AS COMPATIBILIDADES							
	SATISFEITAS AS EXIGÊNCIAS DAS LISTAS DE REQUISITOS							
	EM PRINCÍPIO REALIZÁVEL							
	DISPENDIO ACEITÁVEL							
	OBSERVADA MEDIDAS DE SEGURANÇA DIRETA							
A	B	C	D	E	F	G	ACEITÁVEL PELA EMPRESA	
OBSERVAÇÕES (SUGESTÕES E JUSTIFICATIVAS)								
A1	+	+	+	+	+	+	Solução atual, dificuldade na equalização, eficiência aceitável, utiliza lona como elemento de desgaste	+
A2	+	+	+				Maior eficiência do que na frenagem a tambor, maior manutenção por usar pastilhas como elemento de desgaste	+
A3	-						Maior rigidez no momento de impedir o movimento, manutenção extremamente baixa, impossível equalizar	.
A4	+	-					Muito difícil de garantir movimento linear	.
A5	+	-					Não aplicável na operação, difícil dimensionar para a grandeza do projeto	.
B1	+	+	+	+	+	+	Permite flexibilidade, podendo tanto triturar como esmagar, fácil montagem e não requer muita manutenção	+
B2	+	-					Difícil conceitualização de montagem, pouco eficiente, na maioria das vezes requer força manual.	.
B3	-						Difícil adaptação, não serve para triturar material granulado	.
B4	-						Não adaptável à condição do equipamento	.
B5	-						Não compatível	.
C1	+	+					Eficiente sistema de transporte	+
C2	+	+					Transporta grandes quantidade de matéria prima	+
C3	+	-					Elevado desperdício, não compacta	.
C4	-						Sistema de transporte vertical	.
C5	?	-					Não satisfaz os requisitos do cliente: problema similar ao item E2	.
D1	+	+	+	+	+	+	Índice de compactação moderado, permite transporte conjugado	+
D2	-						Alto índice de compactação, permite transporte, porém necessita de espaço muito grande para o curso do embolo, perdendo eficiência	.
D3	-						Não permite ensacamento do material ao mesmo tempo que compacta	.
D4	-						Alto grau de compactação, não permite transporte.	.
D5	+	-					Requer força manual	.
E1	+	+	+				Sistema robusto e eficiente de transmissão de energia.	+
E2	+	-					Eficiente, porém falta robustez	.
E3	+	-					Não há necessidade na mudança de direção do movimento	.
E4	-						Sistema requer grande força para funcionamento	.
E5	+	-					Sistema robusto, porém não opera em altas velocidades	.
E6	+	+	+	+	+	+	Sistema eficiente de transmissão de energia, dispendio aceitável	+

Quadro 3 – Lista de seleção para ensiladora de grãos
Fonte: Autoria própria.

Seleção das variantes (decisão):	
+	Continuar desenvolvimento
-	Eliminar solução
?	Obter informações
!	Verificar lista de requisitos

Quadro 4 – Critérios usados na decisão da escolha das variantes
Fonte: Autoria própria.

As informações foram cruzadas e devidamente julgadas segundo o quadro 4. Compatibilidade, requisitos, capacidade, tempo, segurança e política do projeto, foram os principais itens avaliados na lista de seleção. A partir dela é possível formular cada concepção, que será esboçada e avaliada uma a uma posteriormente na geração das concepções.

As concepções foram formadas a partir das alternativas positivas na coluna de decisão, que estão destacadas com o círculo vermelho, no quadro 3. São elas: A1, A2, B1, C1, C2, D1, E1, e E6.

4.5 GERAÇÃO DAS CONCEPÇÕES

A seguir são mostradas as concepções avaliadas, para a seleção da concepção final a qual será desenvolvida. A matriz de concepções é mostrada no quadro 5.

CONCEPÇÃO SUBFUNÇÃO	1	2	3	4
IMPEDIR MOVIMENTO	FREIO A TAMBOR	FREIO A DISCO	FREIO A DISCO	FREIO A TAMBOR
TRITURAR	SIST. DE ROLOS LAMINADORES	SIST. DE ROLOS LAMINADORES	SIST. DE ROLOS LAMINADORES	SIST. DE ROLOS LAMINADORES
TRANSPORTAR	ROSCA HELICOIDAL	ESTEIRA	ESTEIRA	ROSCA HELICOIDAL
COMPACTAR	ROSCA HELICOIDAL	ROSCA HELICOIDAL	ROSCA HELICOIDAL	ROSCA HELICOIDAL
TRANSMITIR ENERGIA	CORRENTES	CORRENTES	ENGRENAGENS	ENGRENAGENS

Quadro 5 – Geração das concepções
Fonte: Autoria própria.

A partir desse quadro das concepções podem-se gerar esboços que irão auxiliar na avaliação de cada concepção em si. Conforme mostrado acima, têm-se quatro esboços a serem avaliados. As principais diferenças entre si são: o tipo de sistema utilizado para impedir o movimento do equipamento (freio a tambor ou a disco) e o sistema de transporte para alimentação do equipamento, será

desenvolvida uma esteira, ou uma rosca helicoidal somente para transporte. A partir deste ponto começa a apresentação dos esboços realizados.

4.5.1 Produto Atual

Na figura 9, tem-se como referência a solução de mercado.

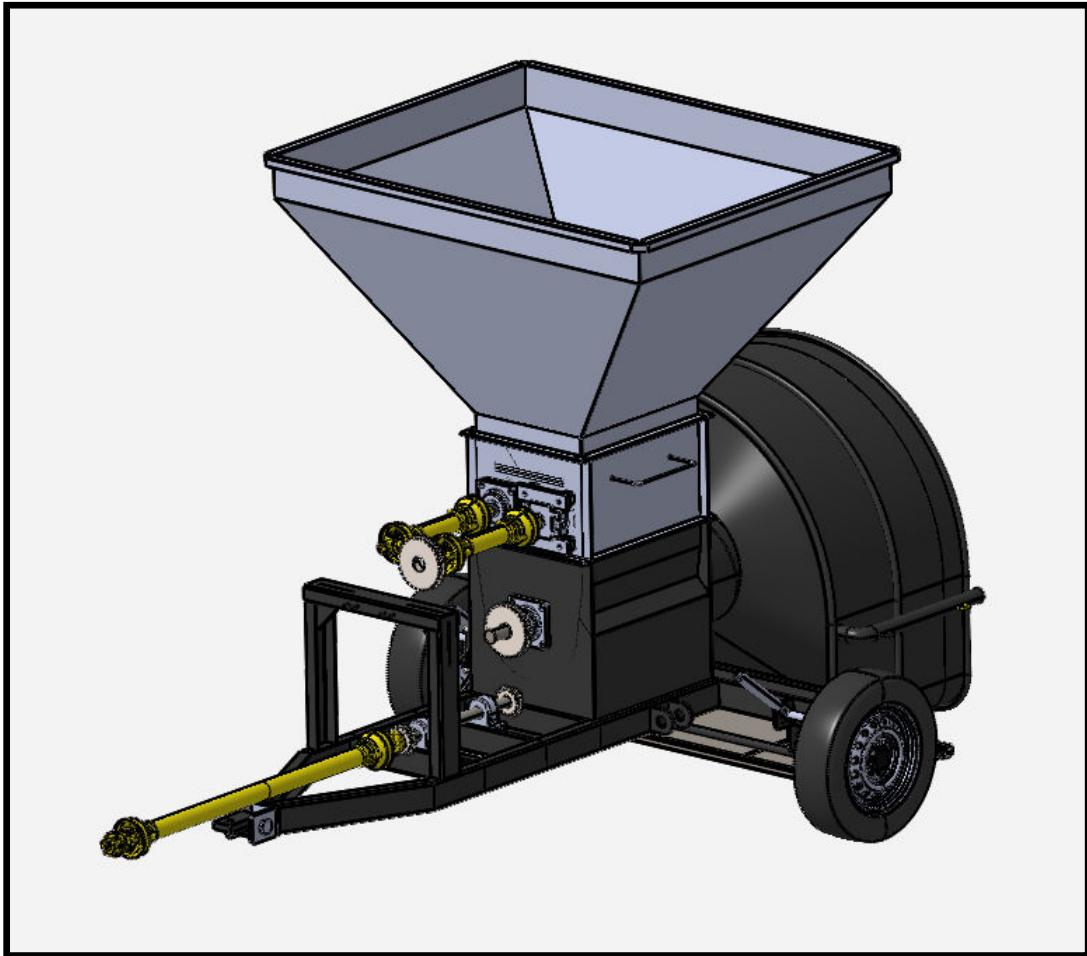


Figura 9 – Produto atual
Fonte: Autoria própria.

Sistema simples, manual, e sem nenhum aprimoramento mecânico. Pobre na equalização da frenagem, o que faz com que a máquina não se movimente em uma reta perfeita durante o processo de compactação, o que pode ocasionar ruptura na bolsa de ensilamento.

Além disso, a falta de um sistema automatizado, que será tratado a parte em um capítulo posterior, coloca em risco a performance do equipamento e sua correta utilização, assim como, a segurança do operador. Requer esforço manual para alimentação do dispositivo, aumentando o tempo de realização do processo.

4.5.2 Primeira Concepção

Na primeira concepção, figura 10, o freio a tambor é mantido, porém adiciona-se a proposta de correta equalização do mesmo, com acionamento hidráulico, ao invés do acionamento por alavanca como utilizado anteriormente.

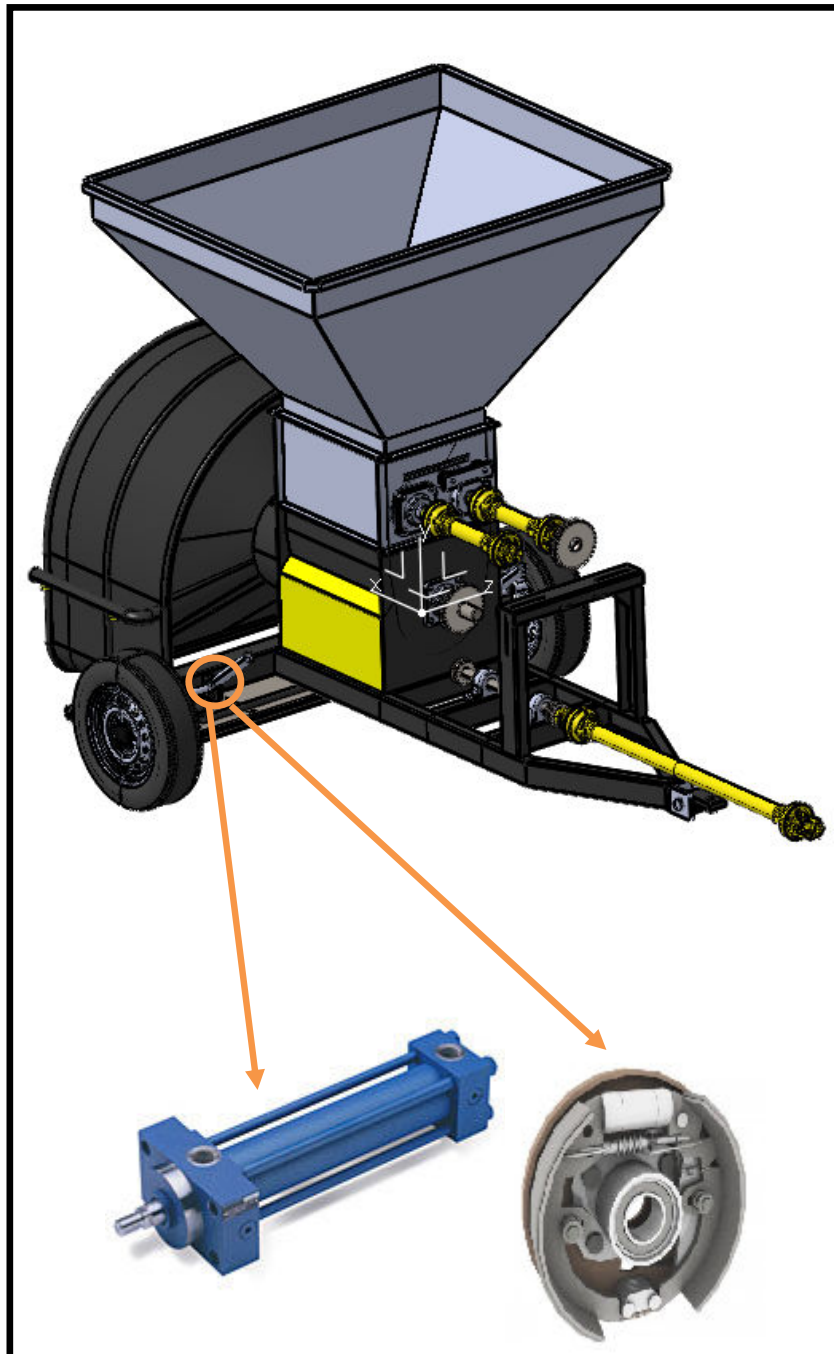


Figura 10 – Concepção 1
Fonte: Autoria própria.

Também é adicionado o sistema de alimentação da ensiladora de grãos, por meio de uma tuba de alimentação, com uma rosca helicoidal de transporte, para alimentação constante da máquina.

A rosca helicoidal para compactação e o sistema de transmissão utilizando correntes é mantido.

A proposta de transmissão de energia por correntes, a partir da tomada de força do motor é mantida, garantido a robustez da concepção.

4.5.3 Segunda Concepção

Na figura 11 tem-se a concepção 2.

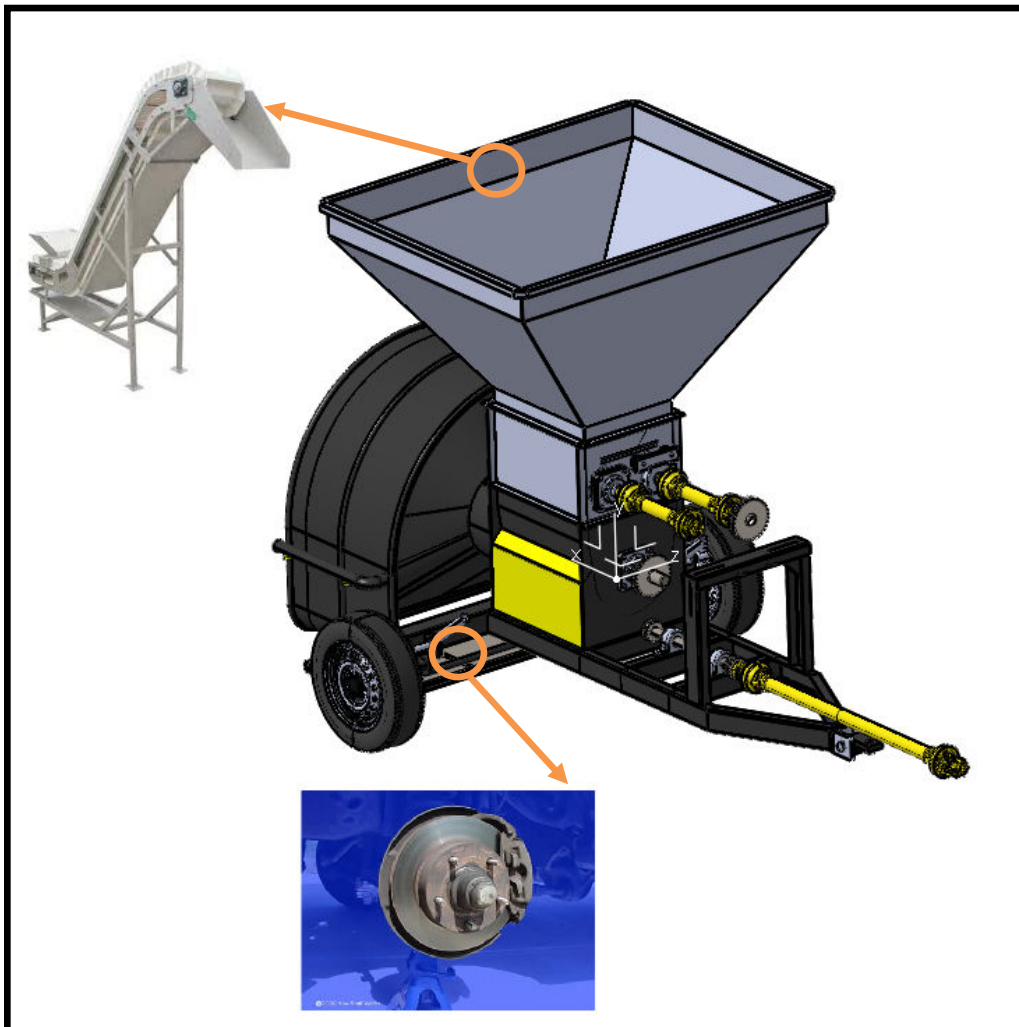


Figura 11 – Concepção 2
Fonte: Autoria própria.

A rosca helicoidal para compactação e o sistema de transmissão por correntes é utilizado neste esboço também.

O que nota-se de diferente nesta concepção é a utilização do freio a disco no lugar do freio a tambor, aumentando a eficiência do freio, porém o custo é aumentado também.

Utiliza-se uma esteira como elemento de transporte, o que ocasiona muitas perdas de transporte, quando a matéria de que se trata é um grão, como o milho.

4.5.4 Terceira Concepção

Na figura 12 é mostrada a concepção 3.

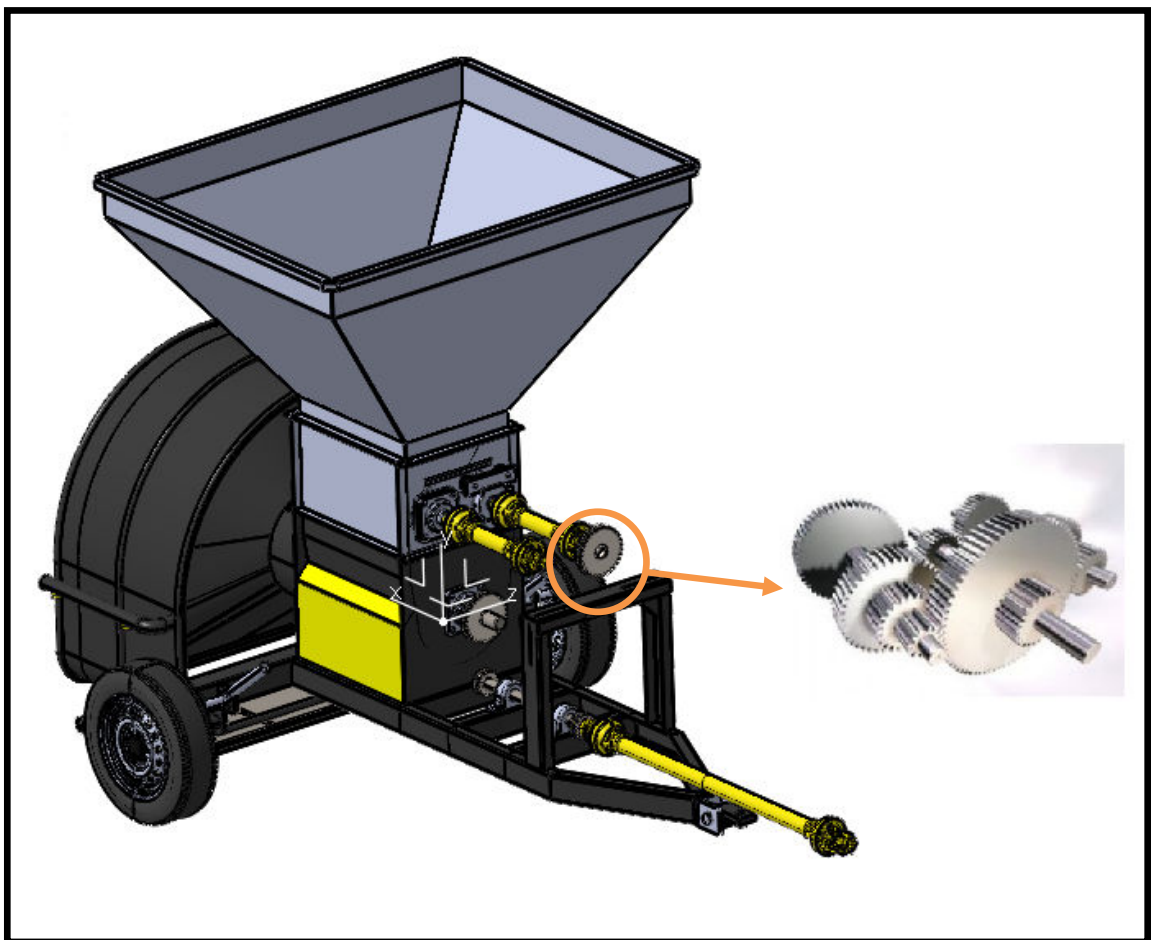


Figura 12 – Concepção 3
Fonte: Autoria própria.

Continua-se com o elemento para impedir o movimento utilizando o freio a disco, como na concepção 2. Porém, agora, combina-se o sistema de engrenagens como elemento de transmissão de energia do equipamento, podendo avaliar as diversas possibilidades.

4.5.5 Quarta Concepção

Por fim, chega-se a quarta concepção na figura 13.

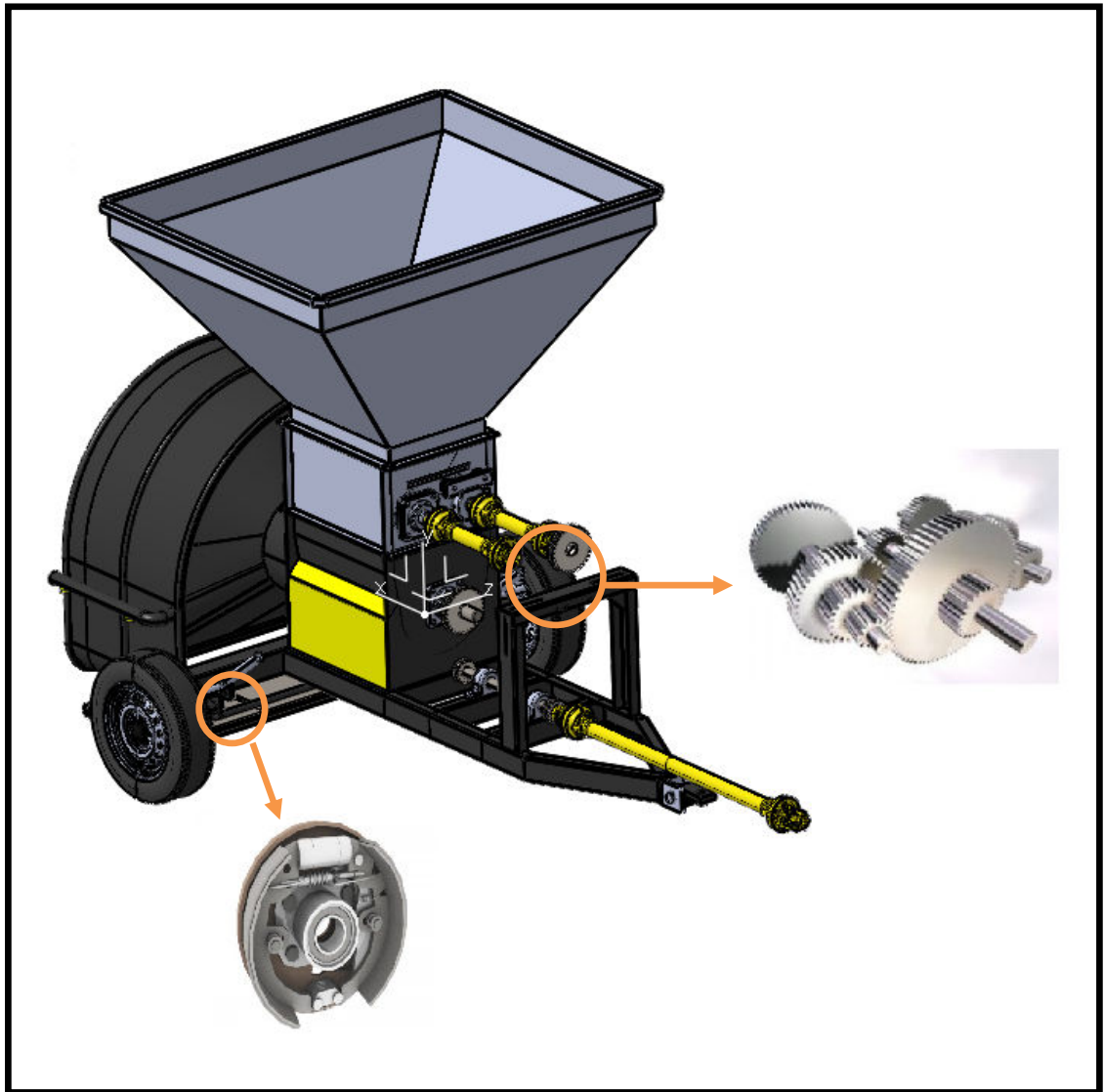


Figura 13 – Concepção 4
Fonte: Autoria própria.

Retorna-se ao elemento de frenagem a tambor, contudo combina-se agora com o sistema de transporte via rosca helicoidal, pode-se agora avaliar a questão da menor eficiência de frenagem ligado ao elemento de transmissão de energia de engrenagens.

4.6 Avaliação das concepções

Para avaliar essas concepções são usados critérios encontrados na lista de requisitos do projeto. Esta etapa é um tanto quanto “subjetiva”, portanto depende da interpretação de cada item pelo avaliador.

Com a ajuda da lista de verificação proposta por Pahl et al. (2005), é criada uma tabela de avaliações para todas as concepções geradas anteriormente. Consegue-se identificar nesta tabela os pontos fracos de cada concepção, assim como, a possibilidade de identificação de melhorias da mesma. Assim, as concepções são qualificadas sendo que a mais apta, a primeira qualificada, é escolhida como a concepção que deve ter seu desenvolvimento continuado.

Na tabela de avaliação, tem-se as seguintes variáveis e suas respectivas definições por Pahl et al. (2005), mostradas abaixo:

g – indica os fatores de ponderação utilizados para critérios com diferentes relevâncias;

P_{max} – é a pontuação máxima para cada critério de avaliação;

Σ – indica o valor global ponderado de cada variante;

Wt – indica a valoração técnica (divisão entre o valor global e o valor global ideal).

Na tabela 1 mostra-se a avaliação das concepções.

Tabela 1 – Avaliação das concepções

Avaliação para a máquina ensiladora de grãos											
Pela ordem do título na lista de verificação	P variante presente (P) possível após melhorias	Critério de avaliação	g	1		2		3		4	
				P	(P)	P	(P)	P	(P)	P	(P)
Função	1	Alto grau de compactação	1	4		4		4		4	
Princípio de trabalho	2	Fácil realização	1	3		2		1↑		4	
Forma do corpo	3	Não há detalhe especial de forma	1	3		2		3		2	
Ergonomia	4	Fácil acesso aos acionamentos	1	4		4		4		4	
Produção	5	Dispositivos com menores custos	2	3 ^B ↑		1		2 ^S ↓		2	
Montagem	6	Fácil montagem em campo	2	3 ^V (4)		2		3		2	
Utilização	7	Operação simples	1	4		4		4		4	
Manutenção	8	Limpeza e lubrificação simples	1	4		2		3		2	
?	Avaliação incerta	Pmax = 4	Σ	34	(35)	24		29		28	
↑	Tendência a melhorar	Wt		0.85	(0.88)	0.60	0	0.73	0	0.70	0
↓	Tendência a piorar	Colocação por pontos		1°	(1°)	4°		2°		3°	
Observações, razões (B), pontos fracos (S), melhorias (V), para as concepções.											
6-1 V - Ajuste a adaptação da esteira para instalação em campo											
5-3 S - Freio a disco é a solução mais cara para impedir o movimento											
5-1 B - Freio a tambor é a solução mais barata, precisa ser corretamente equalizada											
Decisão - Concepção 1: continuar o desenvolvimento focando no aprimoramento dos componentes de menor custo											

Fonte: Autoria própria.

Seguindo o valor Pmax na tabela 1, o valor principal a ser avaliado, pode-se elaborar um *ranking* de concepções aqui apresentadas:

- 1 – Concepção 1; Pmax = 34
- 2 – Concepção 3; Pmax = 29
- 3 – Concepção 4; Pmax = 28
- 4 – Concepção 2; Pmax = 24

O quadro de avaliação, com a escala de valores utilizada, é apresentada no quadro 6. Os graus de avaliação foram baseados no VDI 2225 (1977 apud PAHL et al., 2005, p.80), portanto, entre 0 a 4 pontos.

Escala de Valores	Magnitude dos parâmetros							
	1	2	3	4	5	6	7	8
VDI 2225								
Pontos								
0	nulo	muito complexo	muitas formas especiais	muito complexo	custo alto	muito complexo	muito complexo	impossibilidade de realizar manutenção
1	baixo	complexo	algumas formas especiais	complexo	custo médio	complexo	complexo	manutenção onerosa
2	médio	mediano	somente formas	mediano	custo aceitável	mediano	mediano	manutenção aceitável
3	alto	simples	formas padrão	simples	custo baixo	simples	simples	manutenção fácil
4	muito alto	muito simples	formas padrão ordinárias	muito simples	custo muito baixo	muito simples	muito simples	manutenção extremamente fácil

Quadro 6 – Critérios de avaliação usados na tabela de avaliação
Fonte: Autoria própria.

Seguindo todos os critérios propostos anteriormente, neste capítulo, a concepção 1 foi a escolhida, portanto, tem seu desenvolvimento levado à frente para a próxima etapa.

4.7 REVISÃO GERAL DO PROJETO

Após várias análises, seguindo a metodologia de Pahl et al., proposta no capítulo 1.4.2, lista-se aqui o que será desenvolvido e calculado, e o que se confirmou como sendo apropriado para o projeto da máquina.

Funções:

- **Restringir movimento:** será desenvolvido um freio a tambor, que permita o acionamento hidráulico para sua correta equalização;
- **Triturar:** o sistema de rolos laminadores será mantido, pois já está corretamente dimensionado e cumpre a função corretamente;
- **Transportar:** a alimentação será feita por meio de uma rosca helicoidal, que deverá ser dimensionada e calculada para a aplicação, desenvolvimento novo;

- **Compactar:** a rosca helicoidal usada para compactação, já atende os requisitos do projeto, será mantido o mesmo;
- **Transmitir energia:** as correntes transmitem energia de forma adequada e possuem certa robustez, de fácil manutenção, mantêm-se no projeto atual também.

4.8 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO E PARTES DO TRANSPORTADOR HELICOIDAL

Para melhorar o sistema de abastecimento, fazendo com que o rendimento da máquina seja melhor aproveitado e também que não seja necessária a utilização de mão de obra humana, tem-se como proposta fazer um sistema de alimentação com transportador helicoidal. Em uma configuração básica, pode-se determinar os seguintes componentes de um transportador helicoidal, na figura 14, além do conjunto de acionamento:

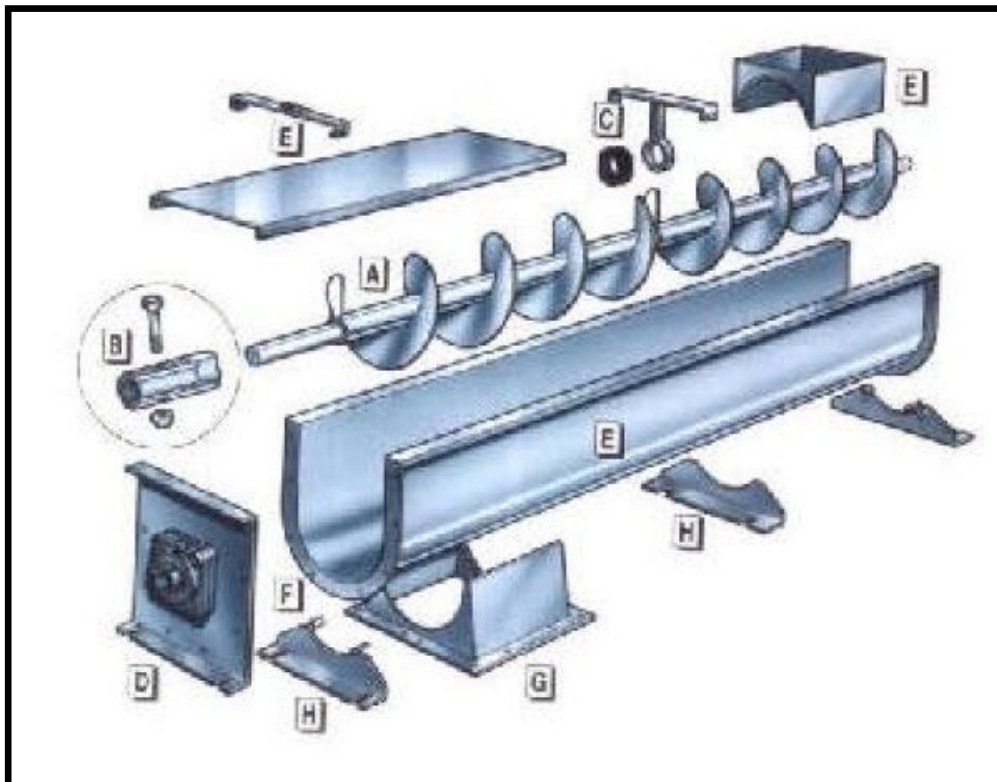


Figura 14 – Partes do Transportador Helicoidal
 Fonte: Transporte de graneis (2012).

- A – Hélice ou helicoide;
- B – Componentes de travamento e segurança;
- C – Mancais intermediários;
- D – Tampas de fechamento;
- E – Calha limitadora de carga (carcaça) e boca de entrada;
- F – Flange de fixação;
- G – Boca de descarga;
- H – Suporte de fixação.

A configuração do transportador varia de acordo com o tipo de material e sua função no sistema integrado. Recomenda-se que a taxa de ocupação de material em seu interior não deve ultrapassar 50% do volume do transportador.

4.8.1 Hélice ou Helicoide

Pode ser encontrado em diferentes formatos a depender da utilização do transportador e da necessidade de atuar sobre o material transportado. Deve-se analisar o sentido de giro do transportador se anti-horário ou horário e determinar uma folga entre 3 e 8 mm entre a carcaça e o helicoide. O helicoide, mostrado na fotografia 6, mais conhecidos são: com hélice simples, hélice com dentes, hélice com pás, hélice em fitas simples ou múltiplas. Cada uma dessas configurações são utilizadas em determinados casos. Para a solução do problema proposto, foi escolhido o helicoide com hélice simples, pois ele é de fácil fabricação e atende todos os requisitos do projeto.



Fotografia 6 – Hélice Simples
Fonte: Cofelma (2012).

4.8.2 Dimensionamento do Transportador Helicoidal

O Transportador helicoidal geralmente é montado na horizontal, porém pode ser utilizado em diversas inclinações em relação a horizontal. É possível também encontrar transportadores montados na vertical, porém nesses casos existem algumas restrições para sua utilização, como por exemplo: o tamanho e o tipo de material a ser transportado.

4.8.2.1 Determinação do diâmetro da hélice

$$Q = 3600 \times \lambda \times \gamma \times K \times \left(\frac{\pi \times D^4}{4} \right) \times \left(\frac{t \times n}{60} \right) = 47 \times \lambda \times \gamma \times K \times D^2 \times t \times n$$

$$D^3 = \frac{Q}{47 \times \lambda \times \gamma \times K \times n}$$

Valor calculado: D = 0,283 metros

Onde:

Q – Diâmetro do helicoides; [metro]

λ - Peso específico do material; [kg/m³]

K – Fator de correção do ângulo de inclinação do TH;

N – Velocidade do eixo – Arbitrado; [RPM]

γ - Fator de correção do volume ocupado.

Onde:

- γ = fator de correção para volume ocupado pelo material na hélice
 - 0,125 – pesados e abrasivos
 - 0,250 – pesados e pouco abrasivos
 - 0,350 – leves e pouco abrasivos
 - 0,40 – leves e não abrasivos
- K = Fator de correção do ângulo de inclinação do TH
- β = inclinação do transportador [grau]

Na tabela 2 são mostrados os coeficientes de correção.

Tabela 2 – Coeficiente de correção com base na inclinação do transportador

		Grau de inclinação				
β		0°	5°	10°	15°	20°
K		1	0.9	0.8	0.7	0.6

Fonte: Autoria própria.

4.8.2.2 Determinação da área ocupada pelo material no transportador

$$S = \frac{\gamma \pi D^2}{4}$$

Valor calculado: S = 0,025 m²

4.8.2.3 Determinação do número de hélices do transportador

$$N^o_{Helice} = \frac{L}{t}$$

Valor calculado: N = 11,68 ~ 12

Onde:

- L – comprimento do TH [metro]
- t – passo da hélice [metro]
 - $t = D$ – Não abrasivo
 - $t = 0,5D$ – Pouco abrasivo
 - $t = 0,7D$ – Abrasivo
 - $t = 0,5D$ – Muito abrasivo

4.8.2.4 Velocidade de deslocamento no interior do transportador

$$V = \frac{t \cdot N}{60}$$

Valor calculado: N = 1,85 m/s

Onde:

- V = Velocidade de deslocamento [m/s]
- t = passo da hélice [metro]
- N = nº de rotações por minuto (arbitrado) [RPM]

$0,2 = V = 0,4$ – condição de trabalho

se V for maior que $0,4\text{m/s}$, diminuir n

se V for menor que $0,2\text{m/s}$, aumentar n

4.8.2.5 Potência requerida pelo transportador helicoidal

$$N(Kw) = \frac{Q \times H}{367} + C_o \times \frac{Q \times l}{367}$$

Valor calculado: $N = 0,44$ Kw

Onde:

- Q (t/h), H (m), C_o (adimensional), L (m).

OBS: Para Transp. Horizontal $H = 0$ e

$$N = C_o \times \frac{Q \times L}{367} (KW)$$

Onde:

- C_o = Coeficiente de resistência de acordo com o material
 - 1,2 – pó-granuloso
 - 1,6 – granuloso fino
 - 2,5 – granuloso denso
 - 4,0 – pedaços
- OBS: A cada giro do eixo, o material avança o passo (t).
O material ocupa 40% do espaço útil da carcaça (inferior).
1KW = 1,34 HP

4.9 PROJETO DO FREIO

A máquina ensiladora de grãos depende de um sistema de freio eficaz para seu bom funcionamento. Ao encontrar a resistência oferecida pelo freio, a quantidade de material compactado por m^3 aumenta dentro da bolsa, com isso a quantidade de oxigênio mantida entre a silagem compactada diminui conforme descrito na introdução.

O sistema de frenagem é feito através de uma combinação do freio da ensiladora e o freio do trator. Essa combinação é responsável por garantir o máximo aproveitamento da máquina ensiladora e também da bolsa de armazenamento. A bolsa possui em sua lateral um sistema que mede o seu estiramento, esse valor deve ser analisado pelo operador, e conforme os valores encontrados por ele, a regulagem será feita através do freio do trator (SILOBOLSA PLASTAR, 2012).

Conforme a concepção escolhida para solucionar o problema, o freio é o mesmo utilizado na máquina atual, a tambor com cinta flexível, porém serão feitas alterações mecânicas no acionamento e balanceamento do freio.

O sistema de acionamento manual com alavanca será substituído por um cilindro hidráulico em cada roda, que terá um contato através de um pino com a cinta de freio. A pressão necessária para acionar os freios é gerada nos cilindros hidráulicos, que são alimentados pelo sistema hidráulico do trator. Para o dimensionamento correto do cilindro hidráulico foi considerado a pressão de trabalho de um trator New Holland TL60 que é de até 194 Kgf/cm^2 . (NEW HOLLAND, 2012).

Para efeitos de cálculo da equalização do freio da ensiladora, foram descartadas a força de compactação e o peso do trator, utilizando apenas o peso da máquina. Abaixo estão os cálculos para o dimensionamento do freio.

4.9.1 Freios de Cinta

Os freios de cinta constam de uma cinta flexível parcialmente enrolada em torno de um tambor. Funcionam ao pressionar a cinta contra a superfície do tambor. A capacidade do freio depende do ângulo de abraçamento, do coeficiente de atrito e da tração da cinta (HALL; HOLOWENKO; LAUGHLIN, 1968).

4.9.2 Dimensionamento do Freio

Para calcular-se a potência aplicada no tambor, dado de entrada para o cálculo da força de acionamento, deve-se, primeiramente, calcular a velocidade do equipamento e a força atuante na roda:

Para calcular-se a velocidade da máquina, usa-se como base a produtividade do equipamento:

Dados de entrada para o cálculo de velocidade da máquina:

-Capacidade por metro linear da bolsa: 1800 Kg (SINUELO, 2012);

-Produtividade 15 t/h (SINUELO, 2012).

Resolvendo uma regra de 3 simples obtêm-se o resultado:

$$\begin{array}{rcl} 1\text{m} & - & 1800 \text{ Kg/m} \\ x & - & 15000 \text{ Kg/h} \end{array}$$

-Velocidade da máquina: ~0,009 Km/h ou 0,0023 m/s

Agora, considerando que a força exercida em cada roda seja o próprio peso da máquina, porém dividido por 2, pois o equipamento possui 2 pontos de apoio, calcula-se a potência aplicada em cada roda.

O peso do equipamento foi calculado com base no material aço SAE 1020 (GERDAU, 2003), utilizando resultado obtido com o *SolidWorks*³.

$$P = 1937 \text{ Kg} \sim F = 18982,9 \text{ N}$$

A potência por roda dá-se pela seguinte fórmula:

$$P = (F/2) \cdot v$$

$$P = 21,97 \text{ W}$$

³ *SolidWorks* é um *software* utilizado com a finalidade de *CAD (Computer Aided Design)*. Aplicado largamente em projetos de desenvolvimento de produto.

Agora, com a potência por apoio calculada, pode-se calcular o momento frenante, tensão na cinta, e força de acionamento requerida para frenagem.

Cálculo do torque radial no tambor:

$M = P/w$, sendo que:

M - torque radial no tambor; [N.m]

P - potência aplicada no tambor; [W]

w - velocidade radial - $w = 2(\pi)n/60 - (n - \text{rpm})$ [rad/s]

$P = 21,97 \text{ W}$

$w = 0,097 \text{ rad/s}$

Logo,

$M = 226,7 \text{ Nm}$

Com o torque radial calculado, têm-se todos os dados necessários abaixo para calcular o momento frenante, a proporção entre as forças nas pontas das cintas, o carregamento em cada ponta e força necessária para atuação do freio. Na figura 15 é apresentado o diagrama de corpo livre das forças atuantes no freio.

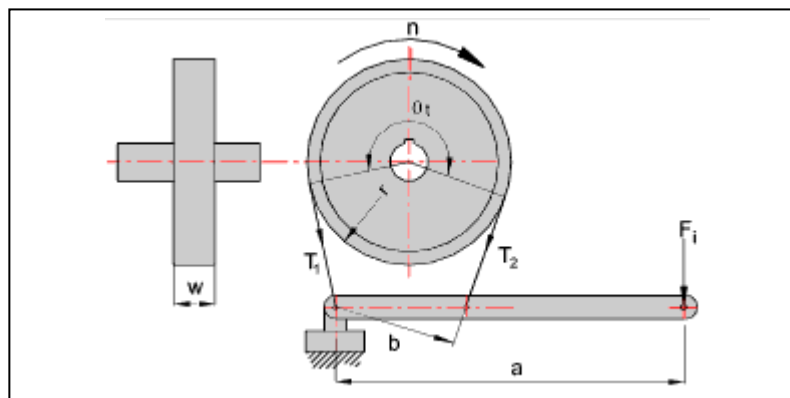


Figura 15 – Diagrama de forças em um freio a tambor de cinta
 Fonte: Hall; Holowenko; Laughlin, (1968).

Torque radial (M) = 226,7 Nm

Raio do tambor (r) = 75 mm (projeto)

Ângulo de abraço da cinta (a) = 240° (projeto)

Coeficiente de atrito (metal sintetizado e ferro fundido) (f) = 0.15 (HALL; HOLOWENKO; LAUGHLIN, 1968).

Largura da cinta (L) = 41 mm (projeto)

Proporção da alavanca b/a = 1

Cálculo do momento frenante:

$$T_1 - T_2 = M/r$$

$$M = 3022.67 \text{ N.m}$$

Cálculo da razão entre as forças T1 e T2:

$$T_1/T_2 = \exp(f \cdot a)$$

$$T_1/T_2 = 1.87$$

Cálculo do carregamento no ponto T1:

$$T_1 = (T_1 - T_2) / (1 - T_2/T_1)$$

$$T_1 = 6479.29 \text{ N}$$

Cálculo do carregamento no ponto T2:

$$T_2 = T_1(T_2/T_1)$$

$$T_2 = 3456.62 \text{ N}$$

Pressão de contato máxima cinta/tambor:

$$P_{\max} = T1/(L*r) \text{ [MPa]}$$

$$P_{\max} = 2.11 \text{ MPa} \sim 306 \text{ psi}$$

A pressão máxima de contato permissível entre metal sintetizado e ferro fundido é de 400 psi (HALL, HOLOWENKO; LAUGHLIN, 1968). Logo, a pressão máxima calculada está de acordo com os requisitos.

Força de acionamento do freio no ponto F1, calculado com base na proporção da alavanca $b/a = 1$:

$$F1 = 3456.62 \text{ N}$$

Seguindo os cálculos e resultados obtidos anteriormente, chega-se a conclusão que o freio proposto está dentro dos requisitos aceitáveis segundo o projeto e, o cilindro de acionamento do freio necessita realizar uma força de 3457 N, aproximadamente, para satisfazer os requerimentos do freio calculado em questão.

4.9.3 Cálculo da Pressão no Cilindro para Equalização do Freio

Agora que se conhece a força de acionamento do freio, e a pressão de trabalho do sistema hidráulico do trator, tem-se dados suficientes para dimensionar o cilindro de atuação do freio.

Abaixo encontram-se os dados de entrada:

$$\text{Força aplicada na cinta de freio} - F1 = 3456.62 \text{ N}$$

$$\text{Área atuante transversal do cilindro de freio} - A = 0,00029 \text{ m}^2$$

Aplicando a fórmula básica da pressão tem-se:

$$P = F/A \text{ [MPa]}$$

$$P = 11,9 \text{ MPa} \sim 119 \text{ bar}$$

Como, citado anteriormente, a pressão do sistema hidráulico do trator é de $194 \text{ Kgf/cm}^2 \sim 190 \text{ bar}$, é necessária, numa futura montagem de um protótipo, uma válvula reguladora de pressão, que limitará a pressão em 120 bar , necessária para o cilindro, detalhado nos apêndices.

Na figura 16 é apresentado o desenho de conjunto do freio proposto.

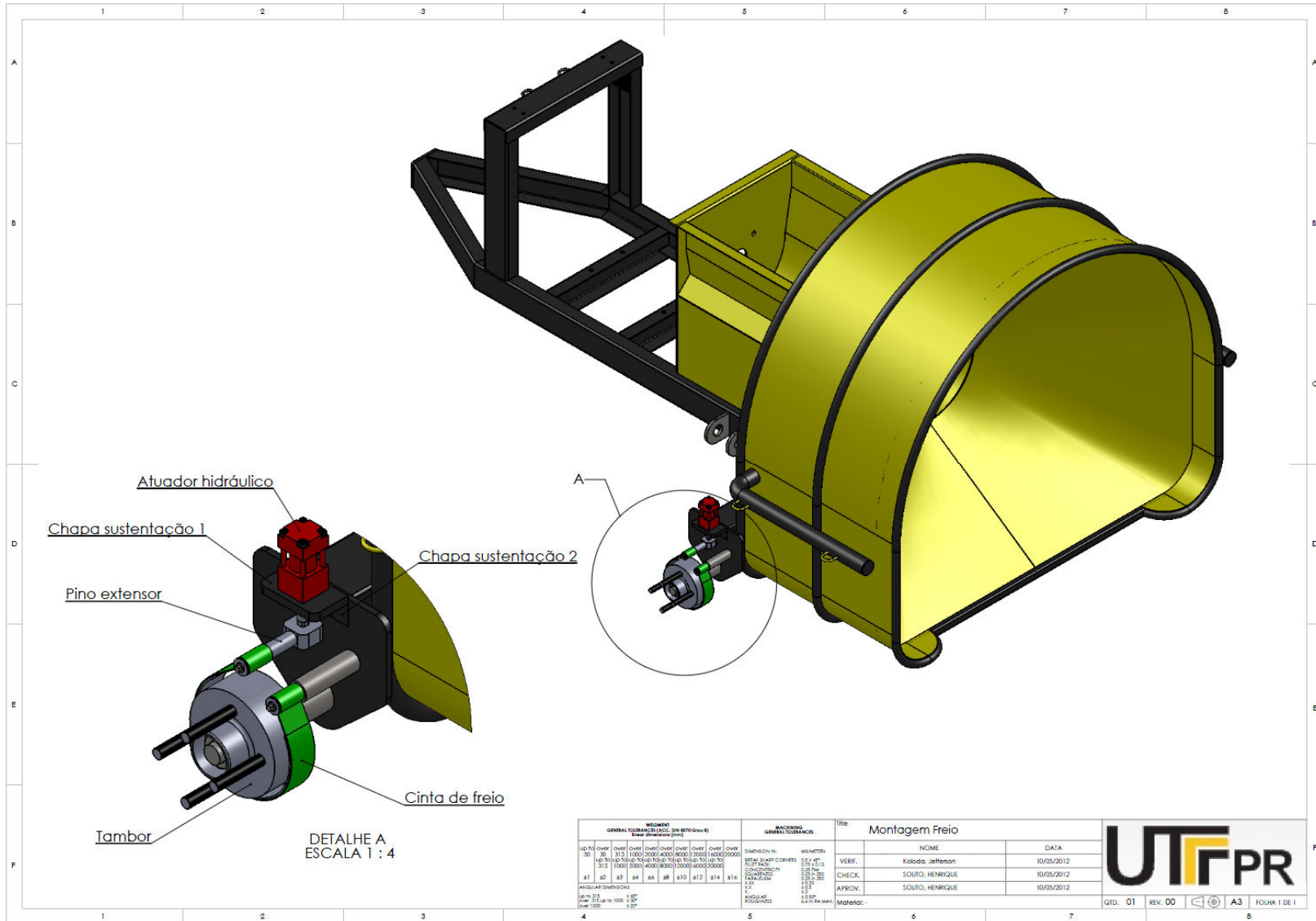


Figura 16 – Desenho de conjunto do sistema de freio
 Fonte: Autoria própria.

4.10 AUTOMAÇÃO

Neste capítulo será abordado o desenvolvimento da automação do projeto. Será proposta a lógica de funcionamento da máquina, assim como a definição do equipamento de controle e a lógica de programação utilizada.

Nesta máquina serão automatizadas as seguintes funções: o controle do freio, controle de abertura da tampa do laminador e o sistema de alimentação do equipamento.

4.10.1 Definição do Hardware de Controle da Automação

A seguir, será definido, com base em uma matriz de decisão, o *hardware* que será utilizado como centro de controle do equipamento. Os equipamentos discutidos em questão são os dois principais *hardwares* utilizados para cálculos e métodos de controle atualmente. São eles o Controlador Lógico Programável e o Microcontrolador. Abaixo temos a matriz de decisão, na tabela 3, e os graus de avaliação utilizados como peso e nota, nos quadros 7 e 8, respectivamente.

Tabela 3 – Matriz de Decisão

Itens avaliados	CLP		Microcontrolador	
	Peso	Nota	Peso	Nota
Robustez	5	5	5	2
Disponibilidade no mercado	2	2	2	5
Tempo de resposta	1	4	1	2
Flexibilidade	4	5	4	1
Possibilidade de expansão	4	5	4	1
Necessidade de projeto dedicado	5	4	5	1
RESULTADO		93		35

Fonte: Autoria própria.

Peso	Importância
1	Pouco importante
2	
3	Importante
4	
5	Muito importante

Quadro 7 – Graus utilizados como peso
Fonte: Autoria própria.

Nota	Relacionamento
1	Pouco Relacionado
2	
3	Relacionado
4	
5	Muito relacionado

Quadro 8- Graus utilizados como nota
Fonte: Autoria própria.

Na matriz de decisão foram utilizados 6 fatores para ponderação entre peso e nota, sendo que peso refere-se ao grau de importância do fator e nota mede-se o grau de relacionamento com a necessidade do projeto.

É possível observar que o CLP leva grande vantagem sobre o microcontrolador pelos principais motivos: robustez, flexibilidade, expansão e necessidade de um projeto a parte. O CLP ganhou nesses quesitos pois é preparado para operar em ambientes hostis, o que ganha em robustez, é um produto de prateleira, o que não necessita um projeto a parte para seu desenvolvimento e qualquer necessidade de expansão do projeto, pode-se facilmente utilizar módulos de expansão fornecidos pelo fabricante.

Quanto a robustez o CLP é o mais indicado para a aplicação, pois tem grande proteção a choques mecânicos e poeira, dependendo do IP (*index of protection*) do CLP utilizado. É extremamente flexível, podendo ser programado a qualquer hora, com certa facilidade, possibilitando ajustes imediatos por parte do programador. Permite expansão para futuras adaptações do projeto ou inclusão de novas funcionalidades do equipamento, o microcontrolador, uma vez finalizado o projeto, não permite tal expansão com a mesma facilidade. E, por fim, a necessidade de um projeto dedicado para a aplicação. Utilizando-se um microcontrolador, é necessário o desenvolvimento de um projeto eletrônico um tanto quanto dispendioso no quesito tempo, para ter resultados satisfatórios, já o CLP é um produto de prateleira, que pode ser comprado, necessitando somente da programação.

Sendo assim, o CLP é o escolhido para o projeto da automação, com larga vantagem descrita na matriz de decisão. No próximo sub capítulo será abordada a lógica de funcionamento da máquina e também o programa e definição do CLP utilizado.

4.10.2 Automação do Processo

O desenvolvimento da automação do equipamento, a partir da decisão tomada anteriormente, precisa-se compreender melhor o funcionamento da máquina, e quais são as condições de intertravamento para o correto funcionamento do equipamento.

Abaixo são listadas as principais condições de intertravamento para a correta partida da máquina:

1. O laminador não pode partir do repouso com carga, ou seja, não pode ser despejado nenhum grão em cima dos rolos a não ser que os mesmos estejam em operação;
2. O equipamento deve estar freado para que o sistema comece a compactar;
3. E, por fim, a tampa que cobre os rolos laminadores deve estar fechada para que a alimentação seja iniciada.

Validando os três requisitos a cima, é possível garantir que a máquina seja operada de forma correta, evitando problemas com os rolos laminadores e, também, é garantida a compactação plena com a máquina devidamente freada.

4.10.2.1 Grafcet ou sequencial flow chart (SFC)

Para modelar a lógica a qual se tornará o programa utilizado no CLP, utiliza-se o sistema Grafcet.

Essa linguagem, composta de Passos, Transições, Arcos, Ações Qualificadas e Expressões Booleanas, é desenhada verticalmente. Cada passo representa um estado particular do sistema que está sendo descrito e se desenha como um retângulo (GEORGINI, 2002).

Cada transição por sua vez é subordinada a uma condição, que, uma vez satisfeita, desativa o passo anterior e ativa o passo posterior (GEORGINI, 2002).

4.10.2.2 Modelo grafcet da ensiladora de grãos

Para iniciar com o Grafcet da ensiladora de grãos, já foram definidas as premissas para o intertravamento da máquina, anteriormente.

Seguindo o que foi adotado pode-se modelar abaixo, figuras 17 e 18, o seguinte sistema:

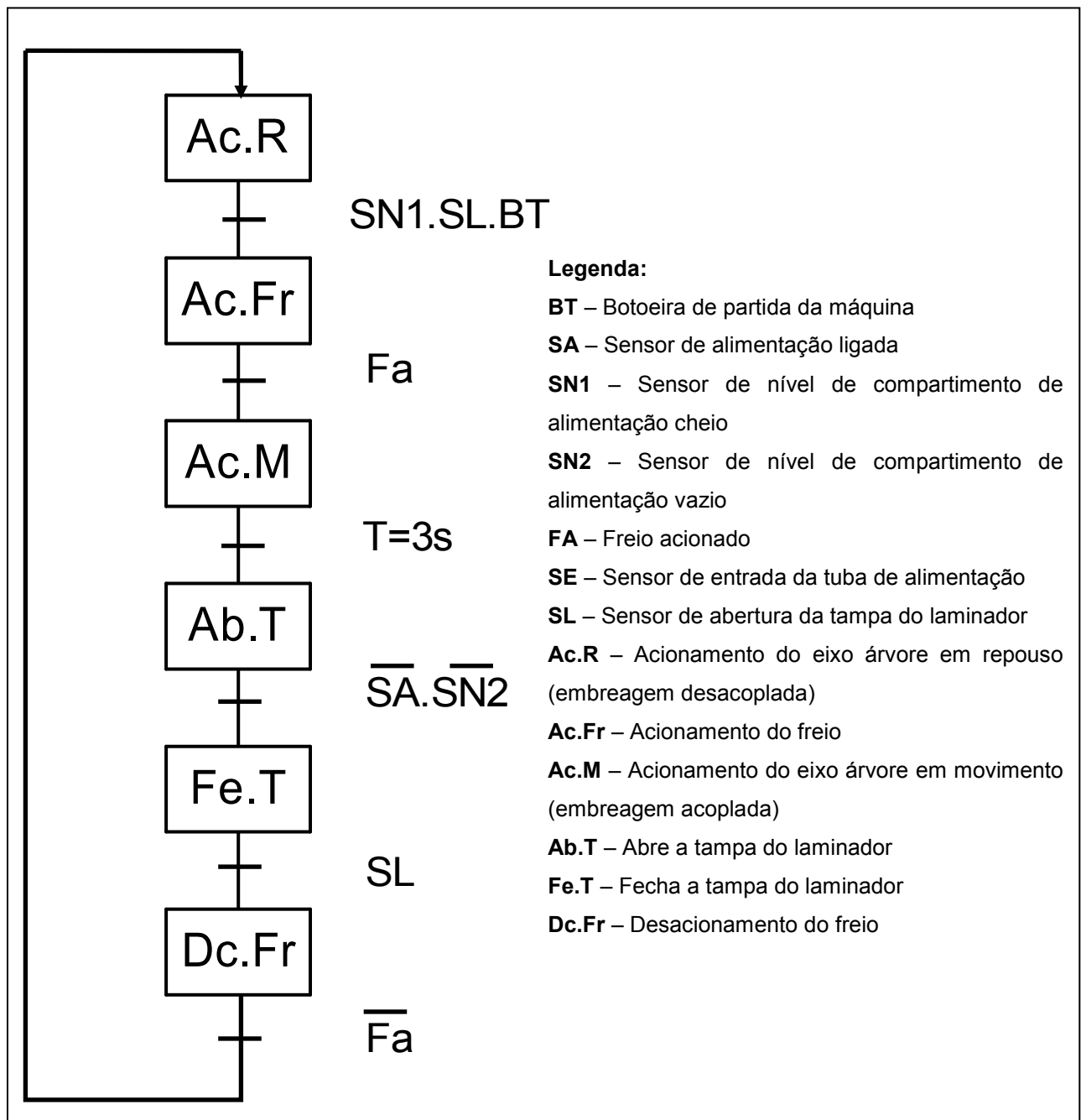


Figura 17 – Grafcet 1 – Funcionamento da Máquina
Fonte: Autoria própria.

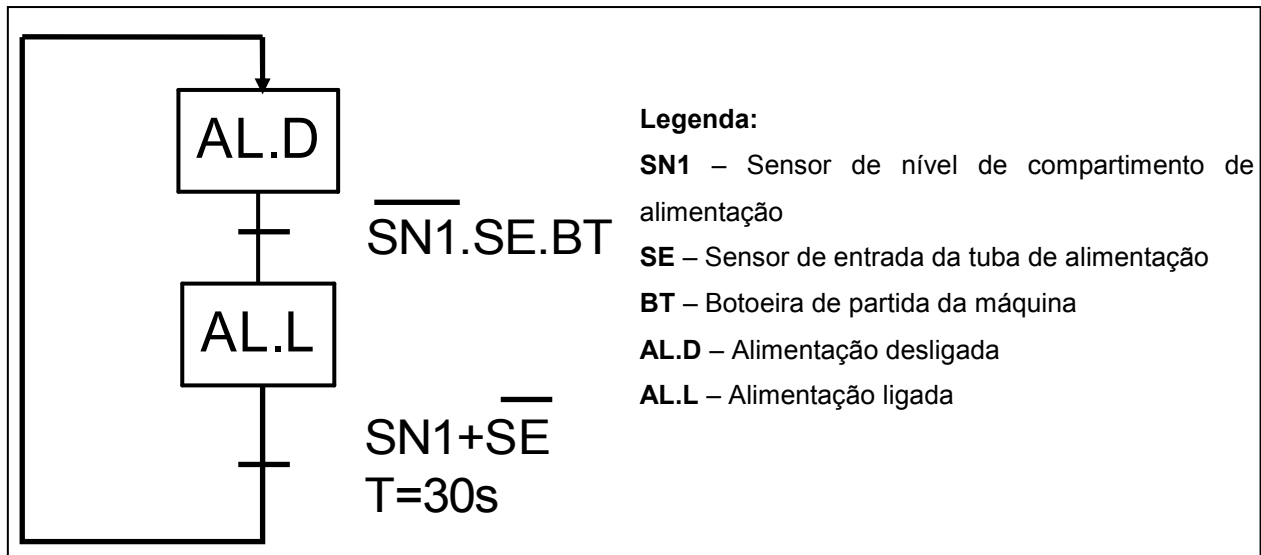


Figura 18 – Grafcet 2 – Alimentação
Fonte: Autoria própria.

No qual os atuadores são evidenciados pelas etapas (retângulos), ou seja, são 7 ao todo e os sensores pelas condições (traços), ou seja, 7 no total também.

Para efeitos de lógica na elaboração do Grafcet, dividiu-se em dois grandes blocos que funcionarão em paralelo para a correta operação da máquina, no primeiro, apresentado na figura 17, mostra-se como a função compactar opera, e no segundo, figura 18, como a alimentação do equipamento ocorre.

No Grafcet da figura 17 observa-se a seguinte lógica de funcionamento: o CLP mantém o sistema em repouso e fica aguardando os seguintes sinais:

- SN1: sensor de nível de compartimento de alimentação cheio;
- SL: Sensor de abertura da tampa do laminador;
- BT: Botoeira de partida da máquina.

Os sinais estão organizados em uma lógica 'E' a qual necessita que todos os sensores estejam ativos para que o programa passe à próxima etapa.

Na segunda etapa, aciona-se o freio do equipamento, e logo em seguida é verificado o acionamento do mesmo pelo sensor Fa. Quando Fa é verdadeiro passa-se para o item seguinte, o qual aciona simultaneamente o laminador e a rosca helicoidal, por meio de uma embreagem eletromagnética. E é indicado por Ac.M – Acionamento em movimento.

Até então, já se garante que o equipamento está em funcionamento, inclusive o laminador, sem nenhuma carga em cima do mesmo, pois, como pode-se ver, a abertura da tampa do laminador ainda não foi realizada.

Após 3 segundos, indicado por $T=3s$, ocorre à abertura da tampa do laminador, figuras 19 e 20. A matéria prima é despejada em cima do laminador e o funcionamento pleno do equipamento é iniciado.

Com o equipamento em operação, o CLP fica aguardando dois sinais, descritos abaixo:

- SA: Sensor de alimentação ligada
- SN2: Sensor de nível de compartimento de alimentação vazio

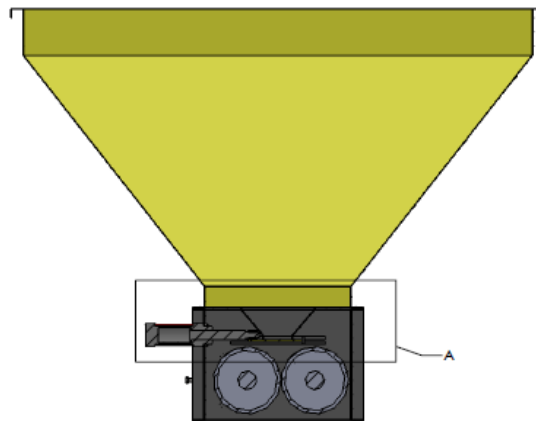


Figura 19 – Acionamento hipotético da tampa do laminador
Fonte: Autoria própria.

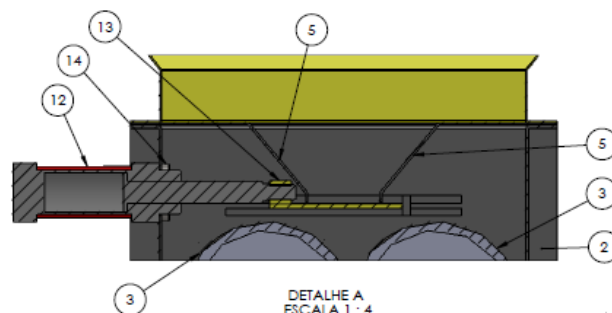


Figura 20 – Acionamento hipotético da tampa do laminador – detalhe
Fonte: Autoria própria.

Observa-se que a lógica nessa etapa é “E negada”, ou seja, quando é identificado que $SA = 0$ (sensor cujo sinal é controlado pelo segundo Grafcet) e SN2

também é igual a 0, garante-se que o equipamento está sem matéria-prima a ser processada, logo, pode-se iniciar o processo de desligamento da máquina.

Quando a condição acima é verificada, tem-se a 5ª etapa: o fechamento da tampa do laminador, assim é garantido que nenhum material será despejado em cima do mesmo. Em seguida, verifica-se se a tampa do laminador está realmente fechada, logo, o freio é desacionado ocorrendo a verificação do desacionamento do mesmo. O sistema volta a etapa inicial, a qual desliga o equipamento, desacoplando a embreagem principal esperando que as condições iniciais sejam validadas novamente para um novo ciclo de operação.

Sendo assim, será detalhado o funcionamento do segundo Grafcet, que condiz ao funcionamento da tuba de alimentação, visto que é bem mais simples que o primeiro.

Na primeira etapa tem-se AL.D – alimentação desligada – no caso, o sistema de alimentação está em repouso esperando que as seguintes condições sejam verificadas:

- SN1: como já foi visto, sensor de nível cheio para o compartimento de alimentação;

- SE: sensor de entrada da alimentação.

Tem-se SN1 negado E SE, ou seja, quando o compartimento de alimentação não estiver totalmente preenchido e encontra-se matéria prima na entrada da tuba o sistema de alimentação é ligado na etapa AL.L.

Após essa etapa, verificam-se os mesmos sensores, porém em condições diferentes. Quando SN1 = 1 ou SE = 0 (por isso SE está negado agora), aguarda-se 30 segundos, tempo incluído na lógica para que todo o material que se encontra dentro da tuba seja despejado no compartimento de alimentação. Logo tem-se o retrocesso para a etapa AL.D, a qual como visto anteriormente, desliga o sistema de alimentação, monitorando as condições iniciais novamente.

Agora têm-se informações suficientes para continuar com a programação e, antes de tudo, a escolha do CLP, o qual tem influência diretamente na programação, pois a linguagem pode variar de controlador para controlador.

4.10.3 Escolha do Controlador Lógico Programável e sua Programação

Existe uma variedade imensa de controladores programáveis no mercado atual, um para cada tipo de aplicação. Tão logo quanto é detectado essa diferenciação de *hardware* entre equipamentos, percebe-se que cada fabricante faz suas adaptações na linguagem de cada equipamento.

Observando-se os atuadores e sensores utilizados nos Graficets anteriormente, percebe-se que é necessário um CLP com 7 entradas e 7 saídas, no mínimo, para atender a demanda do projeto de automação da ensiladora. Para o CLP modelo S7-200, verifica-se a CPU 224, a qual atende os requisitos da automação. O equipamento possui 14 entradas digitais à 24Vcc e 10 saídas, também digitais, transistorizadas com uma corrente de 750mA. O componente em questão possui mais I/O do que o necessário, entretanto esse item possibilita futura expansão da automação do equipamento, sem que seja necessária a troca de *hardware*, evitando custos adicionais (SIEMENS, 2012b). A tensão de alimentação do CLP é 24V em corrente contínua, a mesma encontrada na tomada de potência elétrica de qualquer trator. A escolha deste CLP foi baseada em três critérios: 1 – tensão de operação; 2 – quantidade de E/S (entradas e saídas) e 3 – o item crucial para escolha do CLP: conhecimento técnico de operação já adquirido no decorrer do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial.

Sendo assim, o modelo S7-200 foi escolhido, por facilidade e acessibilidade aos requisitos de programação, e também por atender plenamente os requisitos tal como robustez e outras condições adversas de operação.

A linguagem utilizada para a programação do sistema é a *Ladder*, comum entre o mundo dos CLPs. Basicamente o algoritmo montado anteriormente, em Graficet, é transcrito para essa linguagem compilável para o CLP em questão.

O *software* utilizado para criação do programa em *Ladder*⁴ chama-se STEP 7-Micro/WIN32[®], software desenvolvido pela própria Siemens. Com este software é possível definir todas as variáveis de entrada e saída do CLP, dando nome próprio a elas, facilitando a modelagem e programação do sistema, como observa-se nas figuras subsequentes (SIEMENS, 2012a). O software em questão não necessita de

⁴ *Ladder* é um auxílio gráfico para programação Controladores Lógicos Programáveis no qual as funções lógicas são representadas através de contatos e bobinas, de modo análogo a um esquema elétrico com os contatos dos transdutores e atuadores

quaisquer critérios de decisão para a escolha, pois faz parte do pacote de programação do CLP escolhido em questão. Nas figuras 21 e 22, são apresentados os programas em *Ladder* para o CLP escolhido.

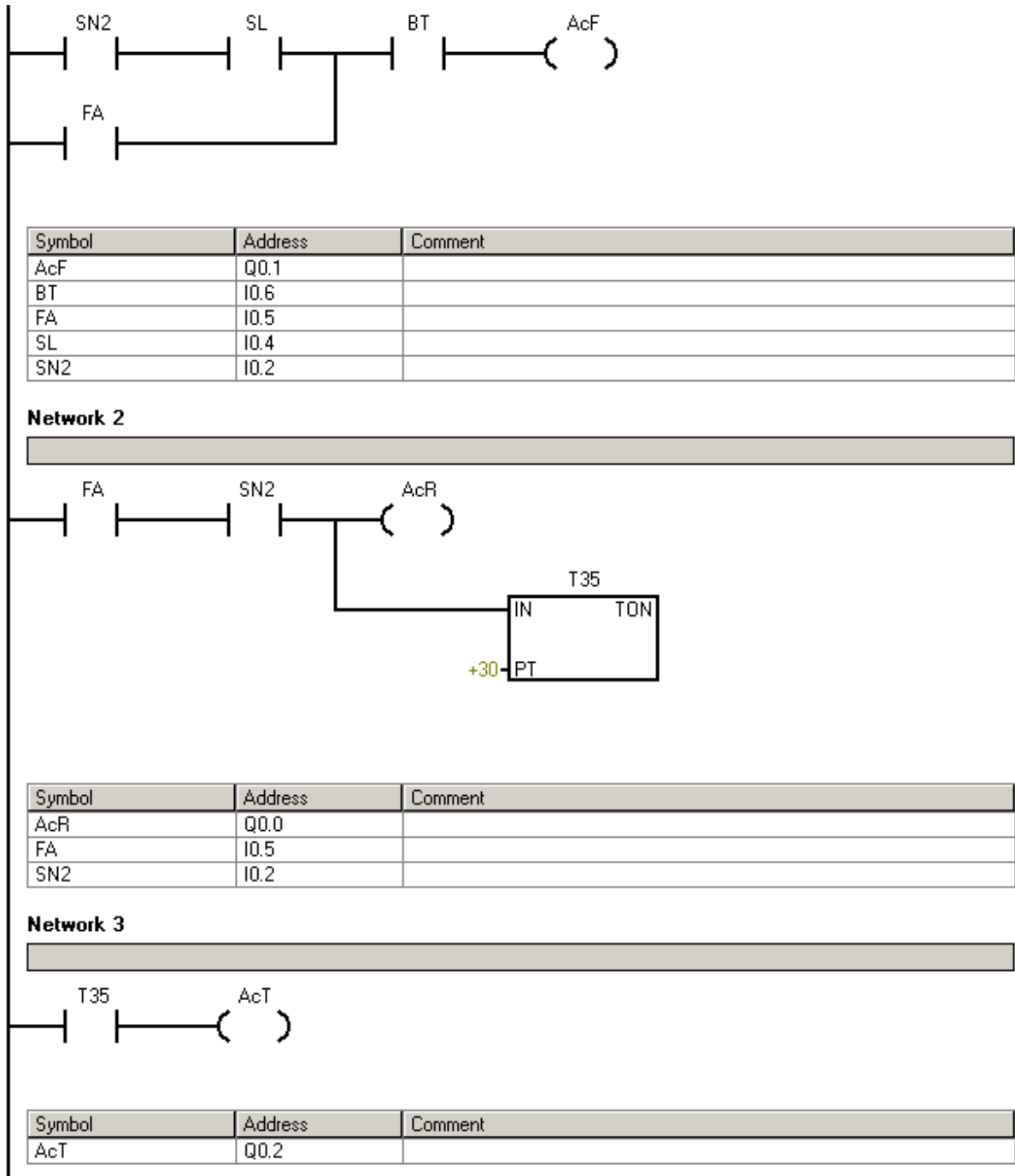


Figura 21 – Programa em Ladder para S7-200 da automação da ensiladora de grãos.
 Fonte: A autoria própria.

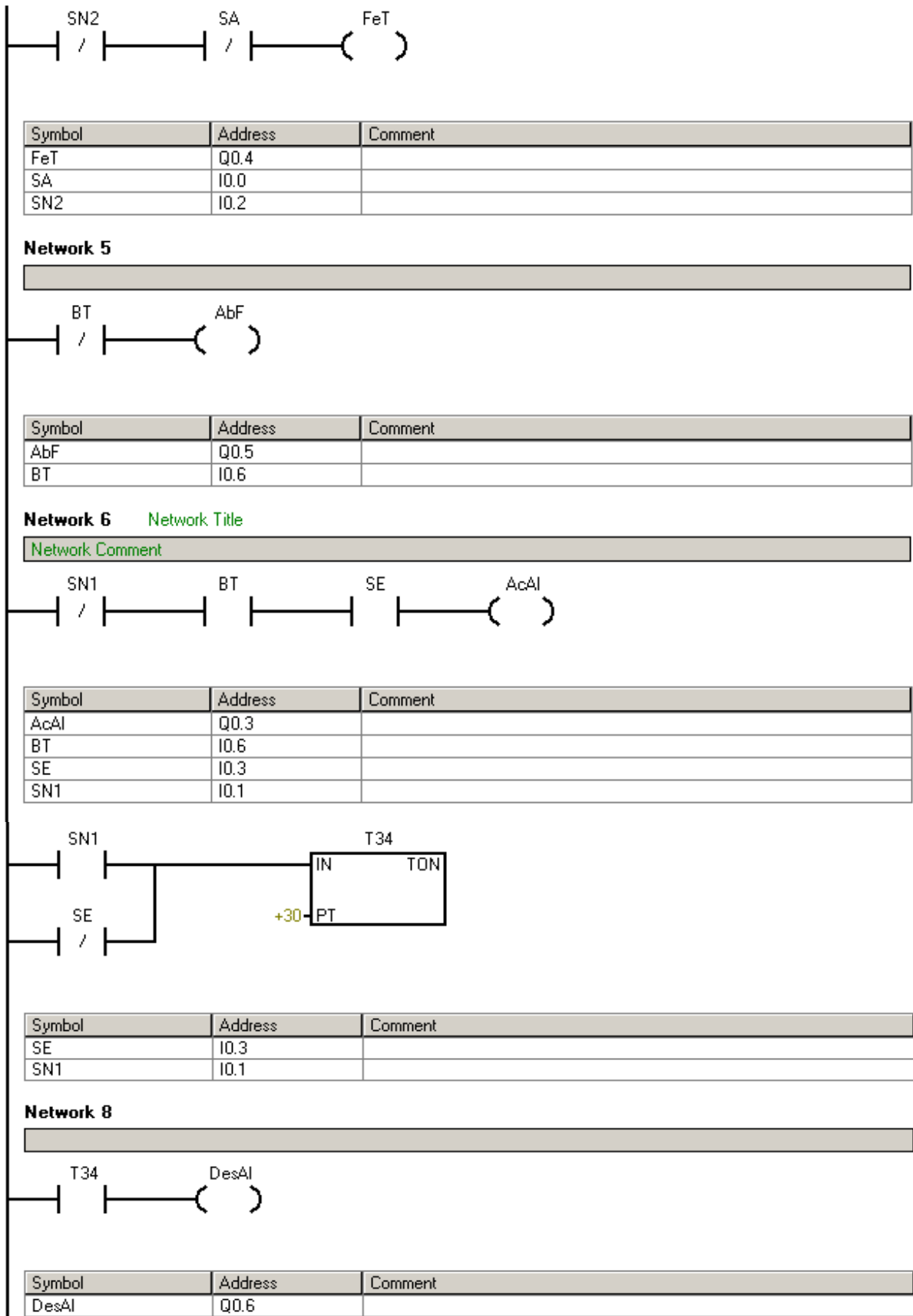


Figura 22 – Programa em Ladder para S7-200 da automação da ensiladora de grãos (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

Após o término do programa em Ladder é possível testá-lo em um segundo *software*, chamado S7-200, o qual simula em na tela um CLP real, possibilitando a escolha da CPU utilizada para o projeto. Esse software permite realizar o *debug* de possíveis falhas ou desatenções na programação do CLP (SIEMENS, 2012a). Na figura 23 apresenta-se o simulador do CLP:

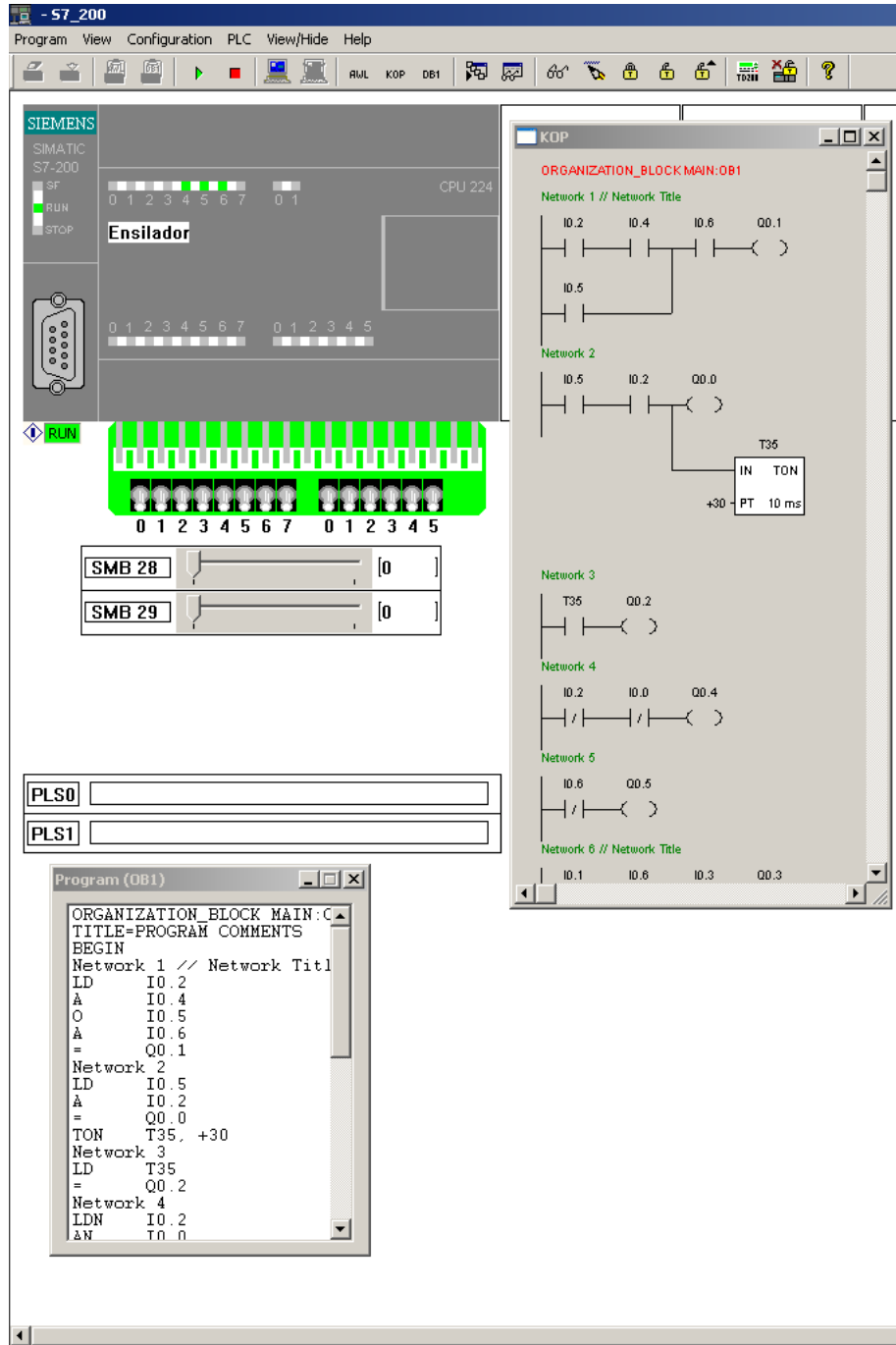


Figura 23 – Screenshot da tela do simulador do S7-200
Fonte: Autoria própria.

Com estes testes foi possível validar completamente a solução de programa apresentada anteriormente, para o tipo correspondente de CPU escolhida. Falhas foram percebidas e erros corrigidos na lógica do programa, porém a versão final do programa, apresentada nas figuras anteriores, está livre de falhas e enganos de lógica de programação.

4.10.4 Definição dos Sensores

Com o programa *Ladder* realizado, pode-se definir o tipo de sensores que serão utilizado na automação do equipamento. Abaixo descreve-se uma breve lista com os sensores que deverão ser utilizados, na respectiva ordem: símbolo do sensor no projeto, função do sensor e tipo do sensor.

SA – Sensor de alimentação ligada – Sensor de RPM no eixo árvore da alimentação;

SN1 – Sensor de nível de compartimento de alimentação cheio – Sensor capacitivo;

SN2 – Sensor de nível de compartimento de alimentação vazio – Sensor capacitivo;

SE – Sensor de entrada da tuba de alimentação – Sensor capacitivo;

SL – Sensor de abertura da tampa do laminador – Chave fim-de-curso.

4.10.4 Resultado Final do Projeto da Automação

Sendo assim, com todas as ações requeridas para a automação, tem-se como resultado final o controlador lógico escolhido, o Siemens S7-200 CPU 224, como *hardware* do sistema de automação. E a sua programação demonstrada anteriormente, como entrega de *software* do equipamento descrito. Entretanto, devido a aplicação da máquina, que é feita sempre em campo, necessita-se de uma caixa de proteção para possíveis choques mecânicos e entrada de poeira que poderão danificar o funcionamento do equipamento. Essa caixa é projetada e detalhada logo abaixo, para sua devida fabricação. Na fotografia 7 mostra-se o CLP S7-200.



Copyright © 1999-2011 Artisan Scientific

Fotografia 7 – CLP Siemens S7-200 CPU 224
Fonte: Artisan Scientific (2012).

4.11 PROPOSTA DA NOVA VERSÃO DA MÁQUINA ENSILADORA

Após serem feitos estudos sobre a nova concepção da ensiladora de grãos, as figuras 24, 25 e 26 demonstram a nova configuração proposta. As figuras a seguir neste capítulo são de autoria própria.

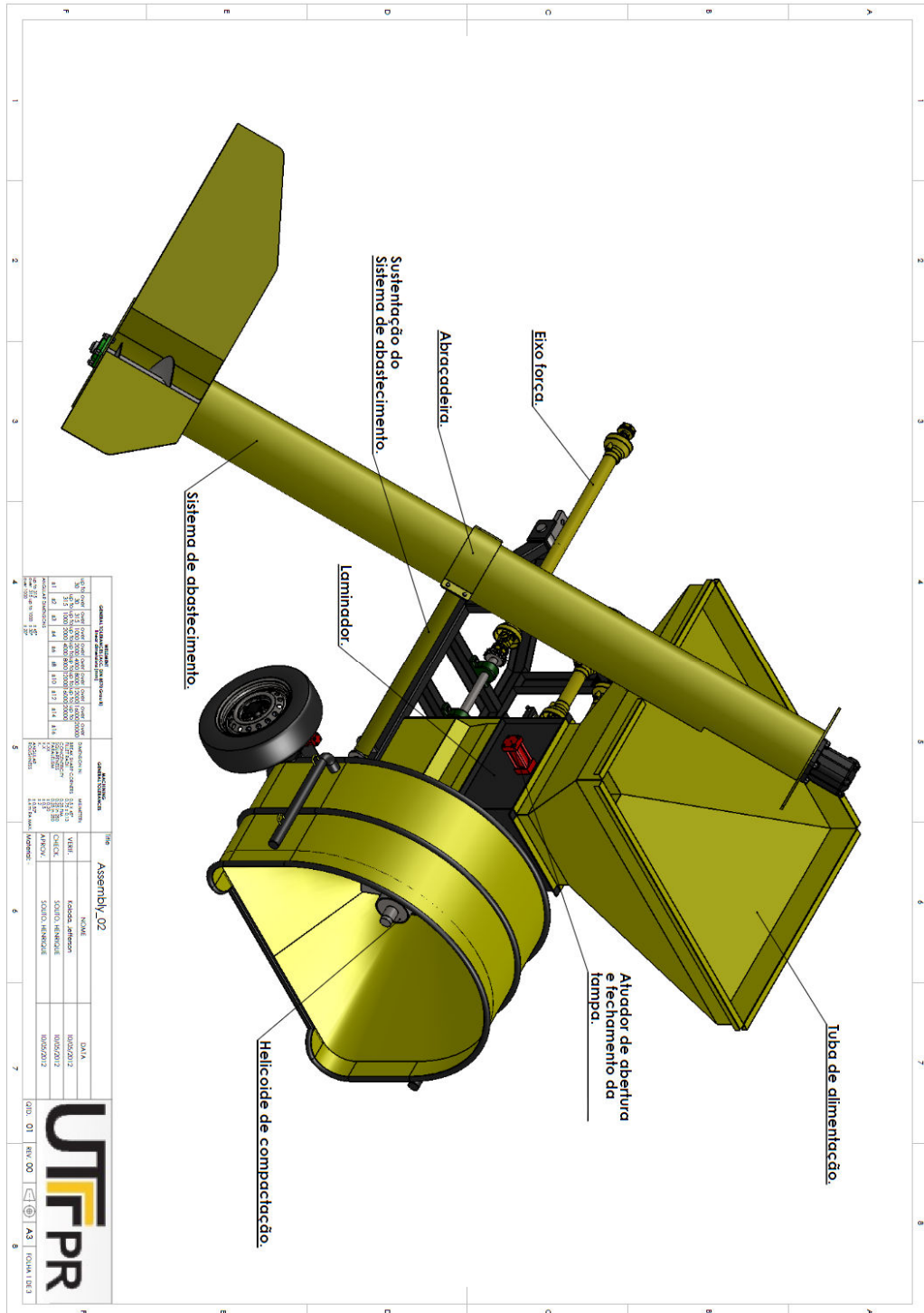


Figura 24 – Novo modelo da ensiladora de grãos
Fonte: Autoria própria.

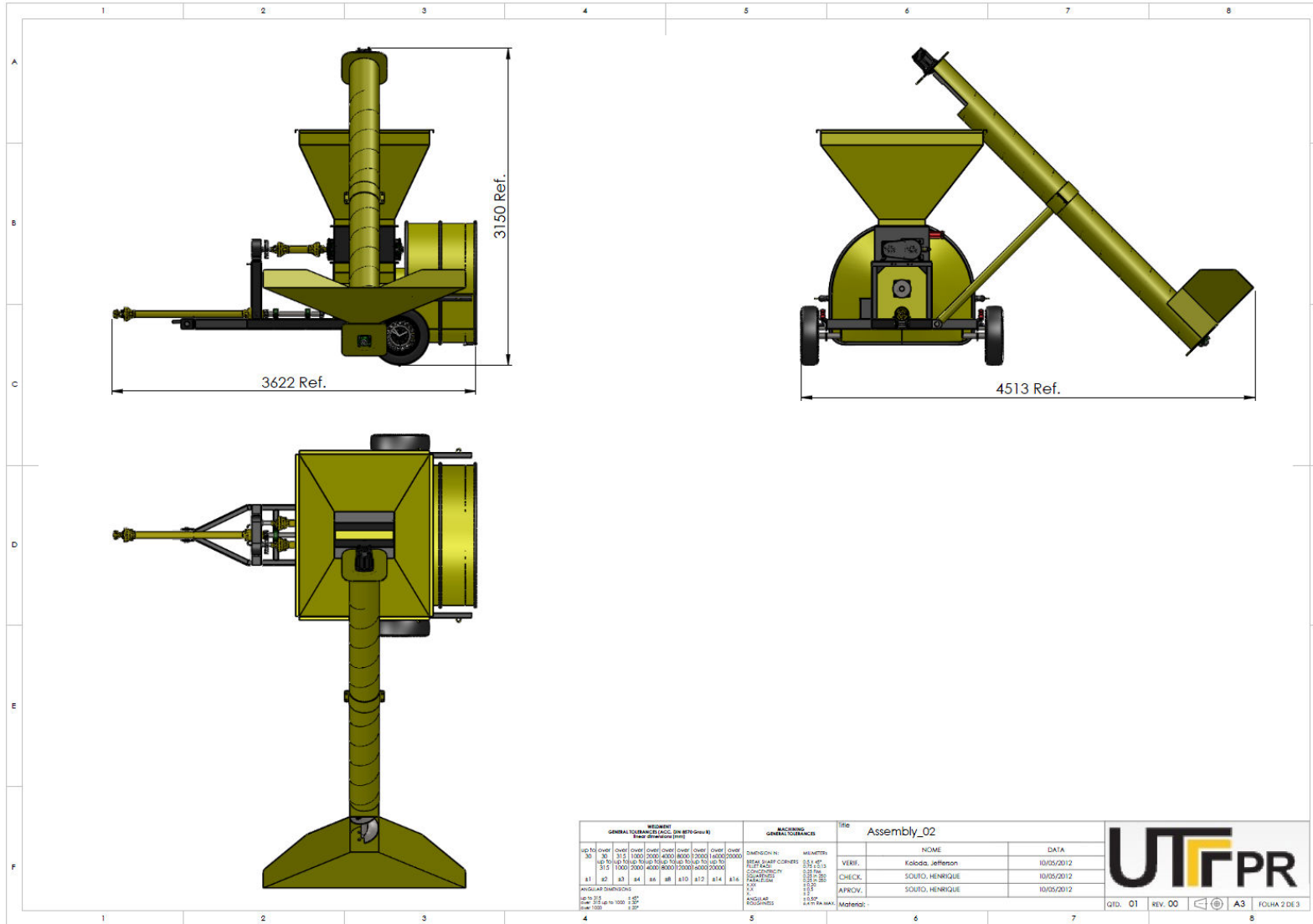


Figura 25 – Novo modelo da ensiladora de grãos (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

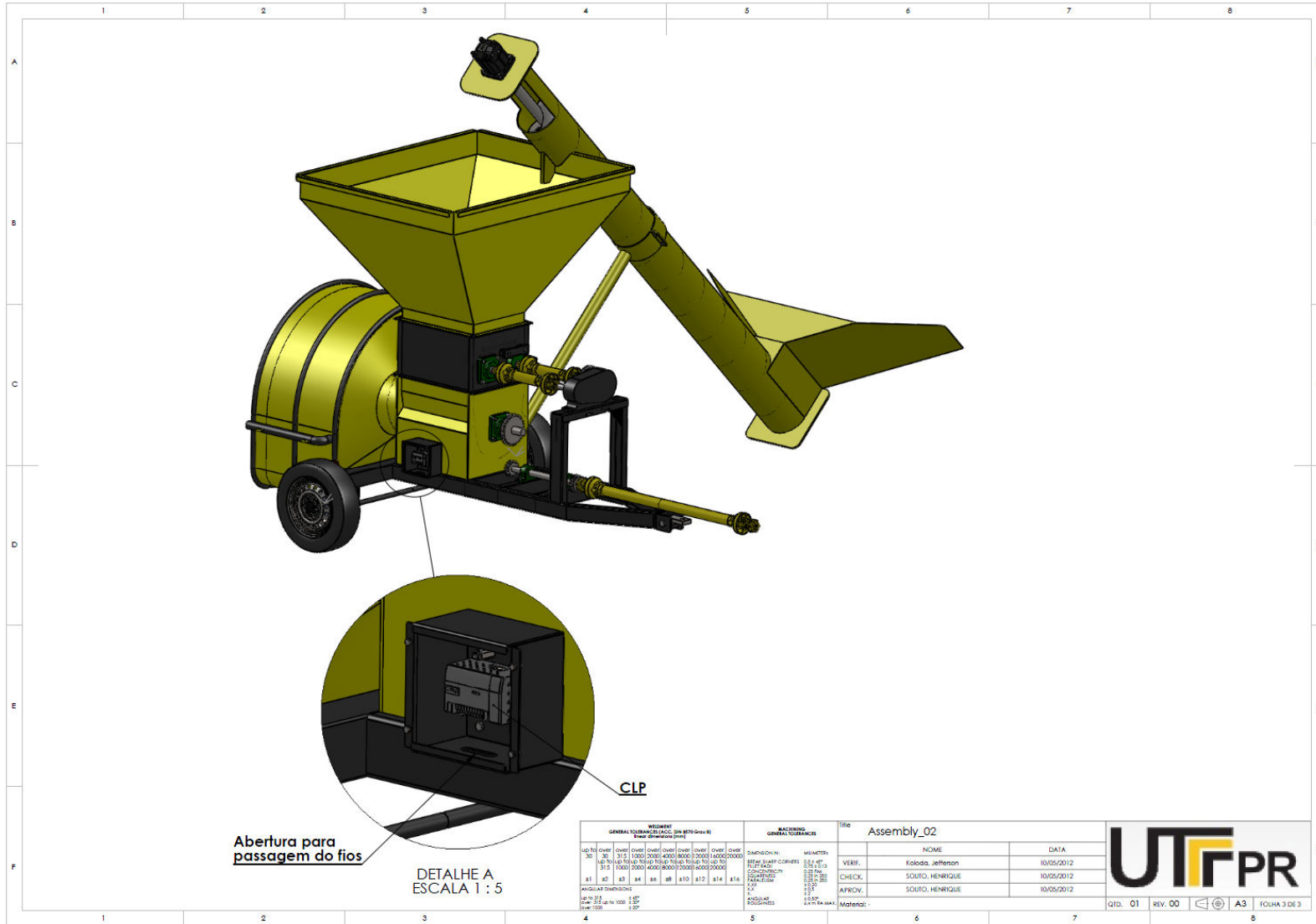


Figura 26 – Novo modelo da ensiladora de grãos (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÃO

Quanto ao reprojeto mecânico existiam dois resultados esperados em pauta: o sistema de alimentação rápida e a equalização do sistema de frenagem, para que o problema das bolsas desalinhadas fosse eliminado por completo.

O sistema de alimentação foi calculado e projetado considerando a demanda do equipamento. Na nova concepção, o operador não necessita mais realizar grande esforço para encher a tuba dos rolos laminadores, pois o material pode ser diretamente despejado sobre a base do transportador helicoidal que realiza a alimentação.

O sistema de frenagem também atingiu os resultados esperados, pois foi projetado um sistema que equaliza as forças com precisão e, o freio a tambor foi projetado para a aplicação. Sendo assim, possibilitou também incluir o freio na automatização da máquina.

O sistema de automação da máquina foi projetado, e seu conceito esta devidamente embasado e consolidado. Com a lógica aplicada, a segurança do operador foi aumentada e o intertravamento da máquina aplicado, objetivos os quais também visavam diminuir o risco de operação incorreta da ensiladora.

Com o intertravamento nota-se que é possível evitar ao máximo, se não por completo, a manipulação manual do equipamento, o que geralmente é o fator principal para que alguma máquina tenha uma operação indevida que possa vir a ser uma falha posterior. Sendo assim, se o resultado, a manutenção corretiva do equipamento será diminuída e poderá se prever melhor a manutenção.

Seguindo o contexto dos resultados esperados, alinhando-os com o ponto da segurança, pode-se observar que o foco em evitar a intervenção humana é grande. Logo o operador ficará mais afastado de partes móveis, potencialmente perigosas à operação, pelo grau de força atuando no equipamento assim como por sua natureza de operação, impedindo ferimentos e lesões graves a humanos.

Por fim, o emprego da metodologia proposta por Pahl et al., possibilitou o desenvolvimento breve do equipamento, auxiliando nas escolhas adotadas e, principalmente, confirmando o que já estava aplicado na máquina. Observa-se que foi plenamente possível aplicar o conceito de reengenharia com os conceitos de

desenvolvimento de produto de Pahl et al., sem comprometer a qualidade ao qual o projeto estava disposto a oferecer.

REFERÊNCIAS

AKAO, Yoji. **QFD: Quality Function Deployment - Integrating Customer Requirements into Product Design**. [S.l.:s.n], 2004

AMARAL, Rafael C.; BERNARDES, Thiago F.; NUSSIO, Luiz G. **Estratégias de Vedação de Silos – Efeitos Sobre o Desempenho Animal**. Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/conservacao-de-forragens/estrategias-de-vedacao-de-silos-efeitos-sobre-o-desempenho-animal-72063/>>. Acesso em: 18 mar. 2012

ARTISAN SCIENTIFIC. Disponível em: <http://www.artisan-scientific.com/itemimages/Siemens_CPU_224XP_View1.jpg> Acesso em: 16 abr. 2012.

BARROS, Adil J. P.; LEHFELD, Neide A. S. **Projeto de Pesquisa: Propostas Metodológicas**. São Paulo: Vozes, 2000.

BEREZOVSKY, Rejane S. Retrofit: O que é?. **Pergunte ao Engenheiro**. [S.L.], out.2008. Disponível em: <<http://www.pergunteaoengenheiro.com.br/novos-materiais/88-retrofit-o-que-e.html>>. Acesso em: 17 mai. 2012

COFELMA. Disponível em: <http://www.cofelma.com.br/cofelma/index.php?option=com_content&task=view&id=33&catid=4§ionid=4> Acesso em: 17 mai. 2012

DAVÁLOS, Ricardo V. **Modelagem de Processos**. Disponível em: <http://inf.unisul.br/~davalos/material_modpro/processos%202.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2012.

DAVENPORT, Thomas H. **Reengenharia de Processos**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

Deutsch Ingenieurnormen. **DIN 69910: Wertanalyse in Verwaltungen nach DIN 69910: Führungs-, Planungs- u. Arbeitskriterien**. Alemanha: VDI-Verlag, 1978

GEORGINI, Marcelo **Automação Aplicada: Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs**. 3ª ed. São Paulo: Editora Ética, 2002.

GERDAU. **Manual de Aços**. [S.L.], 2003. Disponível em: <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM343/07catalogo_acos_gerdau.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2012

GOMORY, Ralph E.; SCHMITT, Richards W. **Step-by-Step Innovation**. [S.l.:s.n], 1988.

HALL, Allen S.; HOLOWENKO Alfred R.; LAUGHLIN, Herman G. **Elementos Orgânicos de Máquinas**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1968

IDEAGRO. Disponível em: <<http://www.ideagro.com.co/biblioteca/silopress/>>. Acesso em: 25 nov. 2011.

LANES, Éder C. M.; NETA, Julieta J. S. Como Evitar Perdas na Ensilagem do Milho. **REDVET: Revista Eletrônica de Veterinária**. [S.L.], v. 9, n. 5 Maio 2008. Disponível em: <<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050508/050805.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2012

NEVINS, James L.; WHITNEY, Daniel W. **Concurrent Design of Products and Processes**. Nova York: McGraw-Hill, 1989.

NEW HOLLAND. **Tratores TL**. 6p. Disponível em: <http://agriculture.newholland.com/br/pt/Products/Tractors/TLEXITUS/Documents/folhetos_tlexitus.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2012

NORTENE. Disponível em: <<http://www.nortene.com.br/agropecuaria/bolsa-silo.html>>. Acesso em: 19 mai. 2012

NUNAN, David. **Research Methods in Language Learning**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

OTTO, Kevin; WOOD, Kristin **Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development**. New York: Prentice Hall, 2001.

PAHL, Gerhard, et al. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos Métodos e Aplicações**. 6º ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher Ltda, 2005.

SIEMENS. **CLP S7-200** Disponível em: <<http://www.automation.siemens.com/mcms/simatic-controller-software/en/step7/Pages/Default.aspx>>. Acesso em: 02 abr. 2012a.

SIEMENS. **Simatic Controller** Disponível em: <http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure_simatic-controller_en.pdf> . Acesso em: 28 abr. 2012b.

SILOBOLSA PLASTAR. Disponível em: <http://www.silobolsa.com.ar/esp/archivos/archivos_utiles/esp_manual_silobolsaplastar.pdf>. Acesso em 13 mai. 2012.

SILVEIRA, P. R. ; SANTOS, W. E. **Automação e controle discreto**. São Paulo: Érica, 1999.

SINUELO AGROPECUÁRIA. Disponível em: <www.sinueloagropecuaria.com.br>. Acesso em: 09 out. 2011.

SINUELO AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.sinueloagropecuaria.com.br/Produtos.aspx?subcatid=1&f=cara>>. Acesso em: 18 mai. 2012.

SINUELO AGROPECUÁRIA. Disponível em:
<<http://www.sinueloagropecuaria.com.br/Produtos.aspx?subcatid=4&f=cara>>.
Acesso em: 19 mai. 2012.

THOMPSON FLORES CONSULTORIA AGROPECUARIA. Disponível em:
<<http://www.thompsonflores-consultoria-agropecuaria.com/album/galeria-de-fotos/armazenagem-silagem-aveia-azevem-jpg/>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

TMR MÁQUINAS. Disponível em: <www.scampo.com.br>. Acesso em: 09 out. 2011.

TRANSPORTE DE GRANEIS. **Capítulo 9 – transportador helicoidal (TH)**
Disponível em <www.transportedegraneis.ufba.br/Apostila/CAP9_TH.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2012

TUDO LINK. Disponível em: <<http://www.tudolink.com/silobag-e-silobolsa-para-armazenagem-de-graos-voce-conhece/>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

VILAÇA, Márcio L. C. Pesquisa e ensino: considerações e reflexões. **Unigranrio.**, Rio de Janeiro, p. 65, ago. 2010.

APÊNDICE A – Detalhamento do Alimentador

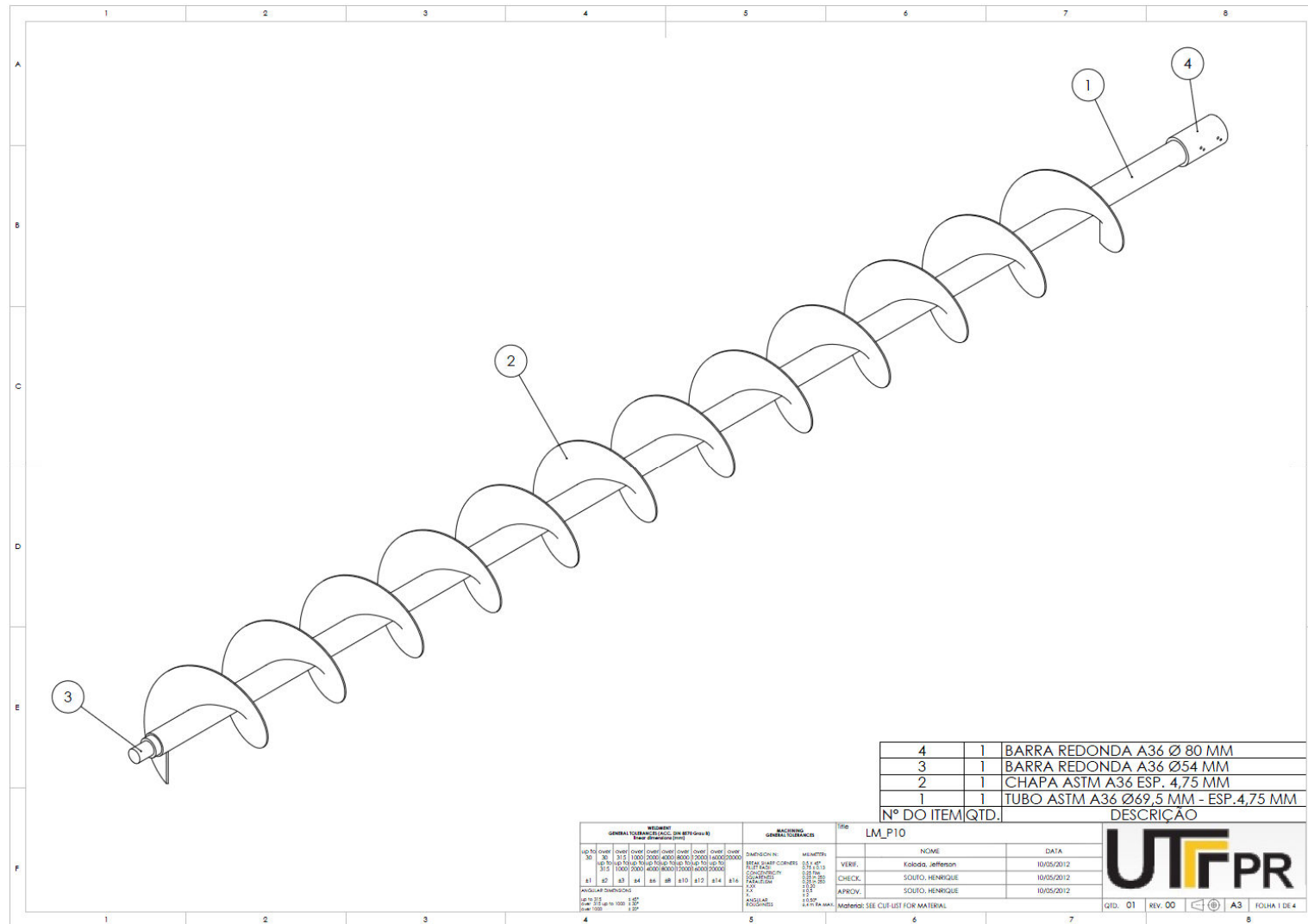


Figura A.1 – Desenho do helicoide de alimentação
Fonte: Autoria própria.

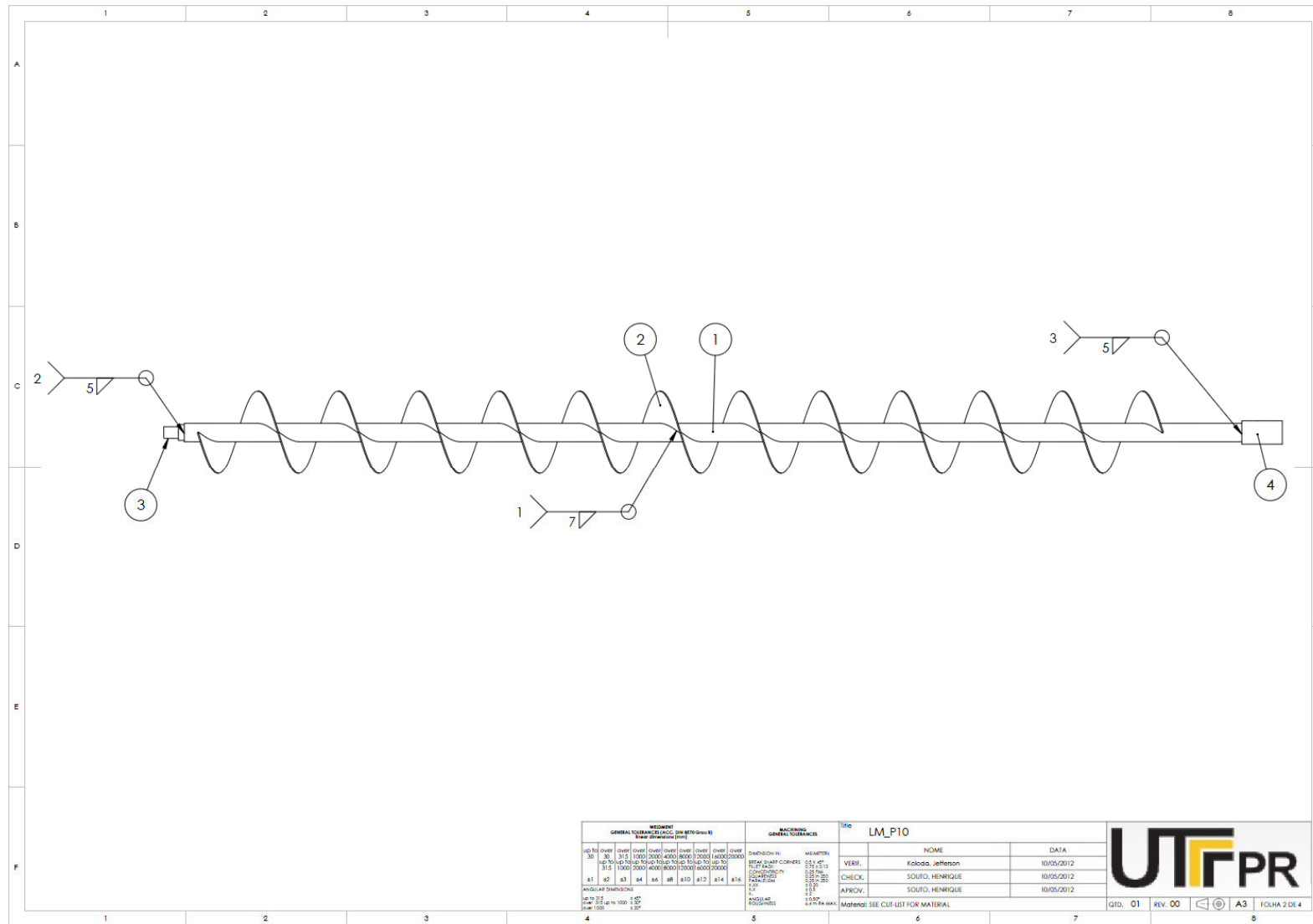


Figura A.2 – Desenho do helicoide de alimentação (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

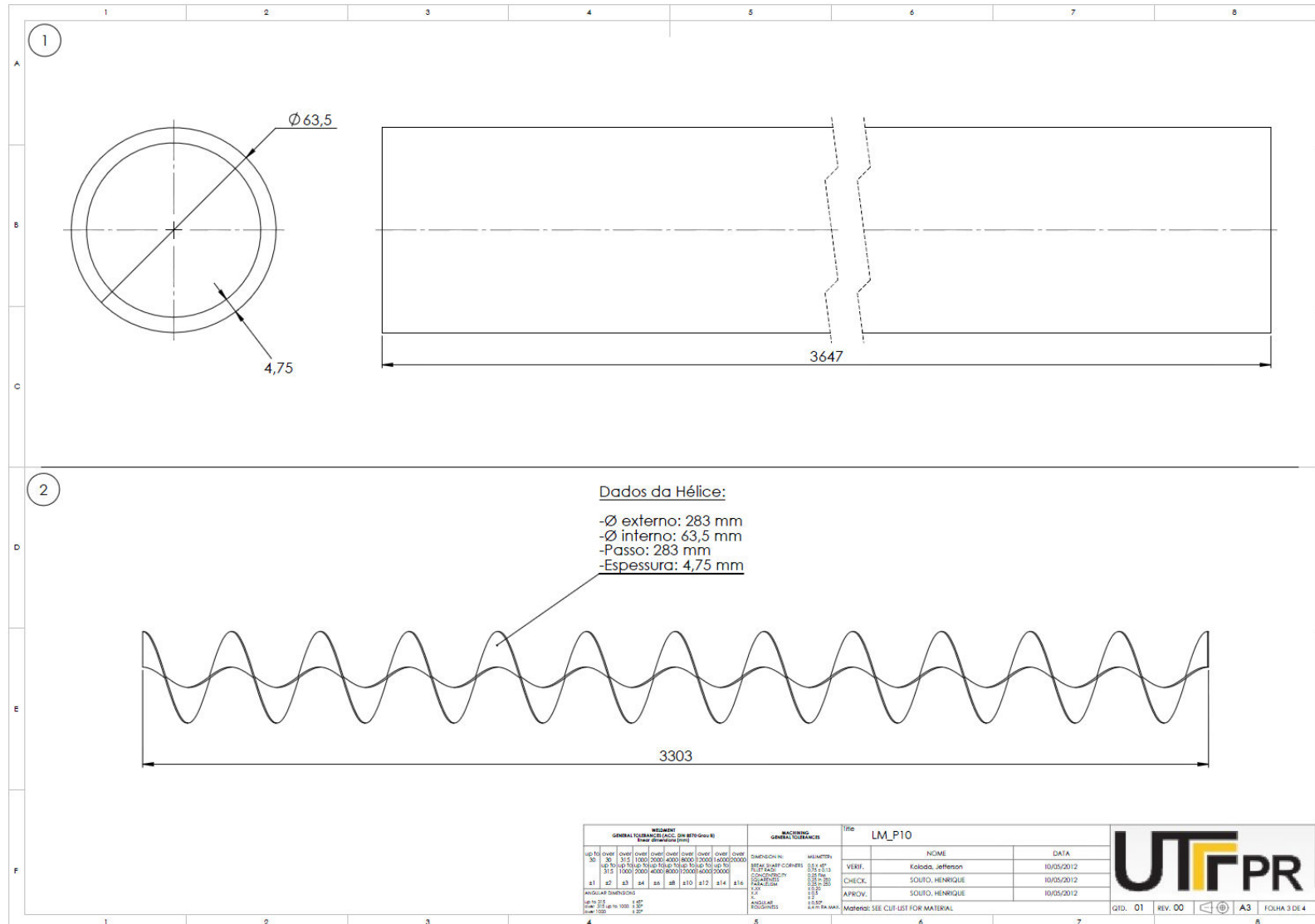


Figura A.3 – Desenho do helicoide de alimentação (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

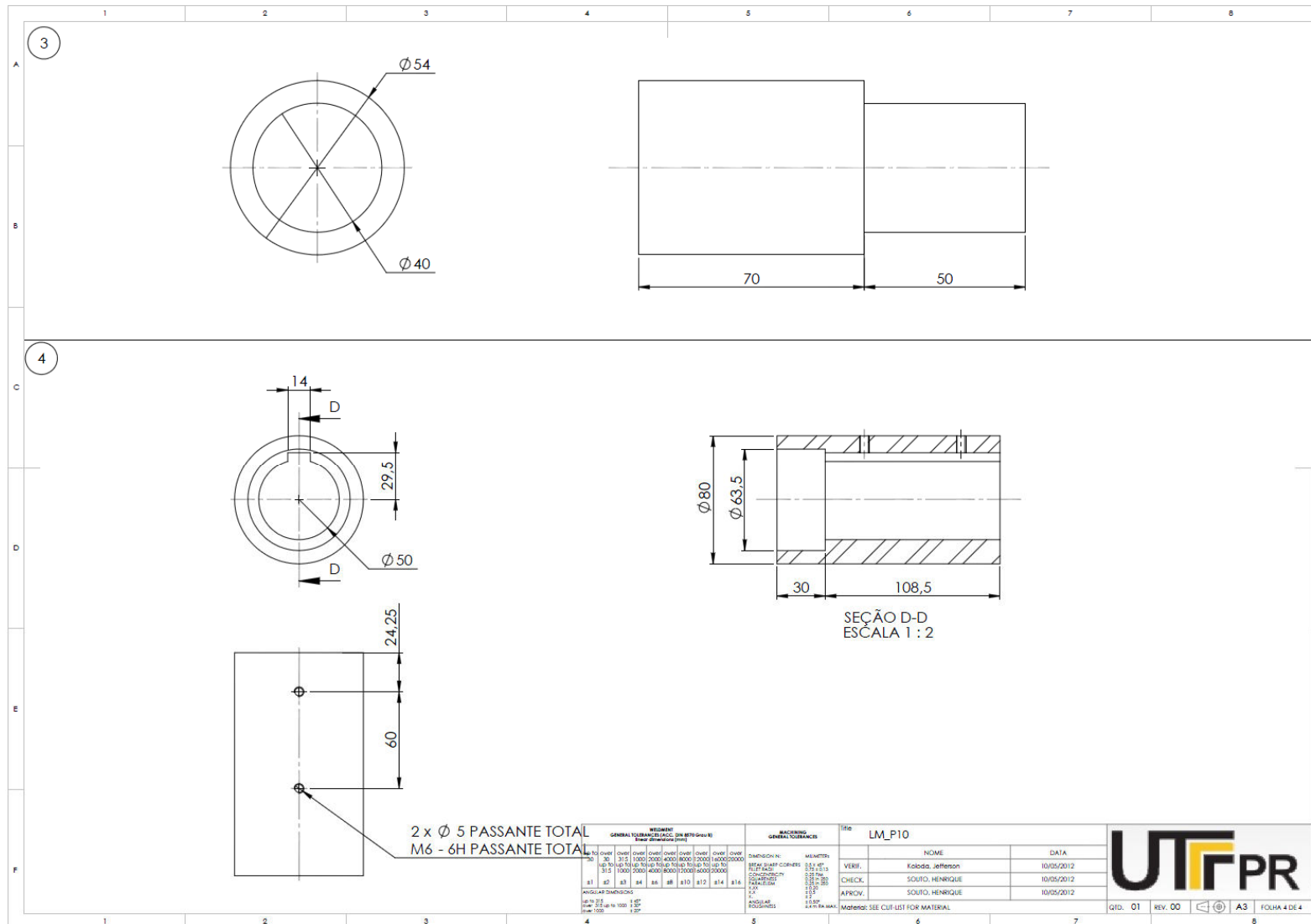


Figura A.4 – Desenho do helicoide de alimentação (continuação)
Fonte: Autoria própria.

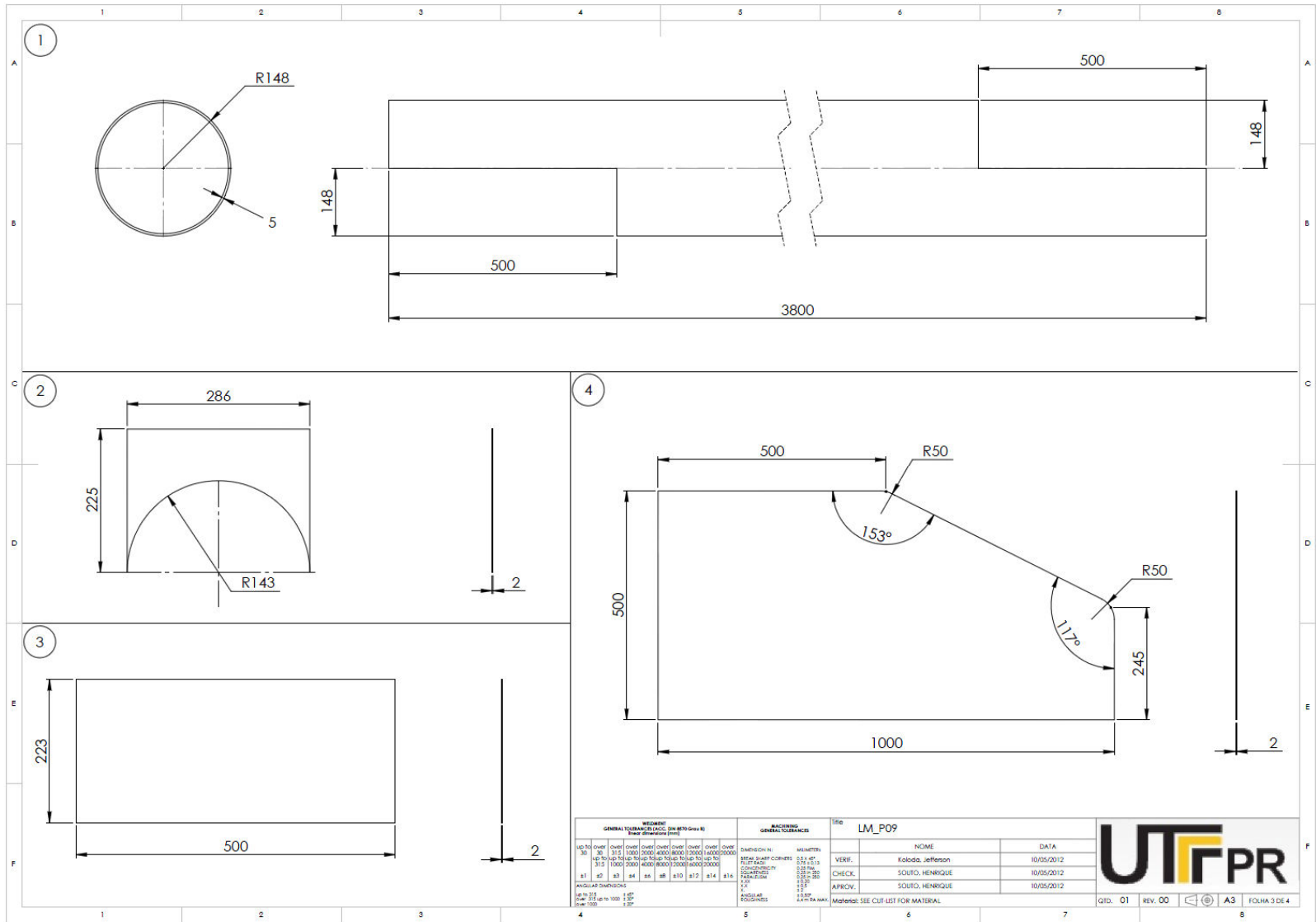


Figura A.7 – Desenho da tuba de suporte para o helicoide de alimentação (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

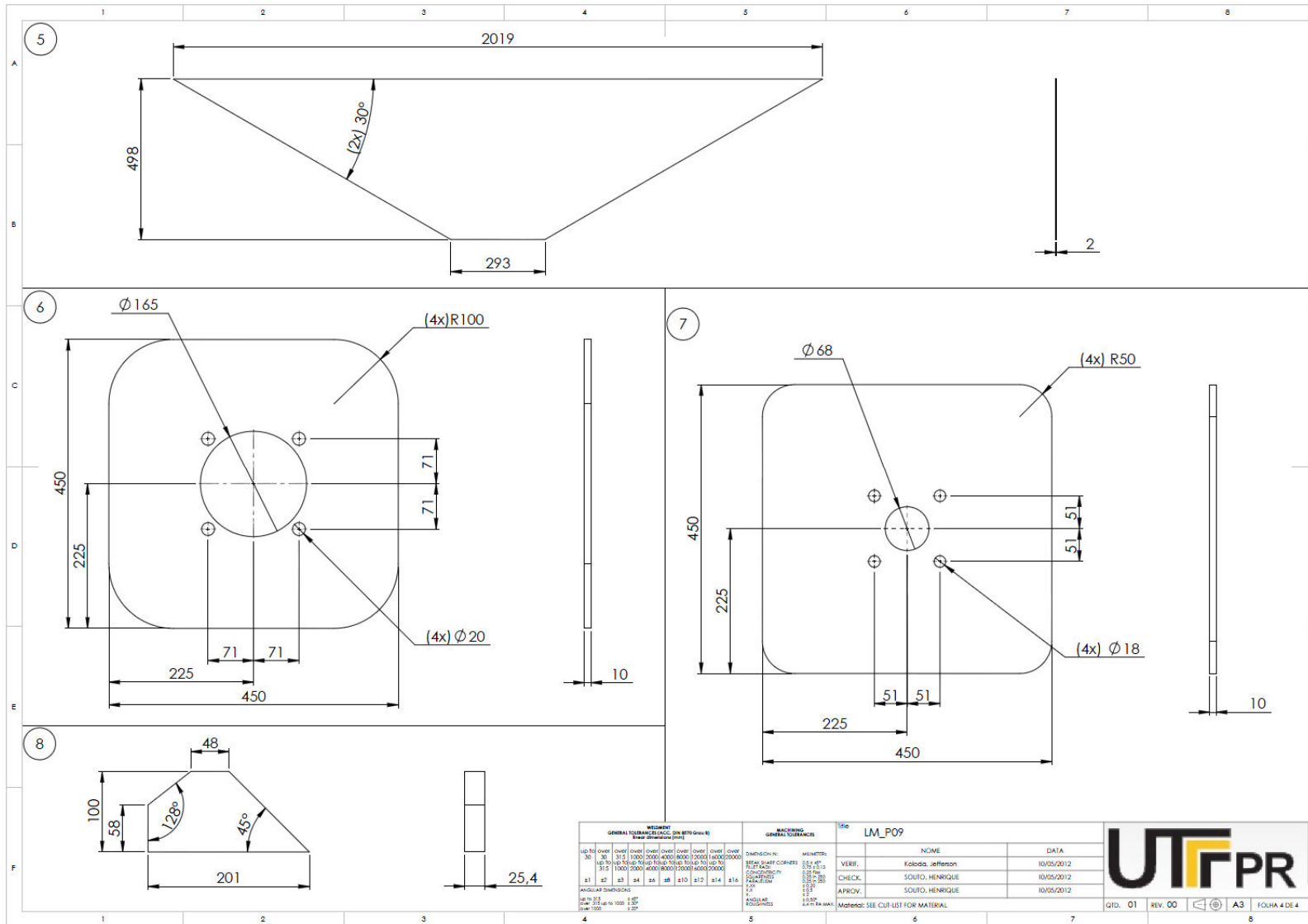


Figura A.8 – Desenho da tuba de suporte para o helicoides de alimentação (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

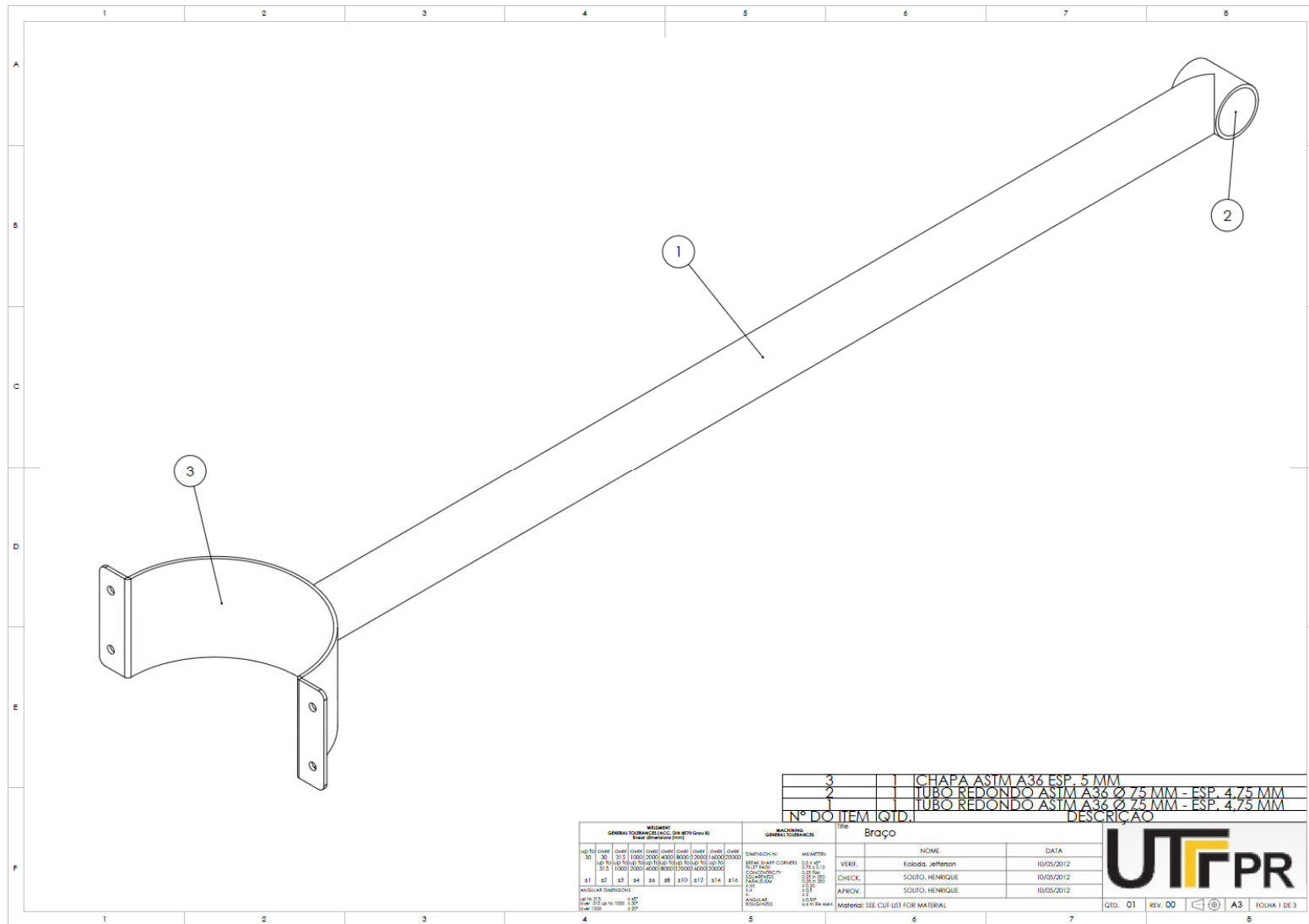


Figura A.9 – Desenho do braço de suporte do transportador helicoidal
 Fonte: Autoria própria.

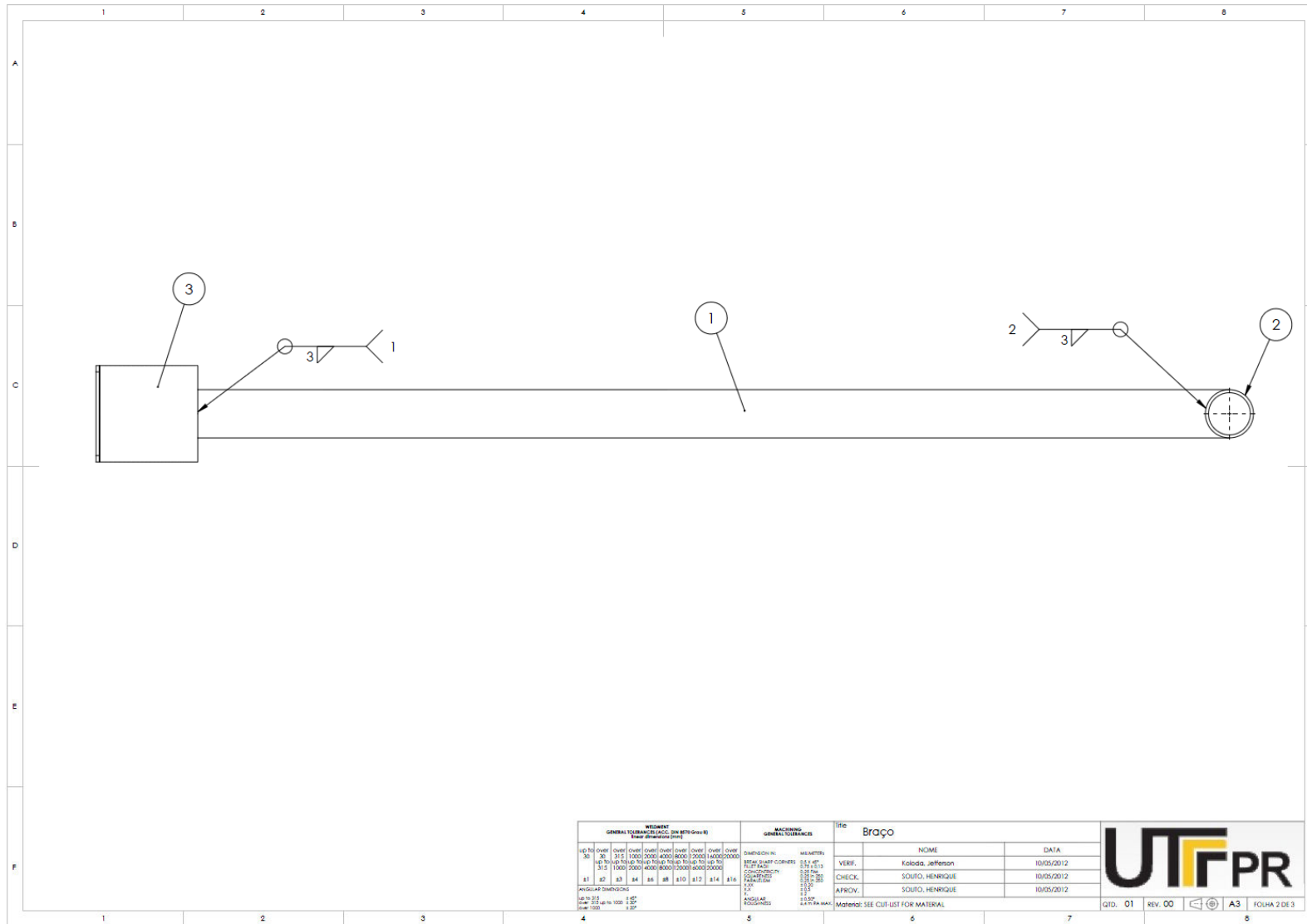


Figura A.10 – Desenho do braço de suporte do transportador helicoidal (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

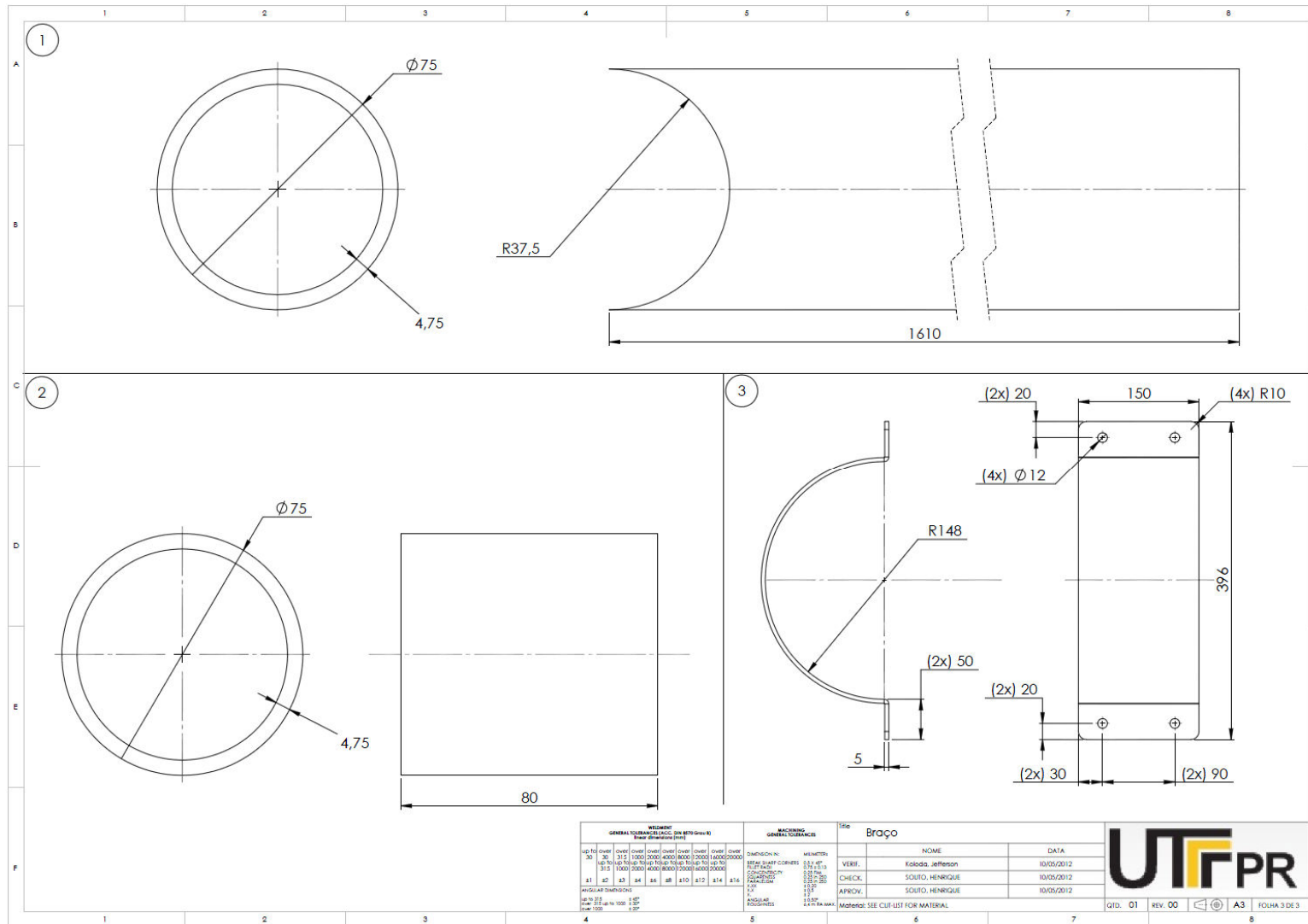


Figura A.11 – Desenho do braço de suporte do transportador helicoidal (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE B – Detalhamento do freio

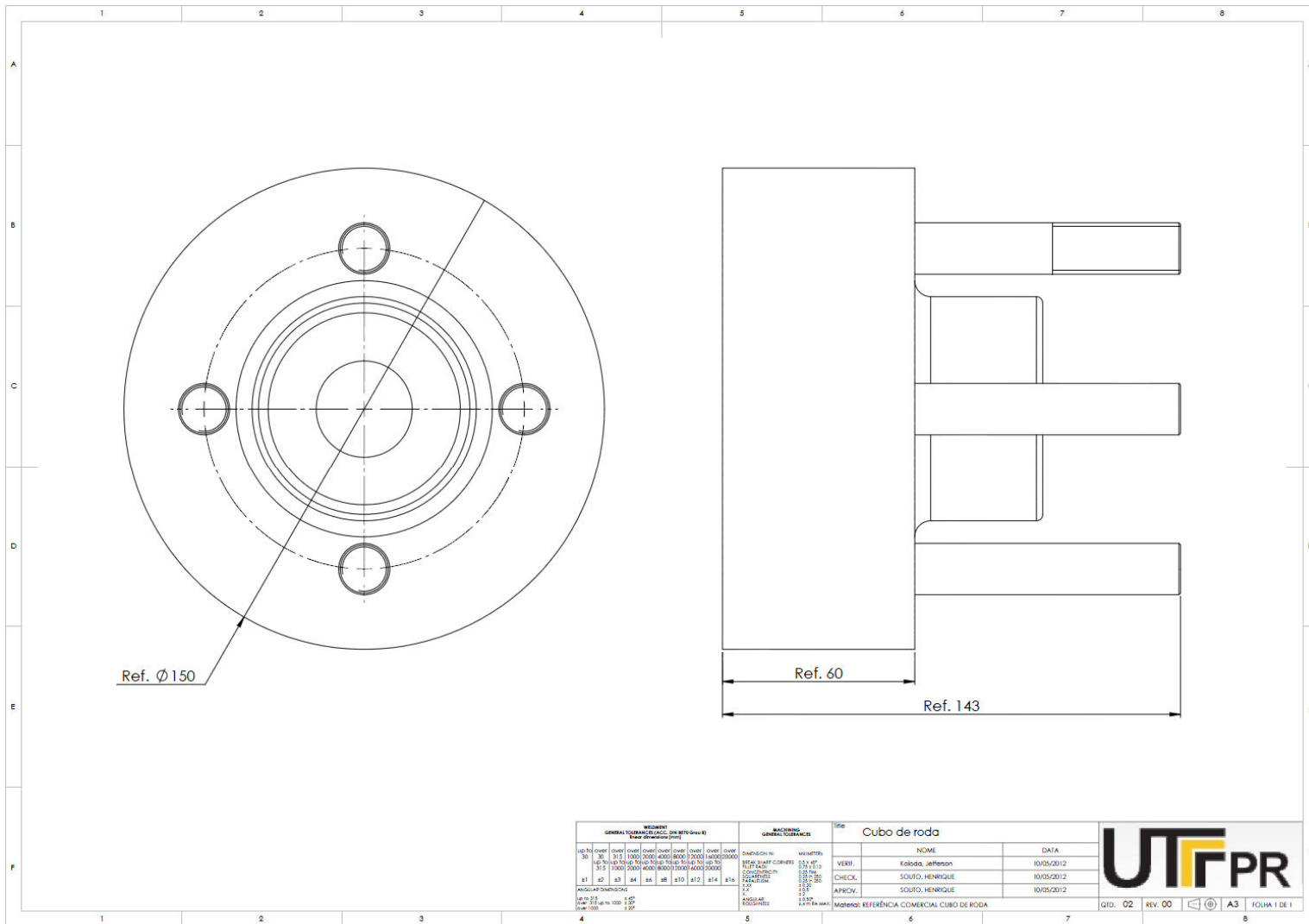


Figura B.1 – Desenho de referência do tambor de freio
Fonte: Autoria própria.

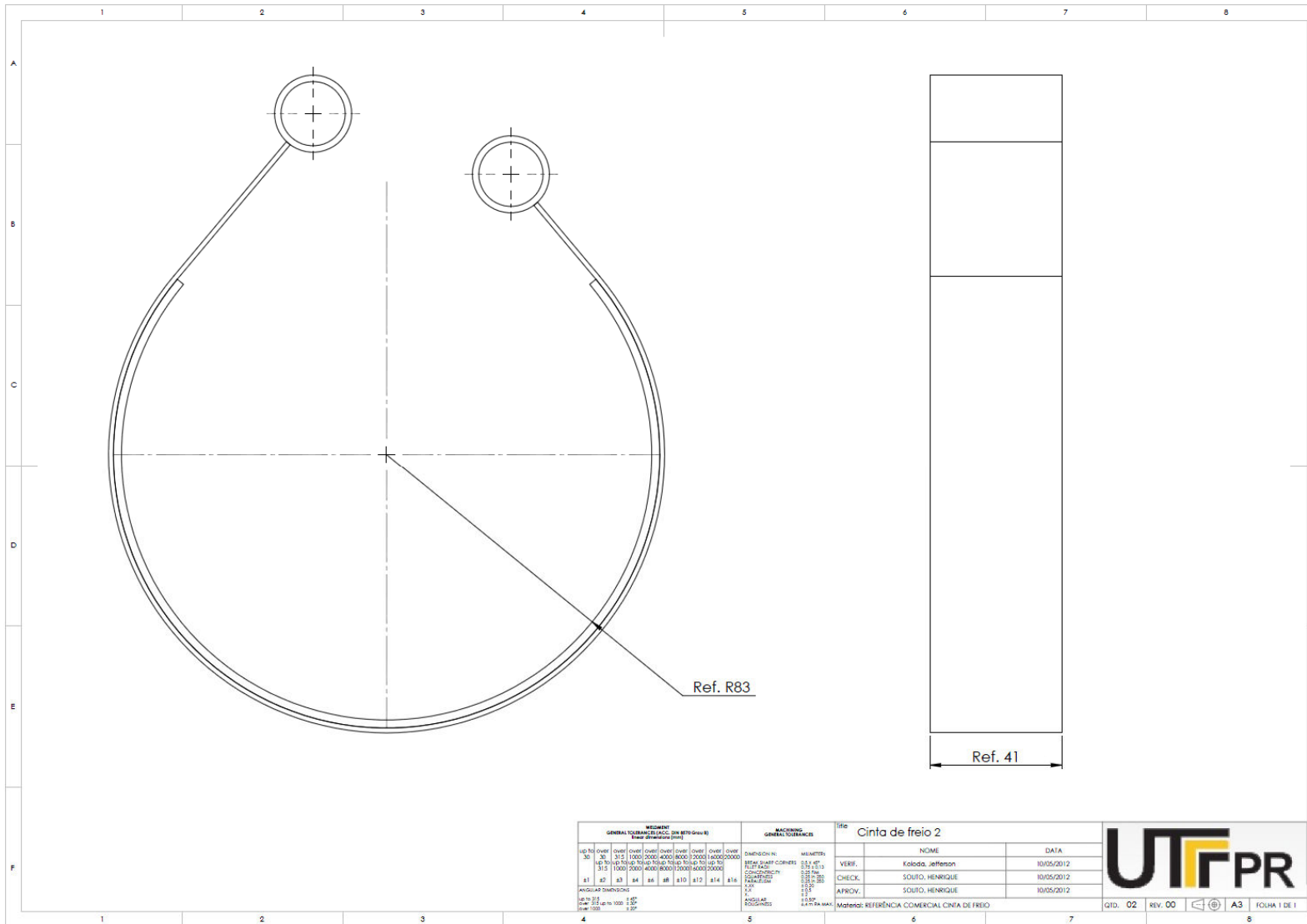


Figura B.2 – Desenho de referência da cinta de freio
 Fonte: Autoria própria.

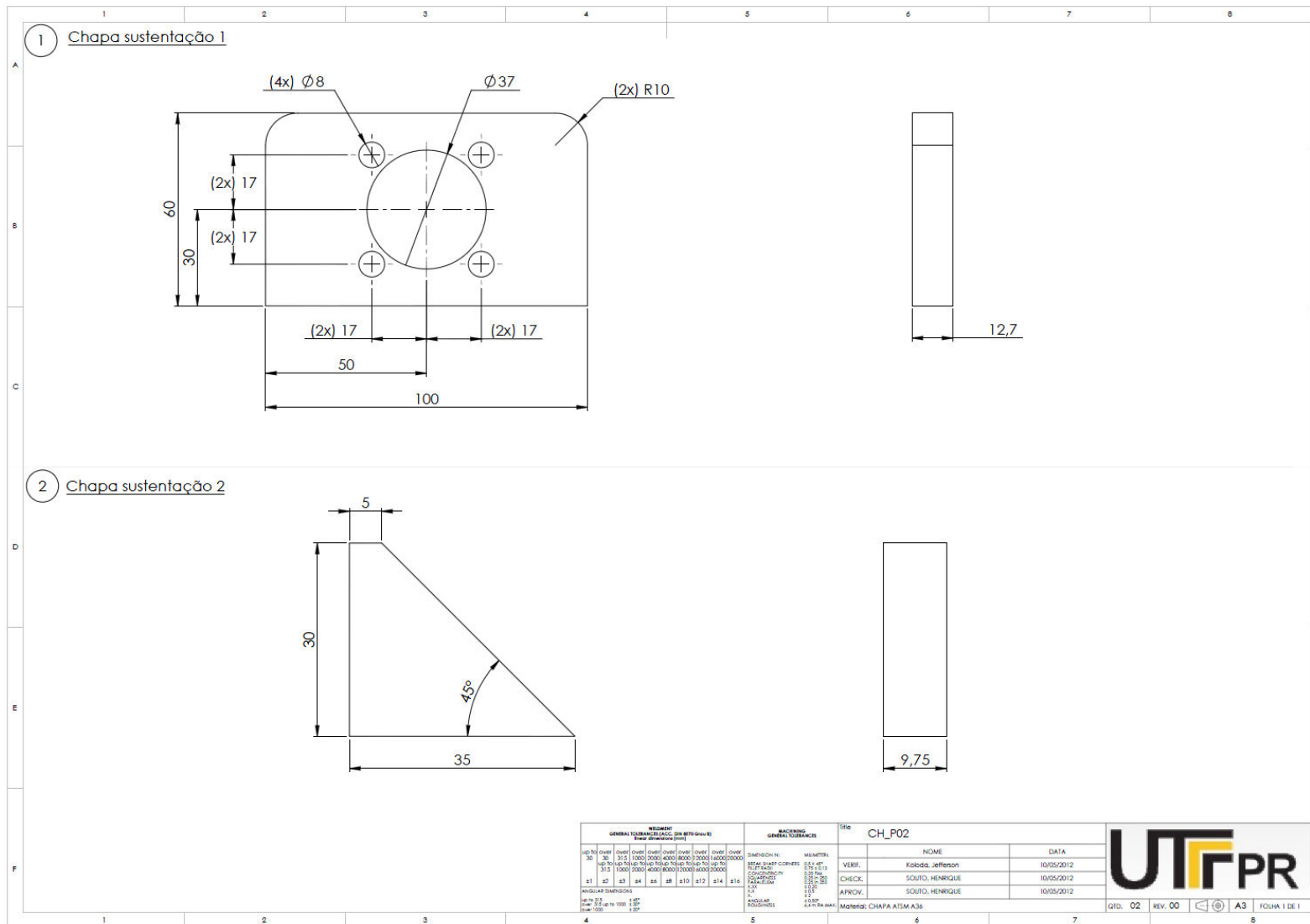


Figura B.3 – Desenho do apoio do cilindro de atuação
 Fonte: Autoria própria.

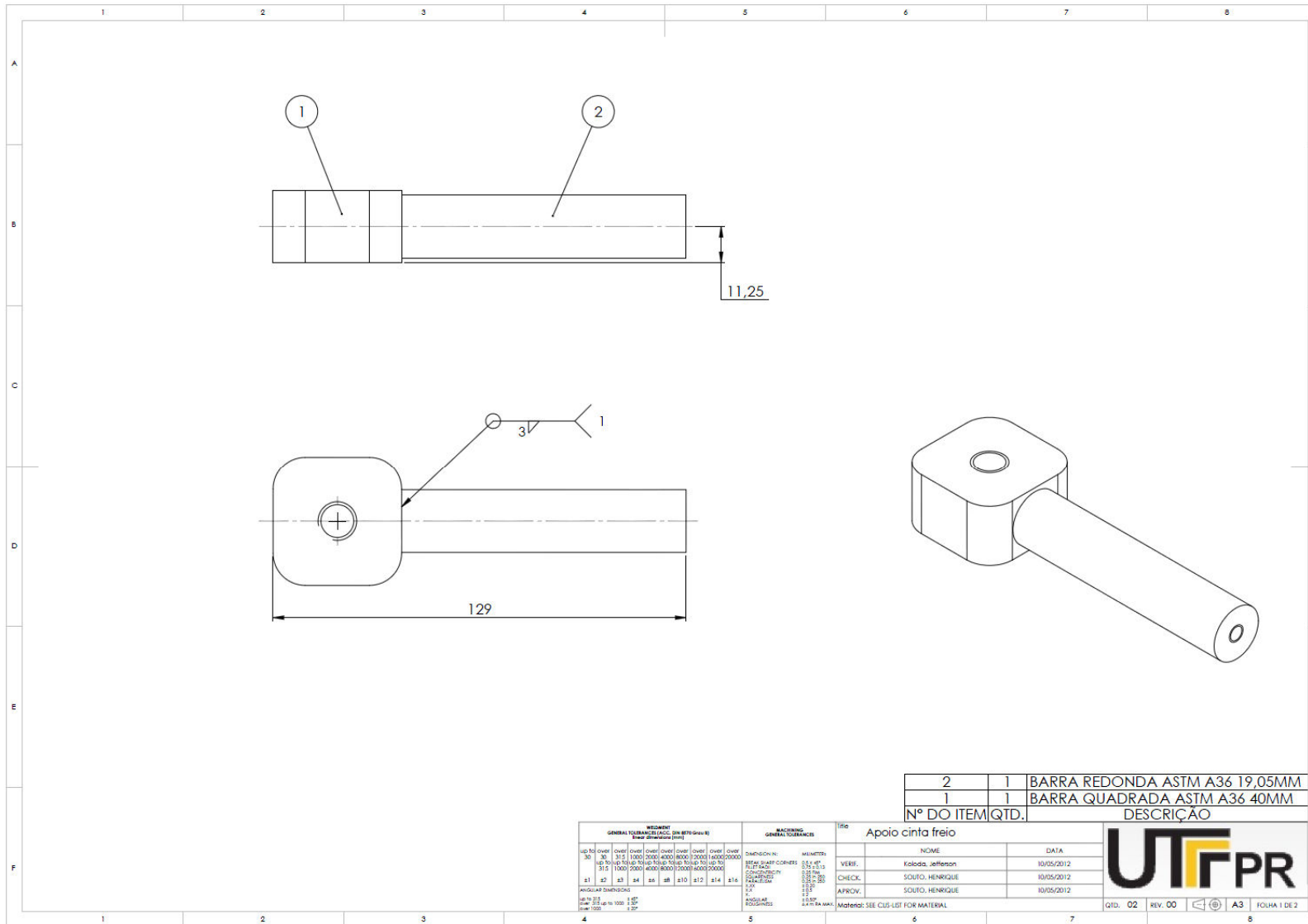


Figura B.5 – Desenho do pino extensor
Fonte: Autoria própria.

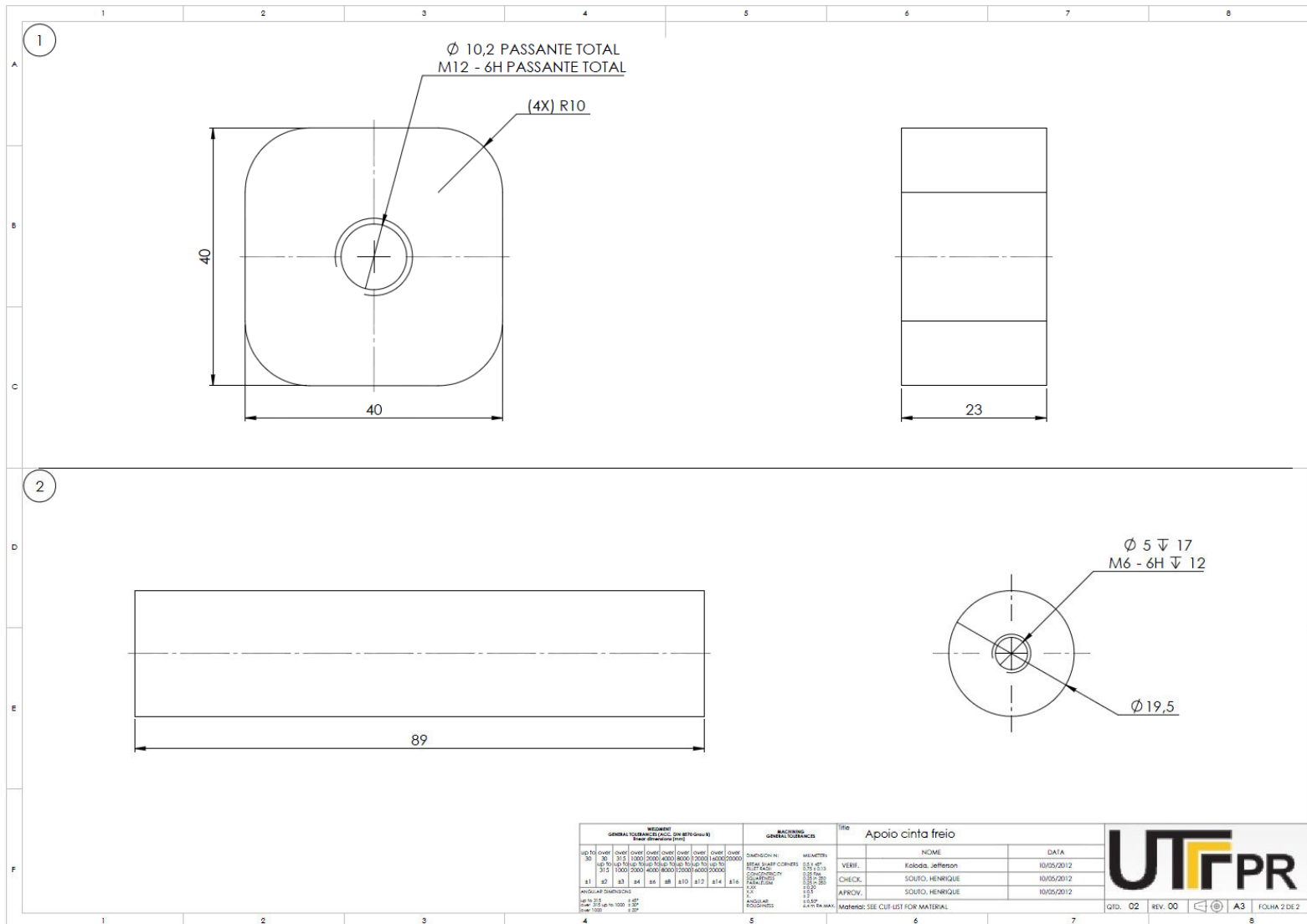


Figura B.6 – Desenho do pino extensor (continuação)
 Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE C – Detalhamento da caixa do CLP

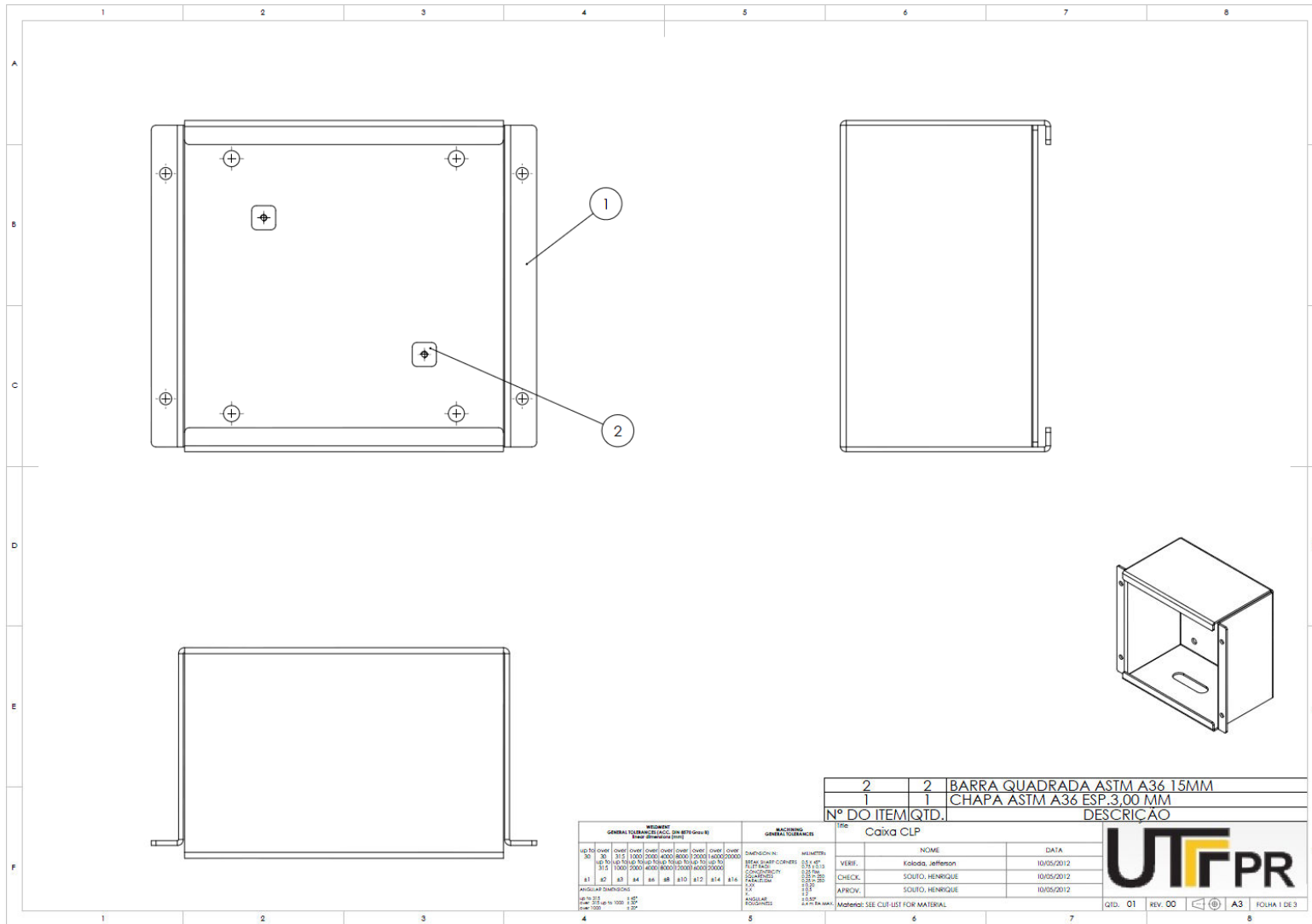


Figura C.1 – Desenho da base da caixa do CLP
 Fonte: Autoria própria.

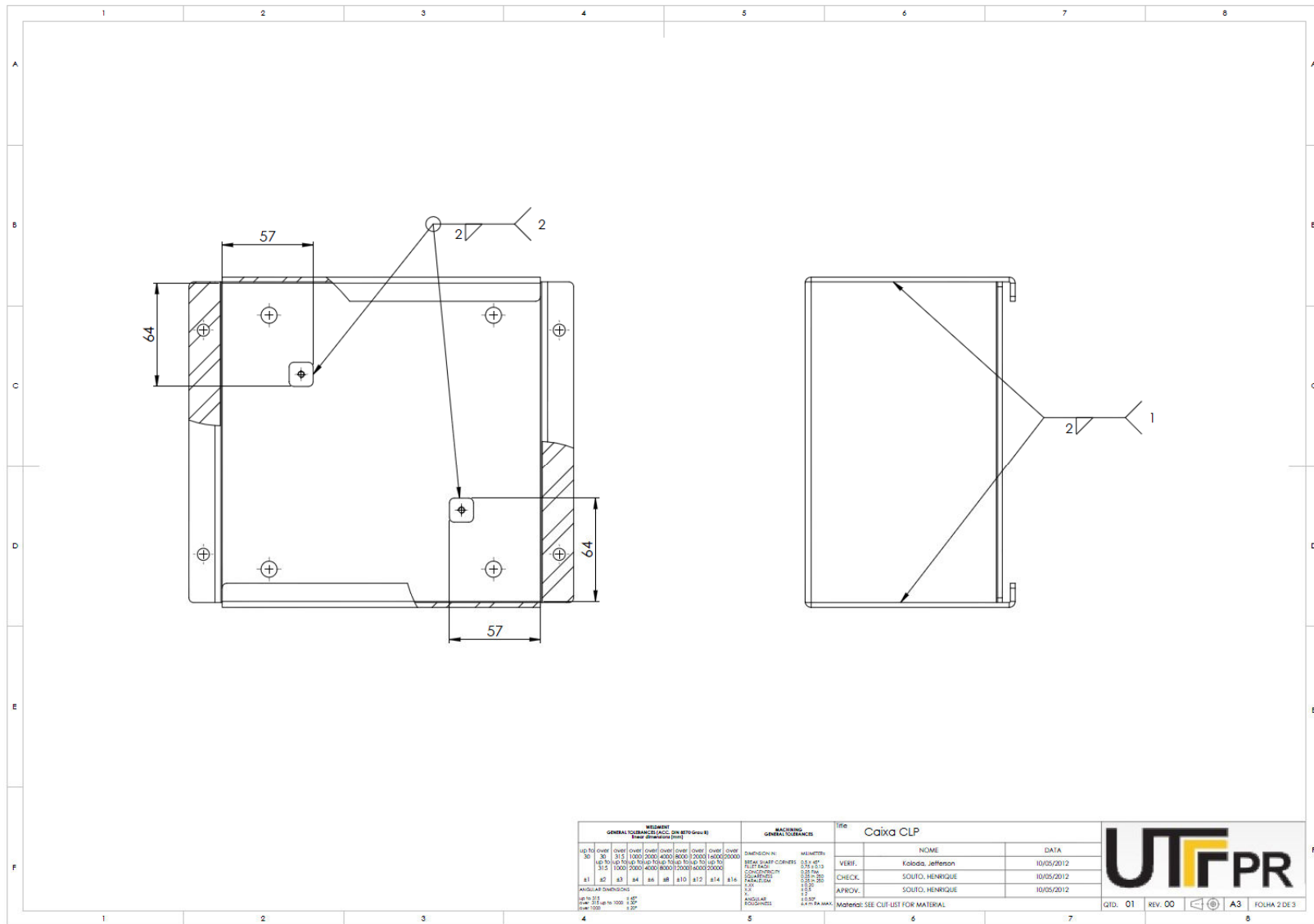


Figura C.2 – Desenho da base da caixa do CLP (continuação)
Fonte: Autoria própria.

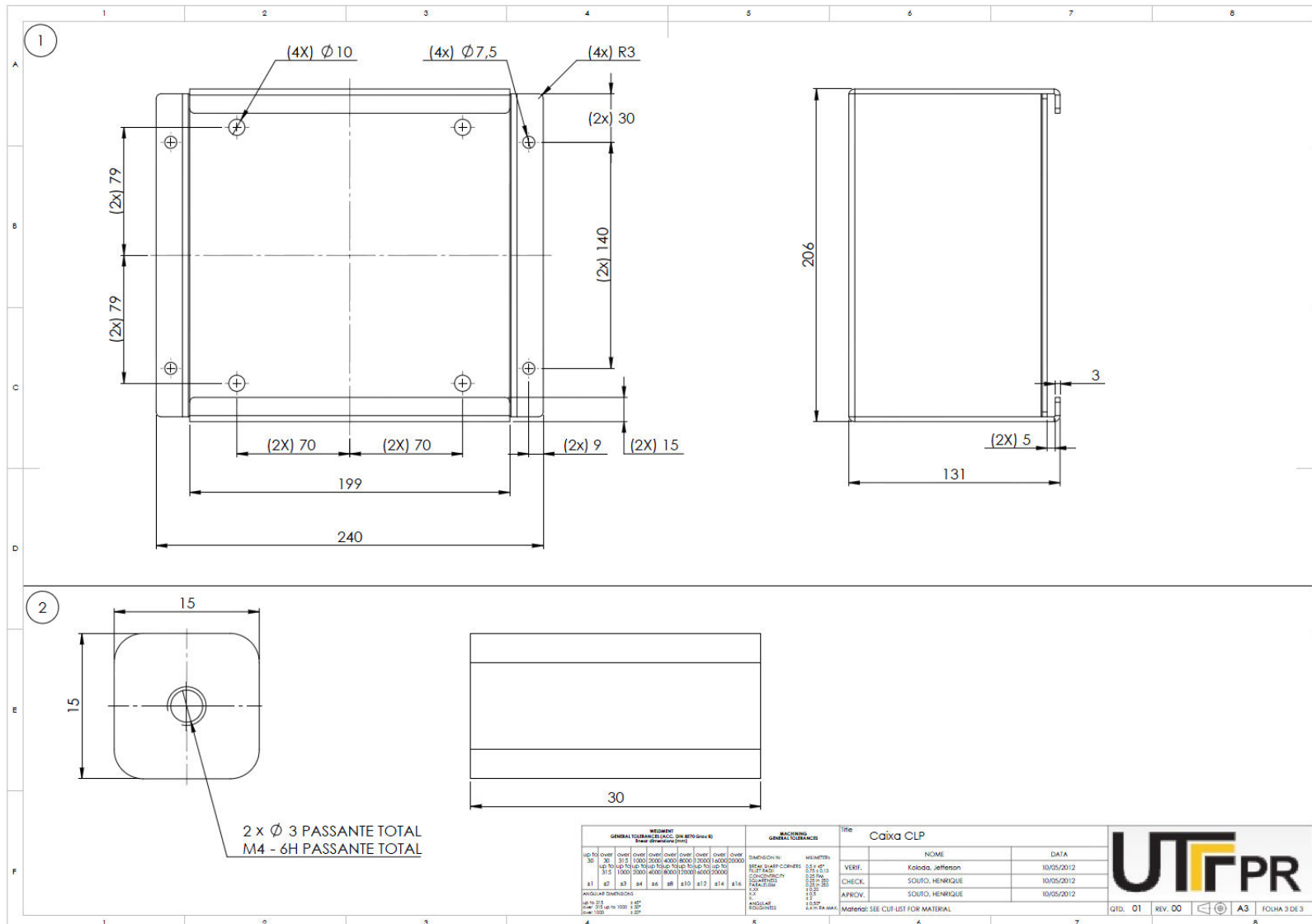


Figura C.3 – Desenho da base da caixa do CLP (continuação)
Fonte: Autoria própria.

