

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PROJETO FINAL DE CURSO

PEDRO MARQUES VAZ

**ESTUDO DE MODIFICAÇÕES ESTRUTURAIS EM UM CABEÇOTE *FELLER*
TESOURA PARA EXTRAÇÃO DE EUCALIPTO**

Goiânia – GO

2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: [] Dissertação [] Tese [] Monografia

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: *Pedro Marques Voz*

Título do trabalho: *Estudo de modificações estruturais em um copolímero felten para extração de Eucalypto*

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento [] SIM [] NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 04 / 12 / 19

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

PEDRO MARQUES VAZ

**ESTUDO DE MODIFICAÇÕES ESTRUTURAIS EM UM CABEÇOTE *FELLER*
TESOURA PARA EXTRAÇÃO DE EUCALIPTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de
Engenheiro Mecânico na
Universidade Federal de Goiás –
Escola de Engenharia Elétrica,
Mecânica e de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Marlipe
Garcia Fagundes Neto.

Goiânia – GO

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Marques Vaz, Pedro
ESTUDO DE MODIFICAÇÕES ESTRUTURAIS EM UM CABEÇOTE
FELLER TESOURA PARA EXTRAÇÃO DE EUCALIPTO [manuscrito] /
Pedro Marques Vaz. - 2019.
80 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marlipe Garcia Fagundes Neto.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação (EMC), Engenharia Mecânica, Goiânia, 2019.
Bibliografia. Apêndice.

Inclui fotografias, abreviaturas, símbolos, tabelas, lista de figuras,
lista de tabelas.

1. Feller. 2. Projeto. 3. CAD. 4. Extração. 5. Eucalipto. I. Garcia
Fagundes Neto, Marlipe, orient. II. Título.

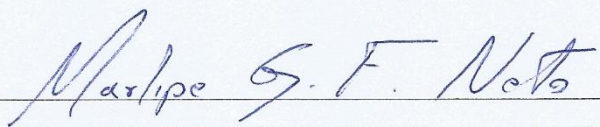
CDU 621

PEDRO MARQUES VAZ

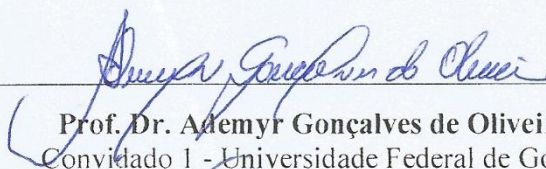
**ESTUDO DE MODIFICAÇÕES ESTRUTURAIS EM UM CABEÇOTE FELLER
TESOURA PARA EXTRAÇÃO DE EUCALIPTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Mecânico na Universidade Federal de
Goiás – Escola de Engenharia Elétrica,
Mecânica e de Computação.

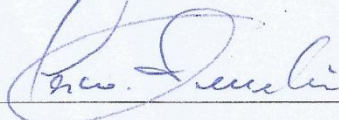
Trabalho aprovado. Goiânia, 12 de dezembro de 2019:



Prof. Dr. Marlipe Garcia Fagundes Neto
Orientador - Universidade Federal de Goiás



Prof. Dr. Ademyr Gonçalves de Oliveira
Convidado 1 - Universidade Federal de Goiás



Prof. Dr. Marco Aurélio Brazão Costa Badan
Convidado 2 - Instituto Federal de Goiás

Goiânia – GO

2019

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, por Ele ter acompanhado toda essa jornada acadêmica ao meu lado me dando bênçãos, capacidade e força em todos os momentos, mantendo minha fé firme nos propósitos dEle.

À minha família, que me deu todo o suporte e apoio necessário ao longo desses anos com muitos incentivos e exemplos de determinação. Em especial ao meu pai, que teve a iniciativa de propor o estudo deste trabalho através da demanda identificada na sua profissão.

Aos amigos e à minha namorada, que em muitas situações se chateavam com a minha ausência nos eventos e programações, mas que ao mesmo tempo compreendiam que muita dedicação e empenho foram necessários para que eu pudesse alcançar essa conquista.

Por fim, à Coordenação e aos Professores do curso de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e Computação da Universidade Federal de Goiás, pela contribuição para minha formação acadêmica e profissional ao longo destes cinco anos. Em especial ao Prof. Marlipe Garcia Fagundes Neto, pela sua dedicação, paciência, profissionalismo e capricho na orientação do Projeto Final de Curso.

*“As pessoas que são loucas o suficiente para achar que podem mudar o mundo são
aquelas que o mudam”*

(Comercial “Think Different” Apple, 1997)

RESUMO

Este trabalho objetiva propor modificações estruturais em um cabeçote *feller* do tipo tesoura – utilizado na extração de eucalipto para o aumento da produtividade deste implemento florestal. Verifica-se possíveis modificações que viabilizam o aumento da capacidade de carga do cabeçote de 3 para 5 eucaliptos coletados em um ciclo de operação – extração, enleiramento e movimentação – e a redução do peso total bruto do acessório. Para atender a estes requisitos são estudados: um novo modelo de garras para suporte das árvores; redução em peso dos suportes das lâminas de corte; suporte de acoplamento do braço da escavadeira; coluna vertical; e aumento na geometria do apoio superior. A percepção do projeto aliada à análise comparativa das tensões nas regiões críticas norteiam alterações no projeto piloto e resultam um novo projeto estruturalmente mais eficiente e capaz de coletar 5 árvores por ciclo operacional, no entanto o cabeçote possui 1837 kg – 36 kg a mais que o piloto – e 2,8 m de altura – 0,3 m mais alto que o pioneiro.

Palavras-chave: *Feller*; Projeto; CAD; Extração; Eucalipto; Tensão; Produtividade.

ABSTRACT

This work aims to propose structural modifications in a scissor feller head - used in eucalyptus extraction to increase the productivity of this forest implement. Possible modifications that make it possible to increase the head load capacity from 3 to 5 eucalyptus collected in one operating cycle - extraction, rowing and movement - and the reduction of the total gross weight of the accessory are checked. To meet these requirements are studied: a new model of tree support claws; weight reduction of the cutting blade holders; excavator arm coupling bracket; vertical column; and increased upper support geometry. The project perception combined with the comparative analysis of stresses in the critical regions guide changes in the pilot project and result in a new structurally more efficient project capable of collecting 5 trees per operating cycle, however the feller head is 1837 kg - 36 kg more than the other one - and 2.8 m high - 0.3 m higher than the pioneer.

Keywords: Feller; Project; CAD; Extraction; Eucalyptus; Strain; Productivity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de cabeçote feller: [1] modelo XA233 Komatsu (serra a disco) e [2] modelo CFT 50 RODER (tesoura).....	16
Figura 2 - Principais elementos de um cabeçote feller.....	17
Figura 3 - Ciclo de extração do eucalipto - enleiramento dos troncos	18
Figura 4 - Representação do cabeçote feller em estudo	19
Figura 5 - Pontos de reforço estrutural necessário	20
Figura 6 - Representação Escavadeira Hidráulica PC240LC-8	23
Figura 7 - Capacidade de elevação PC240LC-8	24
Figura 8 - Faixa operacional PC240LC-8	25
Figura 9 - Leiaute de operação.....	26
Figura 10 - Operação de um cabeçote com disco de corte.....	27
Figura 11 - Etapas do processo de colheita	28
Figura 12 - Modelo real e modelo 3D via <i>SolidWorks</i> ®.....	33
Figura 13 - Primeira versão do cabeçote feller modelado.....	34
Figura 14 - Variação da posição do centro de massa por unidade	36
Figura 15 - Eixos de inércia do cabeçote feller.....	37
Figura 16 - Influência em massa dos principais componentes no projeto consolidado	38
Figura 17 - Detalhes e propriedades da malha criada	40
Figura 18 - Resultado da malha gerada.....	40
Figura 19 - Resultado da análise estática	41
Figura 20 - Vista inferior do cabeçote.....	42
Figura 21 - Percepção de projeto do cabeçote.....	43
Figura 22 - Percepção de projeto do suporte da lâmina de corte	44
Figura 23 - Primeira versão da modificação proposta. a) Interface; b) Percepção de projeto; c) Tensão de von-Mises.....	45
Figura 24 - Vista isométrica da segunda versão modificação proposta	46
Figura 25 - Segunda versão da modificação proposta. a) Interface; b) Percepção de projeto; c) Tensão de von-Mises.....	46
Figura 26 - Versão final da modificação proposta	47
Figura 27 - Resultado da tensão de von Mises na versão final. a) Força do atuador hidráulico; b) Força de reação de corte; c) Força peso dos troncos na lâmina	48

Figura 28 - Percepção de projeto da versão final. a) Força do atuador hidráulico; b) Força de reação de corte; c) Força peso dos troncos na lâmina	49
Figura 29 - Suporte de acoplamento do braço. a) Tensão de von Mises para força de içamento; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de içamento; d) Percepção de projeto para força de descarga	50
Figura 30 - Proposta de modificação no suporte para redução de peso. a) Tensão de von Mises para força de içamento; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de içamento; d) Percepção de projeto para força de descarga.....	51
Figura 31 - Segunda proposta de redução de peso do suporte. a) Tensão de von Mises para força de içamento; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de içamento; d) Percepção de projeto para força de descarga.....	52
Figura 32 - Versão final do suporte de acoplamento do braço.....	53
Figura 33 - Versão final do conjunto de garras proposto	54
Figura 34 - Primeira proposta de modificação do apoio superior. a) Vista isométrica; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de descarga	55
Figura 35 - Proposta de modificação final do apoio superior. a) Vista isométrica; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de descarga	56
Figura 36 – Comparativo cabeçote feller modificado	57
Figura 37 - Variação da posição do centro de massa por unidade no novo modelo	58
Figura 38 - Eixos de inércia do novo modelo	59
Figura 39 - Influência dos principais elementos no novo projeto	61
Figura 40 - Comparativo da tensão de von Mises, vista isométrica.....	62
Figura 41 - Comparativo da tensão de von Mises, vista lateral direita	63
Figura 42 - Comparativo tensão de von Mises, vista inferior	64
Figura 43 - Comparativo percepção de projeto, vista isométrica.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades de massa do eucalipto.....	35
Tabela 2 - Propriedades de massa do cabeçote consolidado	37
Tabela 3 - Propriedades de massa do novo modelo	60

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Propriedades da malha gerada para o cabeçote modificado	68
Apêndice B – Desenho técnico do projeto piloto	69
Apêndice C – Desenho técnico do suporte da lâmina de corte	70
Apêndice D – Desenho técnico do suporte de acoplamento do braço.....	71
Apêndice E – Desenho técnico da coluna vertical	72
Apêndice F – Desenho técnico do suporte de garras superior.....	73
Apêndice G – Desenho técnico do suporte de garras inferior	74
Apêndice H – Desenho técnico garras principais.....	75
Apêndice I – Desenho técnico conjunto garras auxiliares.....	76
Apêndice J – Desenho técnico apoio superior	77
Apêndice K – Desenho técnico do projeto modificado.....	78
Apêndice L – Plano de trabalho	79
Apêndice M – Cronograma de atividades	80

LISTA DE SÍMBOLOS

UFG – Universidade Federal de Goiás

I_x – Eixo de inércia principal X

I_y – Eixo de inércia principal Y

I_z – Eixo de inércia principal Z

P_x – Momento de inércia principal X

P_y – Momento de inércia principal Y

P_z – Momento de inércia principal Z

SUMÁRIO

Capítulo 1: Introdução	16
1.1 O Cabeçote <i>Feller</i>	16
1.2 Situação Problema.....	18
1.3 Motivação e Justificativa.....	20
1.4 Objetivos	21
Capítulo 2: Estudo da Arte	23
2.1 A Escavadeira Hidráulica.....	23
2.2 A Operação.....	26
Capítulo 3: Metodologia	29
3.1 Pesquisa em Campo	29
3.2 Modelagem.....	29
Capítulo 4: Resultados	32
4.1 Modelagem da Interface Pura e Simples no <i>SolidWorks</i> ®	32
4.2 Análise Estrutural.....	34
4.2.1 Análise da Disposição dos Troncos.....	34
4.2.2 Análise das Propriedades de Massa	36
4.2.3 Análise Estática dos Esforços	39
4.3 Modificação Estrutural.....	43
4.3.1 Redução do Peso Bruto	44
4.3.1.1 <i>Suporte da Lâmina de Corte</i>	44
4.3.1.2 <i>Suporte do Acoplamento do Braço</i>	49
4.3.1.3 <i>Coluna Vertical</i>	53
4.3.2 Modificações para Coletar 5 árvores por Ciclo.....	53
4.3.2.1 <i>Garras Principais e Auxiliares</i>	53
4.3.2.2 <i>Apoio Superior</i>	54
4.4 Resultado do Cabeçote Proposto.....	56
4.4.1 Análise da Distribuição dos Troncos.....	58
4.4.2 Análise das Propriedades de Massa	59
4.4.3 Análise dos Esforços Estáticos.....	62
Capítulo 5: Conclusão	66
Referências Bibliográficas	67
Apêndice	68

Capítulo 1

Introdução

1.1O Cabeçote *Feller*

O cabeçote *feller* é um implemento florestal utilizado em máquinas de médio a grande porte para extração e enleiramento de madeira. Seu princípio básico de funcionamento consiste em extrair árvores realizando o corte do caule seja por esmagamento (tesoura) ou serra a disco (fig. 1).

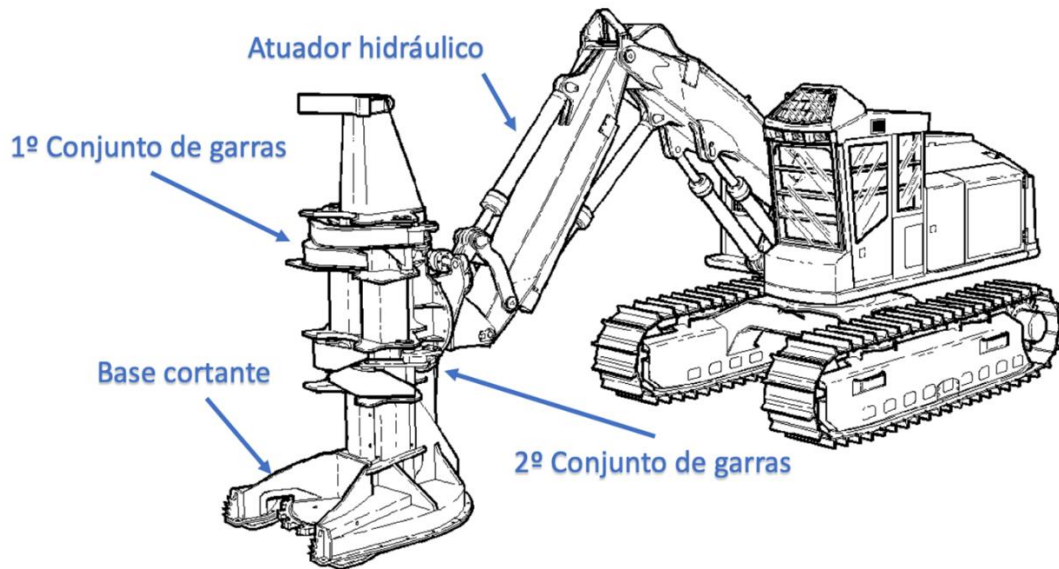
Figura 1 - Tipos de cabeçote feller: [1] modelo XA233 Komatsu (serra a disco) e [2] modelo CFT 50 RODER (tesoura)



Fonte: KOMATSU [1]. Disponível em: <https://www.komatsuforest.com.br/produtos/cabecotes-feller>; RODER BRASIL [2]. Disponível em: <https://www.roderbrasil.com/cabecote-feller>.

Com relação aos principais elementos, o implemento é composto pela base que armazena o elemento cortante (lâmina ou serra a disco) apoiado em uma coluna vertical que suporta dois conjuntos de garras mecânicas articuladas movidas por atuadores hidráulicos (fig. 2). O acessório pode ser acoplado em máquinas do tipo escavadeira, retroescavadeira ou carregadeiras, dependendo do seu peso e aplicação.

Figura 2 - Principais elementos de um cabeçote *feller*



Fonte: FREE CLIPART PICTURES [3]. Disponível em: <https://free-clipart-pictures.com/explore/log-drawing-feller-buncher/>.

A extração de eucalipto é comumente exercida em quadras retangulares com troncos dispostos em eitos – enfileiramento de árvores em uma mesma direção. A escavadeira, posicionada conforme mostra a fig. 3, avança na direção de trabalho extraindo (de acordo com sua capacidade de carga) e enleirando os feixes de troncos à 90°. Essa atividade ocorre em ciclos, sendo que um ciclo corresponde a cortar árvores, enleirar e posicionar novamente a máquina.

Figura 3 - Ciclo de extração do eucalipto - enleiramento dos troncos



Fonte: MODERNA FLORESTAL [4]. Disponível em: http://www.modernaflorestal.com.br/portfolio_3.html.

1.2 Situação Problema

Diante à necessidade da extração do eucalipto, utilizado como matéria prima na produção de carvão destinado à companhias siderúrgicas do Brasil, foi identificado que os modelos de cabeçote *feller* disponíveis no mercado não exercem atividade de extração satisfatoriamente, uma vez que foram identificados relatos dos empreiteiros informando que estes estavam quebrando demasiadamente nesta operação específica.

Na maioria dos casos, os modelos de peso médio (até 2 toneladas) apresentam desempenho inferior ao desejado, alto custo de aquisição e baixa produtividade, coletam de 1 a 3 troncos por ciclo.

A empresa LOCENG, atuante no mercado de locação de máquinas pesadas, por exemplo, fabricou por conta própria um protótipo baseando-se nos modelos atuais deste produto, aplicados como implementos em escavadeiras hidráulicas, com objetivo de suprir no mercado a carência de um acessório mais viável. A primeira versão produzida (fig. 4) se baseou no modelo CDTA-50, cujo desenho técnico contendo suas principais dimensões foi disponibilizado exclusivamente pela fabricante RODER BRASIL, cuja tesoura (como é chamado no meio florestal) possui baixo peso e estrutura de simples fabricação.

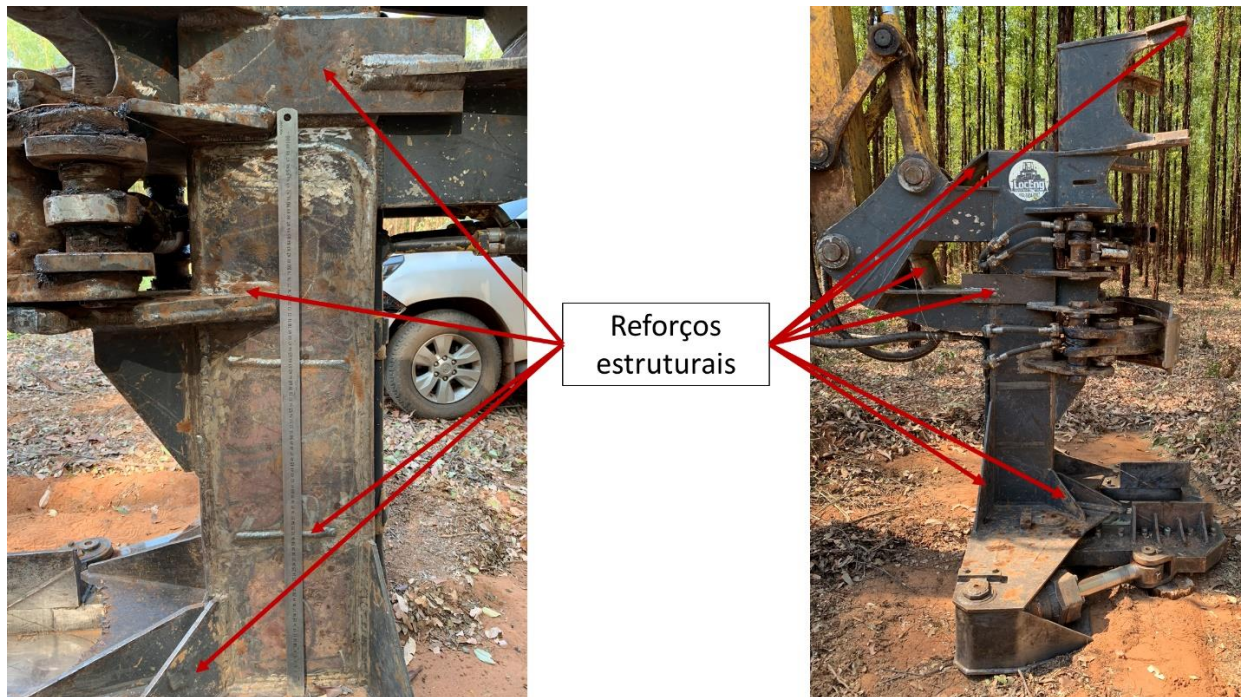
Figura 4 - Representação do cabeçote *feller* em estudo



Fonte: Próprio autor.

A primeira versão projetada, utilizando o modelo CDTA-50 como exemplo, é capaz de extrair 3 unidades de eucalipto com peso médio aproximado de 150 kg e altura de 30 metros por ciclo de operação. Porém, durante o ciclo de vida foram necessárias diversas intervenções estruturais que visaram corrigir trincas e falhas devido à nova situação operacional, algumas delas exemplificadas na fig. 5.

Figura 5 - Pontos de reforço estrutural necessário



Fonte: Próprio autor.

Em um contato prévio com o fabricante e o operador pontuou-se determinadas modificações julgadas necessárias tomando como base as manutenções realizadas ao longo do tempo. Dentre as exigências do projeto estão:

- Redução do peso bruto do cabeçote;
- Aumento da superfície de contato entre a base do tronco e o cabeçote;
- Posicionamento melhorado do apoio superior de forma a não colidir com o braço da escavadeira quando retraído;
- Novo modelo do suporte da lâmina de corte com peso reduzido;
- Desenvolver melhorias ao suporte das garras principais e auxiliares;
- Manter os pontos de articulação do suporte da lâmina de corte inalterados.

1.3 Motivação e Justificativa

Através do contato com a atividade de extração de eucalipto foi possível identificar que operações com implementos de baixo custo, com uma produtividade média de 170 árvores por

hora, não estavam atingindo uma produtividade satisfatória frente aos equipamentos mais sofisticados, capazes de extrair 524 árvores por hora (Esperancini, M. S. T, 2014) [5]. Diante desta demanda em buscar um implemento com melhor custo benefício, surgiu a necessidade em estudar melhorias estruturais no protótipo de baixo custo já produzido pela empresa LOCENG.

Com os resultados deste estudo espera-se que a extração de eucalipto possa ser mais eficiente também com relação ao consumo de combustível e com o aumento para até 95% em disponibilidade do protótipo atual, trazendo redução na emissão de poluentes e maior produtividade para as empreiteiras.

1.4 Objetivos

Assim, este projeto visa realizar o estudo estrutural e operacional de um cabeçote *feller* do tipo tesoura, a fim de propor modificações que permitam o aumento da produtividade de 3 para 5 árvores por ciclo.

Para tanto suporta-se na modelagem 3D da interface pura e simples do cabeçote com seus principais componentes via técnica de desenho assistido por computador. Em sequência, utilizam-se as funções do programa computacional para analisar os esforços estáticos e as tensões do objeto de estudo com o fim de orientar mudanças nas geometrias dos elementos.

Não obstante, as propriedades de massa também são observadas para garantir que o novo cabeçote proposto ainda seja suportado pelos limitantes operacionais da escavadeira hidráulica, possibilitando o aumento da capacidade de carga por meio da redução de seu peso operacional e aumento da resistência estrutural. Complementando este estudo, propõe se também a análise da disposição dos troncos no cabeçote para verificar como a organização/posicionamento destes influencia no centro de massa do conjunto.

De outro modo, pode-se apresentar os objetivos nos itens que seguem:

- Modelagem da interface pura e simples via desenho assistido por computador;
- Análise estrutural:
 - Análise da disposição dos troncos;

- Análise das propriedades de massa;
- Análise estática dos esforços;
- Modificação estrutural:
 - Redução do peso operacional;
 - Modificações para suportar 5 árvores por ciclo.

Capítulo 2

Estudo da Arte

Neste capítulo será apresentado o maquinário necessário para operar o cabeçote *feller*, bem como aspectos importantes acerca do seu funcionamento e modo de operação.

2.1 A Escavadeira Hidráulica

A escavadeira hidráulica PC240LC-8 (fig. 6) é a máquina que opera o implemento em estudo. Ela conta com um sistema hidráulico alimentado por uma bomba do tipo pistão com deslocamento variável que aciona os circuitos da lança, do braço, do implemento, do giro e a esteira de deslocamento.

Figura 6 - Representação Escavadeira Hidráulica PC240LC-8



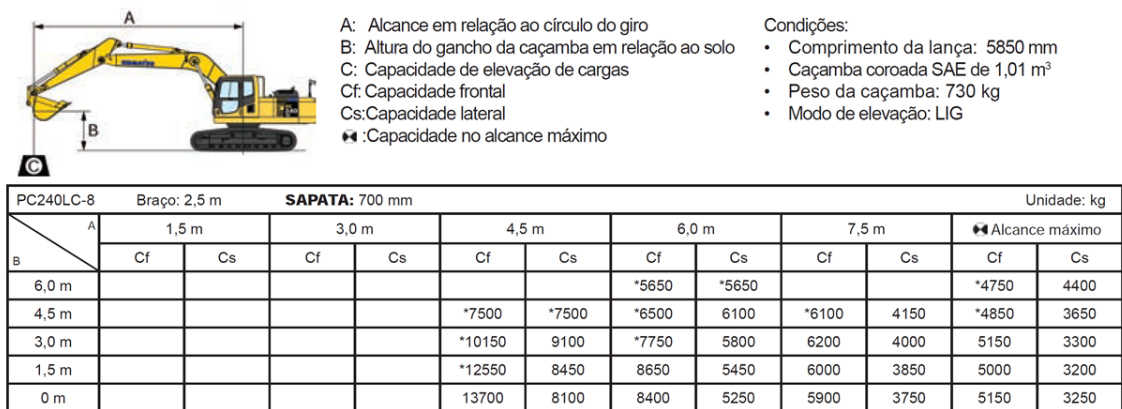
Fonte: KOMATSU [6]. Disponível em: http://www.komatsu.com.br/portal/?p-age_id=231#.XbM79G5FxPY.

(adaptado).

O peso operacional [6] deste modelo é aproximadamente 25.130 kg, exercendo uma pressão sobre o solo equivalente a $0,44 \text{ kg/cm}^2$. A caçamba (fig. 6) original da máquina possui peso mínimo de 730 kg, podendo chegar ao máximo de 1330 kg, dependendo da necessidade do cliente. Sob essas condições, a PC240LC-8 tem como capacidade de elevação de carga entre 3200 kg até 13.700 kg.

Segundo o fabricante, “a limitação da carga se dá em razão da capacidade hidráulica e não da condição de tombamento. Os valores de capacidades nominais são conforme a Norma ISO 10567. As cargas nominais não devem exceder 87% da capacidade hidráulica de elevação ou 75% da carga de tombamento”, conforme os valores apresentados na fig. 7.

Figura 7 - Capacidade de elevação PC240LC-8



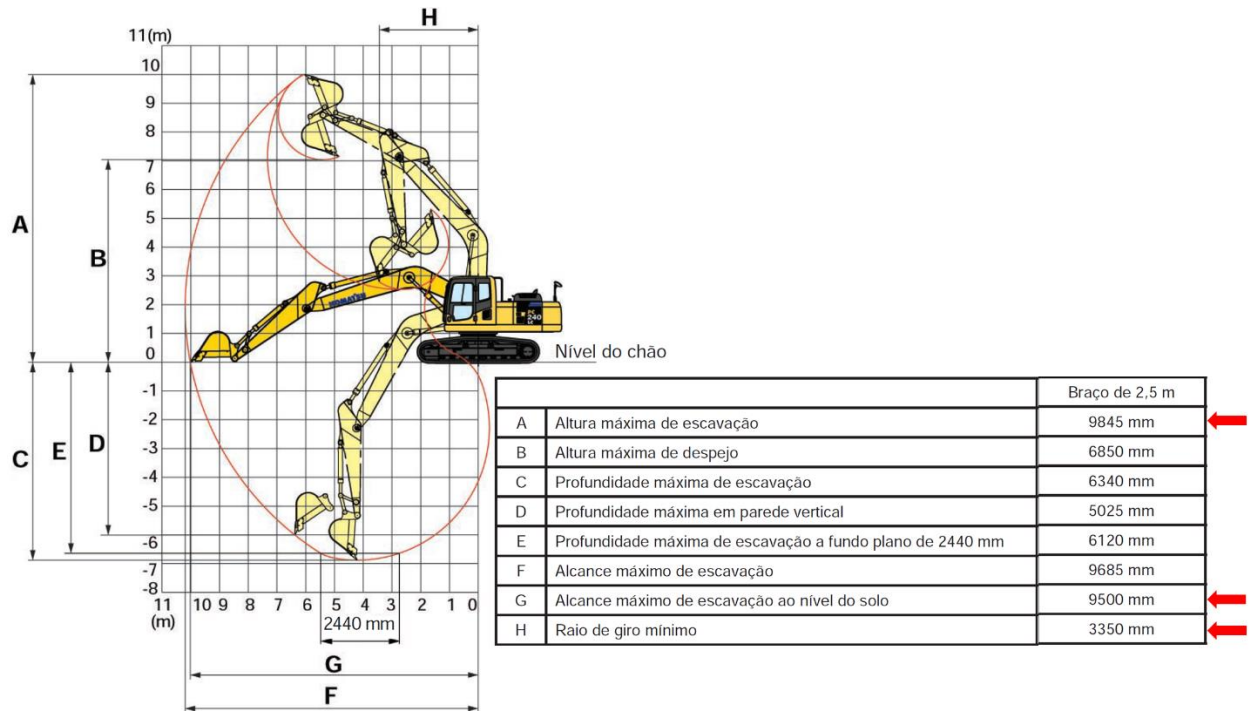
Fonte: KOMATSU [6]. Disponível em: http://www.komatsu.com.br/portal/?page_id=231#.XbM79G5FxpY.

O motor deste equipamento consegue desempenhar de 168 hp a uma rotação nominal de 2000 rpm. Este conjunto alimenta o sistema hidráulico da máquina composto por uma bomba do tipo pistão de deslocamento variável com capacidade máxima de 439 l/min. Para o circuito hidráulico que comanda o implemento utilizado (de interesse neste estudo), o sistema consegue fornecer até 380 kgf/cm^2 (37,3 MPa) de pressão.

Com relação à sua força de operação em potência máxima [6], o cilindro atuador da caçamba fornece 152 kN, capacidade suficiente para manipular os troncos coletados pelo cabeçote em sua capacidade máxima de carga (5 troncos totalizando 750 kg).

De acordo com o fabricante, a faixa operacional [6] da máquina possui um alcance máximo de 9,5 m ao nível do solo e uma altura máxima de 9,8 m, conforme fig. 8.

Figura 8 - Faixa operacional PC240LC-8



Fonte: KOMATSU [6]. Disponível em: http://www.komatsu.com.br/portal/?page_id=231#.XbM79G5FxPY.

Para o presente projeto é relevante apenas as informações destacadas em vermelho na fig. 8, pois são os limitantes operacionais da máquina para a operação realizada utilizando o cabeçote *feller* em estudo. Porém, dificilmente o alcance máximo é utilizado, uma vez que, com base no nível do chão, o implemento é elevado a, no máximo, 2 metros quando com carga máxima para despejo dos troncos coletados no montante.

É importante destacar que a distância H representada na fig. 8 influi diretamente na produtividade da operação. De acordo com a disposição com que os eucaliptos foram plantados, quanto mais próximo a máquina estiver dos mesmos, maior o seu alcance de coleta em mais de um ciclo.

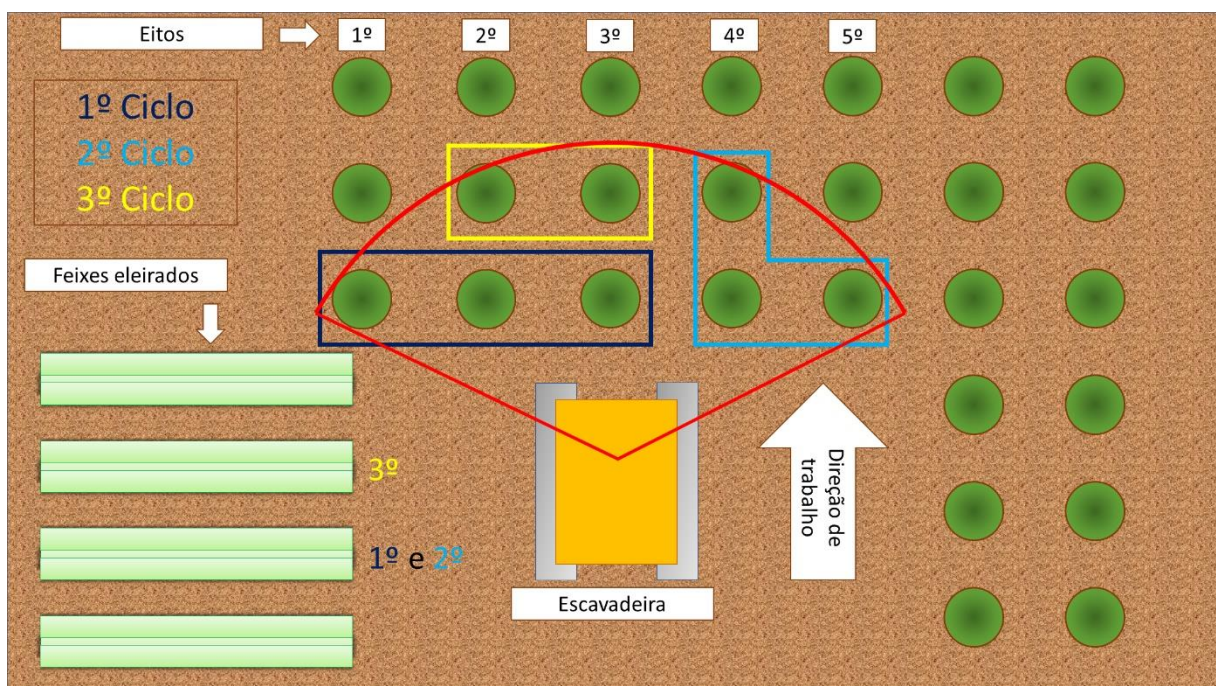
2.2 A Operação

Na situação inicial do problema, um ciclo de colheita corresponde à extração e enleiramento de três unidades de eucalipto dispostos em 5 eitos, como mostra a fig. 9.

Conforme o leiaute da operação, nota-se que a escavadeira consegue atuar no alcance destacado em vermelho com um posicionamento ideal, abrangendo uma área com 5 unidades de árvores. Atualmente, como a produtividade do protótipo fabricado é limitada pela capacidade de carga do cabeçote, extrair 3 árvores por ciclo torna a operação improdutiva, pois interrompe a coleta contínua de 5 árvores que poderia ser feita em um só ciclo. Como os enleiramento é feito com um montante de 5 a 6 troncos, a máquina executa dois ciclos sem se deslocar.

É importante visualizar esse cenário pois, de acordo com um estudo feito pela Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, o bom posicionamento e organização dos feixes evitam que a retomada do ciclo seja interrompida para rearranjar essas árvores enleiradas. Segundo MOREIRA, F.M.T. et al., 2004 [7], interromper o trabalho para posicionar e organizar os feixes ocupa entre 10 a 15% do tempo total do ciclo de operação, refletindo na produtividade.

Figura 9 - Leiaute de operação

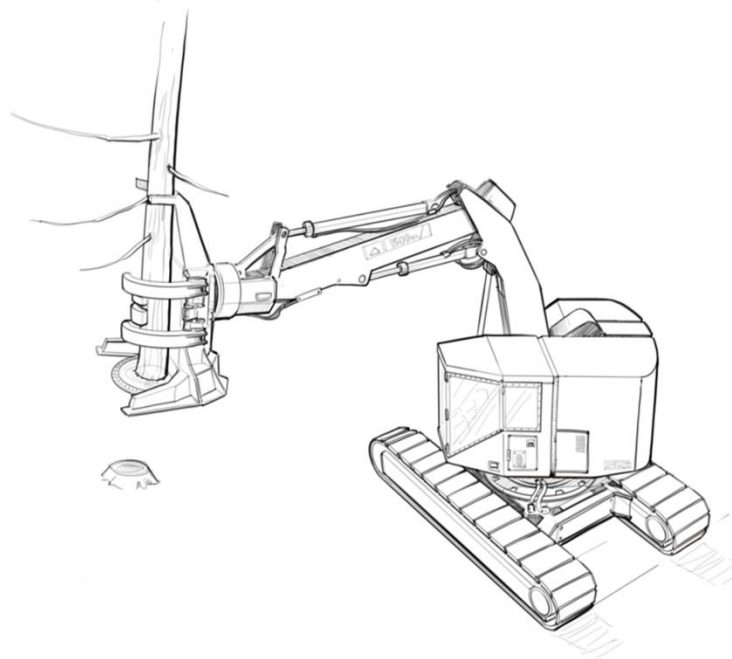


Fonte: Próprio autor.

Basicamente, a operação de colheita consiste em apoiar a base do tronco no cabeçote garantindo sua sustentação enquanto a lâmina ou serra realiza o corte. A fig. 10 exemplifica este comportamento com um tronco.

Como elementos de apoio, o implemento conta com dois pares de garras mecânicas distribuídas ao longo de sua altura acionadas por atuadores hidráulicos, que também acionam a tesoura de corte. Os pares são distinguidos como principais e auxiliares: o primeiro é mais robusto e longo, com capacidade em abranger todo o feixe coletado; o segundo, como o próprio nome diz, é utilizado para garantir o apoio dos troncos na ausência das garras principais.

Figura 10 - Operação de um cabeçote com disco de corte



Fonte: FREE CLIPART PICTURES [4]. Disponível em: <https://free-clipart-pictures.com/explore/log-drawing-feller-buncher/>.

A fig. 11 exibe as etapas desta operação destacando o posicionamento do implemento diante ao tronco e a condição dos mecanismos atuantes para melhor demonstrar o funcionamento do cabeçote em campo.

Quando posicionado frente ao primeiro tronco com todos os mecanismos abertos (fig. 11a), ambos conjuntos de garras, principais e auxiliares, se fecham para garantir sustentação ao

tronco. Ao fim de curso dos atuadores destes mecanismos, o pistão hidráulico da tesoura é acionado fechando e realizando o corte (fig. 11b).

Assim que removido o primeiro tronco, o cabeçote é direcionado e novamente posicionado frente a outro. Neste momento a tesoura é novamente aberta ao mesmo tempo que o conjunto principal de garras, enquanto o primeiro tronco permanece apoiado pelo conjunto auxiliar (fig. 11c). Assim que cortado, o conjunto auxiliar abre para apoiar o segundo tronco e um novo ciclo de coleta se inicia (fig. 11d).

Figura 11 - Etapas do processo de colheita



Fonte: Próprio autor.

Uma vez finalizada a colheita de um ciclo, o implemento direciona a base dos feixes de árvores em 90°, com relação à escavadeira, formando o enleiramento e encerrando um ciclo de operação. Na condição atual, a produtividade da operação colhendo 3 árvores por ciclo equivale a 170 troncos por hora.

Capítulo 3

Metodologia

Para modelagem e simulação no programa computacional de desenho assistido por computador é necessário coletar informações referentes à geometria do cabeçote *feller* utilizado em campo, para tanto utiliza-se pesquisa em campo. Destaca-se que anterior à pesquisa em campo realiza-se várias buscas acerca do uso e operação deste implemento na indústria. O interesse principal nesta etapa consiste em entender o funcionamento, avaliando a interface e geometria dos diversos tipos de modelos disponíveis no mercado.

3.1 Pesquisa em Campo

Para a pesquisa em campo, realizou-se a visita no local de operação do cabeçote em estudo para coleta das dimensões de seus elementos principais. A fim de mensurar as dimensões de interesse os seguintes instrumentos de medição são utilizados:

- Paquímetro digital, modelo DIGIMESS com resolução de 0,01 mm;
- Régua escala de aço inox 1000 mm com resolução de 0,1 mm – VONDER;
- Régua escala comum 300 mm com resolução de 0,1 mm – GENÉRICO;

Além dos itens listados, necessita-se de uma prancheta de tamanho A4 para anotar as informações. Destaca-se que equipamentos de proteção individual como capacete, óculos e bota com ponteira de ferro também são necessários para permanecer em segurança próximo ao sistema mecânico de estudo.

3.2 Modelagem

De posse dos dados geométricos, pôde-se desenhar os elementos que compõem o cabeçote. Para essa atividade utiliza-se o programa de desenho assistido por computador *SolidWorks*® [8], que possui ferramentas para o desenho 3D, bem como permite a montagem e a simulação estática dos componentes.

Na etapa de montagem das peças consideram-se corpos distintos, ou seja, não há mesclagem de dois elementos diferentes formando um só. Objetiva-se com este recurso representar a fixação dos corpos através da soldagem, uma vez que este é o método de união utilizado no cabeçote.

Para o estudo em questão, análise da interface pura e simples, omite-se durante a construção do modelo 3D itens como: remendos e reforços na estrutura do suporte de acoplamento do braço e na coluna vertical; nervuras de apoio da base da coluna vertical; parafusos, porcas e arruelas. Também, considera-se a interface simples dos atuadores da tesoura, apenas as suas dimensões principais são modeladas.

Em sequência é necessário definir o material associado ao conjunto modelado. Utiliza-se o aço 1020 para todos os componentes, exceto a lâmina de corte que é constituída por um aço mais resistente. As propriedades mecânicas desses materiais são selecionadas pelo *SolidWorks*® e basta o usuário selecioná-la e vinculá-la às peças.

Por fim, pode-se analisar as propriedades de massa dos elementos individuais e elencar os mais influentes na estrutura. As propriedades analisadas são: massa, centro de massa e momento de inércia de massa. A primeira permite avaliar o peso da estrutura e quais componentes são elegíveis para sofrerem alterações na geometria e reduzir a massa na estrutura. Já as duas últimas propriedades auxiliam no estudo do movimento de rotação do cabeçote com troncos.

3.3 Simulação

A análise estática possibilita avaliar no cabeçote modelado as regiões mais críticas pelo estudo da tensão equivalente, cuja aplicabilidade científica foi comprovada pelo estudo realizado por CARVALHO, P.R. et al., 2014 [9] utilizando um modelo de alumínio. Enquanto o estudo da massa aponta as peças, a análise de tensão é a ferramenta que permite avaliar se as modificações nos elementos são seguras.

Para a análise de tensão no *SolidWorks*® é necessário definir as condições de contorno, as quais envolvem forças externas e a fixação da geometria. As forças externas são representadas pelo peso dos troncos de eucalipto e o peso próprio da estrutura, para isso as propriedades de massa do tronco devem ser obtidas e a função que simula a gravidade na análise

numérica de valor igual a $9,81 \text{ m/s}^2$ necessita estar ativa. Por sua vez, a geometria é considerada fixa no suporte do braço, sendo este é o elemento estrutural que faz ligação do atuador hidráulico e o braço da escavadeira com o cabeçote *feller*.

Referente a geração da malha, o *SolidWorks*® permite configurar, por exemplo, o tipo e tamanho dos elementos. No estudo do cabeçote utiliza-se a configuração padrão de elementos com 4 pontos Jacobianos sendo alto o fator para a qualidade de malha. A base matemática que calcula e determina como ocorre a criação das malhas é explicada por LEINAT, Fabrício [10].

Um outro recurso incluso no programa computacional refere-se à ferramenta “percepção de projeto”, que permite visualizar onde a carga aplicada é suportada com mais eficiência pelo material e qual região (exibida de forma translúcida no resultado) pode ser removida com maior confiança para atingir um projeto com peso reduzido.

Todas as considerações são estabelecidas visando, prioritariamente, uma análise qualitativa da estrutura, auxiliando na visualização dos pontos fracos e fortes do projeto e direcionando a análise aos locais mais relevantes.

Capítulo 4

Resultados e Análise

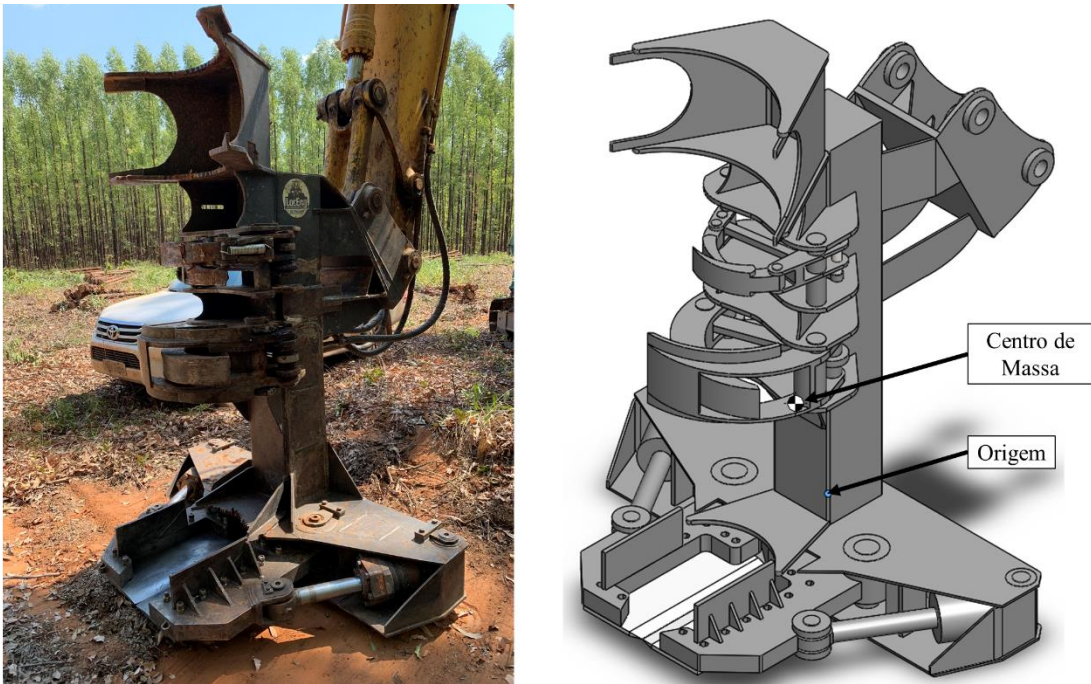
Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos ao longo do estudo realizado, bem como a análise destes dados.

4.1 Modelagem da Interface Pura e Simples no *SolidWorks*®

Conforme supracitado na metodologia, a montagem final do cabeçote *feller* utilizado em campo é feita a partir da modelagem de seus componentes individualmente no programa computacional *SolidWorks*®. Por meio do desenho técnico disponibilizado exclusivamente pela fabricante de implementos florestais, Roder Brasil, sob autorização do gerente comercial, foi possível obter as principais dimensões, bem como o peso e o material utilizado na fabricação do modelo CDTA-50, similar ao utilizado em campo.

Durante esta etapa, busca-se respeitar as principais relações e posicionamentos entre os elementos dos mecanismos de fechamento, além da abertura das garras e da tesoura. A fig. 12 exibe uma comparação entre o modelo real e a versão construída no programa computacional.

Figura 12 - Modelo real e modelo 3D via *SolidWorks*®

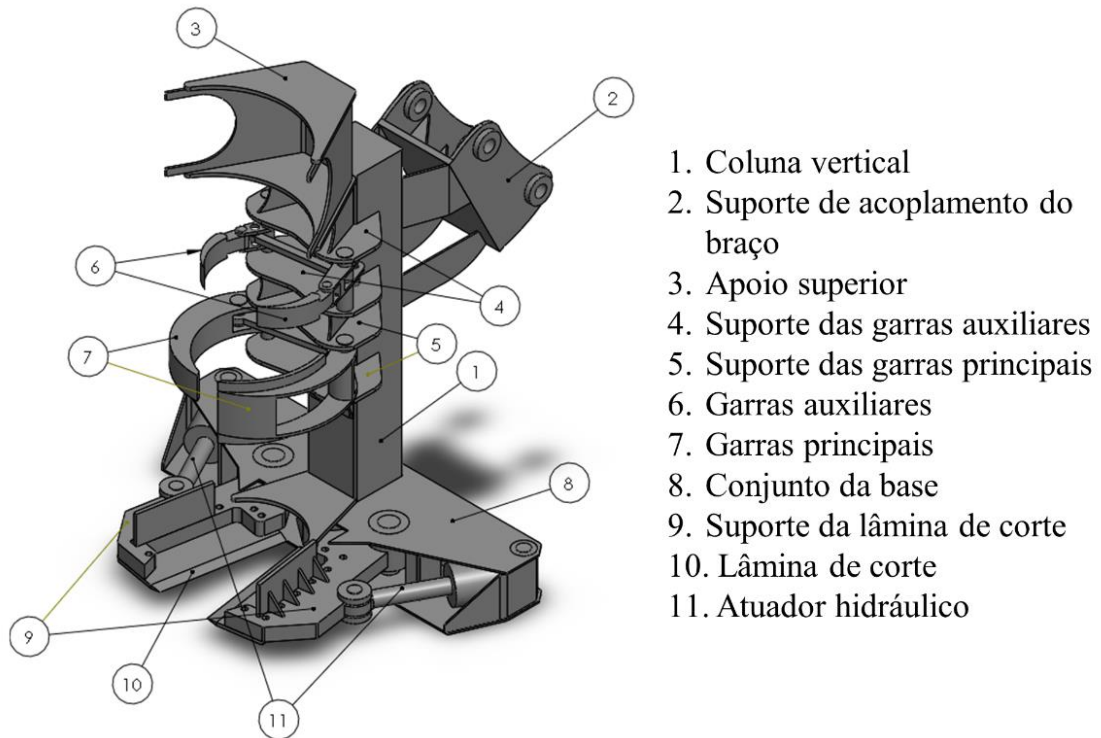


Fonte: Próprio autor.

De modo geral, o modelo 3D (Apêndice B) é bastante semelhante ao cabeçote físico mensurado. Atentando-se aos detalhes, é possível notar a ausência de alguns itens que são omitidos propositalmente por serem considerados irrelevantes ao estudo. Muitos deles são inseridos com intuito de reforçar pontos frágeis da estrutura que trincaram com o tempo de uso. Assim, é possível evitar qualquer influência destes reforços na interface pura e simples do cabeçote. Vale ressaltar que algumas peças tiveram suas dimensões aproximadas baseando-se na interpretação do autor, buscando sempre respeitar as dimensões máximas do implemento físico.

A fig. 13 exhibe o esboço destacando os principais elementos que compõem o acessório, que serve de referência para identificá-los ao longo do texto.

Figura 13 - Primeira versão do cabeçote *feller* modelado



Fonte: Próprio autor.

4.2 Análise Estrutural

As análises e simulações realizadas no projeto piloto objetivam o estudo de possíveis modificações estruturais que incrementam sua produtividade e reduzem o tempo de manutenção, que atualmente ocorrem a cada 1200 horas trabalho. Para isso são feitas análises do comportamento operacional do cabeçote, sua propriedade de massa e a dos elementos mais influentes. Por fim, também é feita a análise estática dos esforços envolvidos na operação de extração de eucalipto de maneira simplificada.

4.2.1 Análise da Disposição dos Troncos

Neste tópico é mostrado o efeito dos troncos no cabeçote, bem como a influência na posição do centro de massa global. Para este fim, fez-se uma estimativa das propriedades de

massa dos eucaliptos plantados na quadra que o cabeçote atualmente opera. Com uma amostragem de 10 árvores, obteve-se os dados exibidos na Tabela 1.

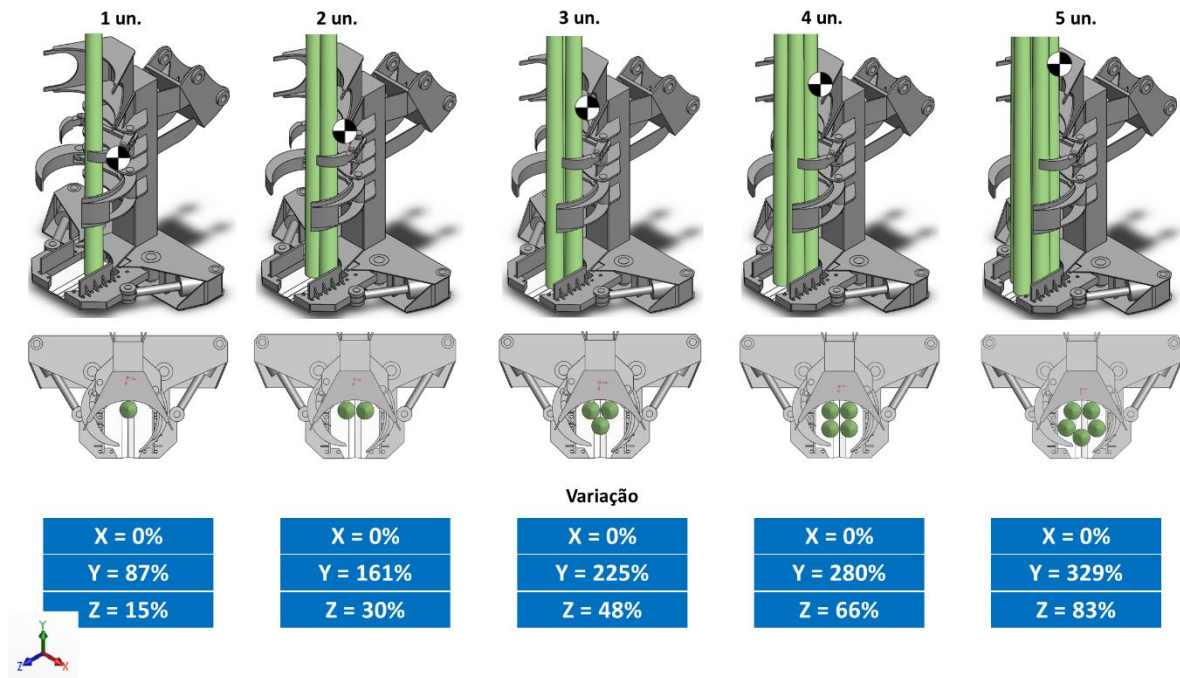
Tabela 1 - Propriedades de massa do eucalipto

Comprimento (m)		30
Diâmetro tronco base (mm)		174
Massa (kg)		158
Densidade (kg/m³)		800
Centro de Massa (m)		
	X	0,00
	Y	6,06
	Z	0,50
Influência na massa total por unidade		8%

Fonte: Próprio autor.

Objetivando aproximar a geometria do elemento simulado à do eucalipto real, o tronco foi modelado com formato cônico. Pode-se obter uma estimativa da variação do comportamento do centro de massa global do conjunto ao adicionar até 5 unidades por ciclo. Calcula-se que cada tronco coletado aumenta o peso total em cerca de 8 %. A variação da posição no plano cartesiano do centro de massa por unidade inserida é observada na fig. 14.

Figura 14 - Variação da posição do centro de massa por unidade



Fonte: Próprio autor.

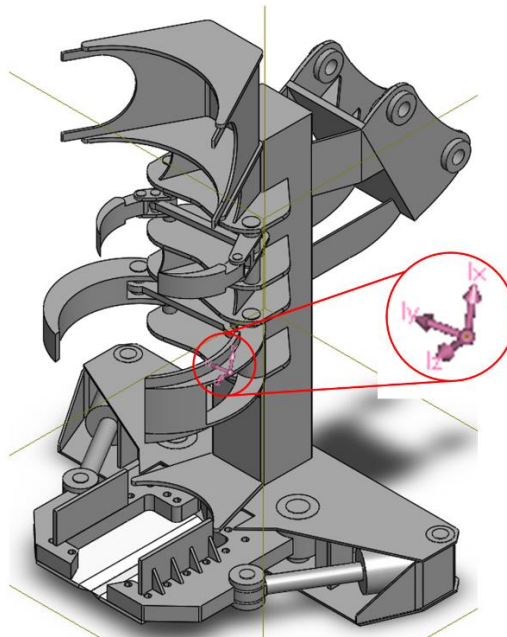
Para um posicionamento planejado e simétrico, a variação no eixo X do centro de massa é insignificante com o aumento no número de troncos. No entanto, para o eixo Y o aumento na posição do centro de massa é significativo chegando ao máximo de 329% com relação à sua posição inicial. Apesar do cabeçote possuir um peso considerável, o peso distribuído ao longo do comprimento do tronco eleva bastante o centro de massa geral. Por sua vez, o eixo Z apresenta uma variação menor em relação ao eixo Y. De qualquer modo, a variação do centro de massa implica em maiores esforços e momentos na estrutura de acoplamento do cabeçote ao braço da escavadeira, o que pode requerer reforço no suporte do braço.

4.2.2 Análise das Propriedades de Massa

Nesta análise não é considerada a presença do sistema hidráulico nas garras do cabeçote pois possuem dimensões pequenas e nem do fluido que o compõe. No entanto, são considerados os atuadores das lâminas de corte devido à dimensão considerável.

A fig. 15 e a tab. 2 mostram a posição do centro de massa com os eixos principais de inércia e a propriedades de massa obtidas para o primeiro modelo dimensionado no *SolidWorks*®.

Figura 15 - Eixos de inércia do cabeçote *feller*



Fonte: Próprio autor.

Tabela 2 - Propriedades de massa do cabeçote consolidado

Massa (kg)		1801
Centro de Massa (m)		
	X	0,00
	Y	0,51
	Z	0,18
Momentos de Inércia Principais (kg/m²)		
	Px	552,25
	Py	1253,14
	Pz	1299,54

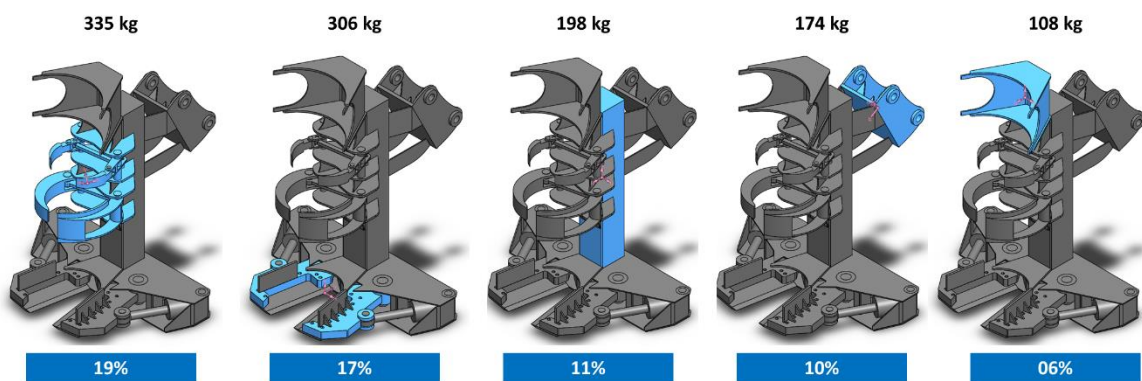
Fonte: Próprio autor.

Comparando o peso obtido no modelo virtual, de 1801 kg, com o modelo CDTA-50 fornecido pela Roder Brasil de 1500 kg feito em aço DOMEX 700, evidencia que as dimensões aplicadas são próximas à realidade. Onde o peso do cabeçote piloto se torna maior pela presença de modificações complementares, como o apoio superior, maior espessura de algumas chapas e uso do aço 1020.

Os valores dos momentos de inércia principais do conjunto mostram que o cabeçote tem mais facilidade em rotacionar em torno dos eixos I_y e I_z . Dentre estes, o valor de P_y é o de maior interesse ao estudo em questão pois tem relação direta com o movimento de descarga do feixe de árvores, que é realizado ao rotacionar o cabeçote em torno do eixo I_y . Quanto maior o valor de P_y , maior é o esforço hidráulico exercido pela escavadeira, pois se torna mais difícil exercer essa rotação, bem como resistir ao movimento durante a operação de descarga.

A fig. 16 exibe a influência da massa dos elementos de maior participação no cabeçote, e, portanto, os passíveis de modificações na redução da massa total do cabeçote.

Figura 16 - Influência em massa dos principais componentes no projeto consolidado



Fonte: Próprio autor.

Toda a estrutura que comporta as garras principais e auxiliares (suportes, pinos e hastes) tem a maior influência (19%), com 335 kg. Este valor deve-se, além das dimensões das garras, à espessura das chapas dos suportes: 4 chapas com 10 mm de espessura.

Com 17%, ambos suportes das lâminas de corte somaram 306 kg em massa. Por ser um elemento de composição maciça com 3 polegadas de espessura, o peso do conjunto provoca desgaste nos espaçadores do pino de fixação destes elementos à base, conforme relatado pelo

operador, sendo necessárias manutenções periódicas para troca dos anéis desgastados. Acredita-se que a fabricação do suporte com essas condições deve-se à necessidade de uma estrutura sólida e firme para garantir a precisão no corte da árvore.

A coluna vertical, constituída pelo dobramento de uma chapa plana com 10 mm de espessura, possui um reforço estrutural interno composto por 5 chapas planas igualmente espaçadas ao longo de seu comprimento. Com o mínimo necessário para suportar os elementos sob ela fixados, a coluna vertical representa 11% do peso total.

Já o suporte de acoplamento do braço (fig. 13), que faz a ligação entre a escavadeira hidráulica e o cabeçote *feller* também tem um peso significativo (174 kg), desconsiderando as chapas planas que unem este à coluna vertical do cabeçote. Tal valor está associado à espessura da chapa com que este elemento foi fabricado: 30 mm na base e 20 mm nas laterais. Além de contar com 4 nervuras que garantem a rigidez estrutural do conjunto.

No cabeçote físico observa-se diversas remendas nas chapas que unem o suporte de acoplamento do braço à coluna vertical devido ao surgimento de trincas que podem comprometer a estrutura como um todo. Portanto, estima-se que a influência deste componente seja maior que os 10% calculado no modelo 3D.

Por fim, o elemento principal de menor influência (6%) tem-se o apoio superior com 108 kg feito de chapas com 15 mm de espessura com objetivo de suportar os troncos durante a colheita e garantir o apoio destes durante o descarregamento: situação na qual o apoio superior é mais submetido a forças externas.

4.2.3 Análise Estática dos Esforços

Conforme supracitado na metodologia, as simulações foram realizadas com as mesmas condições: sob a influência da gravidade com ponto de fixação nos pinos que liga o braço da escavadeira ao suporte de acoplamento. A fig. 17 mostra os detalhes da malha gerada automaticamente pelo programa computacional quando configurado para gerar com o maior número de elementos capazes de abranger todo o conjunto.

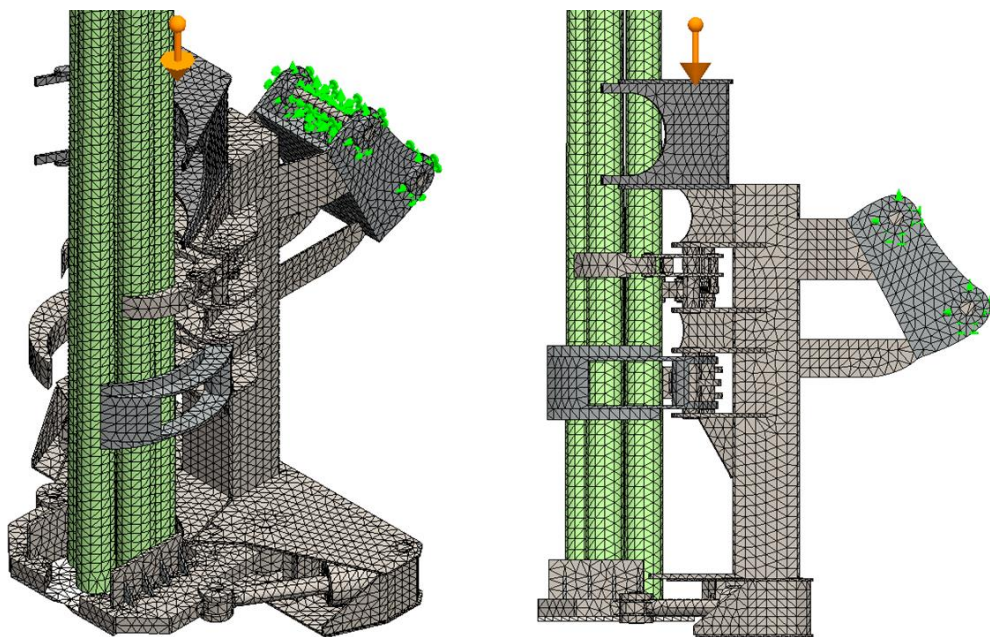
Figura 17 - Detalhes e propriedades da malha criada

Malha Detalhes	
Nome do estudo	Análise estática 2 [-Valor predeterminado-]
Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado	Malha padrão
Transição automática	Desativada
Incluir loops de malha automáticos	Desativada
Pontos Jacobianos	4 pontos
Tamanho do elemento	46.4471 mm
Tolerância	2.32235 mm
Qualidade da malha	Alta
Total de nós	254179
Total de elementos	136547
Proporção máxima	171.36
Porcentagem de elementos com Proporção < 3	74.5
Porcentagem de elementos com Proporção > 10	1.08
% de elementos distorcidos (Jacobiana)	0
Refazer malha de peças falhas com malha incompatível	Desativada
Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss)	00:00:40
Nome do computador	

Fonte: *SolidWorks*®, 2016.

Nota-se para a malha padrão do tipo sólida são gerados 136547 elementos com 46,4 mm de tamanho, 2,3 mm de tolerância e sem a necessidade de distorção. A malha resultante para o cabeçote com os troncos é ilustrada na fig. 18.

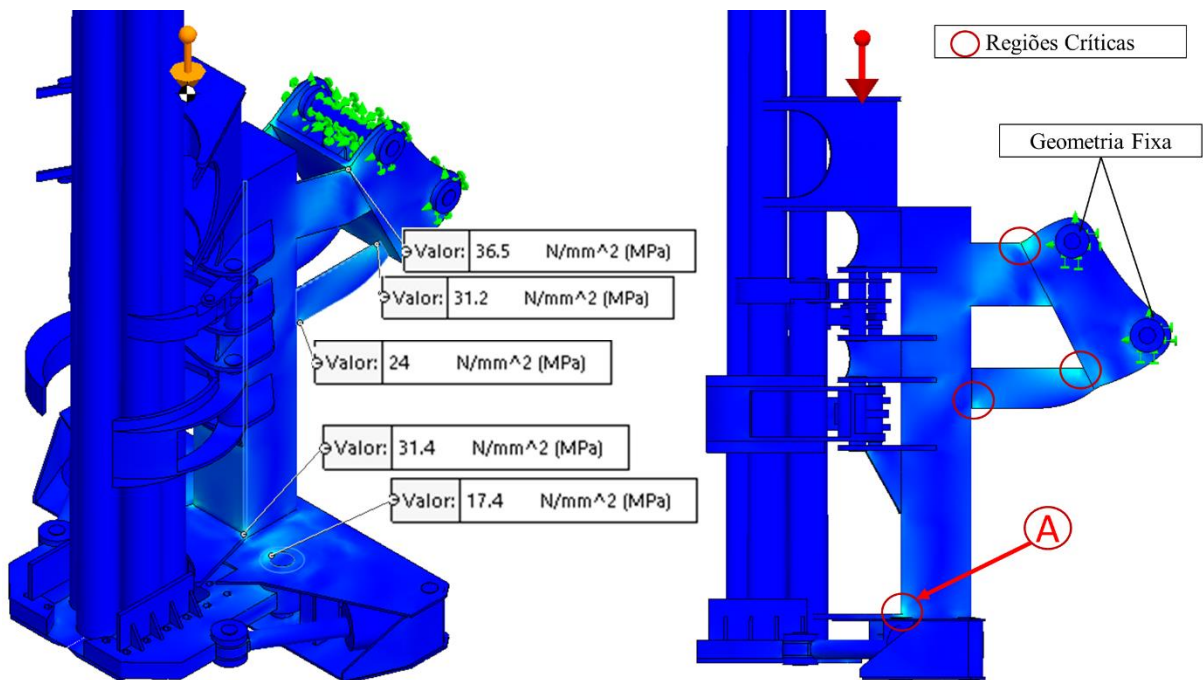
Figura 18 - Resultado da malha gerada



Fonte: Próprio autor.

A fig. 19 mostra o resultado da tensão equivalente de von Mises presente no cabeçote submetido à carga de 5 árvores (condição máxima e proposta como objetivo do trabalho) sob a influência da gravidade (considerada igual a $9,81 \text{ m/s}^2$), produzindo uma força de reação na direção Y equivalente a 26 kN.

Figura 19 - Resultado da análise estática



Fonte: Próprio autor.

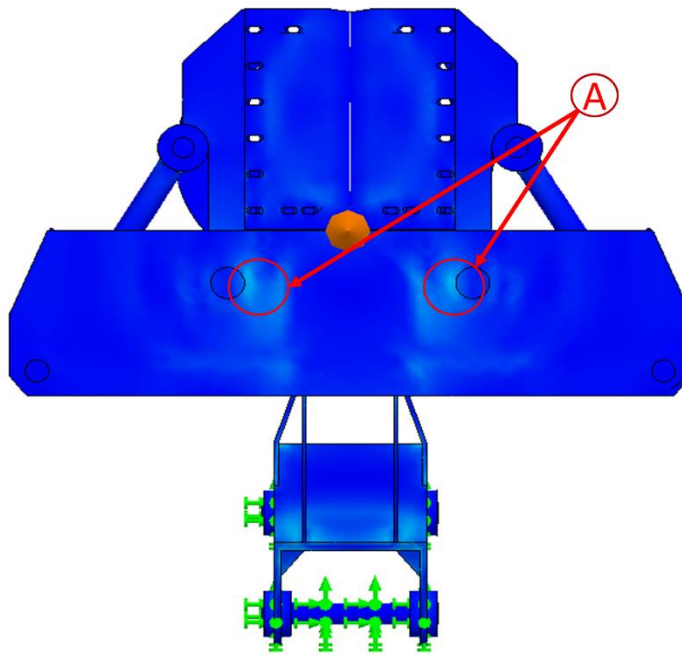
Por meio da análise qualitativa busca-se determinar as regiões mais propensas a falhas mecânicas. Na fig. 19 os pontos críticos (apontados por círculos em vermelho) são notados próximos à região de fixação entre o suporte de acoplamento do braço e a coluna vertical.

Durante a inspeção do cabeçote físico, também é detectada a presença de trincas e remendos nos pontos circulosados em vermelho, o que evidencia a criticidade destas regiões no projeto piloto. Dessa forma, pela análise estática constata-se a fragilidade na superfície de apoio que une o suporte de acoplamento do braço e a coluna vertical.

Nota-se a presença de regiões críticas na união entre a chapa superior do conjunto da base com a coluna vertical (ponto A), porém ao comparar com o cabeçote físico não foi detectada a presença de trincas ou evidências de deformação.

Ainda, no modelo físico relata-se indícios de deformação na borda do furo que acopla o pino principal ao suporte de lâmina. Esta fragilidade é correlata com o fabricante do modelo piloto que com alta frequência realiza a troca das juntas, cujas se desgastam com o movimento do suporte devido a carga. Na fig. 20, apresenta uma vista inferior do cabeçote simulado a fim de observar a região propensa a falha.

Figura 20 - Vista inferior do cabeçote

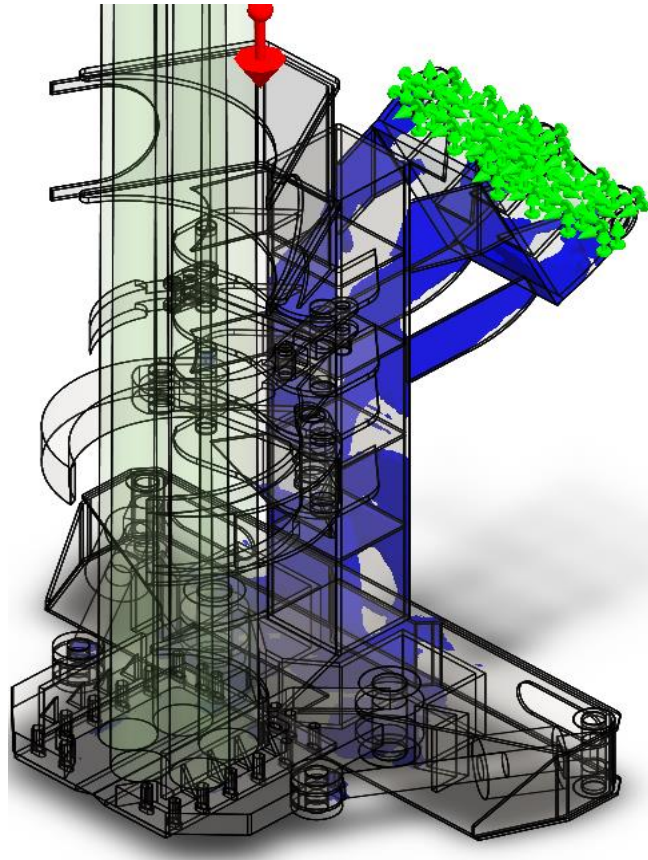


Fonte: Próprio autor.

Nota-se na fig. 20 a coloração mais intensa nas proximidades do furo com pino. Próximo às lâminas de corte é possível observar a influência do peso próprio dos troncos que, mesmo sob a carga máxima de 5 unidades, não é significativa. Associa-se as tensões baixas às características deste elemento, material laminado com 15 mm de espessura e extremidades de corte afiadas a cada dois dias com uma esmerilhadeira.

Assim, a análise estática permite observar as regiões mais críticas no conjunto cabeçote. No entanto, com o intuito de destacar melhor essas regiões, parte-se para a análise de percepção do projeto, cuja baseada nas tensões limitantes dos materiais apresenta apenas as partes propensa à falha. Na fig. 21 apresenta-se a percepção do projeto do cabeçote modelado.

Figura 21 - Percepção de projeto do cabeçote



Fonte: Próprio autor.

Nota-se que as chapas que unem o suporte do braço e a coluna vertical estão destacadas em azul juntamente com grande parte da coluna vertical, destacando onde a carga aplicada é mais suportada pelo material. Com essa perspectiva é possível determinar os componentes que necessitam de maior resistência, ou explorar àqueles que estão superdimensionados e permitem modificações.

4.3 Modificação Estrutural

Com base na análise da distribuição dos troncos, das propriedades de massa e dos esforços estáticos envolvidos no modelo piloto do cabeçote *feller* são estudadas algumas modificações com intuito de reduzir o peso e aumentar a resistência estrutural.

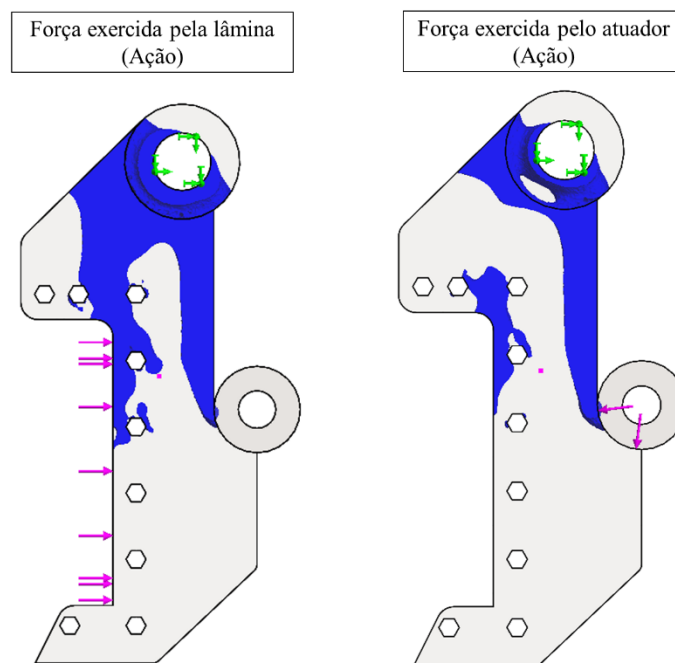
4.3.1 Redução do Peso Bruto

4.3.1.1 Suporte da Lâmina de Corte

Como segundo componente mais influente, o suporte da lâmina de corte (153 kg cada) apresenta cargas geradas pelo atuador hidráulico da base (força motriz de corte), peso próprio dos componentes, peso das árvores apoiadas na superfície da lâmina fixada ao suporte e força de reação que a lâmina transmite quando realiza a penetração no tronco.

Inicialmente é realizada a simulação na estrutura principal deste componente, conforme fig. 22. Considera-se a região do pino de apoio como geometria fixa, bem como as forças de ação e reação que atuam durante a operação de corte e o peso próprio do elemento.

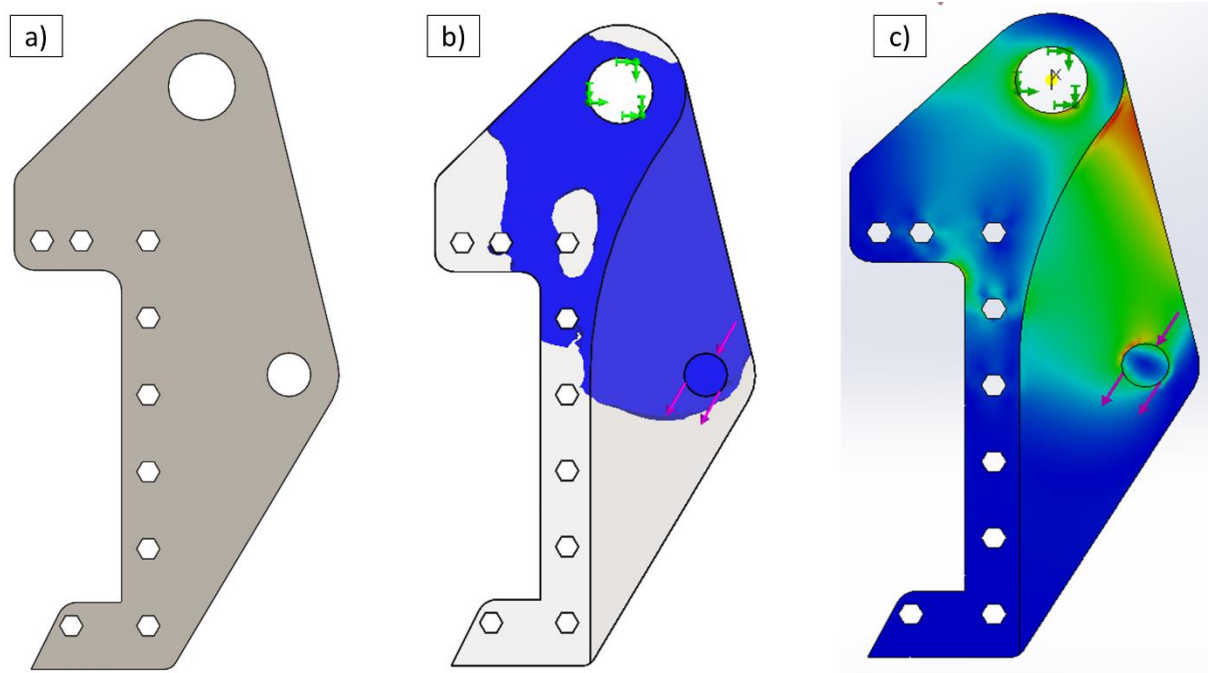
Figura 22 - Percepção de projeto do suporte da lâmina de corte



Fonte: Próprio autor.

Na fig. 22 apresenta-se as regiões que mais suportam as cargas aplicadas, então estas devem ser mantidas ou mais bem distribuídas para satisfazer as condições de operação. Visando avaliar a distribuição destas cargas é realizado o estudo mostrado na fig. 23 com uma parcela considerável de material interno removido.

Figura 23 - Primeira versão da modificação proposta. a) Interface; b) Percepção de projeto; c) Tensão de von-Mises

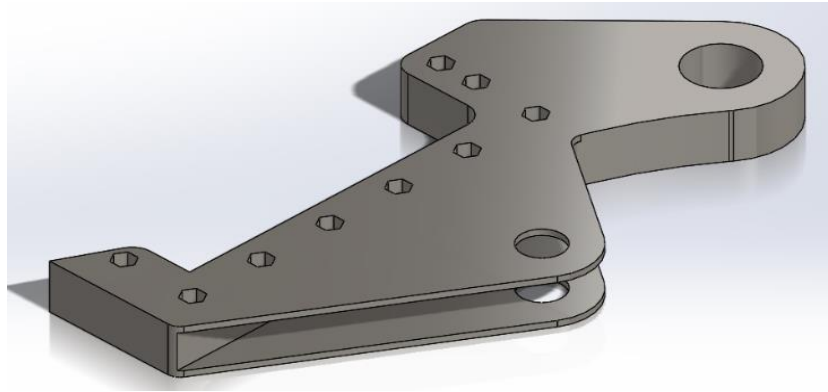


Fonte: Próprio autor.

A fig. 23a mostra a nova interface proposta com a extremidade de fixação do pino do atuador hidráulico composta por um vão entre chapas de 50 mm, permitindo a redução de 50 kg (cerca de 33% em massa) devido a remoção de parte da espessura do componente. Porém, pelas figs. 23b e 23c (em corte) nota-se que a redução de massa torna as chapas mais finas e cria regiões críticas passíveis de falha.

Uma vez que este estudo é apenas estático, este cenário se torna mais crítico quando submetido a cargas dinâmicas, tornando inviável este tipo de alteração no projeto. Então é avaliada uma segunda versão, mostrada na fig. 24.

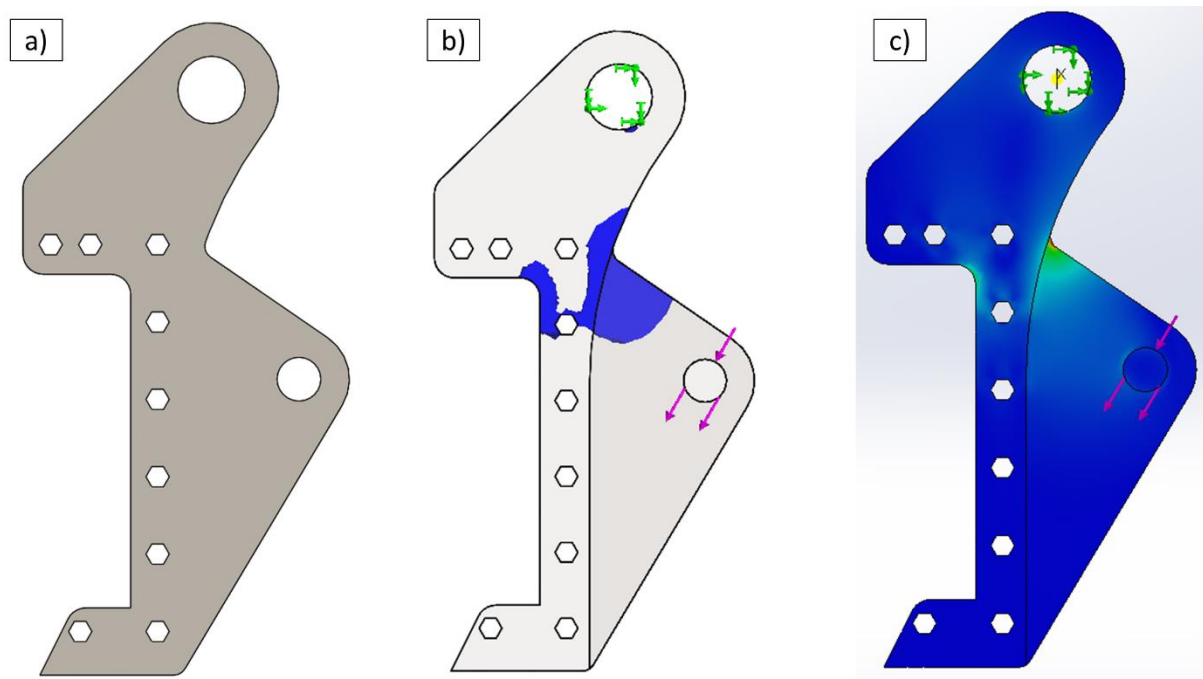
Figura 24 - Vista isométrica da segunda versão modificação proposta



Fonte: Próprio autor.

A princípio a solução aparenta ser bastante eficiente já que as cargas agora seriam suportadas somente pela região mais espessa localizada próximo ao pino do suporte, sendo as chapas utilizadas somente como meio de suporte à haste do pistão hidráulico. A interface, percepção do projeto e tensão equivalente de von Mises são expostas na fig. 25.

Figura 25 - Segunda versão da modificação proposta. a) Interface; b) Percepção de projeto; c) Tensão de von-Mises



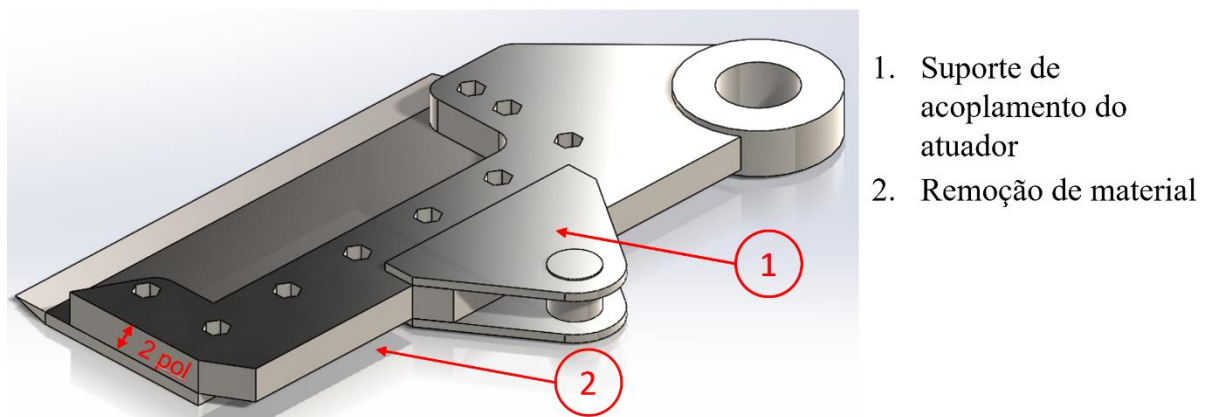
Fonte: Próprio autor.

Conforme os resultados da fig. 25, a simulação apresenta uma forte concentração de tensão em uma só região de largura mínima no projeto. Apesar de reduzir 5 kg a mais que a primeira versão (36% comparado à versão piloto), na prática esta nova ideia não atenderia à necessidade do projeto. Diante do exposto, não se dá sequência no estudo das demais cargas para o componente proposto.

A fim de buscar novas geometrias de estudo realiza-se uma nova investigação em campo juntamente com o responsável pela fabricação do cabeçote piloto. O estudo é orientado pela busca de modelos de suporte da lâmina de corte presente em cabeçotes *feller* produzidos por outras fabricantes. As discussões e sugestões resultantes visam não interferir muito na interface, mas atentam na redução do peso, e são apresentadas a seguir.

O estudo avalia a segurança do componente na redução da espessura de 3 para 2 polegadas; na remoção de material das regiões que menos recebem carga; e novo modo de acoplamento da haste do atuador ao restante do elemento. O resultado obtido, já com a montagem da lâmina de corte e o pino de fixação da haste, pode ser visualizado na fig. 26 e seu desenho técnico com as principais dimensões pode ser consultado no Apêndice C.

Figura 26 - Versão final da modificação proposta

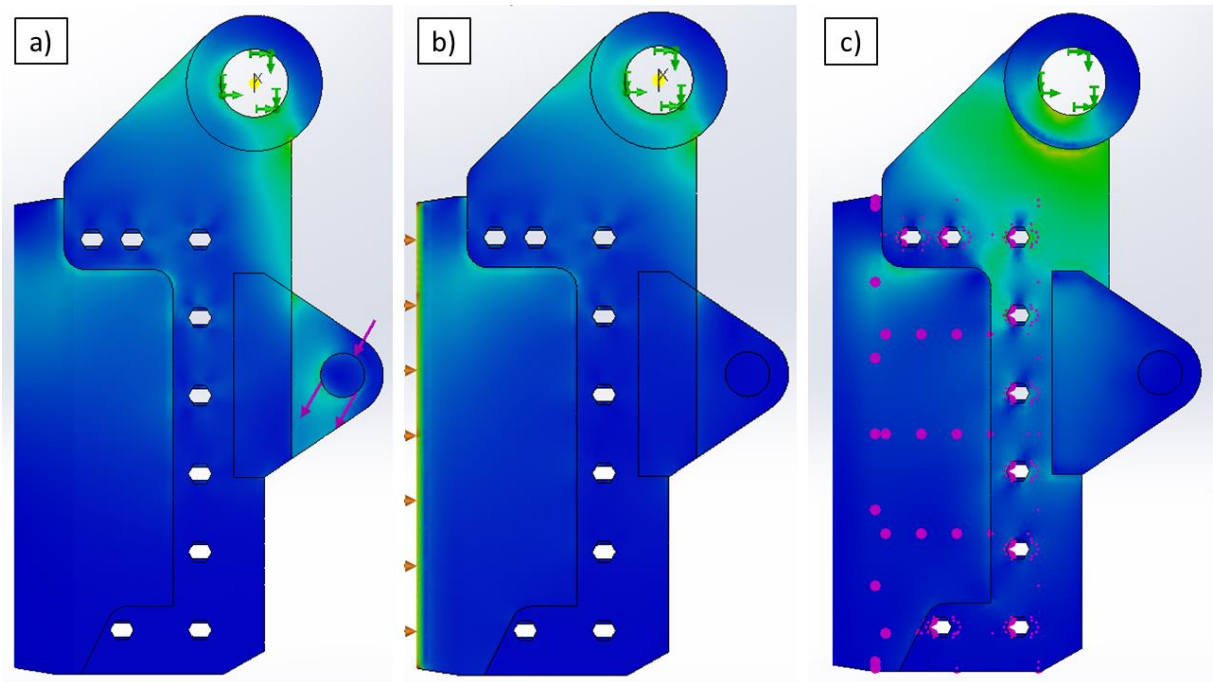


Fonte: Próprio autor.

Eliminando as partes móveis, todo o elemento pesa 87 kg, redução de 43% em massa quando comparado à versão inicial, o que mostra a grande influência em massa que a redução de 1 polegada na espessura provoca. Além de contar com um modo de acoplamento mais leve,

a segurança do componente é garantida (fixado por solda), conforme mostram as simulações exibidas na fig. 27.

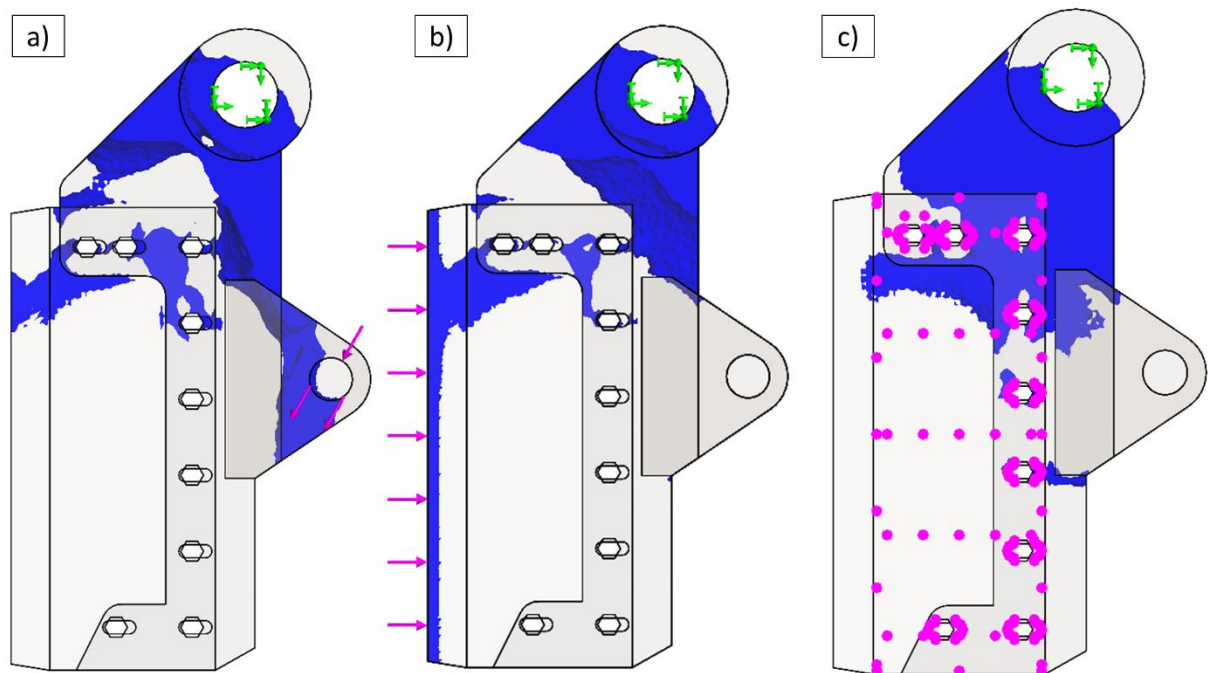
Figura 27 - Resultado da tensão de von Mises na versão final. a) Força do atuador hidráulico; b) Força de reação de corte; c) Força peso dos troncos na lâmina



Fonte: Próprio autor.

De modo simplificado, as simulações da fig. 27 permitem verificar a capacidade do novo elemento em suportar as principais cargas aplicadas. Qualitativamente o resultado se mostra-se satisfatório, pois é garantido que a maior parte das forças resultantes são suportadas pela região mais resistente do projeto, conforme percepção do projeto exibida na fig. 28. Além disso, tal proposto é de fácil fabricação e instalação no cabeçote.

Figura 28 - Percepção de projeto da versão final. a) Força do atuador hidráulico; b) Força de reação de corte; c) Força peso dos troncos na lâmina



Fonte: Próprio autor.

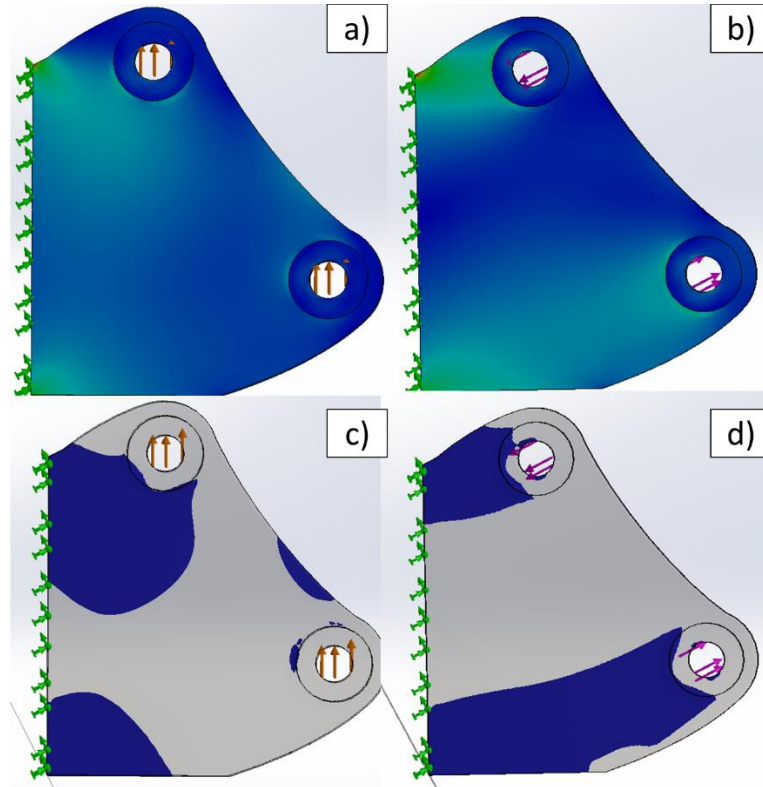
4.3.1.2 Suporte do Acoplamento do Braço

Em sequência realiza a mesma análise qualitativa no suporte de acoplamento do braço da escavadeira hidráulica. Na análise estática do cabeçote completo realizado no tópico 4.2.3, identifica-se a presença de regiões críticas neste elemento suscetíveis a trincas, além de relatos do fabricante que expôs sua preocupação com relação à alta espessura das chapas que o compunha.

O estudo investiga a remoção da chapa base (de maior espessura) que pode ser substituída com o apoio direto à coluna vertical do cabeçote. Ainda a espessura das chapas laterais é reduzida de 20 mm para 15 mm, mantendo o leiaute arredondado e a distância entre os furos para o acoplamento dos pinos do braço.

Duas situações são analisadas para as simulações no componente: a primeira considera a força de içamento no cabeçote, enquanto a segunda toma a força de descarga que o atuador exerce para inclinar o mesmo. Para a superfície soldada à coluna vertical com geometria fixa, tem-se os resultados apresentados nas figs. 29 e 30.

Figura 29 - Suporte de acoplamento do braço. a) Tensão de von Mises para força de içamento; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de içamento; d) Percepção de projeto para força de descarga

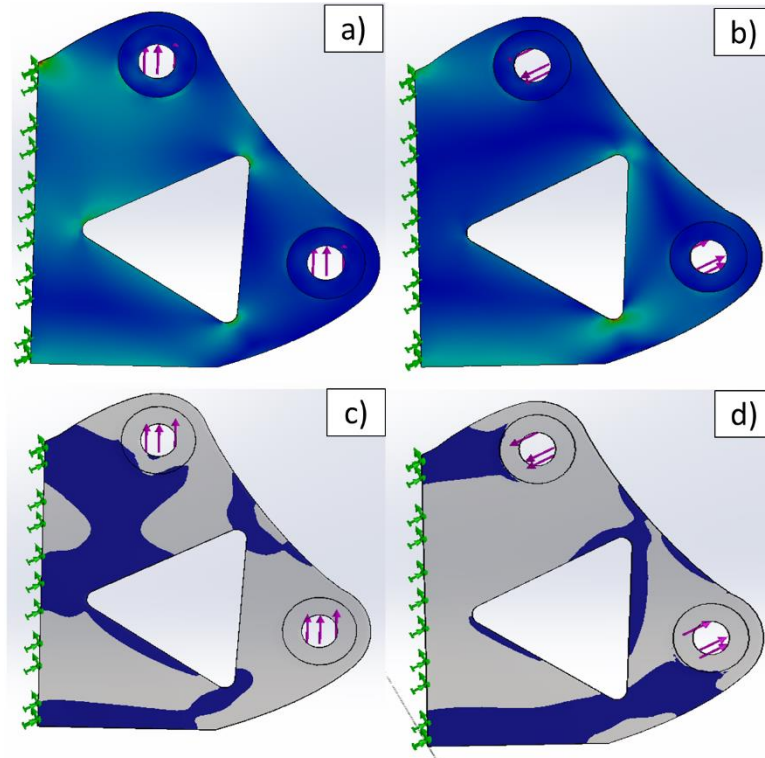


Fonte: Próprio autor.

Nas figs. 29a e 29b verifica-se que as extremidades da superfície apoiada à coluna vertical possuem elevada tensão, cujas que podem ser amenizadas com reforço através de uma solda de boa qualidade. A redução em massa de 43% com relação ao modelo piloto, permite apontar que as modificações indicam uma boa proposta. Porém, a percepção de projeto exposta nas figs. 29c e 29d ainda indica regiões possíveis de alterações com a finalidade de reduzir o peso.

Inicialmente propõem-se o alívio de massa com um triângulo isósceles de cantos arredondados, conforme mostra a fig. 30. No entanto, as simulações demonstram que, mesmo com cantos arredondados, os cantos da geometria concentram tensões que podem provocar trincas futuras.

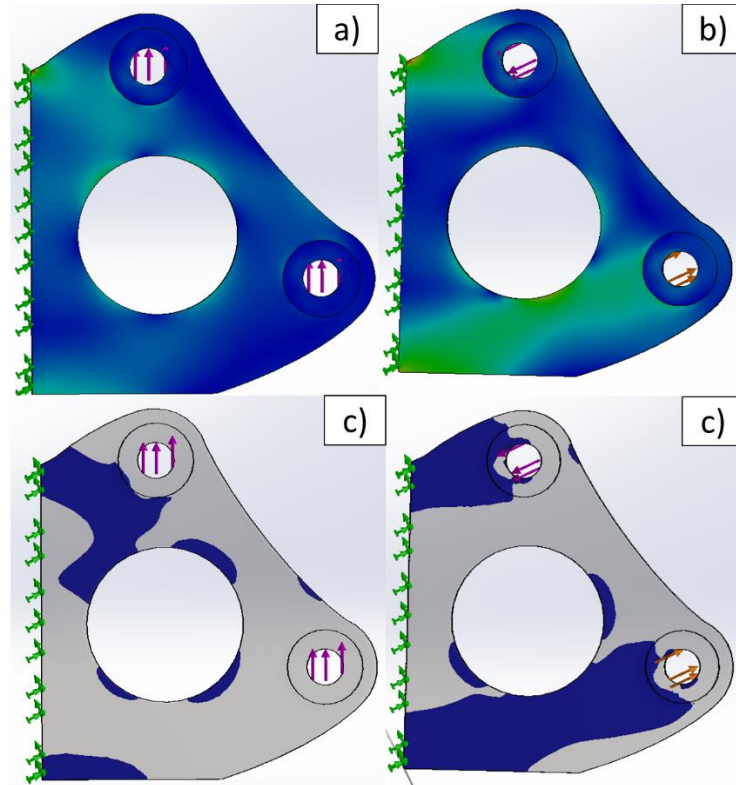
Figura 30 - Proposta de modificação no suporte para redução de peso. a) Tensão de von Mises para força de içamento; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de içamento; d) Percepção de projeto para força de descarga



Fonte: Próprio autor.

A proximidade dos cantos com as extremidades do suporte também contribui para inviabilizar a implementação desta modificação. Com pouco tempo de operação em campo, trincas e rachaduras nessas regiões podem surgir e levar a falha do projeto. Para manter o mesmo alívio de massa, altera-se a geometria da cavidade para um círculo, cujo minimiza os efeitos concentradores de tensão. Os resultados estão presentes na fig. 31.

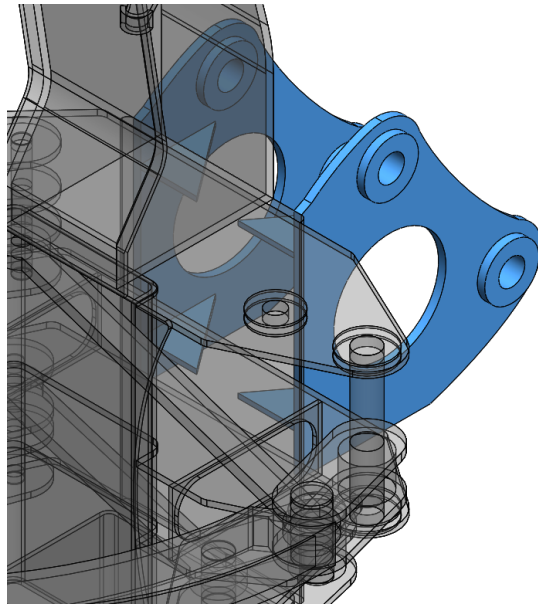
Figura 31 - Segunda proposta de redução de peso do suporte. a) Tensão de von Mises para força de içamento; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de içamento; d) Percepção de projeto para força de descarga



Fonte: Próprio autor.

Nesta segunda versão, a tensão de von Mises e a percepção de projeto permitem verificar que os efeitos das cargas aplicadas são amenizados. Por fim, no interior da estrutura são sugeridas quatro nervuras como apoio aos esforços quando a escavadeira rotaciona para deslocar o cabeçote. Na prática, a experiência com o modelo piloto indica que este reforço é suficiente para garantir a integridade do conjunto. O resultado é exibido na fig. 32 e seu desenho técnico contendo as principais dimensões pode ser consultado no Apêndice D

Figura 32 - Versão final do suporte de acoplamento do braço



Fonte: Próprio autor.

4.3.1.3 Coluna Vertical

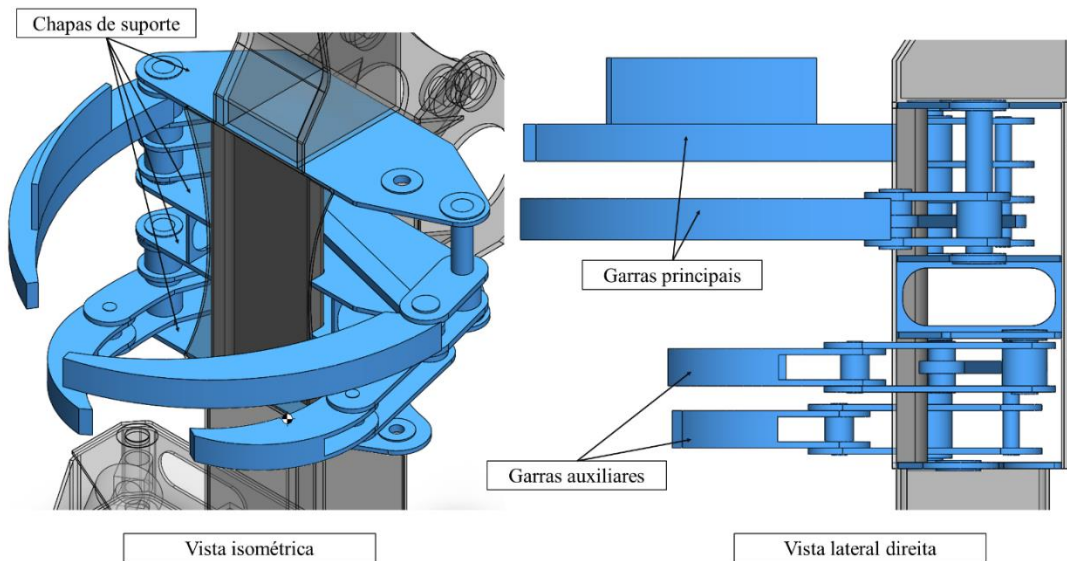
A coluna vertical tem alterações devido aos novos leiautes dos elementos modificados. Ainda para as dimensões para o comprimento e largura da base são aumentados de 300x300 mm para 480x370 mm a fim de obter um centro de massa ao longo do eixo Z melhor distribuído (Apêndice E). Assim, é garantido uma maior superfície de contato entre a coluna vertical e o conjunto da base (fig. 13) na direção que a força de descarga dos feixes atua. A espessura da chapa utilizada para sua fabricação mantém-se igual a 10 mm.

4.3.2 Modificações para Coletar 5 árvores por Ciclo

4.3.2.1 Garras Principais e Auxiliares

São propostas modificações em todo o conjunto de garras principais e auxiliares para garantir a coleta adequada de 5 troncos com segurança. Para tanto, sugere-se inverter o posicionamento das garras auxiliares com as garras principais e aumentar o raio de alcance longitudinal destes elementos. A fig. 33 ilustra as modificações nas garras.

Figura 33 - Versão final do conjunto de garras proposto



Fonte: Próprio autor.

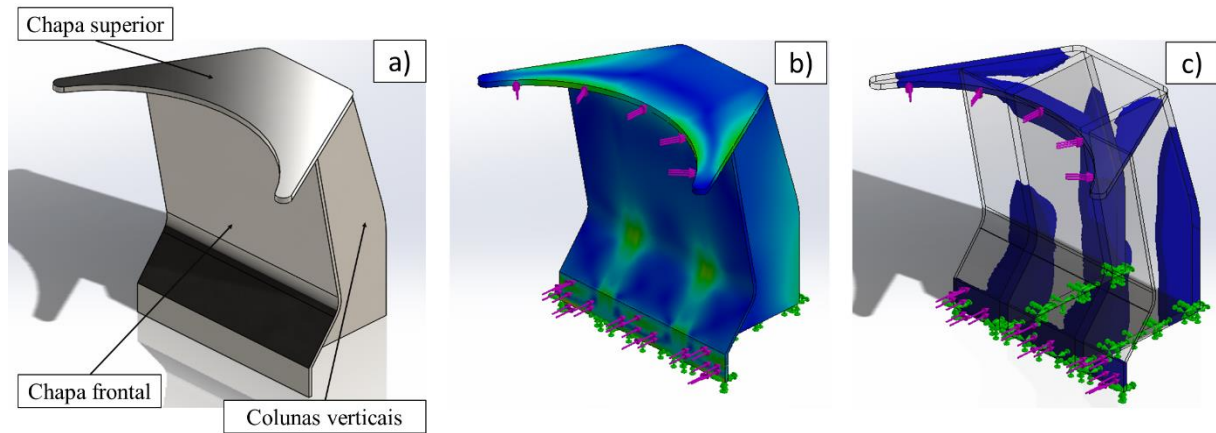
Este novo leiaute além de permitir a coleta de 5 unidades por ciclo operacional, garante o apoio mais seguro do tronco durante a extração e movimentação do acessório, com uma melhor distribuição dos pontos de apoio ao longo de seu comprimento. Nessa modificação cerca de 6,5% do comprimento de tronco é apoiado pelas garras, contra 5,4 % do conjunto anterior. O desenho técnico dos elementos que compõe este conjunto está disponível nos Apêndices F, G, H e I.

4.3.2.2 Apoio Superior

O apoio superior, mesmo categorizado como elemento com menor influência em massa no cabeçote piloto, também é modificado. Objetiva-se aumentar o apoio entre o tronco e o cabeçote; bem como auxiliar na disposição dos troncos coletados.

Para tanto, mantém-se as mesmas dimensões da chapa superior (fig. 34) responsável pelo apoio dos troncos e altera-se os demais componentes. As modificações são tomadas observando outras geometrias disponíveis no mercado. O modelo proposto, bem como seu estudo é disposto na fig. 34.

Figura 34 - Primeira proposta de modificação do apoio superior. a) Vista isométrica; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de descarga

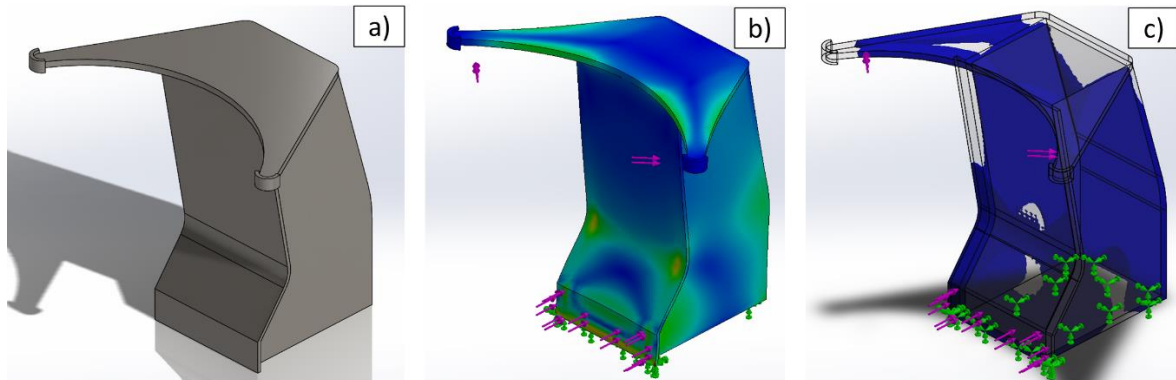


Fonte: Próprio autor.

No apoio superior a situação de maior esforço é durante o processo de corte e acomodação dos troncos. Nessa condição o componente mostra-se bastante resistente e parte do resultado deve-se à duas colunas verticais com 30 mm de espessura maciça, conforme fig. 34. No entanto, apesar dos resultados interessantes o apoio possui um aumento de 94 kg, equivalente a 187% do peso do mesmo elemento no modelo piloto. Assim, é válido empregar novas modificações visando a redução do peso.

Inicialmente avalia-se uma nova configuração de suporte que garanta maior apoio dos troncos com uma menor espessura. Sugere-se utilizar chapas com 10 mm de espessura interligadas entre si no formato semelhante a um retângulo, também é reduzido a largura de 500 mm da chapa frontal, o resultado é exposto na fig. 35 e o desenho técnico apresentando as principais dimensões está disponível no Apêndice J.

Figura 35 - Proposta de modificação final do apoio superior. a) Vista isométrica; b) Tensão de von Mises para força de descarga; c) Percepção de projeto para força de descarga



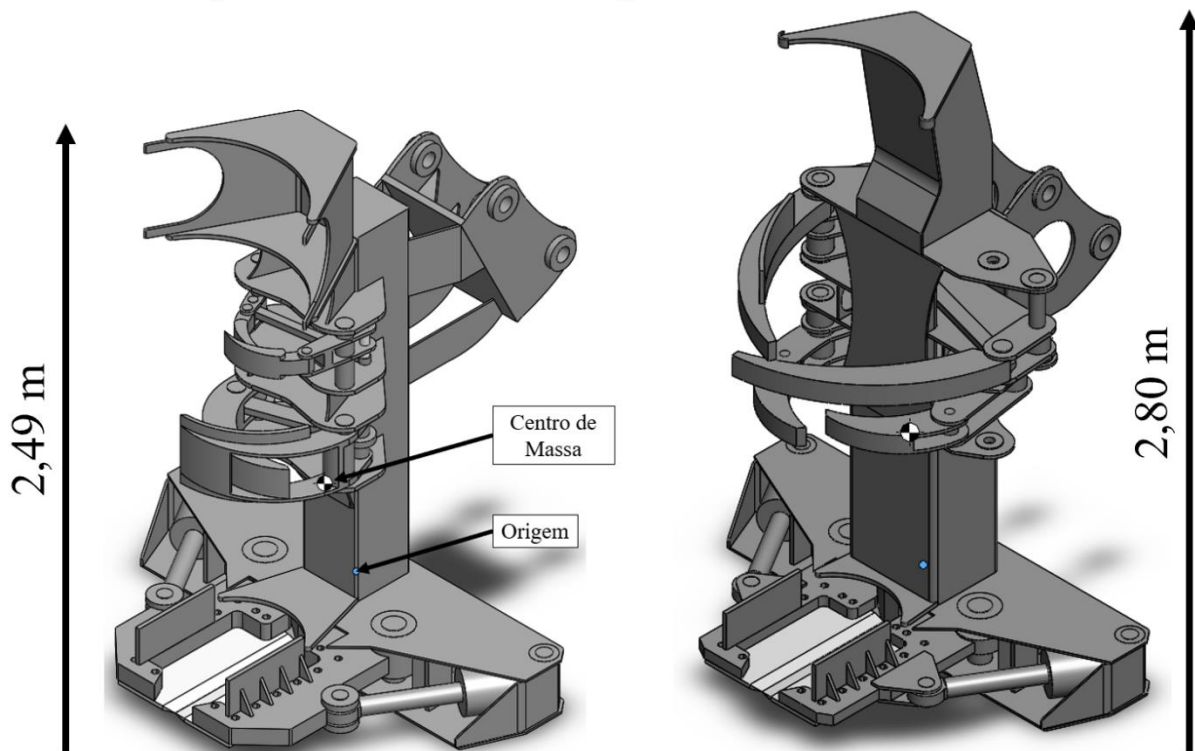
Fonte: Próprio autor.

Visualiza-se na fig. 35 que a distribuição da tensão de von Mises não sofreu muita alteração, porém a percepção de projeto ocupa uma maior porcentagem do novo apoio. Apesar disso, a maior superfície de contato com a coluna vertical (região inferior) garante a resistência necessária. Por fim, a versão final possui 150 kg, 25% mais leve que a primeira versão (redução de 51,4 kg) e 48% mais pesada que a versão piloto.

4.4 Resultado do Cabeçote Proposto

Após o estudo e alterações acerca do cabeçote piloto, é realizada a montagem e análise do novo modelo proposto (Apêndice K), a configuração modificada do cabeçote *feller* é apresentada na fig. 36.

Figura 36 – Comparativo cabeçote *feller* modificado



Fonte: Próprio autor.

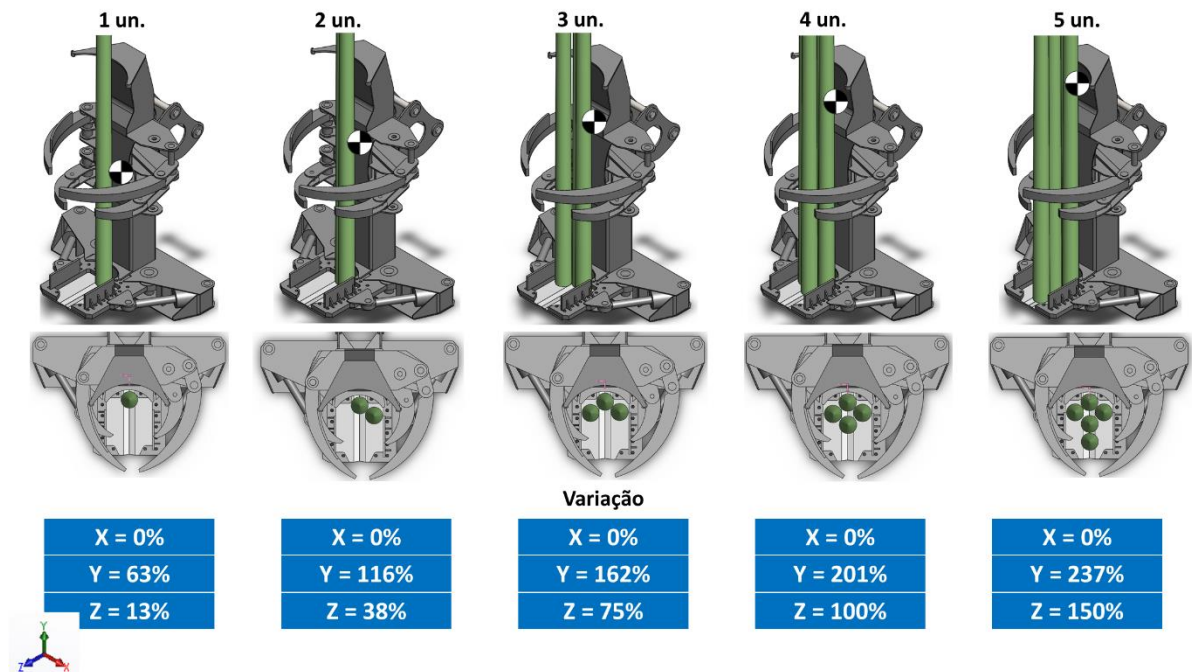
Observa-se que o conjunto não recebeu grandes modificações no seu leiaute. A maior mudança situa-se na parte superior do cabeçote – apoio superior. Referente às dimensões principais o novo modelo tem 2,80 metros de altura, enquanto a primeira versão contém 2,49 metros enquanto as demais dimensões foram pouco alteradas.

Praticamente toda a estrutura que suporta o conjunto de garras é reformulado para melhor aproveitamento do espaço interno, antes ocupado pela coluna vertical. Esta modificação também permite o recuo dos mecanismos para mais perto do braço da escavadeira. Ainda, as novas peças que permitem a articulação das garras também são reforçadas para evitar a fragilidade reportada pelo fabricante nesses componentes.

4.4.1 Análise da Distribuição dos Troncos

Conforme estudado a variação do centro de massa no cabeçote piloto, avalia-se no novo modelo a influência dos troncos de eucalipto para até 5 unidades. Os troncos também são posicionados de maneira organizada e os resultados são dispostos na fig. 37.

Figura 37 - Variação da posição do centro de massa por unidade no novo modelo



Fonte: Próprio autor.

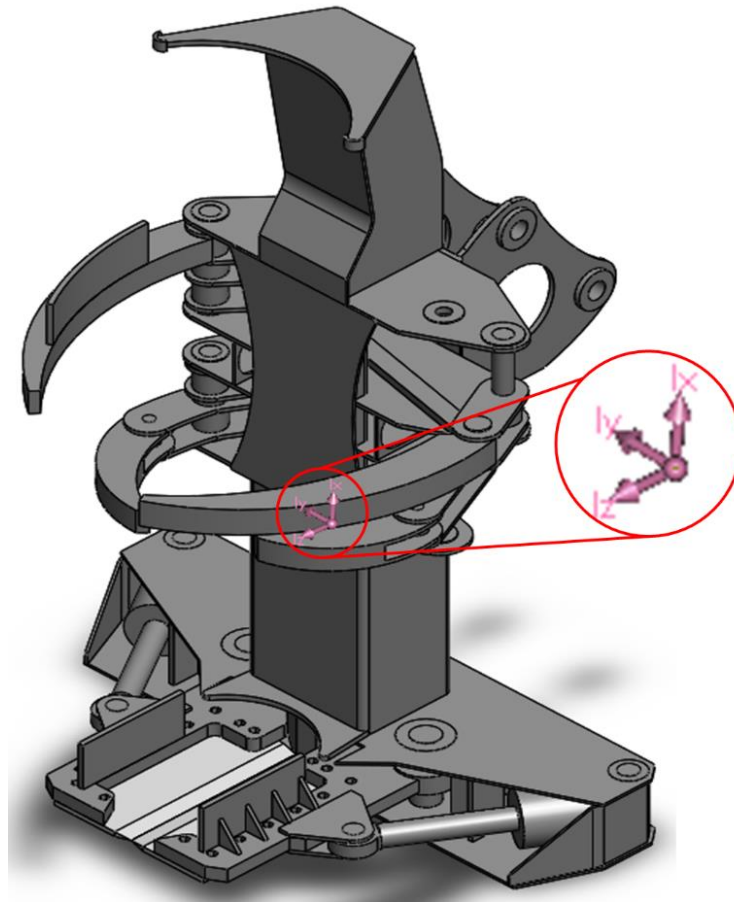
Relata-se um aumento de 237% na posição do centro de massa com relação ao eixo Y, porém menor quando comparado com o modelo piloto, que atingiu um máximo de 329%, para carregamento completo. Mesmo com 237% de aumento, o centro de massa neste novo modelo manteve-se dentro dos limites geométricos do cabeçote. Fato relevante para maior estabilidade na operação.

Devido ao aumento das dimensões das garras principais e auxiliares há incremento no deslocamento do centro de massa ao longo do eixo Z, 150% contra 83% do modelo piloto. Destaca-se que a nova disposição vertical das garras principais e auxiliares (agora posicionadas uma sobre a outra) garante melhor área de contato entre os troncos e o cabeçote. Reforça-se que o apoio dos troncos também é melhorado com o incremento na altura total do cabeçote, 310 mm maior.

4.4.2 Análise das Propriedades de Massa

No quesito peso o novo modelo proposto não obtém redução com relação ao anterior. Mesmo com as diversas modificações, o peso total registrado é de 1837 kg, 36 kg a mais que o modelo piloto. As propriedades de massa podem ser expostas na fig. 38 e na tab. 3.

Figura 38 - Eixos de inércia do novo modelo



Fonte: Próprio autor.

Tabela 3 - Propriedades de massa do novo modelo

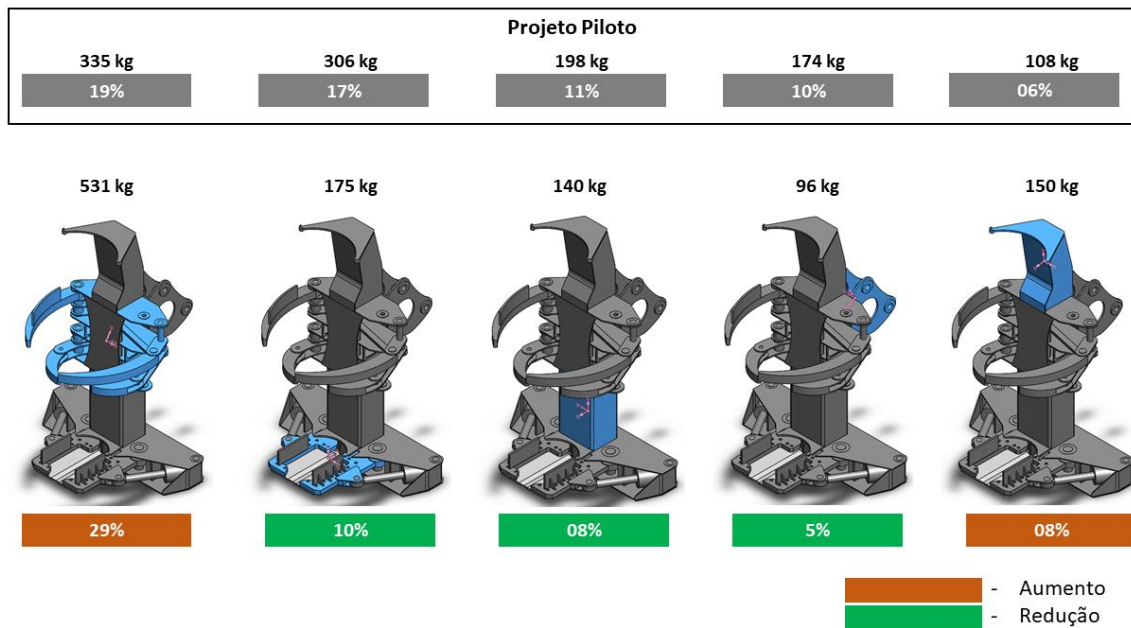
Massa (kg)		1837
Centro de Massa (m)		
	X	0,01
	Y	0,68
	Z	0,08
Momentos de Inércia Principais (kg/m²)		
	Px	509,24
	Py	1396,53
	Pz	1550,81

Fonte: Próprio autor.

Na tab. 3 nota-se que o momento de inércia principal P_y aumenta em relação ao modelo piloto, cerca de 143 kg/m^2 . Tal resultado deve-se à altura do cabeçote, que também altera a posição do centro de massa no eixo Y para 0,68 m, aumento de 0,17 m. Com a nova distribuição de massa no novo cabeçote, o esforço hidráulico para vencer este momento de inércia se torna maior.

A influência individual dos principais elementos modificados também é alterada, conforme é mostrado na fig. 39.

Figura 39 - Influência dos principais elementos no novo projeto



Fonte: Próprio autor.

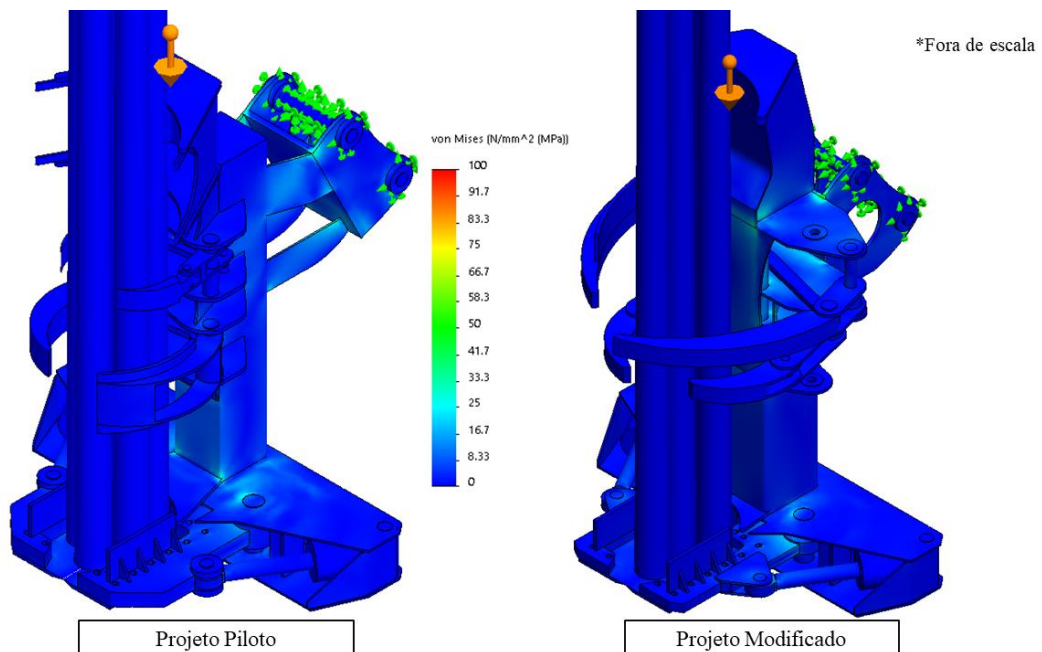
Na fig. 39, o conjunto de garras principais e auxiliares destacam por contribuírem em 29% no peso total em massa do cabeçote, aumento de 10% em relação ao modelo anterior. Apesar do resultado negativo, os benefícios proporcionados pela nova proposta de garras compensam o aumento de massa: as novas garras são capazes de garantir melhor sustentação (maior área de contato) e apoio aos troncos coletados; são mais resistentes, os suportes das garras são fabricados em chapas com 15 mm de espessura (antes com 10 mm), proporcionando também maior reforço aos mecanismos de articulação do movimento das garras.

Semelhante às garras, o apoio superior também possui aumento de massa devido ao desempenho de outras funções, tais como: incremento da distância entre os pontos de apoio ao tronco e maior resistência para auxiliar na descarga dos feixes. Em contrapartida, os demais elementos são caracterizados pela redução de massa, sendo o suporte da lâmina o componente mais aperfeiçoado seguido do suporte de acoplamento do braço, 7% e 5% de redução em peso, respectivamente.

4.4.3 Análise dos Esforços Estáticos

Seguindo a mesma metodologia, utilizada anteriormente para avaliar os esforços envolvidos no modelo piloto, obtém-se a tensão equivalente de von Mises. As mesmas condições de malha padrão também são utilizadas, tipo sólida com qualidade alta, 4 pontos Jacobianos e sem que qualquer elemento distorcido, as características da malha podem ser consultadas no Apêndice A. Na fig. 40 apresenta-se para fins comparativos a tensão para os projetos modificado e piloto.

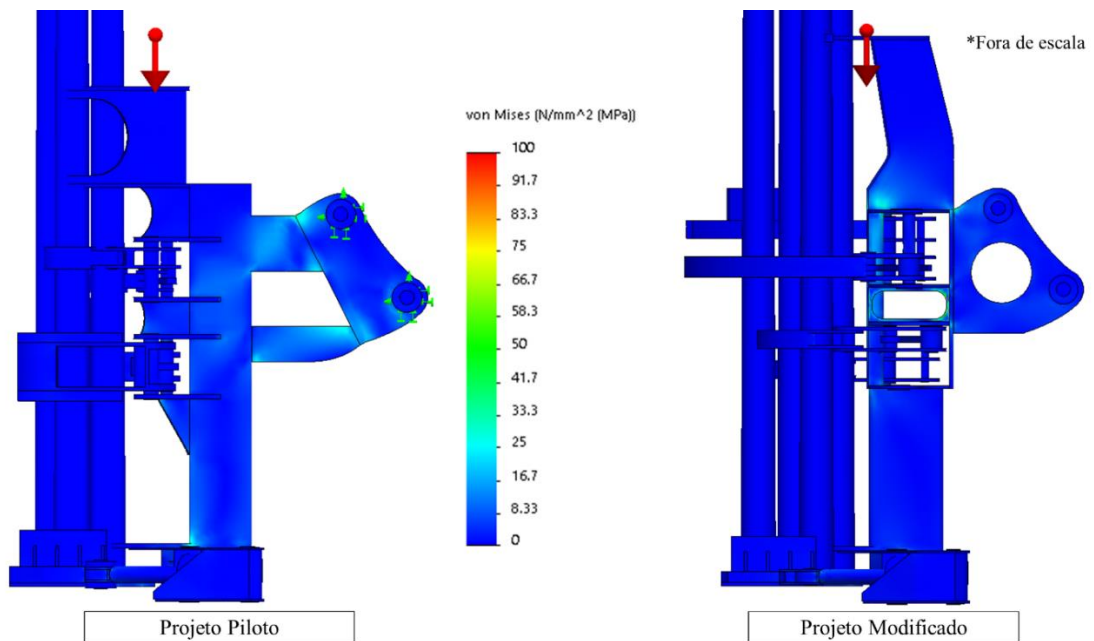
Figura 40 - Comparativo da tensão de von Mises, vista isométrica



Fonte: Próprio autor.

Observa-se na fig. 40 pouca presença de regiões críticas no projeto modificado e redução dos pontos críticos presentes no conjunto da base (menor peso do suporte da lâmina), porém verifica-se aumento nas tensões das chapas de suporte das garras principais e auxiliares. Como elas estão alojadas na região interna da coluna, antes preenchida pelo perfil contínuo da coluna vertical, é natural que essas chapas estejam sob maior influência da carga distribuída ao longo do cabeçote carregado, esse fato é melhor visualizado na fig. 41. Com este planejamento prévio, foi possível aumentar a espessura das chapas de suporte para 15 mm.

Figura 41 - Comparativo da tensão de von Mises, vista lateral direita

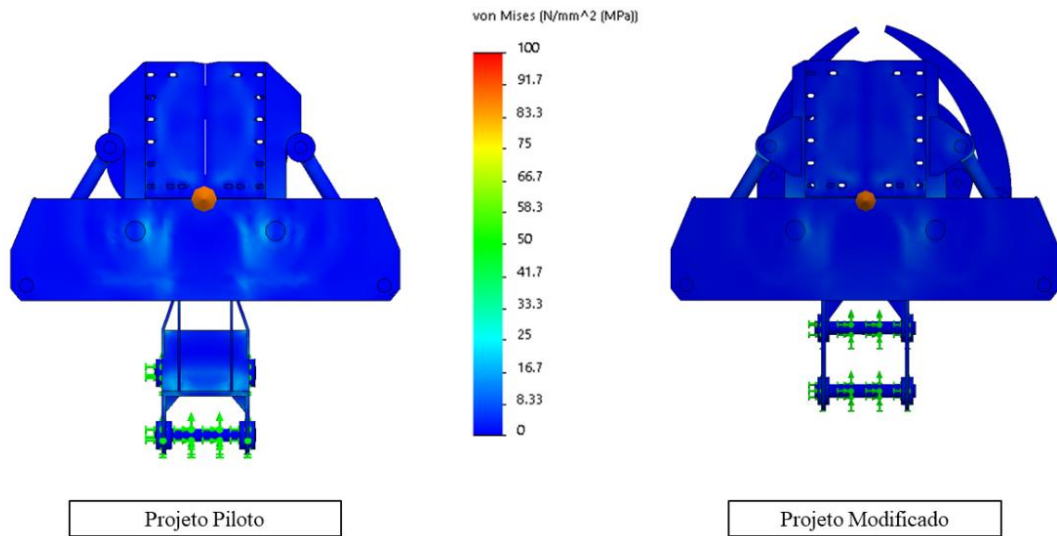


Fonte: Próprio autor.

Além do suporte das chapas da garra, observa-se na fig. 41 a alteração sugerida à fixação do suporte de acoplamento do braço, agora soldado diretamente na coluna vertical, que minimizou a fragilidade da região quando constituída por chapas finas. Ainda, apesar da coluna de reforço implementada na base do apoio superior há uma nova região crítica, e, portanto, atenção deve ser dada ao realizar a solda entre os elementos dessa região.

Em sequência exibe-se na fig. 42 a vista inferior com intuito de comparar o suporte das lâminas e pinos de acoplamento.

Figura 42 - Comparativo tensão de von Mises, vista inferior

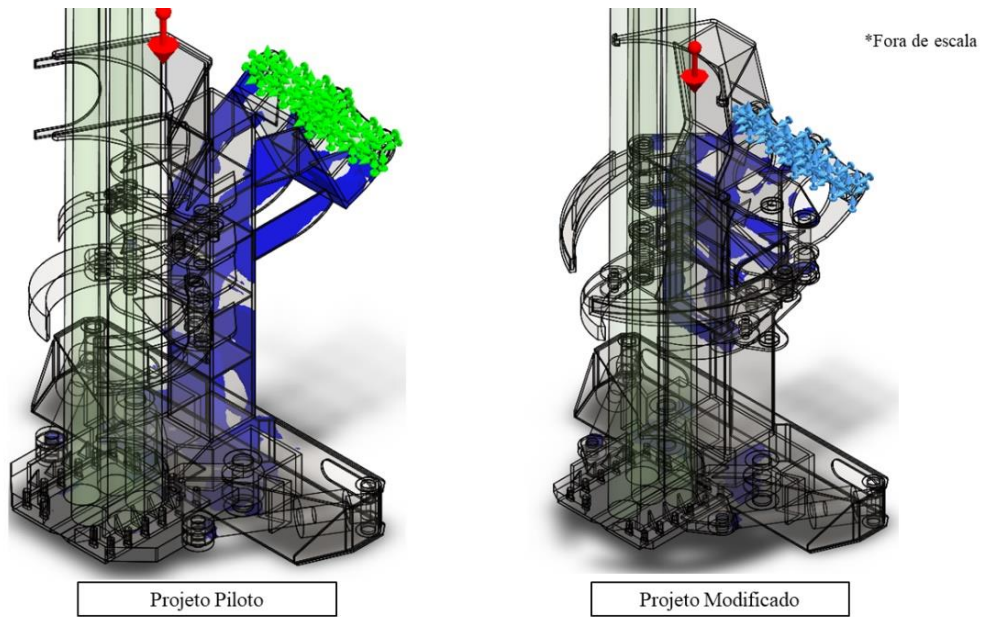


Fonte: Próprio autor.

Na vista inferior, exibida na fig. 42, visualiza-se que a redução de massa e alteração na geometria de ambos suportes da lâmina de corte contribuem nos esforços suportados na região próxima aos pinos de acoplamento. Tal modificação implica no ciclo de vida e manutenção desses componentes.

Por fim, apresenta-se na fig. 43 a comparação de percepção de projeto entre os modelos piloto e modificado.

Figura 43 - Comparativo percepção de projeto, vista isométrica



Fonte: Próprio autor.

Na fig. 43 verifica-se que a carga é mais bem distribuída ao longo da nova estrutura, cujo resultado deve-se principalmente à fixação do suporte de acoplamento do braço mais próximo ao conjunto. E, para compensar a modificação da coluna vertical ao longo de toda altura do cabeçote, o novo conjunto de garras contém chapas de 15 mm de espessura nas regiões frontal e traseira do cabeçote como reforço estrutural.

Capítulo 5

Conclusão

De modo geral, os objetivos propostos para este trabalho foram atendidos:

- a modelagem da interface pura e simples no programa computacional obteve um resultado muito semelhante ao real, com dimensões e geometria equivalentes;
- A metodologia utilizada para análise das propriedades de massa dos elementos permitiu direcionar o estudo às peças mais pesadas;
- Através da análise da disposição dos troncos foi possível determinar quais as demandas estruturais necessárias para melhorar a operação, tais como o aumento da geometria das garras e seu suporte; e o aumento na altura do apoio superior;
- A análise das cargas estáticas aplicadas ao cabeçote se mostrou condizente com a realidade em campo, evidenciando os mesmos pontos críticos onde o modelo físico apresentou trincas;
- As modificações na geometria para aumentar a capacidade de carga de 3 para 5 árvores propõem um aumento na produtividade e redução no prazo para manutenção dos mecanismos, mesmo com peso bruto total do novo cabeçote se mantendo praticamente igual ao modelo piloto.

Com praticamente a mesma massa, o novo modelo contou com incremento na altura e distribuição de massa ao longo dos eixos cartesianos. Especificamente, espera-se que, no novo modelo, a produtividade aumente para 200 troncos por hora e que a manutenção ocorra a cada 2000 horas, tornando o custo benefício do projeto bastante viável ao empreiteiro de médio porte.

Tomando como base as considerações do projeto, ainda se faz necessário a análise de diversos outros parâmetros dinâmicos que influenciam na operação como um todo, antes de colocar em prática a produção deste implemento. Sendo assim, como sugestões para um próximo estudo estão: análise da influência das cargas dinâmicas de rotação da escavadeira hidráulica; análise do movimento de descarga dos feixes; considerar a influência em peso do fluido hidráulico dos atuadores; complementar os desenhos técnicos das peças com a nomenclatura necessária para fabricação e montagem do projeto.

Referências Bibliográficas

- [1] **KOMATSU FOREST**. Disponível em: <https://www.komatsuforest.com.br/produtos/-cabecotes-feller>. Acesso em: 24 out. 2019;
- [2] **RODER BRASIL**. Disponível em: <https://www.roderbrasil.com/cabecote-feller>. Acesso em: 24 out. 2019;
- [3] **FREE CLIPART PICTURES**. Disponível em: <https://free-clipart-pictures.com/explore/log-drawing-feller-buncher/>. Acesso em 24 out. 2019;
- [4] **MODERNA FLORESTAL**. Disponível em: http://www.modernaflorestal.com.br/portfolio_3.html. Acesso em: 15 nov. 2019;
- [5] Simões, D.; Fenner, P. T.; Esperancini, M. S. T. Produtividade e custos do *feller-buncher* e processador florestal em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, jul.-set., 2014;
- [6] **CATÁLOGO PC240LC-8 KOMATSU**. Disponível em: http://www.komatsu.com.br/portal/?page_id=231#.XbM79G5FxpY. Acesso em: 24 out. 2019;
- [7] MOREIRA, F.M.T. et al. Avaliação operacional e econômica do “*feller-buncher*” em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.28, n.2, p. 199-205, 2004;
- [8] DASSAULT SYSTEMES. **SolidWorks® 2016**: software de projeto CAD 3D. x64, 2016. Disponível em: <https://www.solidworks.com/pt-br>. Acesso em: 19 out. 2019;
- [9] CARVALHO, P.R. et al. Utilização do software *SolidWorks* e da ferramenta SimulatioXpress na análise de tensão estática linear. **Revista Academus**, v.1, n.1, 2014;
- [10] LEINAT, Fabrício. Desenvolvimento de projetos mecânicos: Método dos elementos finitos. Disponível em: <https://clubedoprojetista.com.br/metodo-dos-elementos-finitos/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

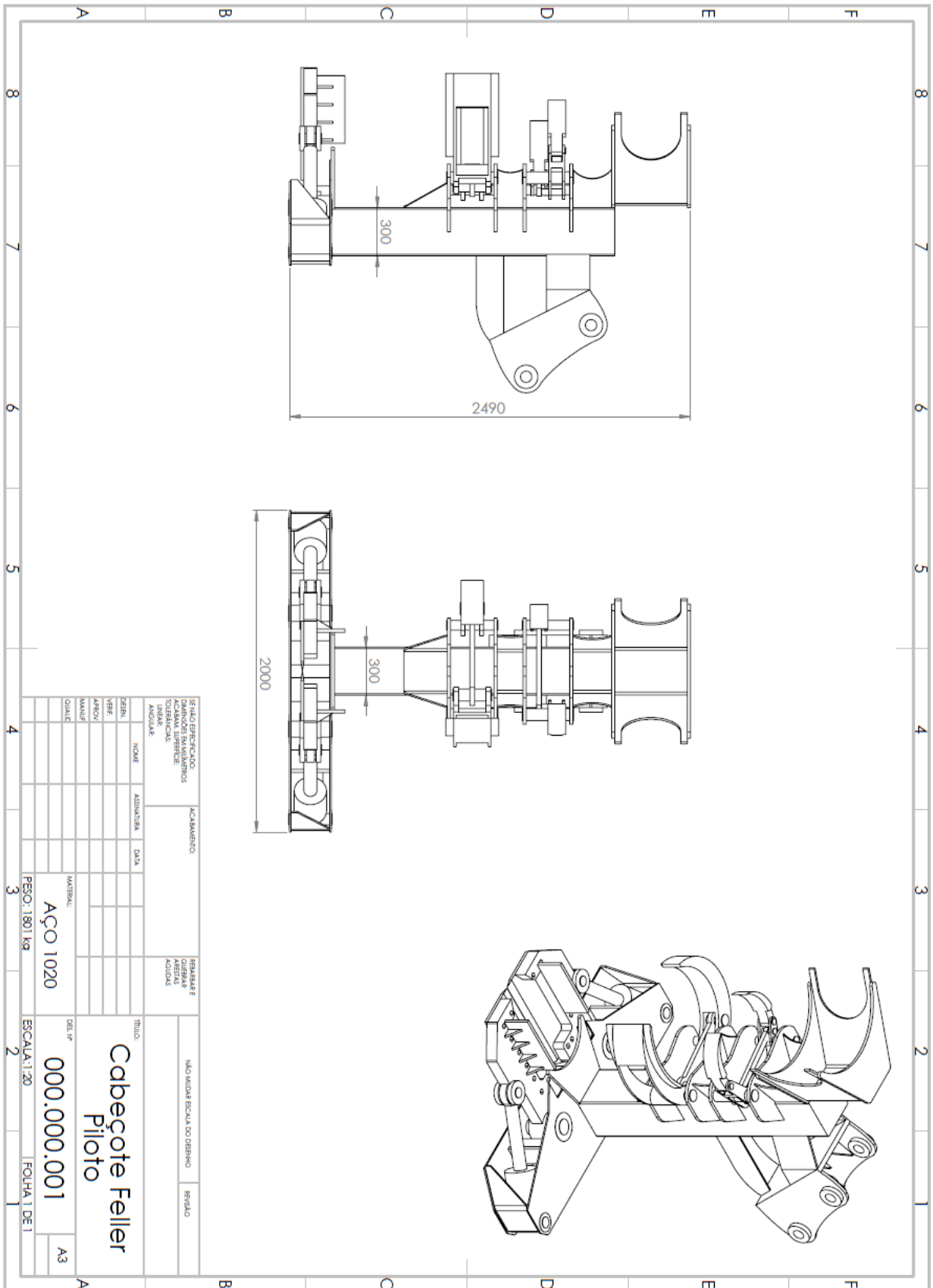
Apêndice

Apêndice A – Propriedades da malha gerada para o cabeçote modificado

Malha Detalhes	
Nome do estudo	Análise estática 1 (-Valor predeterminado-)
Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado	Malha padrão
Transição automática	Desativada
Incluir loops de malha automáticos	Desativada
Pontos Jacobianos	4 pontos
Tamanho do elemento	43.1906 mm
Tolerância	2.15953 mm
Qualidade da malha	Alta
Total de nós	290068
Total de elementos	154966
Proporção máxima	62.767
Porcentagem de elementos com Proporção < 3	74.4
Porcentagem de elementos com Proporção > 10	0.952
% de elementos distorcidos (Jacobiana)	0
Refazer malha de peças falhas com malha incompatível	Desativada
Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss)	00:00:55
Nome do computador	

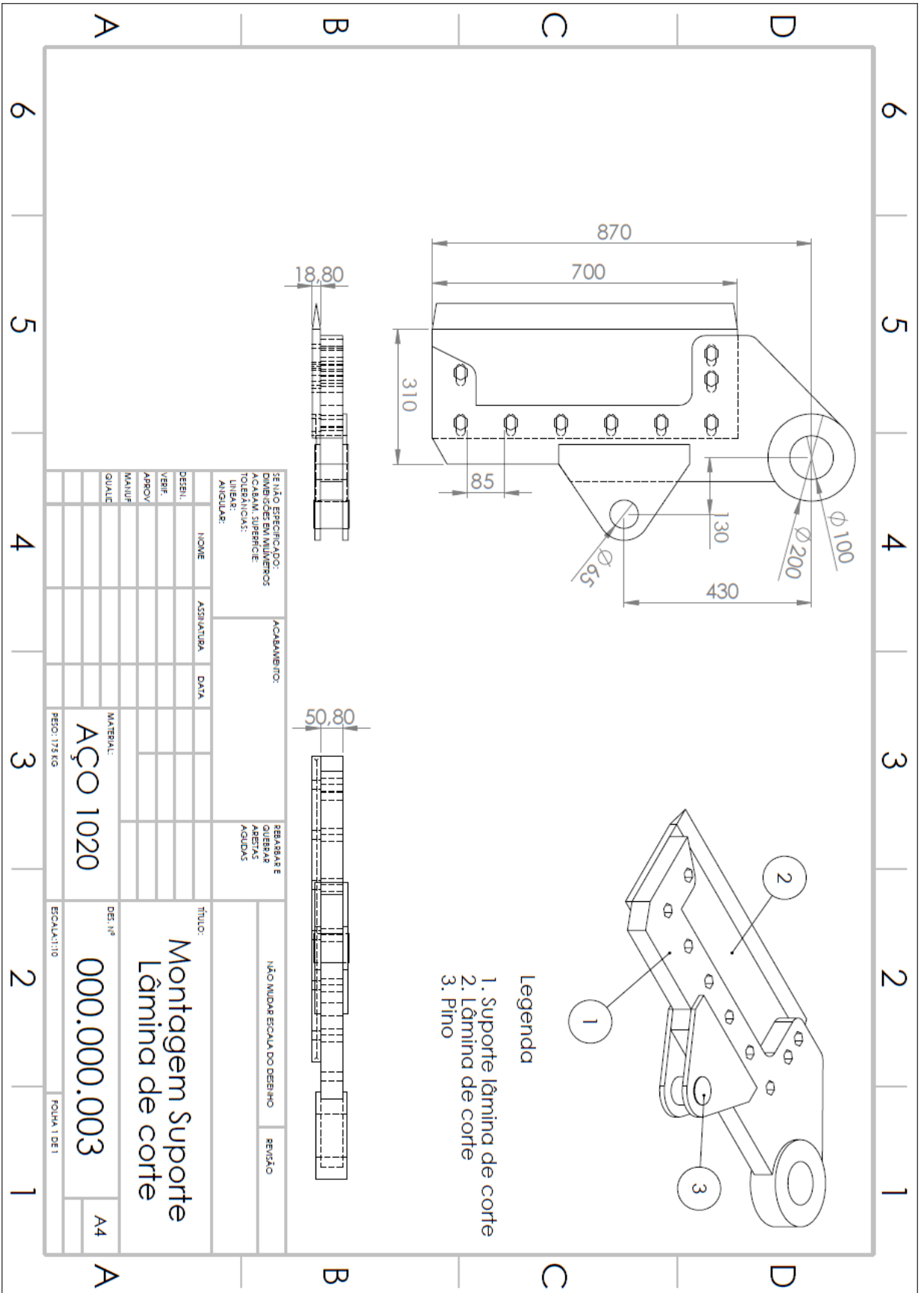
Fonte: *SolidWorks*®, 2016.

Apêndice B – Desenho técnico do projeto piloto

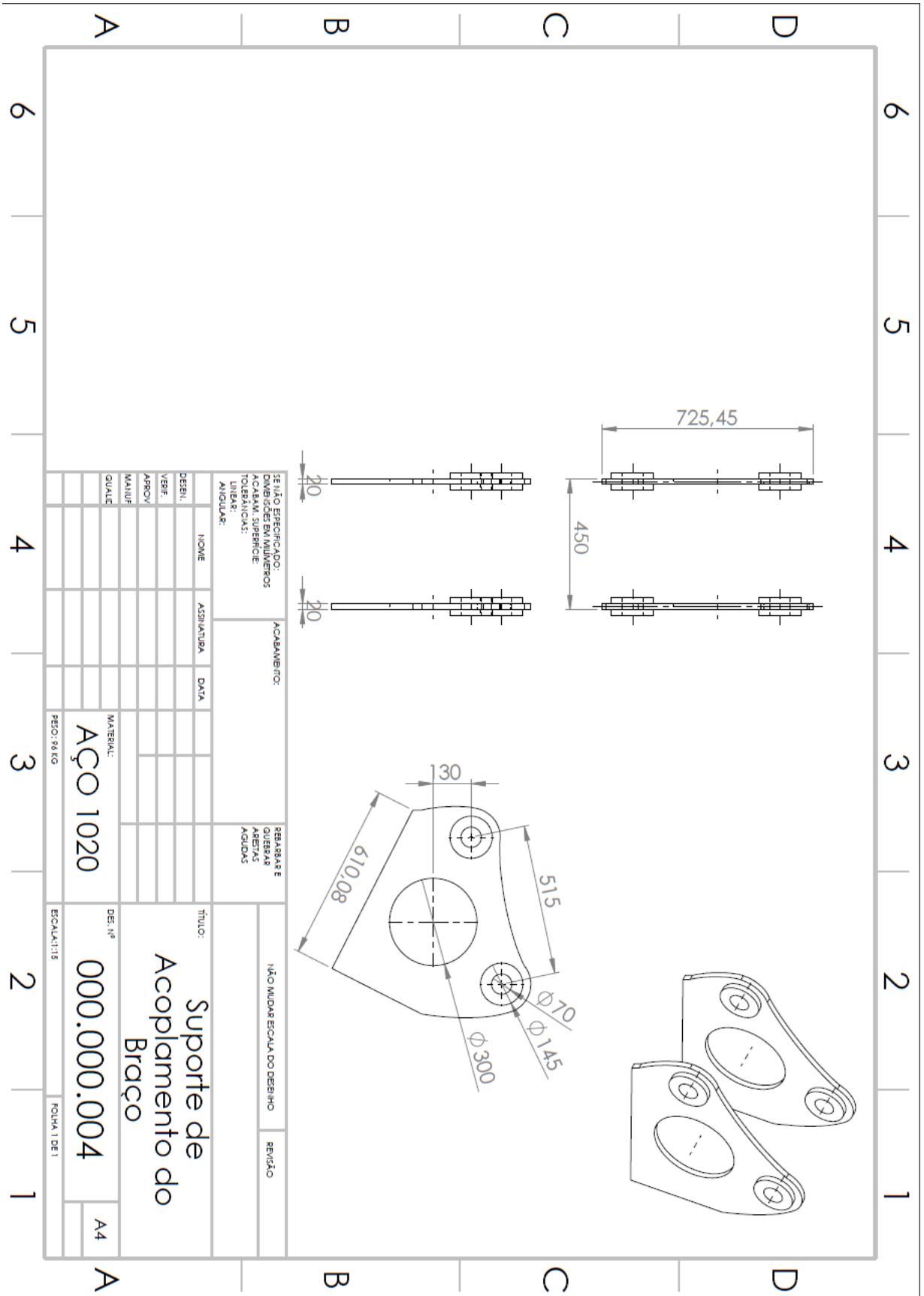


Fonte: Próprio autor.

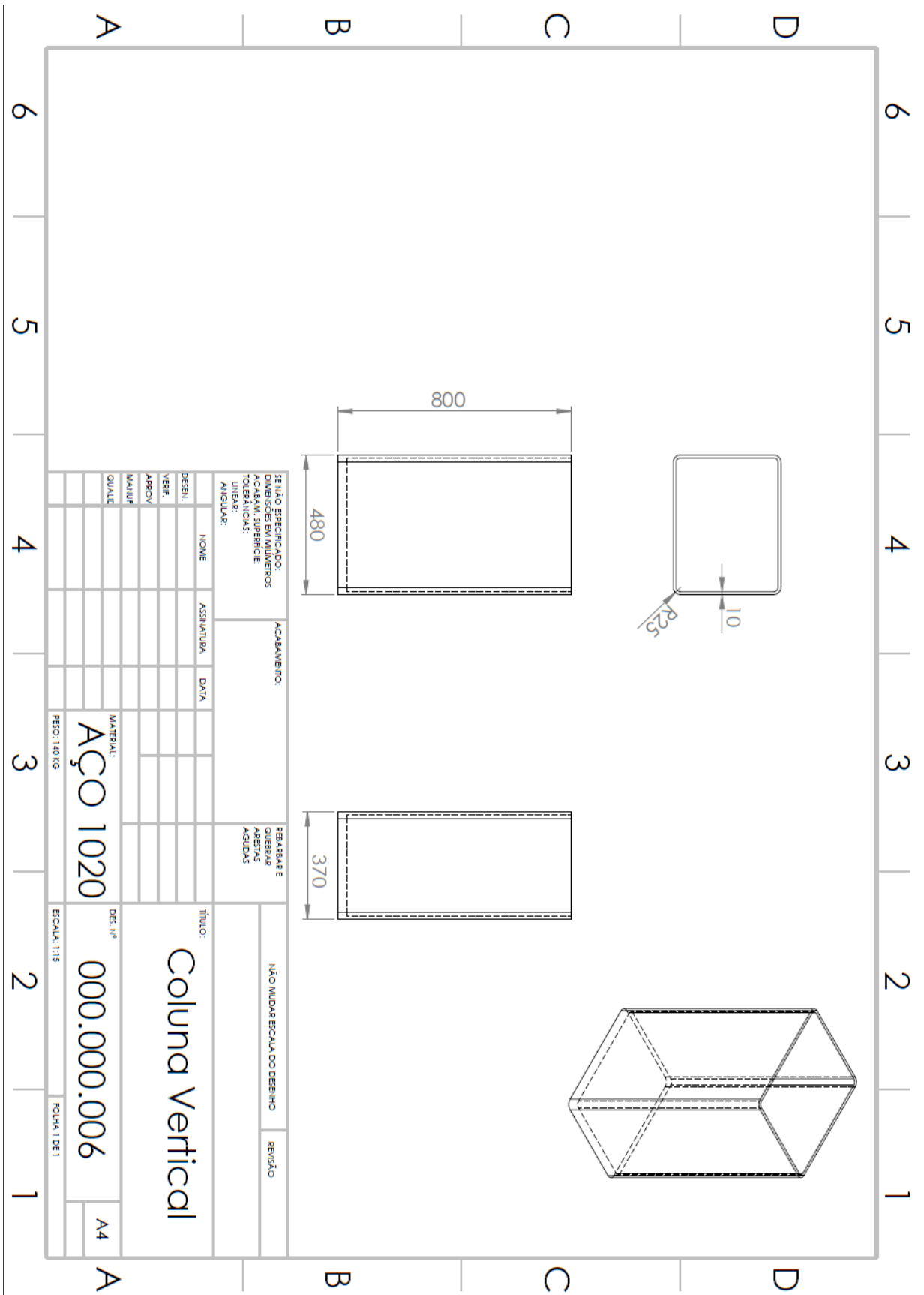
Apêndice C – Desenho técnico do suporte da lâmina de corte



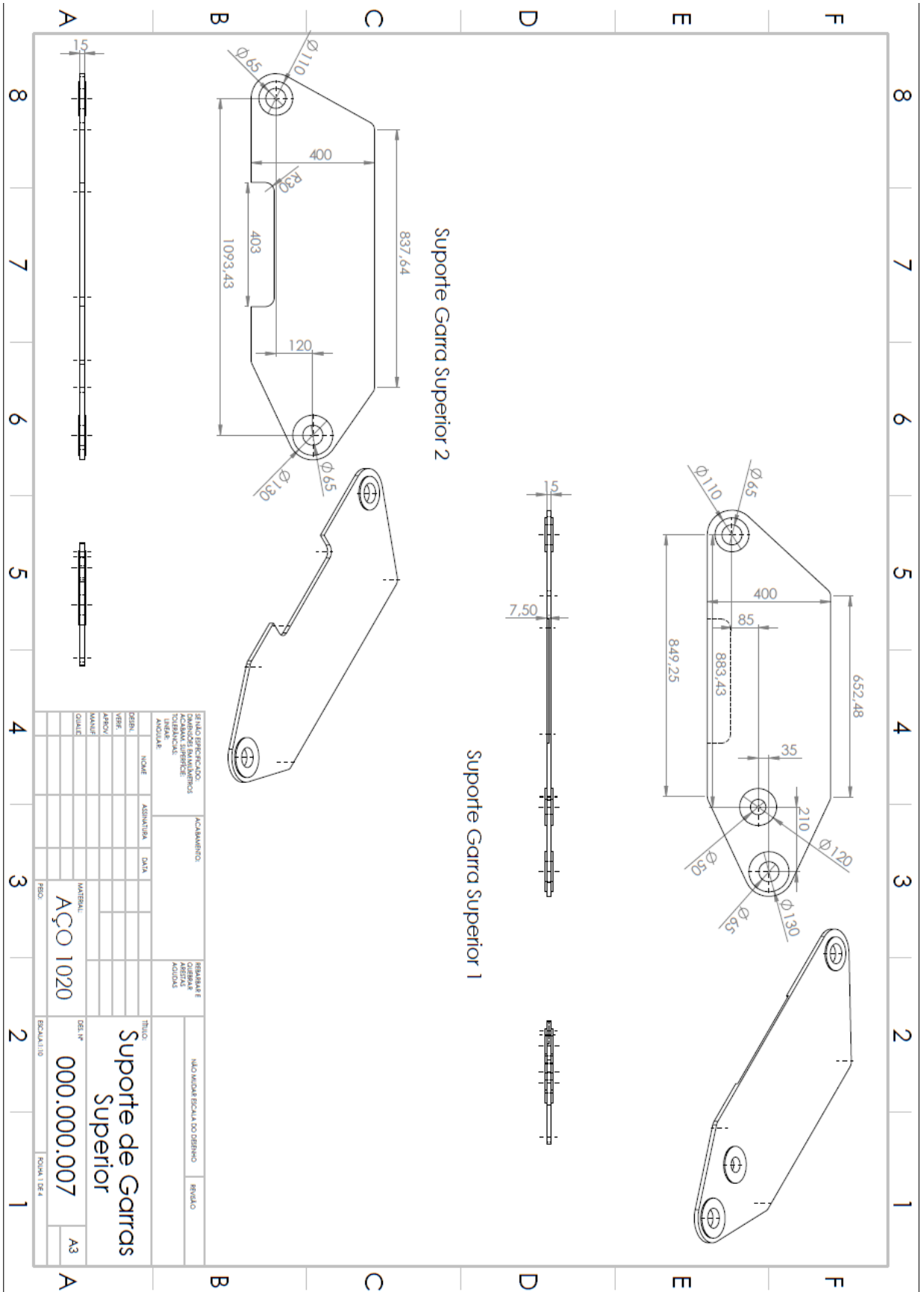
Apêndice D – Desenho técnico do suporte de acoplamento do braço



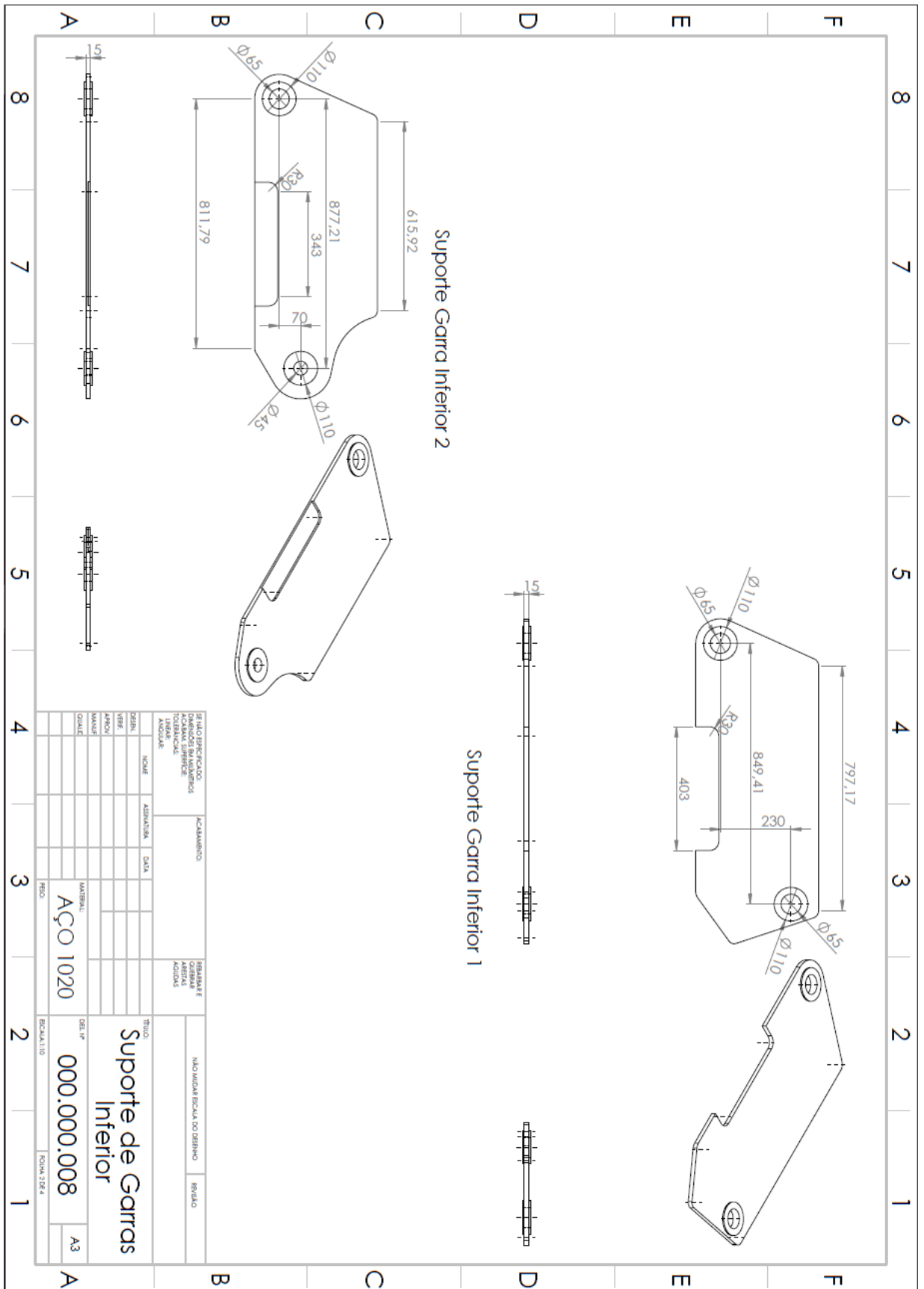
Apêndice E – Desenho técnico da coluna vertical



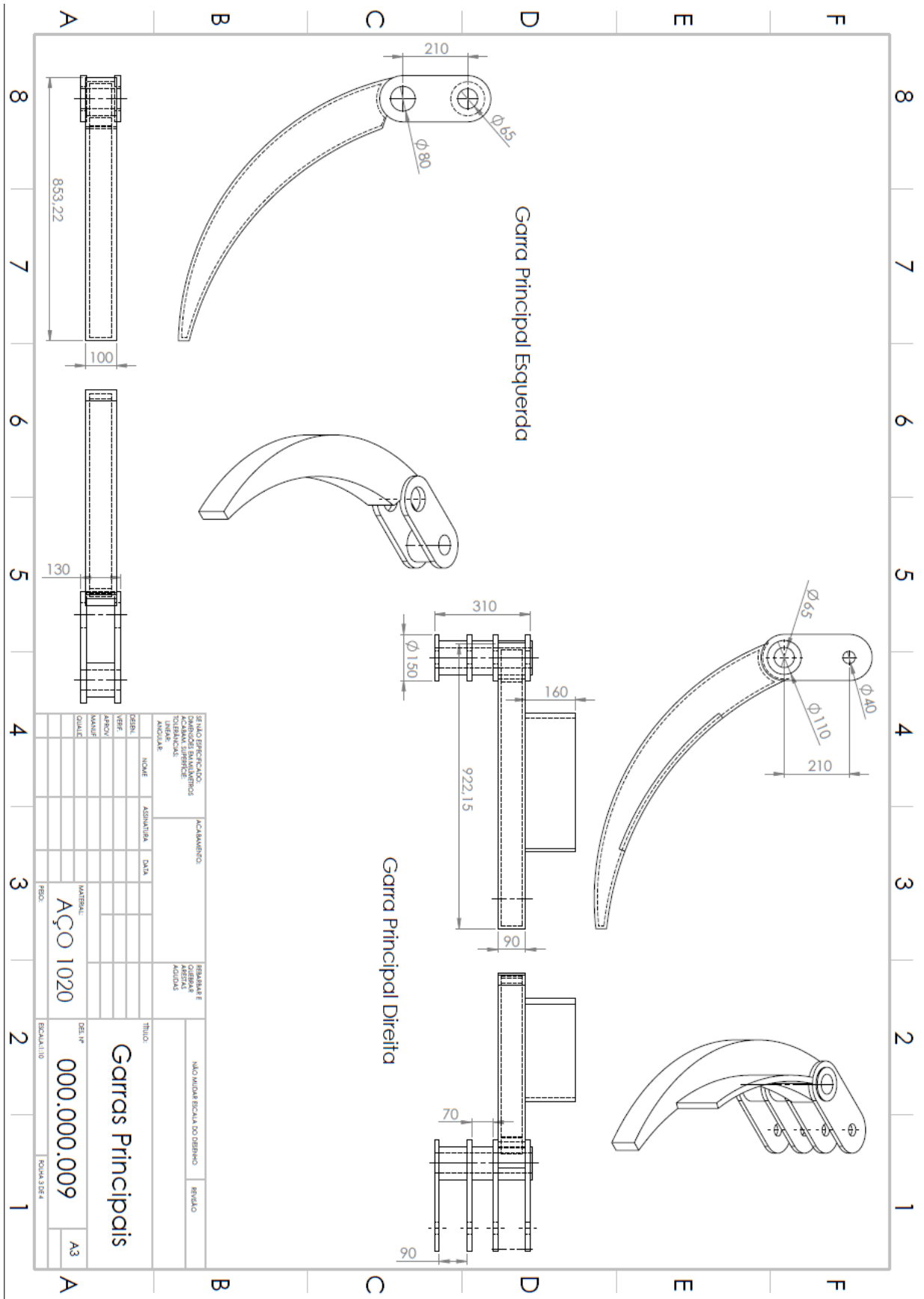
Apêndice F – Desenho técnico do suporte de garras superior



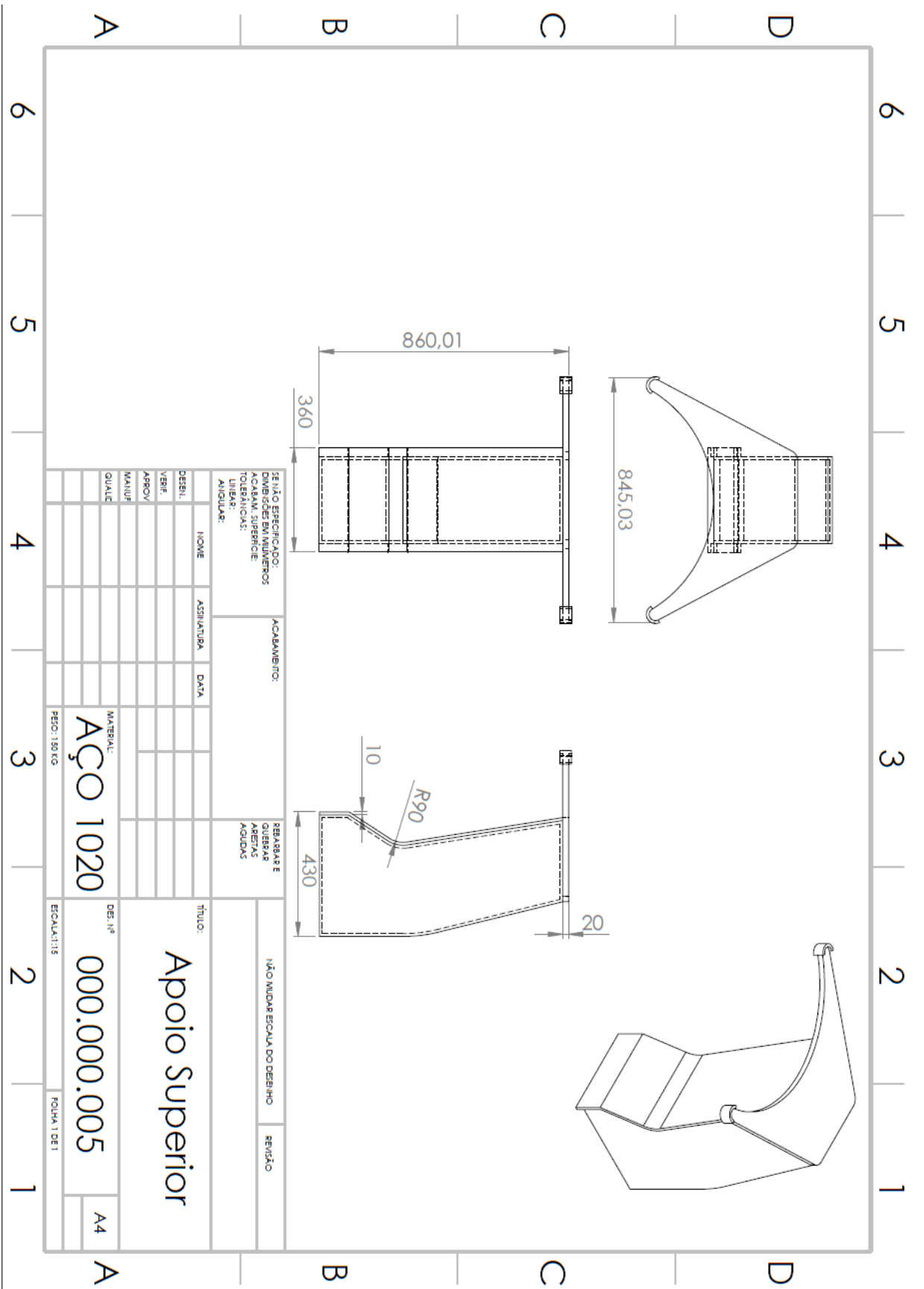
Apêndice G – Desenho técnico do suporte de garras inferior



Apêndice H – Desenho técnico garras principais



Apêndice J – Desenho técnico apoio superior



Apêndice L – Plano de trabalho



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO



PLANO DE TRABALHO DO PROJETO FINAL DE CURSO

Título: Estudos de Modificações Estruturais em um Cabeçote Feller Tesoura para Extração de Eucalipto

Dados	Discente
Matrícula/Nome	201405654 – Pedro Marques Vaz
Telefone	(62) 9 9910-6870
E-mail	pedromvaz.eng@gmail.com
Orientador(a):	Marilpe Garcia Fagundes Neto
Curso:	Eng. Elétrica () Eng. de Computação () Eng. Mecânica (x)
Certif. De Estudos	Não (x) Sim ()
Tipo de Projeto (Art. 13, Inciso V): Desenvolvimento de Projetos de Equipamentos ou Mecanismos	

Resumo

O Cabeçote Feller é um tipo de implemento florestal, já disponível no mercado, utilizado em equipamentos do segmento *forest* para colheita de madeira. Seu princípio de funcionamento consiste em extrair árvores através do corte por esmagamento utilizando uma lâmina articulada (tesoura) em sua base. O sistema mecânico é composto por quatro garras articuladas operando duas a duas: o primeiro conjunto abraça o caule da árvore com movimento de pinça para que a tesoura realize o corte; então, o segundo conjunto abraça outra árvore e realiza o mesmo procedimento. O acessório já produzido utilizado como parâmetro de comparação, implementado em uma escavadeira hidráulica de porte médio com bomba hidráulica do tipo pistão variável, consegue coletar até 3 unidades por ciclo de operação. Diante deste produto, deseja-se propor modificações estruturais para coletar até 5 árvores ao invés de até 3 unidades.

I. Objetivos.

Os objetivos macros deste projeto são:

- Capacitar o aluno no que tange à projetos de sistemas mecânicos
- Propor melhorias em um cabeçote Feller do tipo tesoura de acordo com a operação específica de coletar cerca de 05 feixes de árvores com peso aproximado de 250 quilogramas por unidade e altura de 15 metros, por ciclo;

Os objetivos específicos do presente projeto são:

- Realizar o esboço completo do mecanismo em um software de modelagem 3D para análise dos esforços envolvidos;
- Realizar o projeto industrial completo do acessório;

II. Metodologia (atividades a serem desenvolvidas).

A metodologia utilizada neste projeto será:

- Estudo de temas sobre dinâmica e sistemas hidráulicos
- Análise estrutural do protótipo já disponível para estudo de melhorias
- Modelagem das peças em 3D
- Simulação para análise de esforços envolvidos
- Projeto industrial

Av. Universitária, nº 1488, Quadra 86, Bloco A – 3ª Piso – CEP: 74605-010 – Setor Leste Universitário – Goiânia - GO
Pabx: (62) 3209-6070 - Fax: (62) 3209-6292 - www.eeec.ufg.br

Fonte: Próprio autor.

Apêndice M – Cronograma de atividades



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO



III. Resultados Esperados

Espera-se ao final propor as melhorias no cabeçote tipo Feller para coletar 05 unidades por ciclo de operação e apresentar o projeto industrial para implementação da proposta.


IV. Cronograma de Atividades

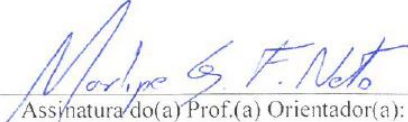
Na Tabela 1 é mostrado o Cronograma de Atividades.

Tabela 1 – Semestre letivo de 2019.

Etapas do Projeto	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1. Estudo de temas sobre dinâmica e sistemas hidráulicos	X	X			
2. Análise estrutural do protótipo já disponível para estudo de melhorias		X			
3. Modelagem das peças em 3D		X	X		
4. Simulação para análise de esforços envolvidos		X	X	X	
5. Projeto industrial			X	X	
6. Elaboração da Monografia			X	X	X
7. Apresentação do Projeto Final					X

Goiânia, 20 de agosto de 2019.


Assinatura do aluno
Matricula: 201403654


Assinatura do(a) Prof.(a) Orientador(a):