

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA - FEMEC

LUIZ CARLOS FERREIRA PINTO FILHO

Inovação Sustentável: Sistema de Quebra de Coco com Solução Mecânica Segura e  
Ergonômica utilizando Materiais Reaproveitados

Uberlândia - MG

2025

LUIZ CARLOS FERREIRA PINTO FILHO

Inovação Sustentável: Sistema De Quebra De Coco Com Solução Mecânica Segura E  
Ergonômica Utilizando Materiais Reaproveitados

Trabalho de Conclusão de Curso ou  
Dissertação ou Tese apresentado à Faculdade  
de Engenharia Mecânica da Universidade  
Federal de Uberlândia como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Mecatrônica.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da  
Silva

Uberlândia - MG

2025



LUIZ CARLOS FERREIRA PINTO FILHO

Inovação sustentável: sistema de quebra de coco com solução mecânica segura e ergonômica  
utilizando materiais reaproveitados

Trabalho de Conclusão de Curso ou  
Dissertação ou Tese apresentado à Faculdade  
de Engenharia Mecânica da Universidade  
Federal de Uberlândia como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Mecatrônica.

Área de concentração: Projetos Mecânicos e  
Inovação Tecnológica

Uberlândia, 01 de dezembro de 2025

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva – Professor Orientador (FEMEC)

---

Prof. Dr. Luciano José Arantes – Professor (FEMEC)

---

Ms. Felipe Chagas Rodrigues de Souza – Discente de Doutorado (FEMEC)

Dedico este trabalho à minha família, pelo  
amor e apoio incondicional, aos meus amigos,  
pela companhia e incentivo em todos os  
momentos, e ao meu pai, que, mesmo ausente,  
continua sendo minha maior inspiração.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao professor Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, meu orientador, pela dedicação, paciência e orientação durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua experiência e conselhos foram fundamentais para a conclusão deste projeto.

Agradeço também ao meu amigo e parceiro Pablo Vitor Amorim Souza, pela colaboração, incentivo e companheirismo em todas as etapas da elaboração do projeto.

Estendo minha gratidão à minha família, pelo amor, compreensão e apoio incondicional, e aos amigos e namorada, que estiveram sempre presentes, oferecendo palavras de incentivo e motivação ao longo dessa caminhada.

“A melhor forma de prever o futuro é criá-lo.”

— Abraham Lincoln

## RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma máquina de corte de coco babaçu voltada à melhoria das condições de trabalho das quebradeiras de coco, atividade tradicionalmente marcada por esforço físico elevado e alto risco de acidentes. O projeto foi concebido com base em princípios de engenharia mecânica, ergonomia e sustentabilidade, utilizando materiais reaproveitados de fácil obtenção, como componentes automotivos e sucatas metálicas, de modo a garantir baixo custo e fácil replicação comunitária.

O sistema mecânico da máquina é composto por um conjunto pinhão e cremalheira acoplado a um setor de direção automotivo, que transforma o movimento rotativo da alavanca em deslocamento linear da lâmina de corte, reduzindo significativamente o esforço físico do operador. Foram incorporados dispositivos de segurança Poka-Yoke e adequações às NR-12 e NR-17, assegurando uma operação segura e ergonômica.

Os testes de desempenho indicaram que o equipamento realiza o corte de cada fruto em cerca de 10 segundos, representando um aumento de produtividade de até 85% em relação ao método manual, além de maior conforto e segurança para o operador. Conclui-se que o protótipo desenvolvido é tecnicamente viável, sustentável e socialmente relevante, contribuindo para a valorização do trabalho das comunidades extrativistas e a modernização da cadeia produtiva do babaçu.

**Palavras-chave:** Babaçu; Engenharia Mecânica; Sustentabilidade; Ergonomia; Inovação Social;

## ABSTRACT

This work presents the development of a babassu coconut cutting machine aimed at improving the working conditions of coconut breakers, an activity traditionally characterized by high physical effort and accident risk. The project was conceived based on the principles of mechanical engineering, ergonomics, and sustainability, using recycled materials easily found in local workshops and scrapyards, such as automotive and metallic components, to ensure low cost and community replicability.

The mechanical system of the machine consists of a rack-and-pinion mechanism coupled to an automotive steering sector, which converts the rotary motion of the lever into a linear displacement of the cutting blade, significantly reducing the operator's physical effort. Poka-Yoke safety systems and adaptations to NR-12 and NR-17 standards were implemented to ensure safe and ergonomic operation.

Performance tests indicated that the equipment can cut each fruit in approximately 10 seconds, representing a productivity increase of up to 85% compared to the manual method, while also providing greater comfort and operational safety. It is concluded that the developed prototype is technically viable, sustainable, and socially relevant, contributing to the enhancement of the babassu extractivist communities' work and the modernization of the babassu production chain.

**Keywords:** Babassu; Mechanical Engineering; Sustainability; Ergonomics; Social Innovation;

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 - Subprodutos do Babaçu .....	17
Figura 2 - Comprimento do Coco (Fonte: Própria) .....	21
Figura 3 - Diâmetro do Coco (Fonte: Própria) .....	21
Figura 4 - Projeto referência inicial.....	27
Figura 5 - Esboço inicial (Fonte: Própria).....	28
Figura 6 - Rascunho do protótipo (Fonte: Própria) .....	29
Figura 7 - Setor de Direção.....	31
Figura 8 - Estrutura geral da máquina de corte de coco babaçu (Fonte: Própria) .....	39
Figura 9 - Sistema de engrenagens e setor de direção automotivo adaptado ao mecanismo de corte (Fonte: Própria).....	40
Figura 10 - Detalhe do sistema de lâmina e base de apoio para o coco (Fonte: Própria).....	41
Figura 11 - Sistema de Segurança (Fonte: Própria).....	44
Figura 12 - Trava de Segurança (Fonte: Própria) .....	45
Figura 13 - Caixa de proteção (Fonte: Própria) .....	45
Figura 14 - Sequência de corte do coco com o sistema pinhão e cremalheira (Fonte: Própria) .....	47

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Medidas do Babaçu .....	19
Tabela 2 - CHECKLIST NR-12 .....	42
Tabela 3 - Componentes utilizados .....	47

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
NR	Norma Regulamentadora (ex.: NR-12, NR-17)
LER	Lesão por Esforço Repetitivo
CAD	Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
MIQCB	Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVO GERAL .....	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1	CONTEXTO HISTÓRICO E CULTURAL .....	16
2.2	IMPORTÂNCIA AMBIENTAL .....	16
2.3	VALOR ECONÔMICO.....	17
2.4	APROVEITAMENTO INTEGRAL DO COCO (“ÁRVORE DA VIDA”).....	18
2.5	CARACTERIZAÇÃO DOS COCOS BABAÇU .....	18
2.6	PRODUTIVIDADE MANUAL VS MÁQUINA.....	22
2.7	QUESTÕES SOCIAIS .....	23
2.8	DESAFIOS TECNOLÓGICOS .....	23
2.9	POKA-YOKE.....	24
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	EVOLUÇÃO DO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO .....	27
3.2	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA PINHÃO E CREMALHEIRA .....	30
3.3	UTILIZAÇÃO DO SETOR DE DIREÇÃO AUTOMOTIVO .....	30
3.4	SISTEMA DE ENGRANAGENS E RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO .....	32
3.5	COMPONENTES E MATERIAIS UTILIZADOS .....	33
3.6	INTERCAMBIALIDADE DE PEÇAS E ADAPTABILIDADE DO PROJETO.35	35
3.6.1	<i>ESTRUTURA E BASE</i> .....	35
3.6.2	<i>ALAVANCA DE ACIONAMENTO</i> .....	35
3.6.3	<i>LÂMINA DE CORTE</i> .....	36
3.6.4	<i>ENGRANAGENS E SISTEMA DE TRANSMISSÃO</i> .....	36
3.6.5	<i>COMPONENTES AUXILIARES</i> .....	36
4	RESULTADOS E DISCURSSÕES.....	38
4.1	APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DA MÁQUINA .....	38
4.2	DETALHAMENTO DOS COMPONENTES .....	39
4.3	SISTEMA DE CORTE E SEGURANÇA.....	40
4.4	DESEMPENHO E EFICIÊNCIA .....	46
4.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE SUSTENTABILIDADE E MANUTENÇÃO.....	47

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>
	<b>APÊNDICE - PLANIFICAÇÕES .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O babaçu (*Attalea speciosa*) é uma palmeira encontrada principalmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, com destaque para o estado do Maranhão, que concentra a maior área de babaçuais do país. Seu fruto apresenta elevado potencial econômico, sendo utilizado para a produção de óleo, carvão, sabão e cosméticos, além de servir como fonte de alimento em comunidades tradicionais. Esse aproveitamento do babaçu em diferentes áreas remete a um recurso estratégico no qual auxilia tanto na geração de renda para as famílias da região quanto para a indústria regional (SOUZA, 2020).

Apesar da importância socioeconômica, a extração das amêndoas ainda é realizada, em grande parte, de maneira artesanal e arriscada, principalmente por mulheres conhecidas como quebradeiras de coco. O método tradicional consiste em apoiar o fruto sobre uma lâmina ou machado e golpeá-lo com um pedaço de madeira. Tal prática exige grande esforço físico e expõe os trabalhadores a riscos graves, como cortes profundos e até amputações. Além dos acidentes que ocorrem diariamente, a repetição do movimento em postura inadequada e a repetição contínua do movimento favorecem o desenvolvimento de doenças ocupacionais, como lesões na coluna, braços e pernas (MACHADO, 2019).

Nas últimas décadas, diferentes iniciativas de desenvolvimento de equipamentos para quebra ou corte do coco babaçu foram registradas, mas a maioria delas apresenta limitações significativas. Em muitos casos, os projetos existentes são caros, de difícil acesso para comunidades de baixa renda ou não contemplam sistemas de segurança adequados, o que reduz sua aplicabilidade e eficácia em ambientes reais de trabalho (EMBRAPA, 2019). Essa lacuna reforça a necessidade de soluções seguras, ergonômicas, de fácil replicação e baixo custo.

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma máquina de corte de coco babaçu segura, ergonômica e acessível, construída a partir de peças reutilizáveis facilmente encontradas em ferros-velhos ou oficinas locais. O equipamento busca oferecer um processo mais ágil e padronizado, minimizando riscos de acidentes e esforços físicos, ao mesmo tempo em que possibilita às comunidades extrativistas ampliar sua produtividade e melhorar suas condições de trabalho.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma máquina de corte de coco babaçu que seja de baixo custo, segura e ergonomicamente adequada, projetada especialmente para atender às necessidades das comunidades extrativistas da região Norte e Nordeste do Brasil. O equipamento será concebido para permitir sua fabricação a partir de peças reutilizáveis e de fácil obtenção, como componentes encontrados em ferros-velhos ou oficinas locais, garantindo assim fácil construção do equipamento, facilidade de manutenção e viabilidade econômica para os trabalhadores.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Intercambiabilidade de Peças

Projetar o equipamento de forma que suas peças possam ser facilmente substituídas, permitindo manutenções simples e rápidas, sem necessidade de mão de obra especializada.

- Uso de Materiais Reaproveitáveis

Dar prioridade a componentes reciclados ou disponíveis no comércio regional, reduzindo custos de fabricação e incentivando práticas sustentáveis.

- Sistemas de Segurança Poka-Yoke

Incorporar dispositivos de segurança baseados no conceito Poka-Yoke, garantindo que a máquina só funcione em condições corretas e evitando falhas humanas e acidentes.

- Melhoria Ergonômica

Aprimorar o processo de corte por meio de um design que reduza esforços físicos repetitivos e minimize o risco de lesões por esforço repetitivo (LER).

- Facilidade de Replicação

Desenvolver um projeto simples e acessível, que possa ser reproduzido de forma autônoma por comunidades locais, ampliando seu alcance e utilidade.

- Aumento da Produtividade e da Renda

Contribuir para que os extrativistas do babaçu tenham maior eficiência no trabalho, aumentando sua produtividade, gerando mais renda e fortalecendo a econômico e social das regiões produtoras de babaçu.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONTEXTO HISTÓRICO E CULTURAL

O babaçu é uma palmeira de grande relevância histórica e cultural no Brasil, especialmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Sua presença remonta a séculos de convivência com comunidades rurais, que desenvolveram formas tradicionais de aproveitamento integral do fruto. No Maranhão, estado que concentra a maior extensão de babaçuais do país, o extrativismo se tornou uma atividade central na vida de milhares de famílias (ANDERSON; MAY; BALICK, 1991).

A coleta e quebra do coco babaçu são realizadas majoritariamente por mulheres, conhecidas como quebradeiras de coco babaçu, que assumiram um papel simbólico e prático na manutenção dessa atividade. Essas mulheres não apenas garantem o sustento de suas famílias, mas também construíram uma identidade cultural própria, marcada pela solidariedade e pela luta por direitos sociais. A criação do Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu (MIQCB), em 1991, representa um marco histórico, consolidando a organização política dessas trabalhadoras em defesa do livre acesso aos babaçuais, da valorização do trabalho e da preservação ambiental (RUIZ, 2005; VIANA; PRIETO, 2022).

Um avanço significativo foi a implementação das chamadas Leis do Babaçu Livre, presentes em diversos municípios do Maranhão, Tocantins, Piauí e Pará. Essas leis asseguram às quebradeiras o direito de coletar cocos em propriedades públicas e privadas, mesmo sem autorização formal dos donos da terra (BARBOSA, 2017). Esse marco legal reconhece a importância social e cultural da atividade, garantindo às trabalhadoras acesso a um recurso natural essencial para sua sobrevivência, além de reforçar a luta contra a exploração e a exclusão social.

### 2.2 IMPORTÂNCIA AMBIENTAL

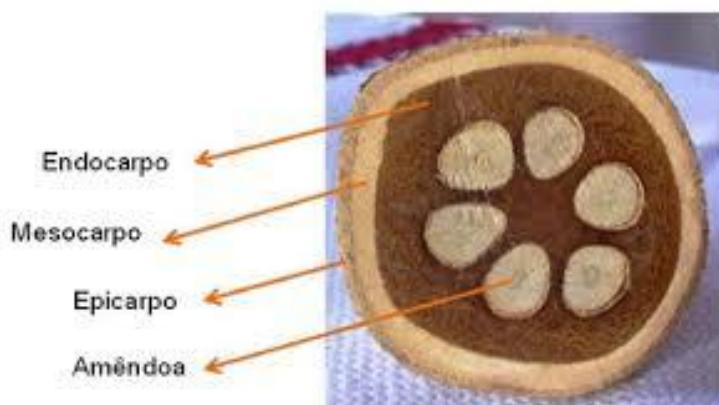
O babaçu se destaca por sua adaptação ecológica e por desempenhar um papel estratégico na regeneração de ecossistemas. Essa palmeira cresce espontaneamente em áreas degradadas, funcionando como espécie pioneira em processos de recomposição florestal (MAY et al., 2019). Sua capacidade de se adaptar a diferentes tipos de solo e de prosperar sem necessidade de cultivo intensivo torna o babaçu um recurso de grande valor para práticas agroecológicas e de conservação ambiental.

Além disso, o babaçu contribui diretamente para o equilíbrio dos ecossistemas locais. Seus extensos babaçuais fornecem sombra, proteção do solo contra erosão e manutenção da umidade do ambiente, favorecendo a biodiversidade. A fauna regional também depende dessa palmeira, uma vez que diferentes espécies utilizam seus frutos como alimento ou encontram abrigo em suas copas (SOUZA et al., 2020). Por essas características, o babaçu é frequentemente citado como exemplo de recurso florestal não madeireiro de alta relevância ecológica e social.

### 2.3 VALOR ECONÔMICO

O babaçu movimenta uma cadeia produtiva diversificada que gera renda em várias etapas do extrativismo e do beneficiamento. Dele se extraem diferentes produtos com aplicação direta na alimentação, na indústria e na bioenergia. As amêndoas são utilizadas para produção de óleo comestível e cosmético, com destaque para a crescente demanda nos mercados de cosméticos naturais e produtos orgânicos. O mesocarpo é transformado em farinha, ingrediente importante para a segurança alimentar em comunidades rurais. Já o endocarpo e a casca são aproveitados na produção de carvão e briquetes, com potencial energético significativo (LEITE, 2003; EMBRAPA, 2023).

Figura 1 - Subprodutos do Babaçu



Fonte: SIMBRAS-AS. Apresentação do PowerPoint. Viçosa, 2020. Disponível em: <https://simbras-as.com.br/wp-content/uploads/2020/05/8.pdf>. Acesso em: 07/11/2025

Estudos recentes apontam que a casca e o endocarpo do babaçu apresentam poder calorífico comparável ao bagaço da cana-de-açúcar, podendo representar até 5% da matriz

energética brasileira se aproveitados em larga escala (OLIVEIRA et al., 2019). Esse potencial posiciona o babaçu como recurso estratégico para diversificação energética sustentável. Além disso, o aproveitamento da biomassa do babaçu contribui para reduzir a pressão sobre recursos fósseis e abre perspectivas para inserção em políticas de transição energética.

No entanto, apesar do vasto potencial, o retorno financeiro para as comunidades extrativistas ainda é limitado. Grande parte do lucro gerado na cadeia produtiva do babaçu fica concentrada em indústrias e intermediários, enquanto as quebradeiras recebem valores baixos pela venda do coco in natura ou das amêndoas (RUIZ, 2005; SCHEID; FERNANDES, 2018). Isso evidencia a necessidade de políticas públicas e inovações tecnológicas que fortaleçam a economia local e a agregação de valor na origem.

## **2.4 APROVEITAMENTO INTEGRAL DO COCO (“ÁRVORE DA VIDA”)**

O babaçu é popularmente conhecido como “árvore da vida”, em virtude da multiplicidade de usos que oferece. O aproveitamento integral do fruto e da planta reflete tanto sua versatilidade econômica quanto sua importância cultural. As amêndoas são fonte de óleo comestível e cosmético, leite vegetal e bebidas. O mesocarpo é moído e transformado em farinha nutritiva, rica em amido e ferro, usada em mingaus, pães e bolos, com potencial de aplicação em programas de segurança alimentar (LEITE, 2003).

A casca e o endocarpo fornecem carvão e briquetes, amplamente utilizados para cocção e geração de energia, além de possuírem qualidade suficiente para uso em processos industriais como a siderurgia (SOUZA et al., 2020). As folhas e palhas são empregadas na cobertura de casas, artesanato e produção de utensílios domésticos. Por sua vez, as fibras extraídas do coco são aplicadas na confecção de cordas, esteiras e colchões artesanais. Essa diversidade de usos não apenas garante a sobrevivência das famílias extrativistas, mas também reforça a centralidade do babaçu como recurso socioeconômico sustentável.

## **2.5 CARACTERIZAÇÃO DOS COCOS BABAÇU**

Para dimensionar adequadamente a máquina de corte de coco babaçu, foi realizada a medição de um conjunto de frutos coletados no município de Buritizeiro – MG, utilizando régua graduada e paquímetro para determinação do comprimento total e diâmetro máximo. Os valores obtidos serviram como referência para definir a altura útil da lâmina e a largura da base de

apoio, assegurando que o equipamento seja compatível com os frutos efetivamente processados pelas comunidades extrativistas.

As medições locais indicaram comprimento médio de 72,2 mm e diâmetro médio de 53,5 mm, com variações associadas à maturação e ao ambiente de coleta. Esses valores foram comparados com dados da literatura, que apontam que os frutos de babaçu possuem formato elipsoidal, comprimento médio de 9,4 cm e diâmetro médio de 6,0 cm. Esses dados reforçam que, embora haja variação regional e de estágio de maturação, a faixa dimensional dos frutos é bem definida, permitindo que a máquina seja projetada com margem de operação segura para diferentes tamanhos de cocos. Nas Figura 2, Figura 3 e na Tabela 1 é possível observar as características e dimensões dos cocos.

Dessa forma, a altura de curso da lâmina foi dimensionada para atender tanto aos frutos menores encontrados localmente quanto aos frutos de maior porte registrados na literatura, garantindo eficiência de corte, estabilidade do posicionamento e flexibilidade operacional em diferentes cenários produtivos.

Tabela 1 - Medidas do Babaçu

MEDIDAS COCOS [mm]		
AMOSTRA	VERTICAL	HORIZONTAL
<b>1</b>	63,9	63,65
<b>2</b>	69,9	61,35
<b>3</b>	68,3	57,6
<b>4</b>	68,25	47,6
<b>5</b>	68,05	57,4
<b>6</b>	80,55	48,75
<b>7</b>	66,5	52,85
<b>8</b>	69,9	50,6
<b>9</b>	70,25	59,5
<b>10</b>	77,25	46,15
<b>11</b>	67,2	63,5
<b>12</b>	74,8	49,5
<b>13</b>	81,3	49
<b>14</b>	66,4	61,3
<b>15</b>	65,5	57,95
<b>16</b>	83,1	44,05
<b>17</b>	68,8	65,2
<b>18</b>	76,65	54
<b>19</b>	80,8	50,1
<b>20</b>	72,25	63,95
<b>21</b>	62,7	65,95

<b>22</b>	69,7	67,4
<b>23</b>	62,5	52,4
<b>24</b>	66,6	66
<b>25</b>	81,35	54,65
<b>26</b>	65,6	51,65
<b>27</b>	83,45	52,8
<b>28</b>	62,7	45,65
<b>29</b>	75,2	57,4
<b>30</b>	70,9	46,85
<b>31</b>	85,2	41,9
<b>32</b>	88,4	39,9
<b>33</b>	59,55	43,8
<b>34</b>	74	42,9
<b>35</b>	80,25	38,4
<b>Média</b>	72,2	53,5
<b>Desv. Padrão</b>	7,5	8,2

O gráfico elaborado apresenta a comparação entre os valores médios obtidos para as medições na orientação vertical e horizontal. Para cada barra, foram adicionadas barras de erro correspondentes ao desvio-padrão, que indicam a variabilidade natural dos dados em torno da média. Essas barras de erro fornecem uma representação visual da dispersão das amostras, permitindo identificar o quanto os valores individuais se afastam do valor central. Quanto maior o desvio-padrão, maior é a incerteza associada à medida e, portanto, maior a barra de erro exibida no gráfico. Dessa forma, o gráfico não apenas destaca as diferenças entre as médias das duas orientações, mas também evidencia a consistência ou variabilidade dos resultados obtidos.

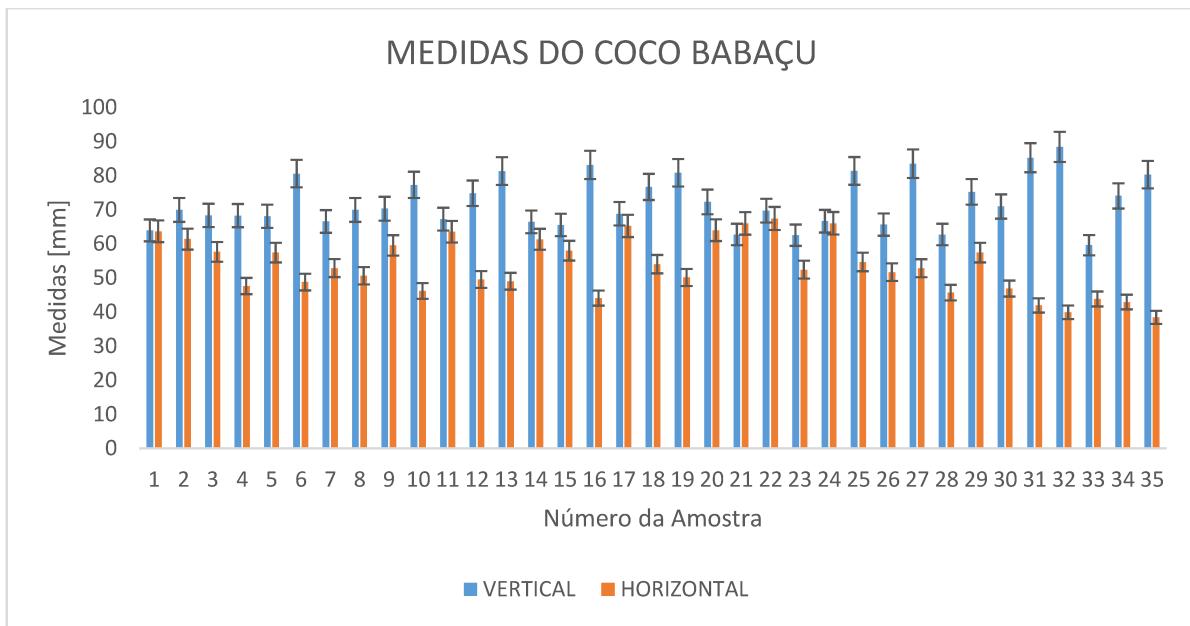


Gráfico 1 – Amostra de medidas



Figura 2 - Comprimento do Coco (Fonte: Própria)



Figura 3 - Diâmetro do Coco (Fonte: Própria)

## 2.6 PRODUTIVIDADE MANUAL VS MÁQUINA

Durante o processo de validação do projeto, foi possível observar um aumento expressivo na produtividade em relação ao método tradicional de quebra do coco babaçu. Segundo Vale et al. (2018), em estudo realizado na Fábrica da União dos Clubes de Mães, no município de Itapecuru-Mirim/MA, o tempo médio necessário para a quebra manual de um coco varia de 17 a 71 segundos por fruto, dependendo da dureza do epicarpo, da idade do coco e da experiência da trabalhadora. No mesmo estudo, observou-se que as quebradeiras realizavam a atividade sentadas diretamente sobre o chão, com o tronco inclinado e os braços abaixo da linha dos ombros, aplicando força com o auxílio de um macete (pedaço de madeira) com massa entre 502 e 826 g, resultando em um esforço físico considerável e em riscos ergonômicos significativos.

Em contraste, analisando pela modelagem da máquina de corte, demonstra que o equipamento é capaz de realizar o corte completo de cada fruto em aproximadamente 10 segundos, representando um ganho de produtividade entre 70% e 610% em relação ao método manual. Além disso, o uso do mecanismo pinhão-cremalheira associado ao setor de direção automotivo reduziu substancialmente o esforço exigido do operador, eliminando a necessidade de golpes sucessivos e diminuindo o risco de acidentes com lâmina ou impacto.

Outro ponto relacionado a produtividade seria o rendimento de amêndoas extraídas. De acordo com Vale et al. (2018), as quebradeiras de coco babaçu produzem entre 5 e 7 kg de amêndoas por dia, dependendo da qualidade e umidade dos frutos. Considerando que cada coco babaçu pesa em média 190 g e contém entre 10% e 15% de amêndoas (PORTO, 2018), estima-se que uma trabalhadora tradicional quebre aproximadamente 280 cocos por dia. Com a introdução da máquina desenvolvida neste projeto, cujo ciclo de corte médio é de 10 segundos por coco, a capacidade de processamento pode alcançar até 2.880 frutos por jornada de 8 horas, o que representa um aumento potencial de nove vezes na produtividade. Isso equivaleria a uma produção diária de cerca de 60 kg de amêndoas aproximadamente, considerando o mesmo rendimento por fruto. Tal resultado demonstra que o equipamento proposto não apenas otimiza o tempo e reduz o esforço físico das trabalhadoras, como também melhora significativamente as condições de segurança das trabalhadoras envolvidas na extração do coco babaçu. Além disso, tem um potencial de ampliar significativamente a renda das comunidades extrativistas, promovendo valorização econômica e inclusão social na cadeia produtiva do babaçu.

## 2.7 QUESTÕES SOCIAIS

O extrativismo do babaçu está intimamente ligado às questões sociais que envolvem as comunidades rurais, especialmente no Maranhão, Tocantins, Piauí e Pará. Para muitas famílias, essa atividade representa a principal ou única fonte de renda, assegurando subsistência em regiões marcadas por isolamento geográfico e baixa oferta de empregos (BARBOSA, 2017).

As quebradeiras de coco enfrentam condições precárias de trabalho, caracterizadas por esforço físico intenso, baixa remuneração e ausência de equipamentos seguros. O método tradicional de quebra expõe as trabalhadoras a sérios riscos de acidentes, como cortes profundos, mutilações e lesões por esforço repetitivo (SOUZA, 2020). Além disso, a postura inadequada adotada durante a quebra favorece o desenvolvimento de doenças ocupacionais que comprometem a saúde das trabalhadoras ao longo do tempo.

Essas condições são agravadas pela desigualdade de gênero e pela falta de reconhecimento formal da atividade. Por isso, a luta das quebradeiras vai além da sobrevivência econômica, incluindo a defesa de direitos territoriais, previdenciários e trabalhistas. A organização em movimentos sociais, como o MIQCB, fortaleceu a resistência das quebradeiras e garantiu avanços legais, como a criação das Leis do Babaçu Livre (VIANA; PRIETO, 2022).

## 2.8 DESAFIOS TECNOLÓGICOS

Apesar da importância econômica e social do babaçu, os desafios tecnológicos relacionados ao seu processamento permanecem significativos. A quebra manual continua sendo a forma predominante de extração das amêndoas, o que limita a produtividade e expõe as trabalhadoras a riscos. Embora alguns equipamentos industriais tenham sido desenvolvidos, a maioria apresenta custos elevados e não é acessível às comunidades extrativistas (SCHEID; FERNANDES, 2018).

Além disso, muitos dos equipamentos existentes não atendem a requisitos de segurança e ergonomia, perpetuando parte dos problemas do processo manual. Essa realidade cria uma lacuna tecnológica que inviabiliza o aproveitamento pleno do potencial econômico do babaçu, restringindo sua valorização e o acesso a mercados de maior valor agregado. Nesse cenário, projetos voltados para o desenvolvimento de máquinas de baixo custo, seguras e de fácil replicação se apresentam como fundamentais para transformar a realidade das comunidades extrativistas.

## 2.9 POKA-YOKE

O Poka-Yoke é uma metodologia de prevenção de erros e falhas humanas em processos produtivos, criada no contexto do Toyota Motor Company, e difundida por Shigeo Shingo. O termo japonês pode ser traduzido como “à prova de erros” ou “prevenção de falhas indesejadas”. O objetivo básico do Poka-Yoke é evitar que erros humanos, como distração, fadiga ou falha de atenção, resultem em defeitos, acidentes ou retrabalhos, substituindo a dependência exclusiva da vigilância ou atenção constante do operador por dispositivos mecânicos, projetos e procedimentos que impeçam a ocorrência do erro desde sua origem.

No contexto industrial, a aplicação do Poka-Yoke traz vários benefícios: redução de desperdício, diminuição de defeitos, aumento da segurança do trabalhador, maior confiabilidade no processo e maior qualidade do produto final.

No presente projeto da máquina de corte de coco babaçu, o Poka-Yoke foi adotado como princípio fundamental de segurança: a máquina só opera se ambas as alavancas forem acionadas simultaneamente (uma trava de segurança + acionamento da lâmina), impedindo que a lâmina desça de modo involuntário ou com as mãos do operador soltas. Essa combinação garante que o operador não possa encaixar o coco e acionar a lâmina sem que ambas as mãos estejam segurando as alavancas de forma segura, eliminando um erro humano grave: o contato da mão com a lâmina.

O uso da lógica Poka-Yoke adapta os conceitos da metodologia para o contexto rural e artesanal, transformando a operação de corte de coco tradicionalmente insegura e sujeita a acidentes em um processo mecanizado, controlado e seguro.

Além disso, o design da máquina busca tornar a manutenção simples e a estrutura adaptável, de modo que eventuais falhas (desgaste da lâmina, folgas, desalinhamentos) possam ser facilmente corrigidas com peças reaproveitadas, sem depender de fornecedores especializados. Isso está alinhado à filosofia Poka-Yoke de reduzir defeitos e falhas também na manutenção, não apenas na operação, garantindo longevidade e confiabilidade do equipamento.

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada de caráter experimental, voltada ao desenvolvimento de uma máquina de corte de coco babaçu de baixo custo, segura, ergonômica e de fácil replicação. O projeto foi desenvolvido com base em princípios da engenharia mecânica, do design ergonômico e da sustentabilidade, buscando solucionar um problema real enfrentado por trabalhadores extrativistas das regiões Norte e Nordeste do Brasil: a falta de equipamentos seguros e acessíveis para o corte do coco babaçu.

O desenvolvimento da pesquisa iniciou-se com uma análise bibliográfica detalhada sobre o contexto do extrativismo do babaçu e a realidade das quebradeiras de coco. Essa etapa teve como objetivo compreender a dimensão social e econômica do problema, bem como identificar os principais riscos e dificuldades do processo manual de quebra. Foram consultadas publicações científicas, dissertações, artigos e relatórios técnicos da Embrapa e de instituições de ensino superior, abordando temas como ergonomia no trabalho rural, acidentes ocupacionais, aproveitamento energético do babaçu e tecnologias alternativas para o processamento do fruto.

Em seguida, realizou-se um levantamento de equipamentos existentes, analisando protótipos, ferramentas e máquinas voltadas ao corte ou quebra do coco, tanto em escala artesanal quanto industrial. Essa etapa teve o propósito de compreender as soluções já desenvolvidas, identificando suas limitações quanto à segurança, custo, eficiência e complexidade construtiva. A partir dessa análise comparativa, foi possível definir os parâmetros essenciais que orientariam o novo projeto, como: baixo custo de fabricação, facilidade de manutenção, intercambiabilidade de peças, operação segura e postura ergonômica adequada.

Com base nesses parâmetros, iniciou-se a fase de concepção do projeto mecânico, na qual foram idealizados diversos modelos até se chegar ao conceito final da máquina. Essa etapa incluiu a elaboração de esboços, croquis e modelagens em software de desenho técnico (CAD), permitindo visualizar o funcionamento dos mecanismos e realizar simulações de movimento. O sistema escolhido utiliza um conjunto pinhão e cremalheira acoplado a uma alavanca, que converte o movimento rotativo em linear, transferindo força para uma lâmina cortante que desce sobre o coco. Esse arranjo mecânico foi definido por apresentar boa relação de força, simplicidade construtiva e facilidade de operação.

A fase seguinte consistiu na seleção dos materiais e componentes, priorizando peças reutilizáveis e de fácil obtenção em oficinas e ferros-velhos. Essa escolha foi fundamental para reduzir o custo total e tornar o equipamento acessível às comunidades extrativistas. Foram

utilizados perfis enrijecidos, um setor de direção de automóvel, tubos metálicos, eixos, rolamentos, engrenagens, mola, chapas de aço e polia. O reuso de materiais também está alinhado aos princípios da sustentabilidade e da economia circular, contribuindo para a diminuição de resíduos industriais.

A modelagem do protótipo foi realizada de forma artesanal, utilizando ferramentas convencionais, como solda elétrica, esmeril, furadeira e torno mecânico. Durante essa etapa, buscou-se manter a estrutura robusta e estável, capaz de suportar o impacto gerado durante o corte do coco. O processo incluiu ajustes de encaixe, fixação dos componentes móveis e verificação da eficiência do sistema de transmissão de força. Foram realizadas pequenas modificações estruturais até atingir o equilíbrio ideal entre eficiência, conforto e segurança operacional.

A segurança foi uma das prioridades do projeto. Para isso, o desenvolvimento da máquina considerou os requisitos da NR-12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos) e da NR-17 (Ergonomia), normas fundamentais para a proteção dos operadores. O projeto incorporou o conceito de Poka-Yoke, um sistema à prova de erro, garantindo que o equipamento só funcione sob condições corretas de operação. Isso foi alcançado com o uso de um mecanismo onde o operador necessita acionar uma alavanca com a mão esquerda, no qual libera uma trava interna nas engrenagens, permitindo o movimento do sistema com a mão direita. Dessa forma, o sistema impede que o operador fique com as mãos livres, evitando que ele se corte na lâmina que desce verticalmente para abrir o coco. Esse recurso minimiza significativamente o risco de acidentes, protegendo mãos e dedos do operador.

A ergonomia também foi cuidadosamente analisada durante o desenvolvimento. O projeto visa permitir que o operador trabalhe sentado ou em pé, em posição confortável e com esforço reduzido. O uso do setor de direção automotivo possibilita a aplicação de força mínima para realizar o corte, reduzindo o desgaste físico e prevenindo lesões por esforço repetitivo (LER). A altura e o ângulo do conjunto de corte foram ajustados de acordo com as medidas antropométricas médias de um operador adulto, com base em recomendações da NR-17.

Com os resultados obtidos nos testes de modelagem, foram feitos ajustes finais na estrutura e no sistema de fixação da lâmina. Pequenas modificações foram realizadas para melhorar a precisão do corte e a estabilidade do conjunto. O protótipo final apresentou operação segura, rápida e confortável, atendendo aos objetivos propostos de criar uma máquina acessível, ergonômica e eficiente para o corte do coco babaçu.

Por fim, a metodologia adotada foi estruturada de forma a garantir não apenas a eficiência mecânica da máquina, mas também sua viabilidade social e econômica. O projeto priorizou o

reaproveitamento de materiais, a simplicidade de construção e a possibilidade de replicação comunitária, permitindo que as próprias quebradeiras de coco, ou pequenos mecânicos locais, possam reproduzir o equipamento sem a necessidade de maquinário especializado. Assim, o desenvolvimento da máquina se alinha aos princípios de sustentabilidade, inclusão produtiva e valorização do trabalho tradicional das quebradeiras de coco babaçu.

### 3.1 EVOLUÇÃO DO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O desenvolvimento da máquina de corte de coco babaçu passou por diversas etapas de concepção e aprimoramento até chegar à configuração final apresentada neste trabalho. Inicialmente, a proposta buscava uma solução simples e de fácil construção, inspirada no método tradicional de corte realizado pelas quebradeiras, mas que garantisse maior segurança e eficiência.

A primeira versão idealizada consistia em um mecanismo de alavanca simples, utilizando uma lâmina de foice fixada em uma base metálica. O operador exercia força manual direta sobre a alavanca para cortar o coco posicionado abaixo da lâmina. Essa concepção apresentava a vantagem de ser facilmente reproduzida com materiais de baixo custo, mas oferecia pouca estabilidade e controle de força, além de riscos significativos de acidente, já que o operador permanecia muito próximo da lâmina durante o corte.

Figura 4 - Projeto referência inicial.



Fonte: Quality torres serralheria, 2025, 02:09. Imagem extraída de: “Máquina de cortar coco de Barú, feita com foice e bengala de moto”. YouTube, 06 set. 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=iGY9XamfbII>. Acesso em: 07 nov. 2025.

Em seguida, o projeto evoluiu para um modelo baseado em um sistema de pinhão e cremalheira, semelhante ao de uma prensa manual de bancada. Essa configuração permitia converter o movimento rotativo de uma alavanca em deslocamento linear da lâmina, aumentando o controle do operador e reduzindo o esforço necessário. Essa ideia foi inspirada em mecanismos industriais simples de prensagem e furação, que utilizam engrenagens para multiplicar a força aplicada (OLIVEIRA, 2024). No entanto, os testes e simulações apontaram que a estrutura ainda exigia ajustes para garantir a precisão do corte e a ergonomia adequada.

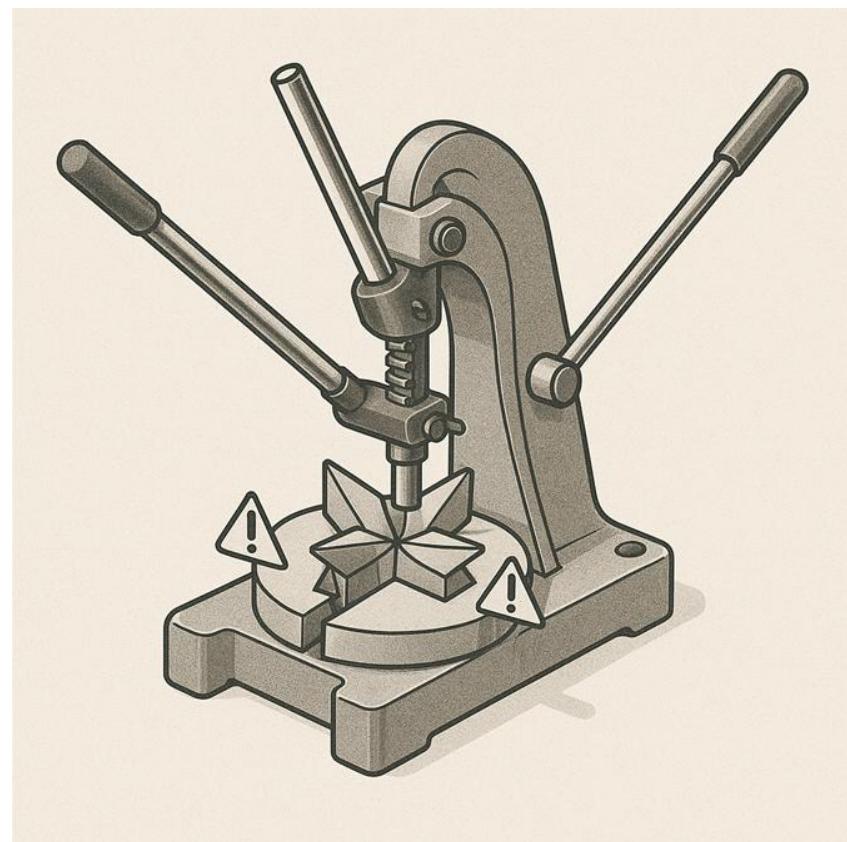


Figura 5 - Esboço inicial (Fonte: Própria)

Posteriormente, foi avaliada a possibilidade de utilizar uma prensa mecânica adaptada, na qual a lâmina seria acionada verticalmente por um eixo com mola de retorno. Essa versão buscava maior estabilidade estrutural e uma área de corte mais centralizada, reduzindo o risco de deslocamento do coco durante a operação. Apesar da melhora na segurança, o sistema ainda apresentava complexidade na fabricação e dependência de componentes específicos, o que poderia limitar a replicação em comunidades com poucos recursos.

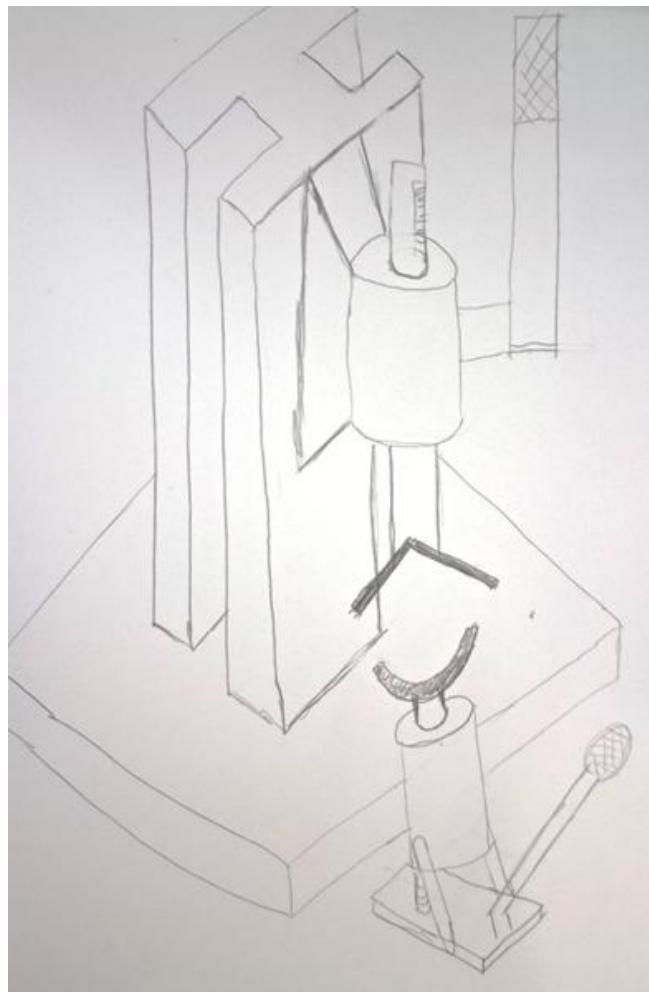


Figura 6 - Rascunho do protótipo (Fonte: Própria)

Após essas etapas de testes e aperfeiçoamentos, chegou-se à configuração final: um mecanismo encontrado em automóveis, um setor de direção, que utiliza o sistema de pinhão cremalheira para transformar o movimento da alavanca em deslocamento linear da lâmina. Essa solução mostrou-se a mais adequada por combinar segurança, robustez, simplicidade construtiva e facilidade de manutenção. O setor de direção, encontrado em ferros-velhos e oficinas, proporciona excelente relação de transmissão de força, permitindo que o operador realize o corte com mínimo esforço físico. Além disso, o uso desse componente reforça o princípio de intercambiabilidade e reaproveitamento de materiais, um dos pilares do projeto.

Portanto, a evolução do projeto reflete um processo de melhoria contínua e validação experimental, no qual cada versão contribuiu para o aprimoramento da eficiência, ergonomia e segurança da máquina. O resultado final representa uma síntese entre viabilidade técnica, baixo custo e aplicabilidade social, atendendo às necessidades reais das comunidades extrativistas do babaçu.

### 3.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA PINHÃO E CREMALHEIRA

O sistema pinhão e cremalheira é amplamente utilizado na engenharia mecânica como mecanismo de conversão de movimento, transformando um movimento rotativo em movimento linear. Ele é composto por uma engrenagem cilíndrica (pinhão) e uma barra dentada (cremalheira), que trabalham em conjunto por meio do engate entre seus dentes. Quando o pinhão gira, seus dentes se deslocam ao longo da cremalheira, produzindo um movimento linear proporcional ao ângulo de rotação aplicado (LIMA et al., 2018).

Segundo Lima et al. (2018), esse sistema é utilizado há mais de dois séculos, tendo sido originalmente projetado pelo engenheiro inglês John Blenkinsop em 1811, para aumentar a tração de locomotivas leves. Posteriormente, passou a ser empregado em mecanismos de direção automotiva devido à sua simplicidade construtiva, eficiência e precisão. O conjunto proporciona uma relação direta entre o deslocamento angular do pinhão e o deslocamento linear da cremalheira, permitindo controle suave e previsível do movimento.

No contexto deste projeto, o sistema foi adaptado para atuar no acionamento da lâmina de corte da máquina de babaçu, sendo acionado por uma alavanca manual. Quando o operador movimenta a alavanca, o pinhão gira e desloca a cremalheira para baixo, empurrando a lâmina de corte em direção ao coco. Esse mecanismo oferece vantagens ergonômicas e mecânicas, pois reduz o esforço físico exigido do operador, mantendo um controle preciso da força aplicada.

Além disso, conforme observado por Peetz (2018), o sistema pinhão e cremalheira apresenta elevada eficiência de transmissão, baixa necessidade de manutenção, características ideais para projetos de baixo custo e fácil replicação. Tais propriedades justificam sua escolha como o principal mecanismo da máquina proposta neste trabalho, garantindo segurança, confiabilidade e acessibilidade técnica.

### 3.3 UTILIZAÇÃO DO SETOR DE DIREÇÃO AUTOMOTIVO

O setor de direção automotivo foi incorporado ao projeto como parte essencial do sistema de acionamento da máquina, com o objetivo de ampliar o torque aplicado e reduzir o esforço físico do operador, no qual, utiliza o sistema pinhão/cremalheira. Trata-se de um conjunto mecânico que normalmente integra o sistema de direção veicular, composto por um sem-fim e um setor dentado, que convertem o movimento rotativo do volante em movimento angular das rodas dianteiras (PEETZ, 2018).

Segundo Peetz (2018), o setor de direção é responsável por multiplicar o torque de entrada, permitindo que pequenas forças aplicadas no volante resultem em maiores forças no sistema de esterçamento. Essa característica foi aproveitada no presente projeto, pois o setor foi adaptado, servindo como amplificador de força no acionamento da lâmina de corte. Assim, o operador aplica uma força mínima na alavanca, obtendo uma força consideravelmente maior na lâmina, o que torna o processo de corte mais leve e eficiente.

A utilização do setor de direção automotivo também apresenta benefícios relacionados à sustentabilidade e viabilidade econômica, uma vez que é uma peça facilmente encontrada em ferros-velhos e oficinas mecânicas, podendo ser reutilizada com pequenas adaptações. Conforme destaca Peetz (2018), o aproveitamento de componentes automotivos para novas aplicações reduz custos de produção e prolonga a vida útil de peças metálicas, alinhando-se aos princípios da economia circular.

Do ponto de vista técnico, o setor de direção oferece uma transmissão de força progressiva e controlada, minimizando impactos durante o acionamento e evitando esforços bruscos. Sua aplicação neste projeto garante maior eficiência no processo de quebra dos cocos, além de contribuir para a segurança do operador, já que o acionamento é controlado por um mecanismo que exige o uso simultâneo das duas mãos, impedindo o contato direto com a lâmina.



Figura 7 - Setor de Direção  
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=3obirNG9GrM>

### 3.4 SISTEMA DE ENGRENAGENS E RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO

O sistema de engrenagens foi projetado para maximizar a eficiência do movimento da alavanca rotativa, permitindo que um pequeno movimento angular aplicado pelo operador resulte em um deslocamento linear suficiente da lâmina de corte para abrir o coco babaçu. Esse princípio baseia-se no conceito de relação de transmissão, que permite transformar velocidade e torque entre dois eixos conectados por engrenagens.

As engrenagens estão dispostas de forma a reduzir o número de voltas necessárias na alavanca, aproveitando o ganho mecânico. Ou seja, em vez de exigir grandes deslocamentos do operador, poucas rotações no volante são suficientes para que a cremalheira desça o curso completo necessário para cortar o fruto. Isso reduz o esforço físico, melhora a ergonomia e aumenta a produtividade.

A relação entre o movimento das engrenagens é dada pela equação:

Equação 1 - Relação de Transmissão

$$i = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

onde:

$i$  = relação de transmissão,

$N_1$  e  $N_2$  = número de dentes das engrenagens motora e movida, respectivamente,

$\omega_1$  e  $\omega_2$  = velocidades angulares das engrenagens,

$d_1$  e  $d_2$  = diâmetros primitivos das engrenagens.

Exemplo:

Se a engrenagem motora (ligada à alavanca) tiver 20 dentes e a engrenagem movida (ligada ao setor de direção) tiver 60 dentes, então:

$$i = \frac{60}{20} = 3$$

Isso significa que para cada volta completa da alavanca, a engrenagem movida gira 1/3 de volta, multiplicando o torque aplicado. Como consequência, mesmo com pouco movimento na alavanca, a lâmina desce o bastante para cortar o coco de forma eficiente e controlada.

Esse sistema também permite ajustes finos:

Se for usada uma engrenagem maior no eixo movido, será necessário menos esforço, porém a lâmina se moverá mais lentamente.

Se for usada uma engrenagem menor, será preciso mais movimento na alavanca, mas a lâmina se moverá mais rapidamente.

Dessa forma, diferentes configurações de engrenagens podem ser utilizadas de acordo com a disponibilidade de peças ou as preferências do operador, mantendo a intercambialidade. Engrenagens automotivas de embreagem, bicicletas, motos, tratores ou até sistemas industriais reaproveitados podem substituir as originais, bastando ajustar a relação de transmissão para obter o mesmo resultado funcional. Além disso, a relação entre a rotação da alavanca e o deslocamento linear da lâmina também pode ser determinada pela equação:

#### Equação 2 - Deslocamento Linear

$$S = \frac{\theta * d_2}{2\pi}$$

onde:

S = deslocamento linear da cremalheira (e da lâmina),

$\theta$  = ângulo de rotação da alavanca (em radianos),

d2 = diâmetro primitivo da engrenagem movida.

Essa equação mostra que, ao aumentar o diâmetro ou número de dentes da engrenagem movida, obtém-se maior deslocamento da lâmina com menor esforço. Esse foi um dos fatores determinantes para a escolha do conjunto de engrenagens combinado com o setor de direção automotivo.

### 3.5 COMPONENTES E MATERIAIS UTILIZADOS

Para o protótipo da máquina de corte de coco babaçu, foram selecionados materiais e componentes mecânicos de fácil obtenção, priorizando o reaproveitamento de peças metálicas

disponíveis em ferros-velhos ou oficinas mecânicas. Essa escolha visou reduzir custos, facilitar a replicação comunitária do equipamento e garantir a durabilidade estrutural da máquina.

A estrutura principal foi confeccionada com perfis metálicos enrijecidos, proporcionando resistência mecânica adequada para suportar os esforços de corte sem deformações estruturais. Os tubos metálicos foram utilizados como elementos de suporte e guia, garantindo o alinhamento da lâmina e a estabilidade do sistema de acionamento.

O setor de direção automotivo foi incorporado como mecanismo de multiplicação de torque, reduzindo o esforço físico necessário para acionar a lâmina e tornando o equipamento acessível a diferentes perfis de operadores. Para a transmissão de movimento, foram empregados eixos, engrenagens e uma polia, garantindo a conversão eficiente do movimento rotacional em movimento linear. Os rolamentos foram utilizados para minimizar atritos e assegurar o bom funcionamento das peças móveis, aumentando a vida útil do equipamento e reduzindo a necessidade de manutenção.

Uma mola de retorno foi inserida no sistema de acionamento para garantir que a alavanca de segurança retorne à posição inicial caso o operador a solte, evitando assim, acidentes durante a utilização do equipamento. Já as chapas de aço foram utilizadas na estrutura de apoio da caixa de segurança, confecção da base de apoio e na fabricação da lâmina de corte, devido à sua alta resistência e estabilidade.

Além disso, foi projetada uma caixa de segurança, que pode ser feita com mdf ou acrílico, com o intuito de vedar as partes moveis da máquina, impedindo que o operador tenha acesso direto as engrenagens de redução, evitando assim, acidentes durante o manuseio do equipamento.

A união dos componentes foi feita com solda elétrica, garantindo robustez nas ligações estruturais, enquanto parafusos e porcas foram utilizados em pontos estratégicos para permitir desmontagens futuras, facilitando eventuais manutenções ou substituições de peças.

O projeto foi pensado para ser modular e intercambiável, permitindo que qualquer peça danificada seja facilmente substituída por outra similar, sem a necessidade de mão de obra especializada ou componentes de alto custo. Essa abordagem reforça a viabilidade prática da máquina para uso comunitário, especialmente em regiões rurais onde o acesso a tecnologias avançadas é limitado.

### **3.6 INTERCAMBIALIDADE DE PEÇAS E ADAPTABILIDADE DO PROJETO**

Um dos pilares fundamentais do desenvolvimento desta máquina de corte de coco babaçu foi o conceito de intercambialidade de peças, ou seja, a possibilidade de substituir componentes por outros equivalentes, encontrados com facilidade na comunidade local, sem comprometer o funcionamento e a segurança do equipamento. Essa estratégia permite que a máquina possa ser construída, reparada e adaptada com materiais disponíveis regionalmente, reduzindo custos e aumentando sua disseminação prática.

#### **3.6.1 ESTRUTURA E BASE**

A estrutura foi inicialmente projetada com perfis metálicos enrijecidos, por apresentarem excelente resistência mecânica e fácil soldagem. No entanto, essa peça pode ser substituída por outros materiais similares, como:

- Cantoneiras metálicas reaproveitadas de construções;
- Tubos galvanizados estruturais;
- Perfis U ou L de sucata industrial;
- Madeira tratada e reforçada, quando o acesso a metais for limitado.

A base também pode ser feita com chapas metálicas reutilizadas ou blocos de madeira compensada, desde que mantenham a estabilidade e a fixação adequada do conjunto.

#### **3.6.2 ALAVANCA DE ACIONAMENTO**

A alavanca original foi projetada com tubo metálico cilíndrico, porém outras peças com função estrutural semelhante podem ser usadas, como:

- Guidão de bicicleta ou motocicleta, que possuem boa ergonomia e resistência à torção;
- Barras de ferro maciço ou oco, provenientes de sucatas;
- Tubos de conduíte metálico reforçado, com reforços nas extremidades.

Essa intercambialidade facilita adaptações criativas com materiais comuns nas oficinas locais, sem a necessidade de peças usinadas sob medida.

### ***3.6.3 LÂMINA DE CORTE***

A lâmina cortante pode ser confeccionada a partir de diversos materiais metálicos com boa resistência e capacidade de corte. Além de aço carbono, podem ser utilizados:

- Sabres e lâminas de motosserra usados, com o devido afiamento;
- Facões agrícolas reaproveitados, com cortes adequados;
- Lâminas de serras industriais ou aço ferramenta reciclado;
- Chapas metálicas temperadas de sucata, desde que apresentem dureza e tenacidade adequadas.

Isso garante que a comunidade possa fabricar ou substituir a lâmina com ferramentas simples, mantendo a eficiência do corte.

### ***3.6.4 ENGRENAGENS E SISTEMA DE TRANSMISSÃO***

No protótipo original, foram utilizadas engrenagens genéricas, mas o sistema permite adaptações:

- Engrenagens automotivas de embreagem ou diferencial;
- Coronas e pinhões de bicicletas ou motos;
- Conjuntos de catraca e corrente, em substituição ao sistema original, desde que mantenham a relação de transmissão necessária;

### ***3.6.5 COMPONENTES AUXILIARES***

Rolamentos, molas, parafusos e eixos também foram selecionados pensando em sua ampla disponibilidade. Na ausência dos componentes originais, é possível:

- Substituir rolamentos padrão por buchas de bronze ou nylon, desde que suportem a carga;

- Utilizar molas recuperadas de embreagem de veículos ou amortecedores;
- Adaptar eixos de bicicletas, motos ou sucatas industriais;
- Empregar parafusos e porcas de uso automotivo, amplamente disponíveis no mercado de reposição.

## 4 RESULTADOS E DISCURSSÕES

Os resultados obtidos confirmam que a máquina de corte de coco babaçu atende plenamente aos objetivos propostos: oferecer uma solução segura, ergonômica, sustentável e de baixo custo. O desempenho observado nas simulações evidencia ganhos expressivos de produtividade e conforto, sem comprometer a segurança ou a simplicidade operacional.

Do ponto de vista técnico, o sistema pinhão-cremalheira do setor de direção automotivo mostrou-se um mecanismo eficiente para multiplicação de força e controle de movimento. A estrutura modular e a intercambialidade de peças aumentam a viabilidade de replicação comunitária.

Em síntese, o protótipo desenvolvido representa uma alternativa tecnicamente viável e socialmente transformadora, com potencial de disseminação em larga escala nas comunidades extrativistas do Norte e Nordeste do Brasil, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e para a valorização do trabalho tradicional das quebradeiras de coco babaçu.

### 4.1 APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DA MÁQUINA

O protótipo final da máquina de corte de coco babaçu foi desenvolvido com base nos princípios de baixo custo, segurança e reaproveitamento de materiais. A Figura 8 apresenta a estrutura geral do equipamento, construído em perfis metálicos enrijecidos, com base estável e sistema mecânico composto por setor de direção automotivo, engrenagens, pinhão e cremalheira, alavanca de acionamento, lâmina cortante e mola de retorno.

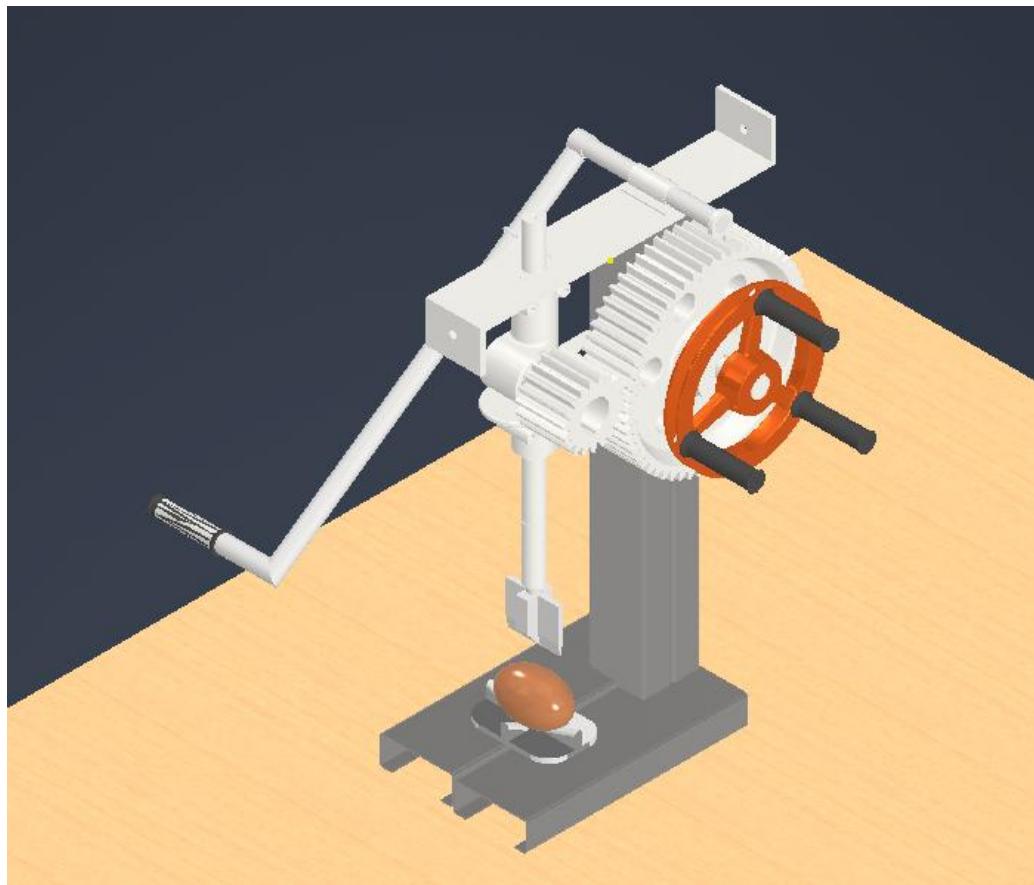


Figura 8 - Estrutura geral da máquina de corte de coco babaçu (Fonte: Própria)

A concepção do projeto buscou unir simplicidade mecânica e eficiência operacional. O conjunto permite que o operador posicione o coco na cavidade inferior da estrutura e acione o sistema de corte com um movimento leve e ergonômico da alavanca. A força aplicada é multiplicada pelo conjunto de engrenagens, deslocando a lâmina verticalmente sobre o coco, promovendo o corte limpo do epicarpo sem necessidade de grande esforço físico.

#### 4.2 DETALHAMENTO DOS COMPONENTES

O projeto é composto por peças reaproveitadas e de fácil obtenção, assegurando baixo custo e intercambiabilidade. A Figura 9 mostra o sistema de transmissão mecânica, com destaque para o setor de direção que converte o movimento rotativo em linear, e o conjunto de engrenagens que reduz a quantidade de voltas necessárias na alavanca para movimentar a lâmina.

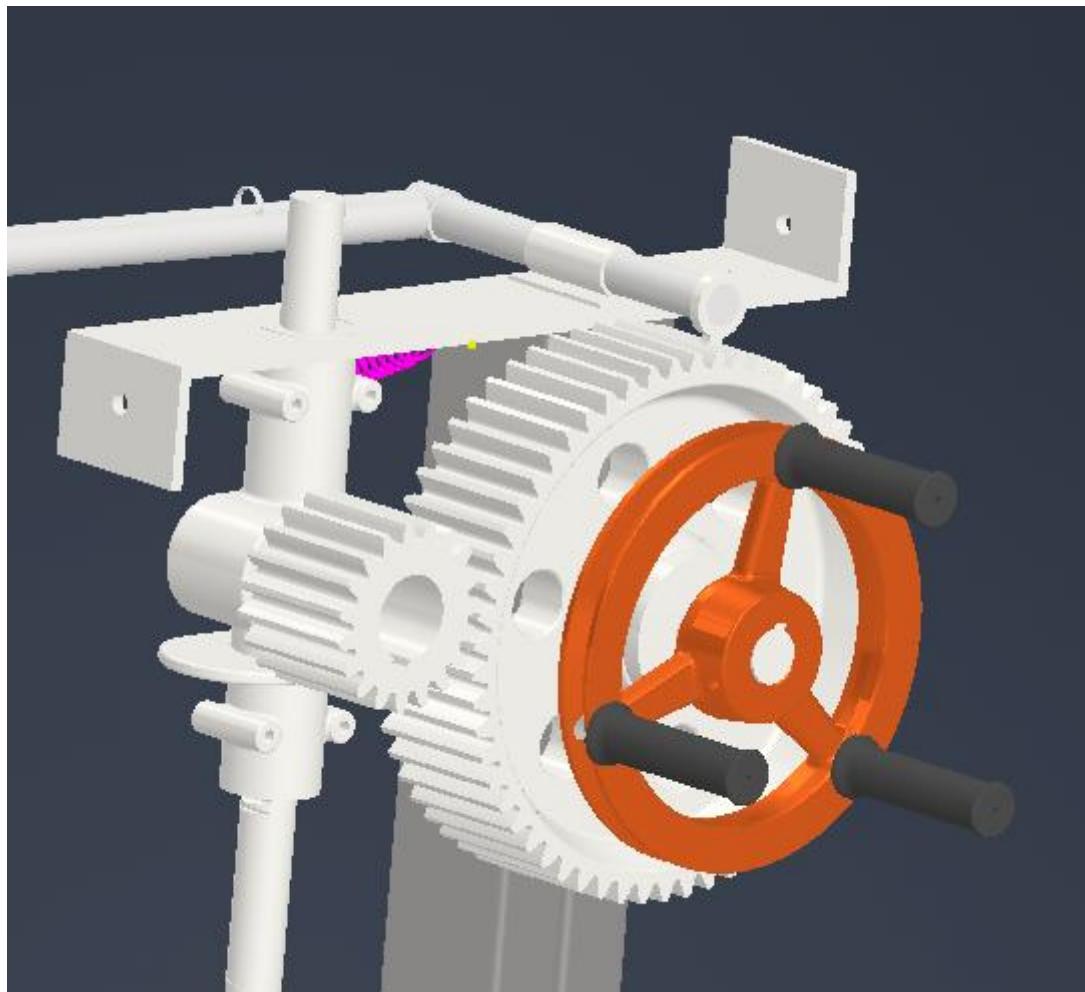


Figura 9 - Sistema de engrenagens e setor de direção automotivo adaptado ao mecanismo de corte (Fonte: Própria)

O uso do setor de direção automotivo proporcionou robustez e confiabilidade ao sistema, permitindo o reaproveitamento de peças veiculares comuns em ferros-velhos. As engrenagens utilizadas foram escolhidas de forma a garantir uma relação de transmissão aproximada de 1:3, o que significa que, a cada rotação completa da alavanca, a lâmina desloca-se linearmente um terço da volta do eixo motriz, multiplicando o torque e reduzindo o esforço do operador.

A relação de transmissão foi ideal para garantir corte eficiente com movimento curto da alavanca, atendendo ao princípio de ergonomia e segurança estabelecido pela NR-17.

#### 4.3 SISTEMA DE CORTE E SEGURANÇA

A Figura 10 apresenta a região da lâmina de corte e a base de apoio do coco, desenvolvidas com chapas de aço reforçadas. A lâmina pode ser confeccionada a partir de

sabres de motosserra reutilizados, aço carbono ou lâminas agrícolas, desde que mantenham rigidez e poder de corte adequados.

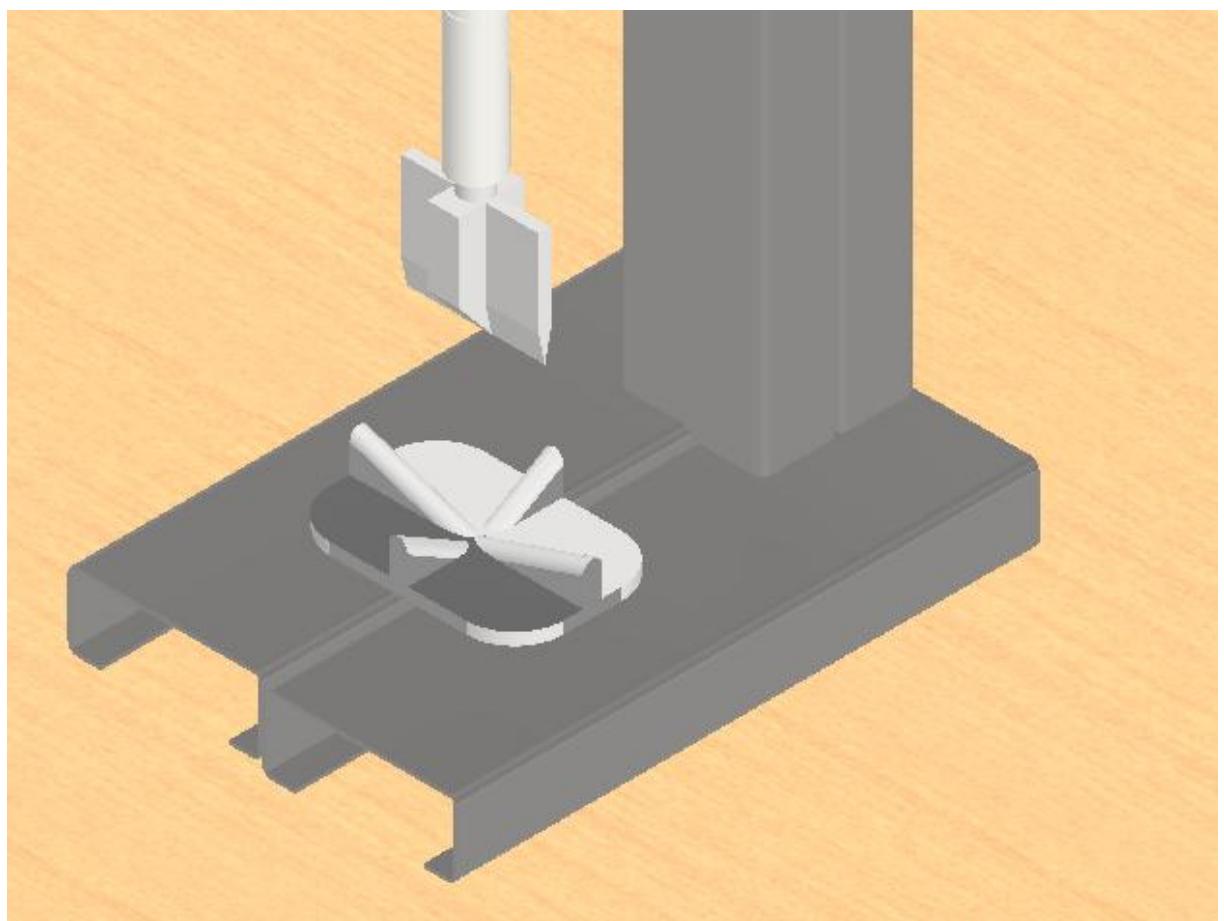


Figura 10 - Detalhe do sistema de lâmina e base de apoio para o coco (Fonte: Própria)

O equipamento conta com um sistema de trava de segurança Poka-Yoke, que obriga o operador a utilizar ambas as mãos durante o acionamento, evitando o contato direto com a lâmina. A mola de retorno garante que o mecanismo volte à posição inicial ao final do ciclo, prevenindo quedas bruscas da lâmina e reduzindo riscos de acidente. A caixa de segurança instalada na região das engrenagens demonstrou eficácia na proteção contra o contato acidental com partes móveis, além de reduzir o risco de aprisionamento de roupas ou objetos.

O projeto atendeu aos principais requisitos da NR-12 ao priorizar a segurança intrínseca da máquina. Foram integrados mecanismos de prevenção de acidentes, eliminação de zonas de risco, uso de alavancas de acionamento duplo no modelo Poka-Yoke, proteção das partes móveis, estabilidade estrutural e operação obrigatoriamente bimanual. A soma desses fatores garante um sistema mecanicamente seguro, ergonomicamente adequado e regulamentado.

Tabela 2 - CHECKLIST NR-12

Item NR-12	Descrição do Requisito	Atendimento no Projeto
12.2	A máquina deve ser projetada para garantir segurança durante todas as fases de uso.	Estrutura robusta, uso de perfis metálicos enrijecidos, e sistema de corte protegido.
12.3	A máquina deve prever riscos mecânicos e implementá-los com medidas de prevenção.	Uso de sistema com setor de direção + engrenagens que evitam movimento brusco da lâmina.
12.5	Prevenção de acidentes deve ser priorizada no projeto e construção.	Sistema de acionamento por alavancas simultâneas, evitando contato com a lâmina.
12.8	Os sistemas de acionamento devem impedir movimentos involuntários.	Mecanismo Poka-Yoke: a lâmina só desce quando as duas alavancas são acionadas.
12.10	Dispositivos de acionamento seguros, que evitem acionamento involuntário.	Alavancas mecânicas independentes, exigindo força voluntária do operador.
12.14	A máquina deve possuir sistema de emergência ou parada segura.	A máquina para imediatamente ao soltar qualquer alavanca (retorno da mola).
12.18	A movimentação deve ser limitada e controlada para evitar esmagamentos.	Movimento guiado por coluna + setor de direção, impedindo deslocamentos laterais.
12.23	Partes móveis devem ser protegidas ou isoladas.	Engrenagens e setor de direção podem receber proteção metálica (carenagem).
12.38	O operador deve ter área segura de trabalho.	Base larga, máquina estável, cavidade de encaixe do coco protegida.
12.55	Partes rotativas devem ser protegidas ou enclausuradas.	Possibilidade de instalar tampas de proteção no conjunto de engrenagens.

12.80	Equipamento deve permitir manutenção segura e simples.	Estrutura modular; peças intercambiáveis; acesso fácil às engrenagens.
12.100	Operador deve estar em posição segura durante uso.	Operação com as duas mãos ocupadas nas alavancas longe da zona de risco.
12.111	Equipamentos devem resistir aos esforços mecânicos de operação.	Perfis metálicos, chapas reforçadas, soldagem adequada e peças automotivas.
12.112	Instalações e fixações devem evitar tombamentos.	Base reforçada e dimensões compatíveis com esforço vertical.
12.144	Manual de instruções e regras de operação deverão existir.	Pode ser criado manual com: uso correto, inspeção, manutenção e riscos evitáveis.

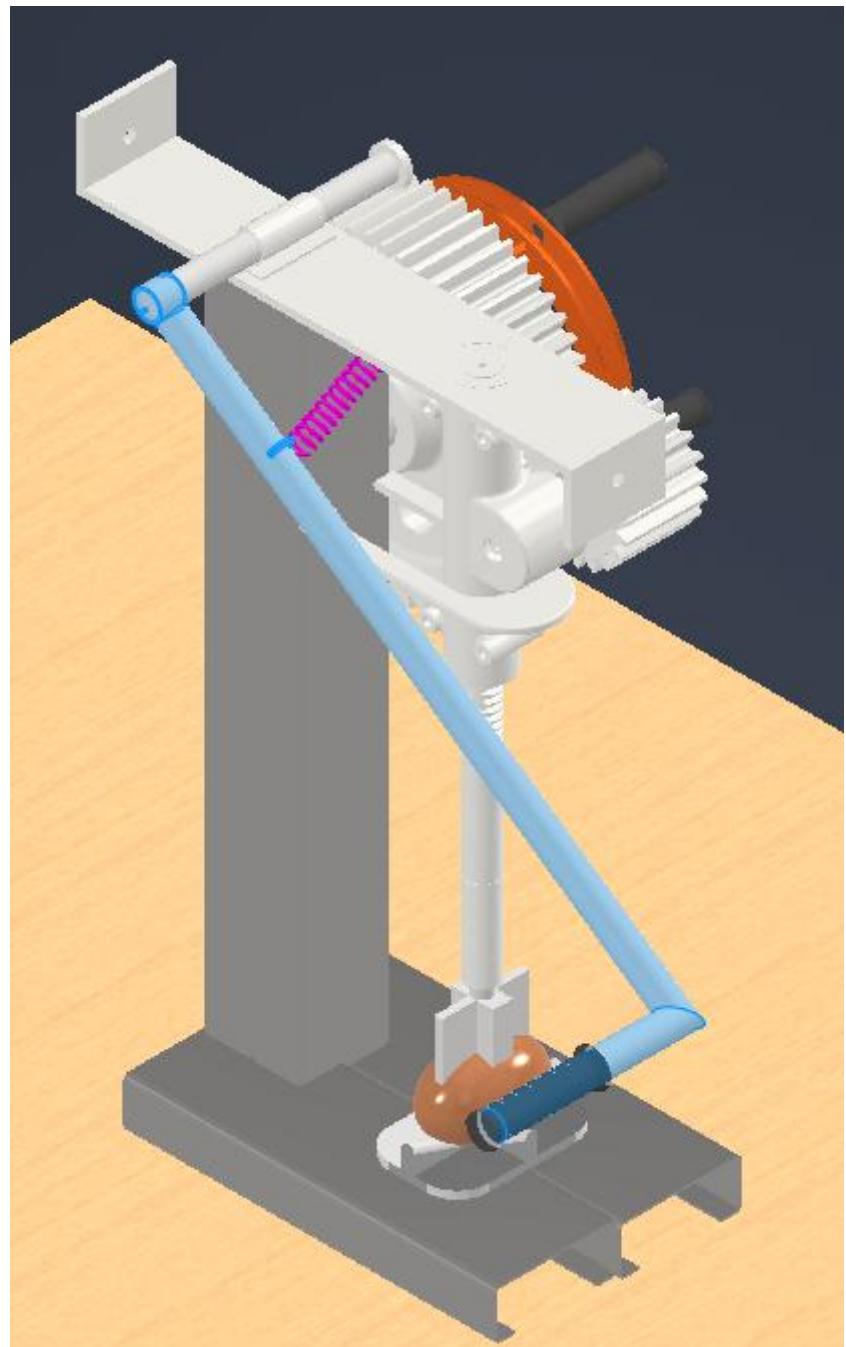


Figura 11 - Sistema de Segurança (Fonte: Própria)

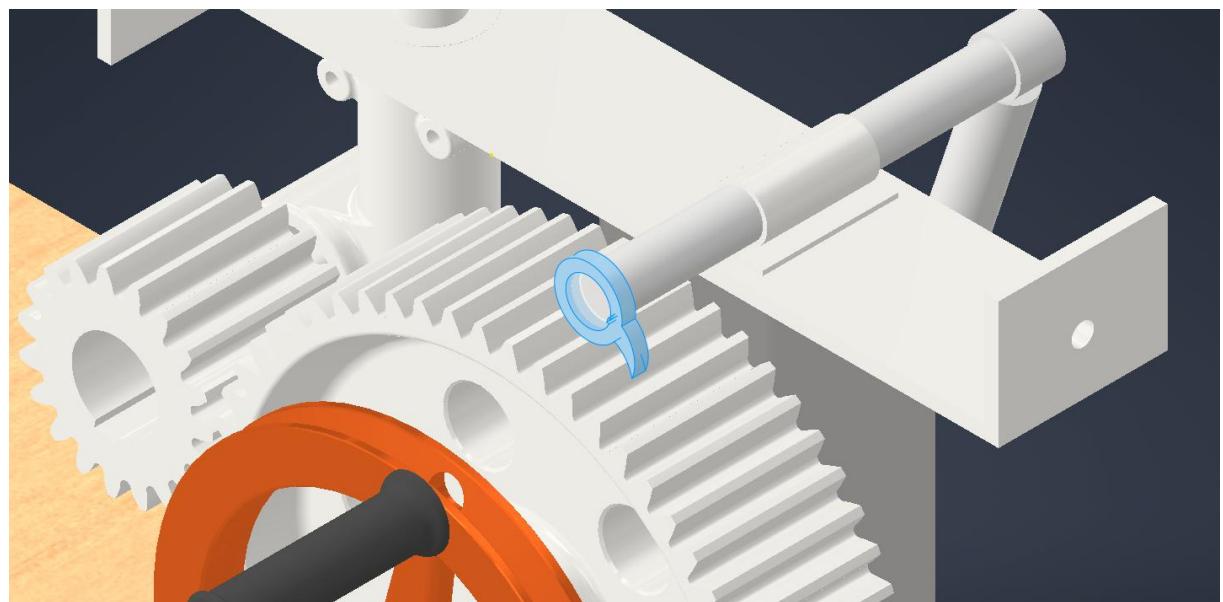


Figura 12 - Trava de Segurança (Fonte: Própria)

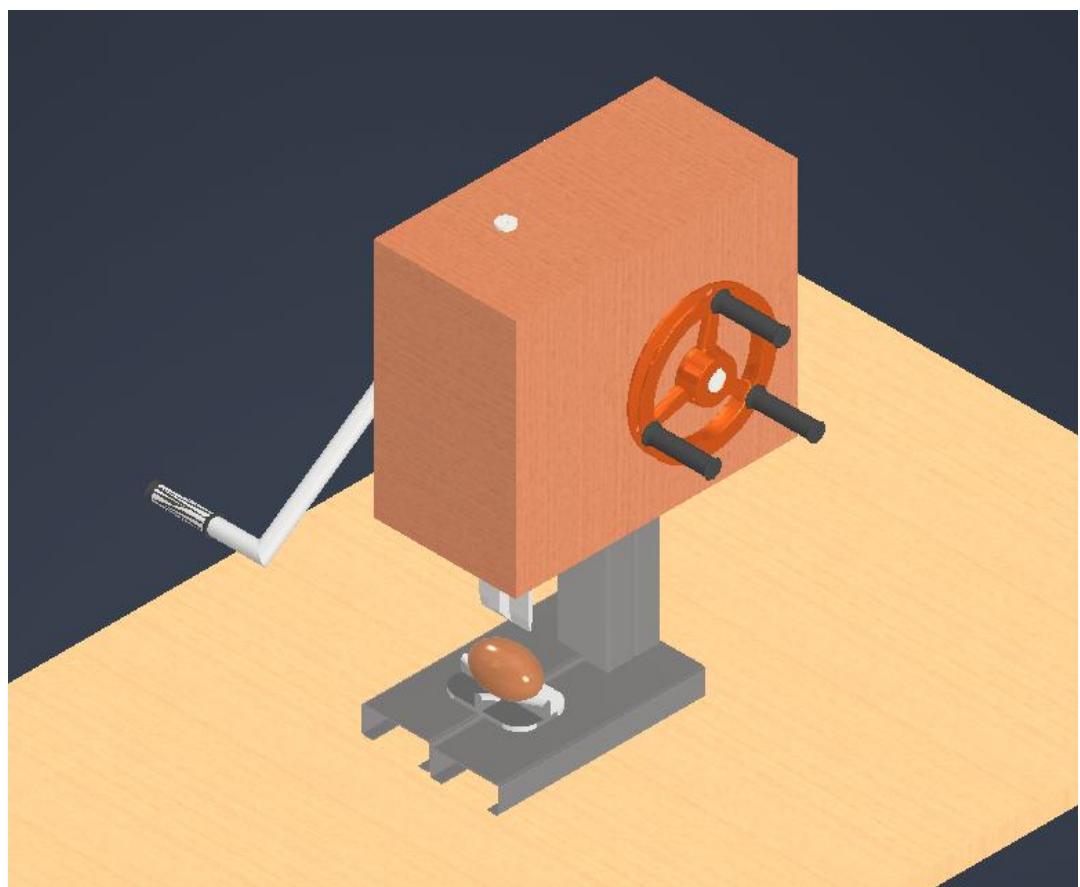


Figura 13 - Caixa de proteção (Fonte: Própria)

#### 4.4 DESEMPENHO E EFICIÊNCIA

O desempenho da máquina de corte desenvolvida mostrou-se significativamente superior ao método tradicional de quebra manual do coco babaçu. O setor de direção automotivo juntamente com a lâmina resultou em um sistema capaz de transformar uma força aplicada relativamente pequena em um deslocamento linear potente e estável, permitindo que a lâmina complete o corte do coco com rapidez, precisão e segurança.

Estima-se que, o ciclo médio de operação foi de aproximadamente 10 segundos por coco, dependendo da força aplicada pelo operador e da rigidez do fruto. Esse valor representa um aumento expressivo de eficiência quando comparado ao processo manual, cuja média varia de 17 a 71 segundos por coco, exigindo múltiplos golpes com um macete e postura inadequada.

A eficiência também se manifesta no esforço físico reduzido, já que o operador não precisa desferir impactos, apenas acionar o sistema mecânico. O conjunto de engrenagens fornece ganho mecânico suficiente para cortar o fruto sem demanda excessiva de força muscular, promovendo condições ergonômicas mais adequadas e menor risco de lesões.

Em termos de produtividade, a máquina apresenta potencial de processar até 360 a 600 cocos por hora, enquanto o método manual alcança aproximadamente 50 a 200 cocos por hora, dependendo da habilidade da trabalhadora e da dureza do fruto. Dessa forma, o equipamento proporciona um ganho de eficiência que pode superar 500%, além de padronizar o corte e reduzir perdas.

Outro aspecto importante é o aumento do rendimento das amêndoas, pois o corte linear e controlado diminui o risco de danificar o interior do fruto, o que frequentemente ocorre com o impacto manual. Isso significa maior aproveitamento das castanhas e, consequentemente, maior retorno econômico.

Por fim, a robustez do sistema mecânico construído com peças reutilizáveis de alta durabilidade, garante confiabilidade operacional e baixo custo de manutenção, reforçando a eficiência global da máquina e tornando-a adequada para uso contínuo em comunidades extrativistas.

A Figura 144 mostra a sequência de corte do coco, evidenciando a facilidade de operação e o deslocamento linear suave da lâmina.

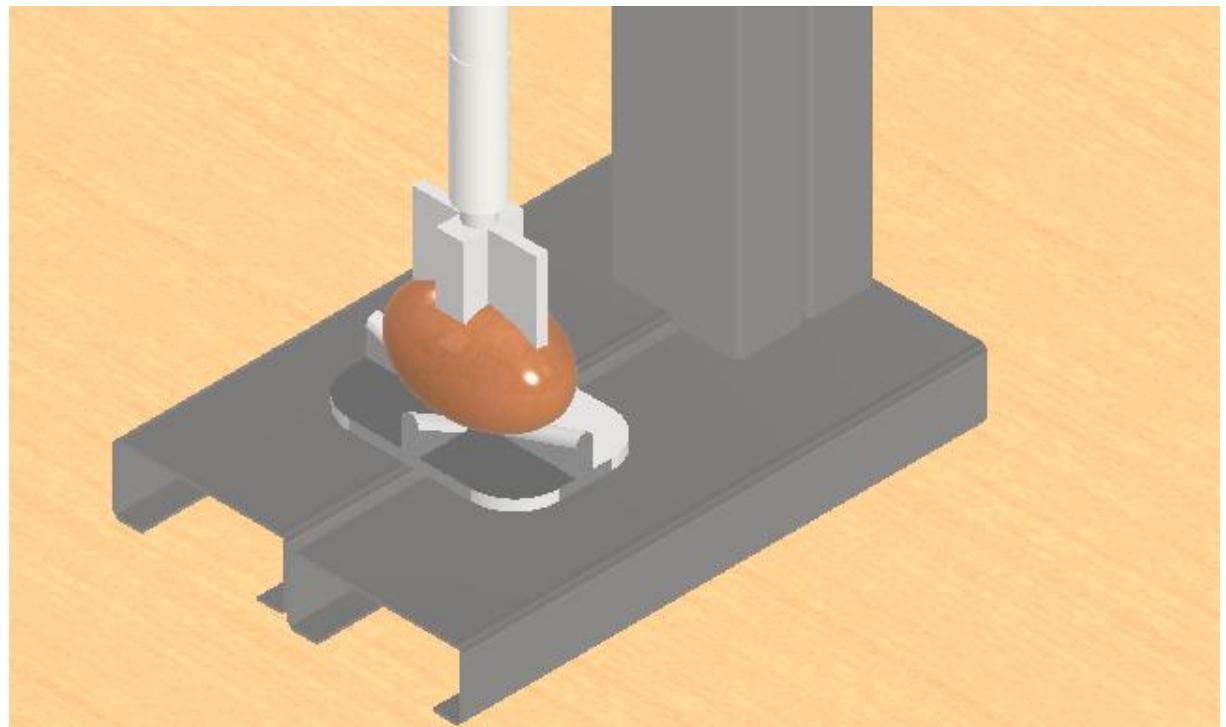


Figura 14 - Sequência de corte do coco com o sistema pinhão e cremalheira (Fonte: Própria)

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE SUSTENTABILIDADE E MANUTENÇÃO

O projeto foi concebido com foco em reaproveitamento e intercambiabilidade de peças, conforme mostrado na Tabela 3. Essa característica facilita a manutenção e reduz o custo total do equipamento, tornando-o viável para comunidades extrativistas de baixa renda.

Tabela 3 - Componentes utilizados

Componente Original	Alternativas Possíveis	Função
Perfis metálicos enrijecidos	Tubos galvanizados, madeira reforçada	Estrutura
Alavancas metálicas	Guidão de bicicleta ou moto	Acionamento
Lâmina de aço	Sabre de motosserra, lâmina de guilhotina	Corte

---

<b>Engrenagens automotivas</b>	Conjunto de bicicleta, moto ou trator	Transmissão
<b>Mola de retorno</b>	Mola de embreagem, amortecedor	Segurança

---

A modularidade e a simplicidade de fabricação permitem que pequenas oficinas ou cooperativas locais reproduzam o equipamento, contribuindo para a geração de renda e a valorização do trabalho das quebradeiras de coco babaçu.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da máquina de corte de coco babaçu apresentada neste trabalho representa uma contribuição significativa para a mecanização segura e acessível do processo de extração das amêndoas, atividade que historicamente tem sido marcada pelo esforço físico intenso e por altos índices de acidentes entre as quebradeiras de coco. O projeto atendeu aos objetivos propostos de conceber um equipamento de baixo custo, seguro, ergonômico, sustentável e de fácil replicação, utilizando princípios da engenharia mecânica aliados à realidade socioeconômica das comunidades extrativistas.

O protótipo foi construído majoritariamente a partir de materiais reaproveitados, como o setor de direção automotivo, engrenagens recicladas e chapas metálicas reutilizadas, demonstrando que é possível desenvolver soluções tecnológicas eficientes e economicamente viáveis por meio do reaproveitamento de peças. A estrutura robusta e o mecanismo pinhão-cremalheira do setor de direção proporcionaram uma redução considerável no esforço físico do operador e aumentou a eficiência do corte.

Considerando seu protótipo, foi estipulado um tempo médio de processamento do coco de aproximadamente 10 segundos, o que representa uma redução de até 85% no tempo de trabalho quando comparado ao método manual tradicional. Esse desempenho confirma a eficiência mecânica do sistema e evidencia o potencial de aumento da produtividade e da renda das comunidades envolvidas na cadeia do babaçu. Além disso, o projeto demonstrou elevada estabilidade e operação segura, garantindo conformidade com os princípios das Normas Regulamentadoras NR-12 e NR-17.

Do ponto de vista ergonômico, o equipamento mostrou-se adequado para uso em diferentes posturas de trabalho, reduzindo a fadiga muscular e prevenindo lesões por esforço repetitivo. O sistema Poka-Yoke de segurança, que exige o uso simultâneo das duas mãos, reforça a proteção do operador, impedindo o acionamento acidental da lâmina. Esses aspectos comprovam que é possível associar simplicidade mecânica, eficiência e segurança, mesmo em projetos de baixo custo.

Além dos benefícios técnicos, a máquina proposta tem impacto social direto, pois oferece uma alternativa concreta de valorização do trabalho das quebradeiras de coco, promovendo melhores condições de trabalho e ampliando o potencial produtivo das comunidades. O caráter sustentável e modular do projeto facilita sua replicação por oficinas locais, fomentando o empreendedorismo e fortalecendo economias regionais.

Conclui-se, portanto, que a máquina de corte de coco babaçu desenvolvida neste estudo cumpre plenamente seus objetivos, representando uma inovação de baixo custo, segura e sustentável. O projeto alinha princípios de engenharia mecânica, ergonomia e responsabilidade social, servindo como modelo de tecnologia apropriada ao contexto rural brasileiro.

## 6 REFERÊNCIAS

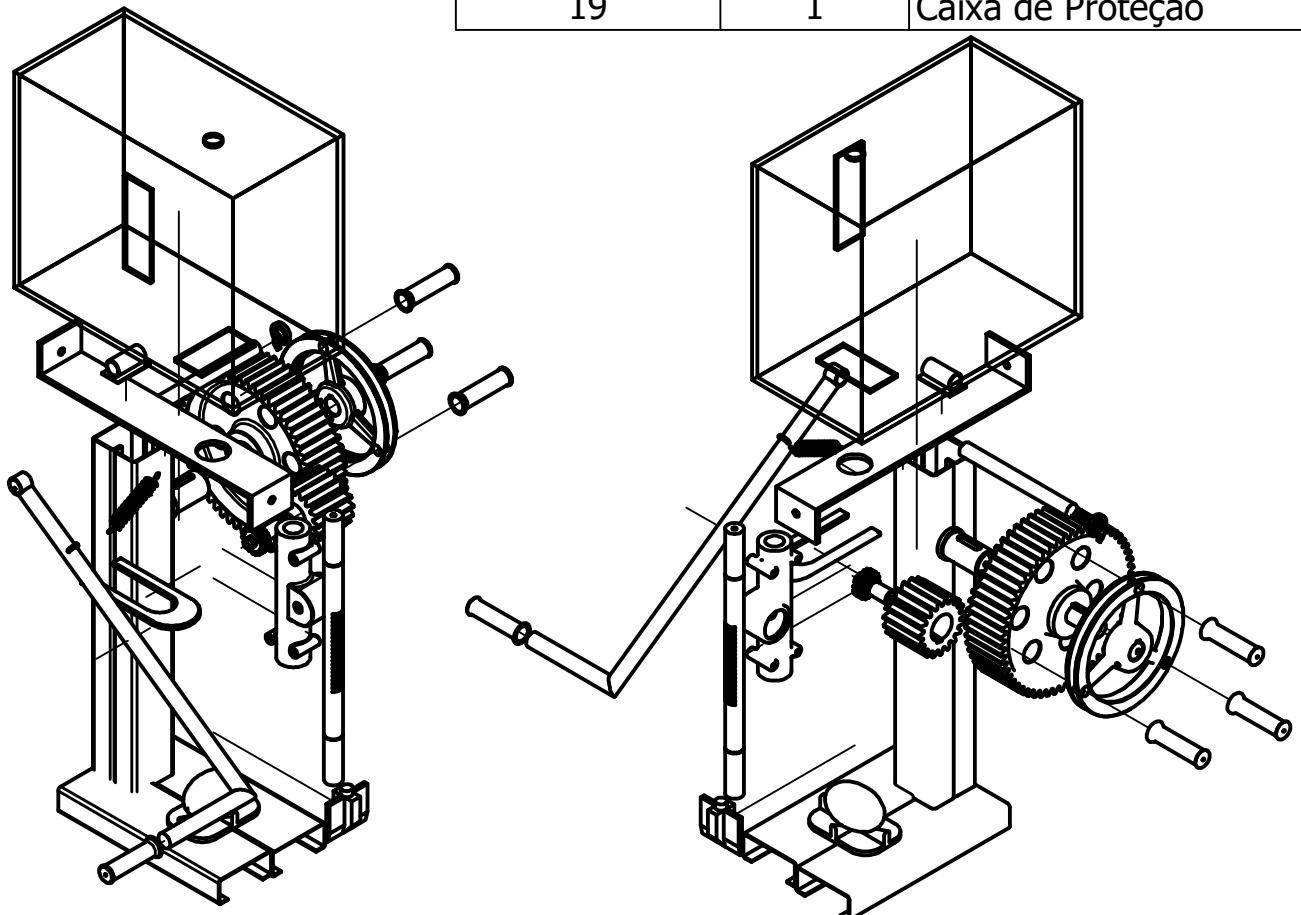
- ANDERSON, A. B.; MAY, P. H.; BALICK, M. J. *The Subsidy from Nature: Palm Forests, Peasantry, and Development on an Amazon Frontier*. Columbia University Press, 1991.
- BARBOSA, E. B. *Economia de subsistência e identidades territoriais: as quebradeiras de coco babaçu no Povoado São Félix – Imperatriz/MA*. UEMASUL, 2017.
- EMBRAPA. Research develops beverage and cheese analogue made of babassu nut. Embrapa Amazônia Oriental, 2023.
- LEITE, A. M. M. *Caracterização nutricional do mesocarpo de babaçu (Orbignya phalerata Mart.)*. UEMA, 2003.
- OLIVEIRA, M. A. et al. Aproveitamento energético do endocarpo do babaçu. *Revista de Energia Renovável*, 2019.
- RUIZ, J. D. S. *Benefícios econômicos a partir da participação em esquemas associativos: o caso das quebradeiras de coco babaçu*. UEMA, 2005.
- SCHEID, L.; FERNANDES, M. J. A economia invisível do babaçu. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 2018.
- SOUSA, V. M. C. et al. Hydrothermal carbonization of waste babassu coconut biomass for solid fuel production. *Renewable Energy*, 2020.
- LIMA, I. J. R. M. de; ALVES, M. J. L.; OLIVEIRA, M. R.; NEGREIROS, V. I.; DUARTE, V. T. T. *Trabalho Acadêmico Integrador II – Pinhão e Cremalheira*. Instituto Federal de Minas Gerais, Arcos, 2018.
- PEETZ, R. A. M. *Projeto de uma Caixa de Direção para um Protótipo Baja*. Escola de Engenharia de Piracicaba, Piracicaba, 2018.

VALE, A. P. S. do; FONSECA, E. S. C.; SANTOS, E. C. dos; MONTEIRO, L. C. *Análise ergonômica da atividade de quebra tradicional do coco babaçu no município de Itapecuru-Mirim/MA*. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, São Paulo, v. 43, n. 15, p. 1–12, 2018.

## **APÊNDICE - PLANIFICAÇÕES**

**LISTA DE PEÇAS**

ITEM	QTDE	NÚMERO DA PEÇA
2	2	Estrutura Vertical
3	2	Base
4	1	Suporte Superior
5	1	Suporte Inferior
6	1	Lamina
7	1	Base coco
8	1	Babaçu
9	1	Setor de Direção
10	2	Engrenagem
11	1	Pinhão Setor
12	1	Volante
13	4	Punho
14	1	Alavanca Trava
15	1	Eixo da Alavanca
16	1	Guia do Eixo
17	1	Trava
18	1	Mola
19	1	Caixa de Proteção



Projetado por  
Luiz Carlos Ferreira

Verificado por

Aprovado por

Data

Data  
15/11/2025

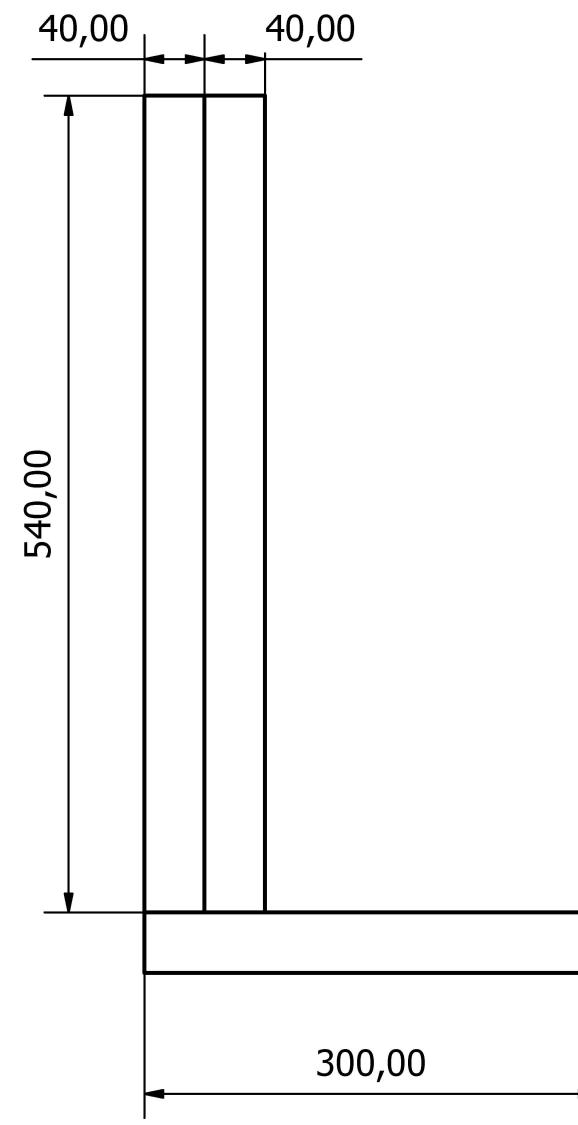
UFU - UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE UBERLÂNDIA

**VISTA EXPLODIDA PROJETO PFC**

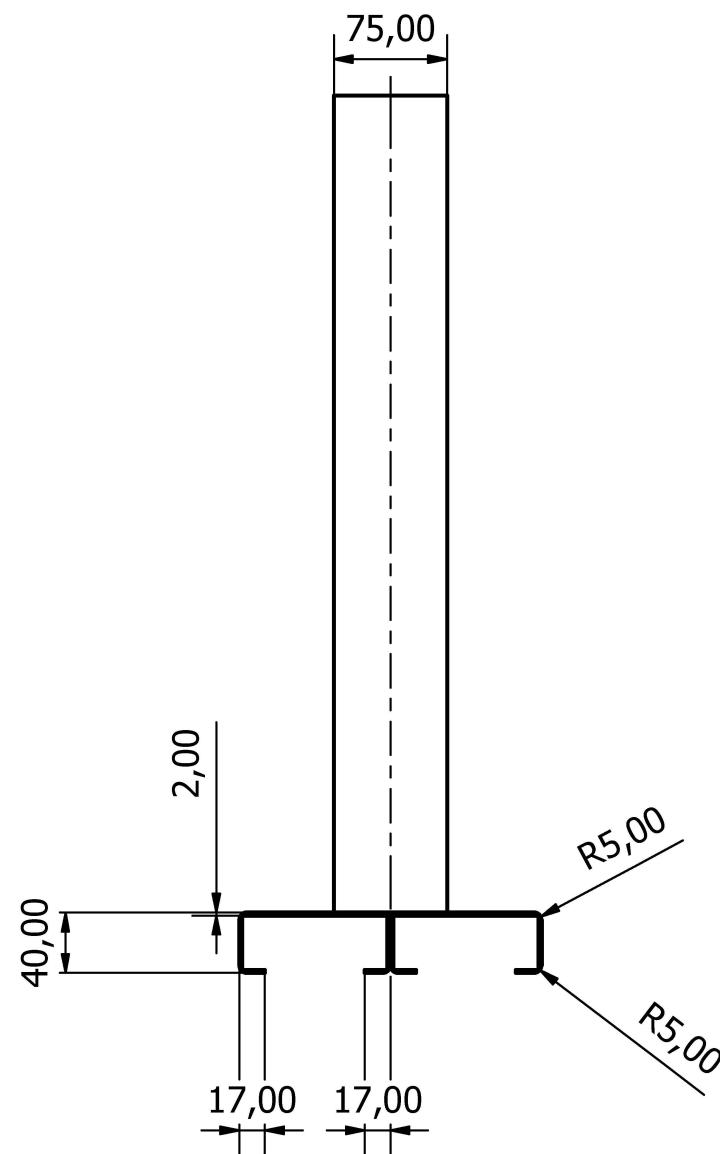
Vista\_Explodida

Edição

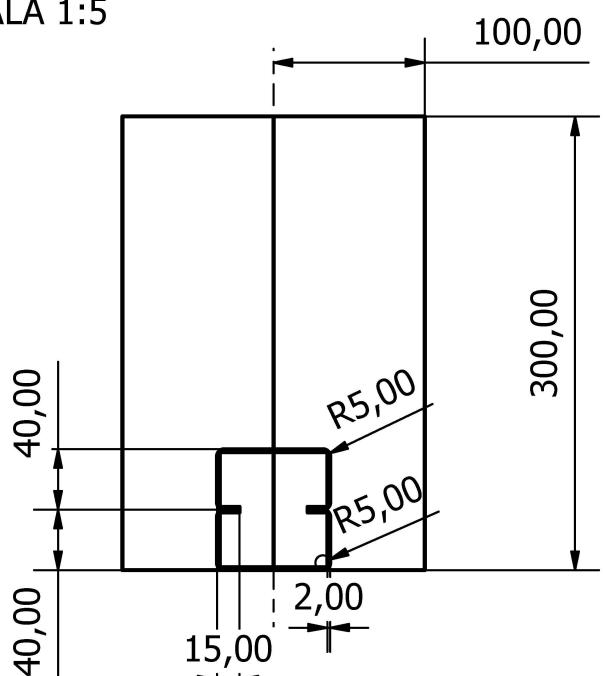
Folha  
1 / 1



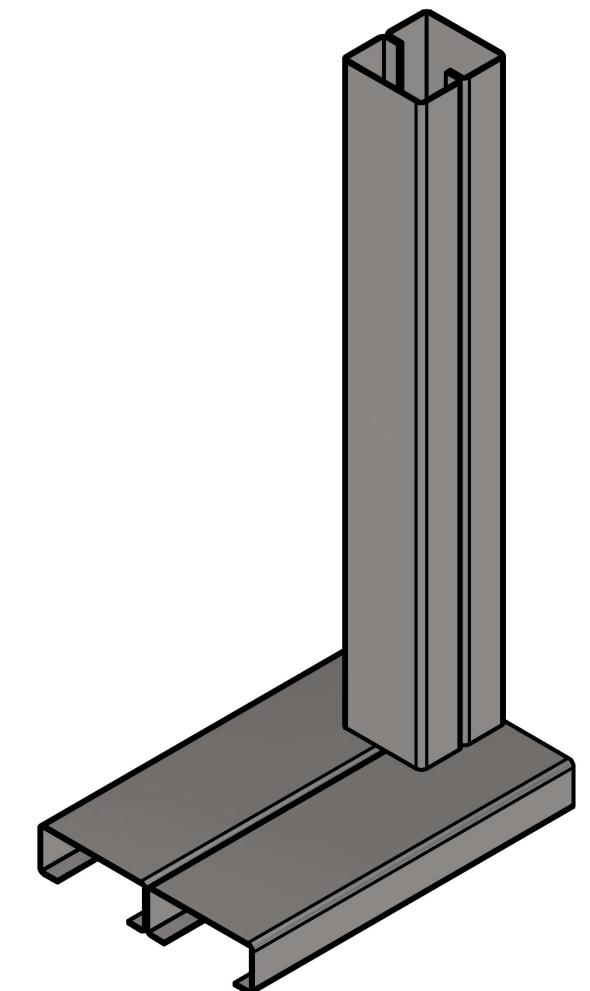
VISTA LATERAL ESQUERDA  
ESCALA 1:5



VISTA FRONTAL  
ESCALA 1:5

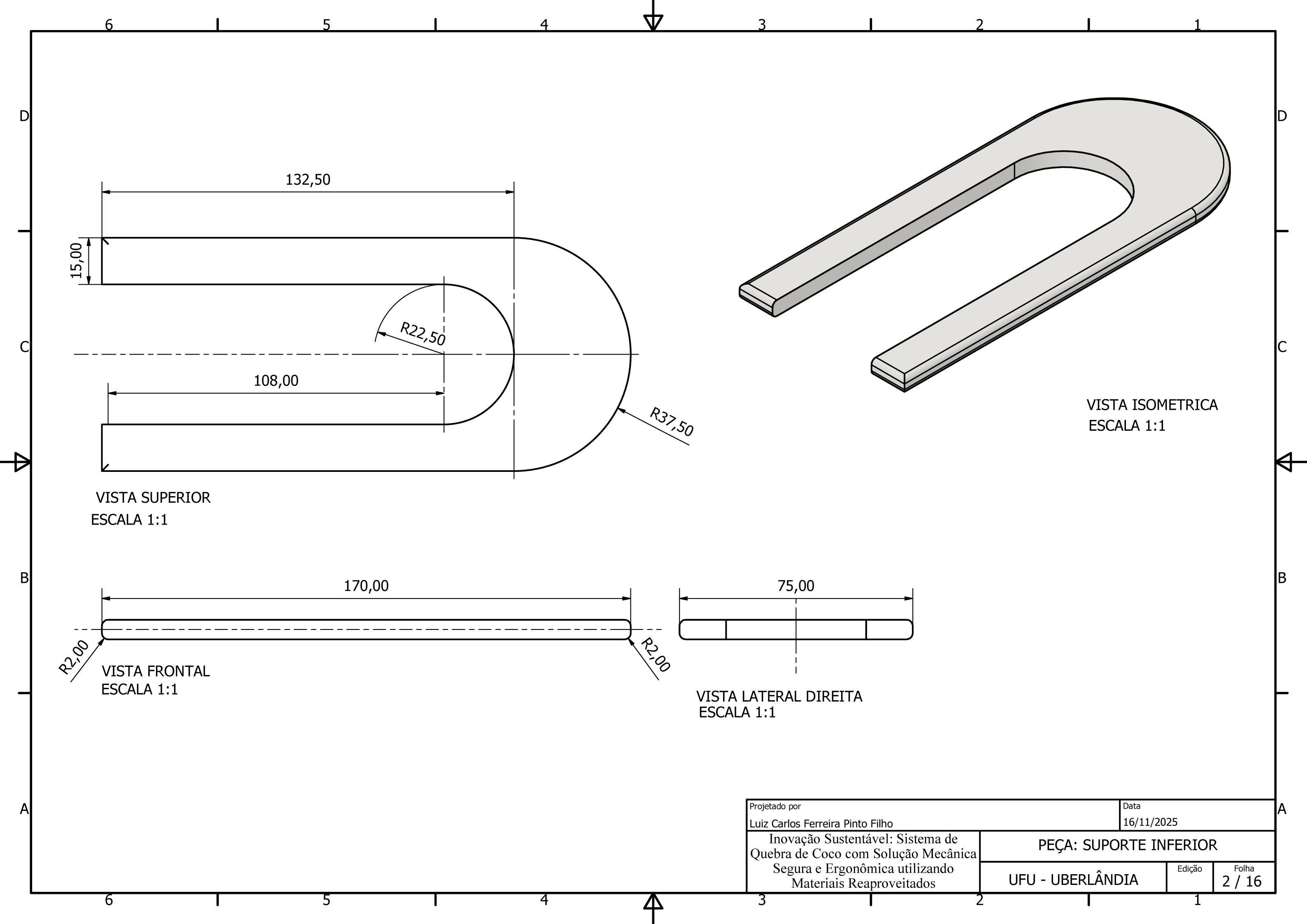


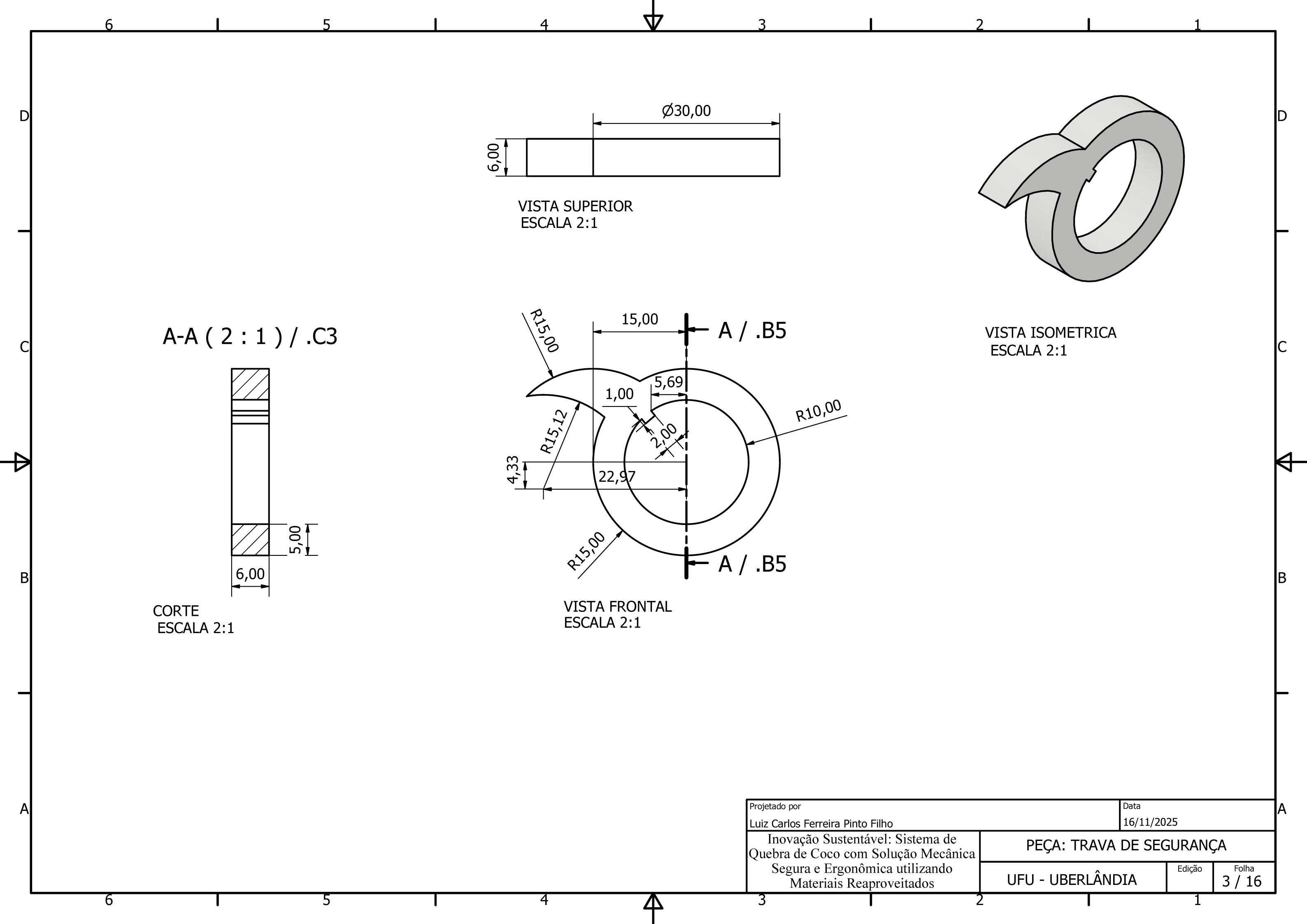
VISTA INFERIOR  
ESCALA 1:5

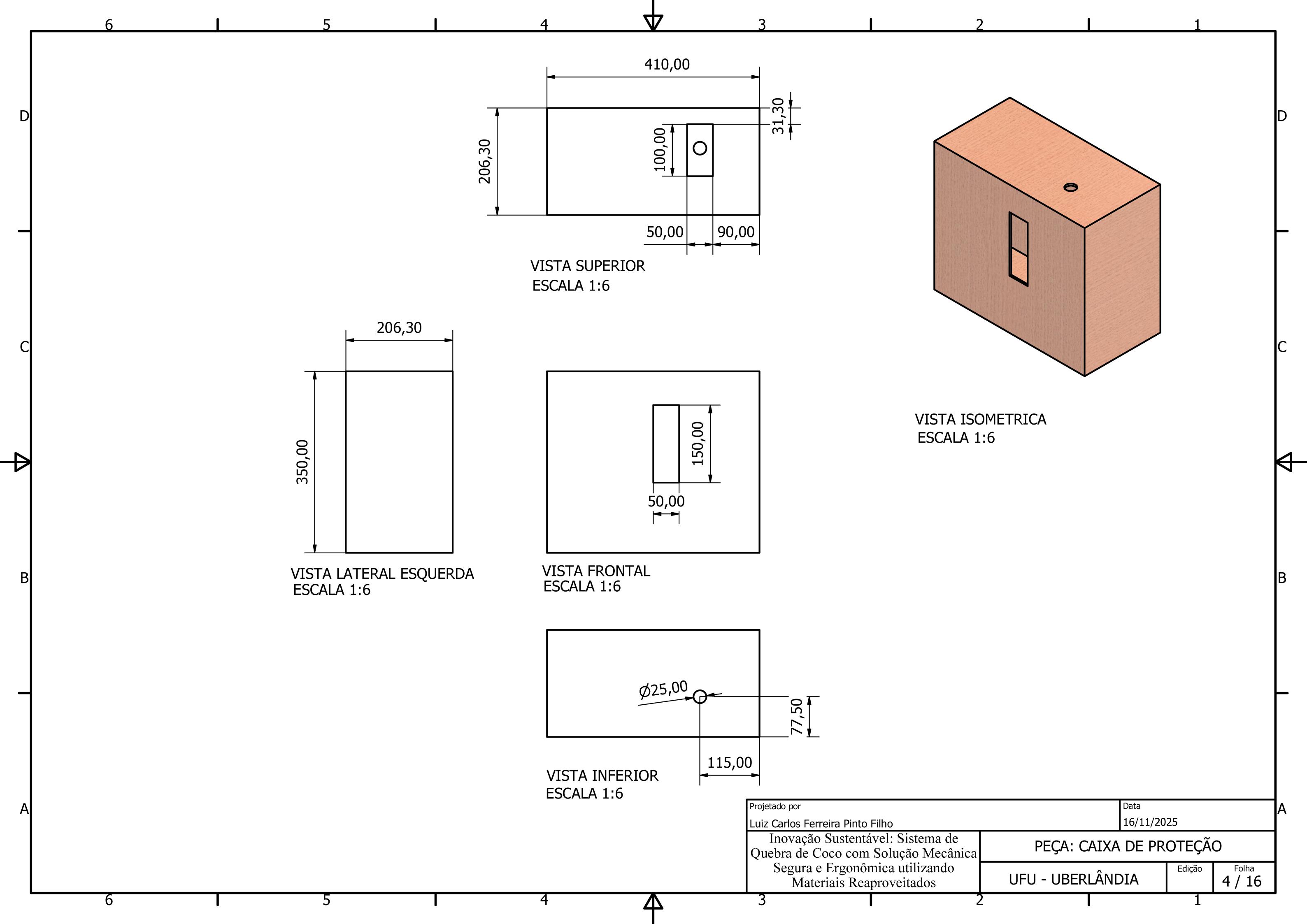


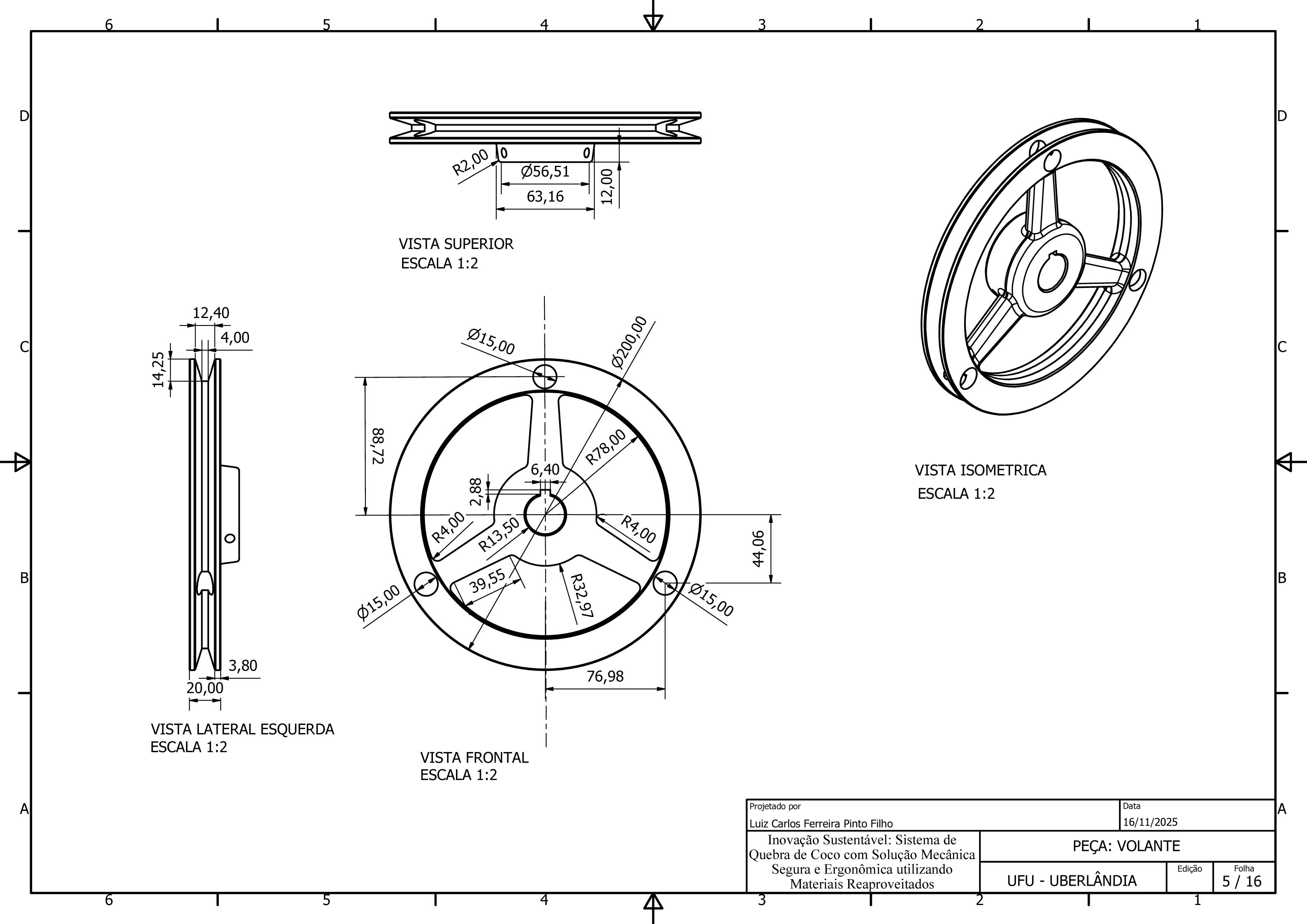
VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA 1:5

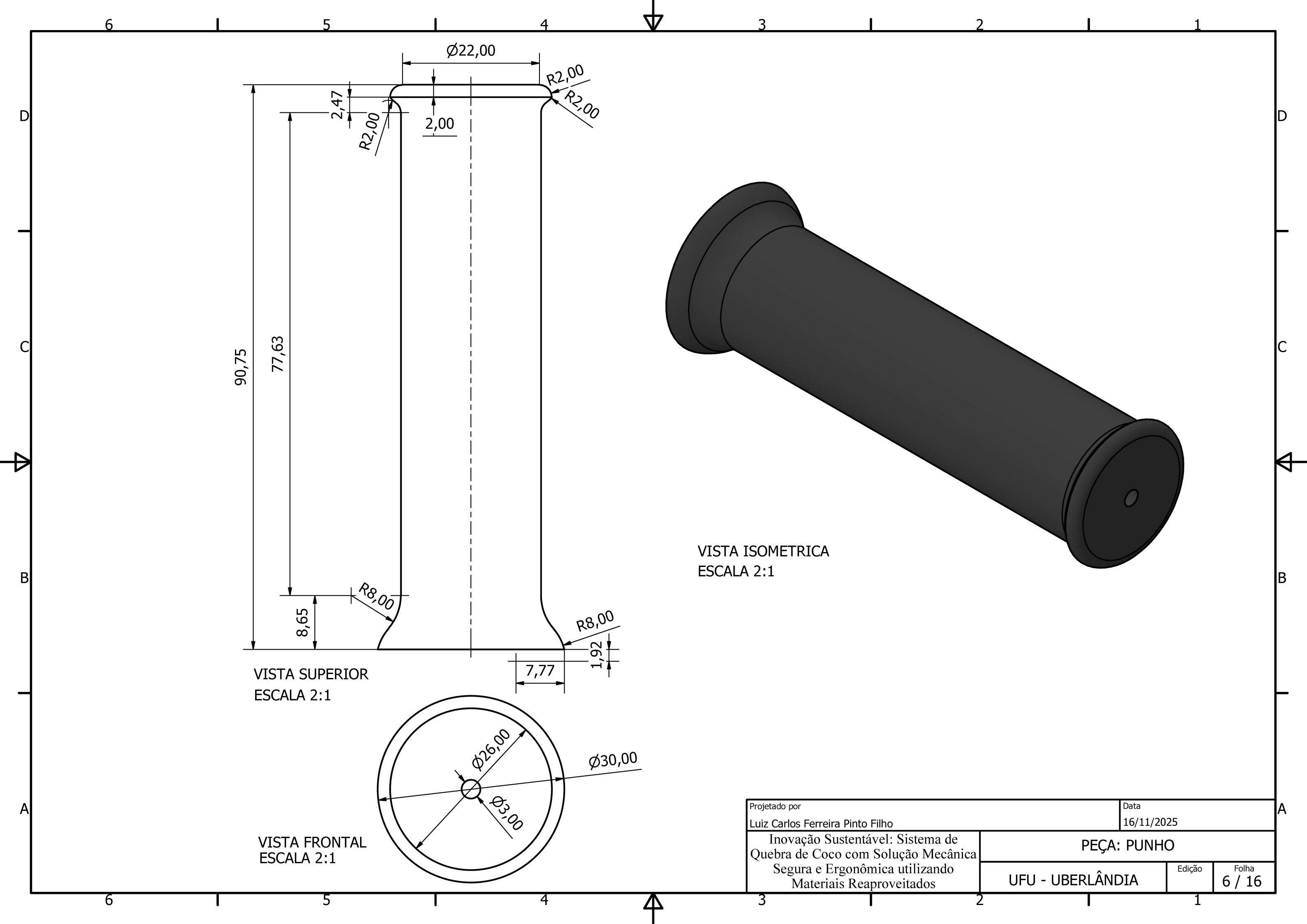
Projetado por Luiz Carlos Ferreira Pinto Filho	Data 16/11/2025
Inovação Sustentável: Sistema de Quebra de Coco com Solução Mecânica Segura e Ergonômica utilizando Materiais Reaproveitados	PEÇA: BASE / ESTRUTURA
UFU - UBERLÂNDIA	Edição 1 / 16

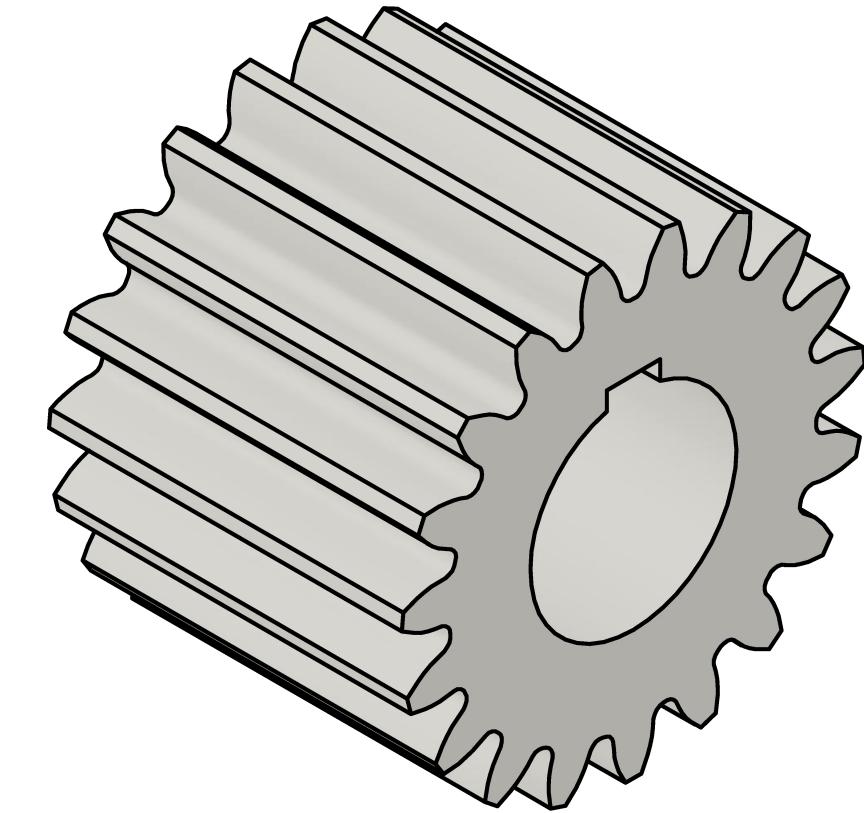
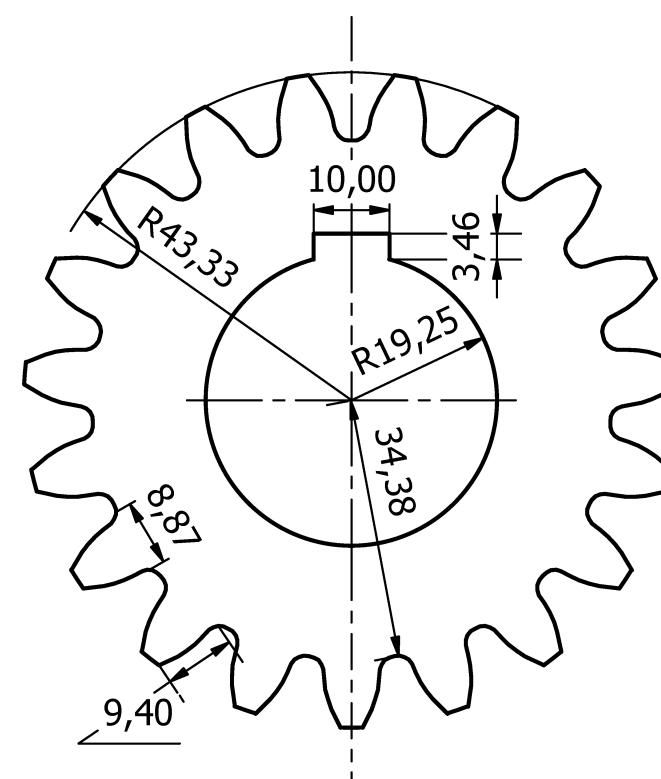
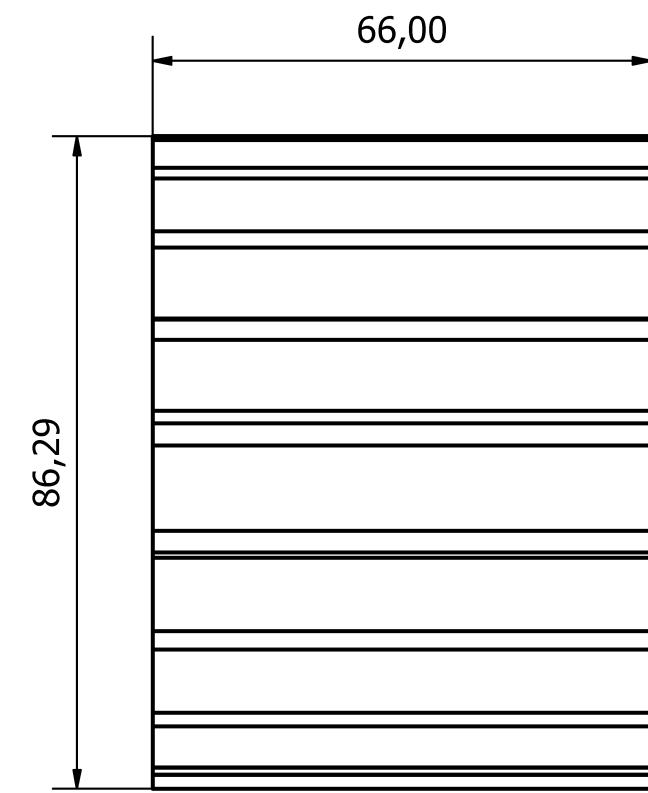




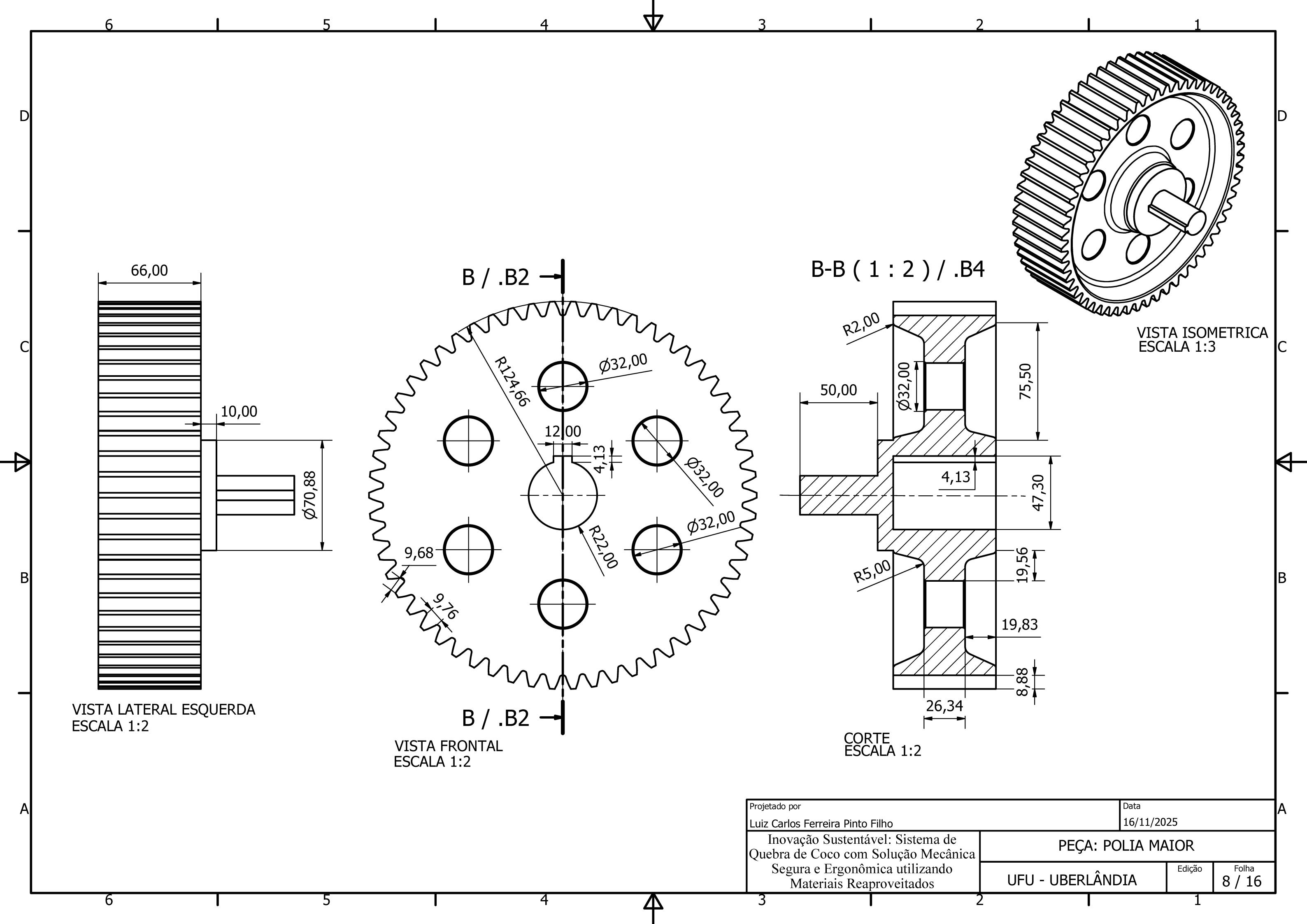


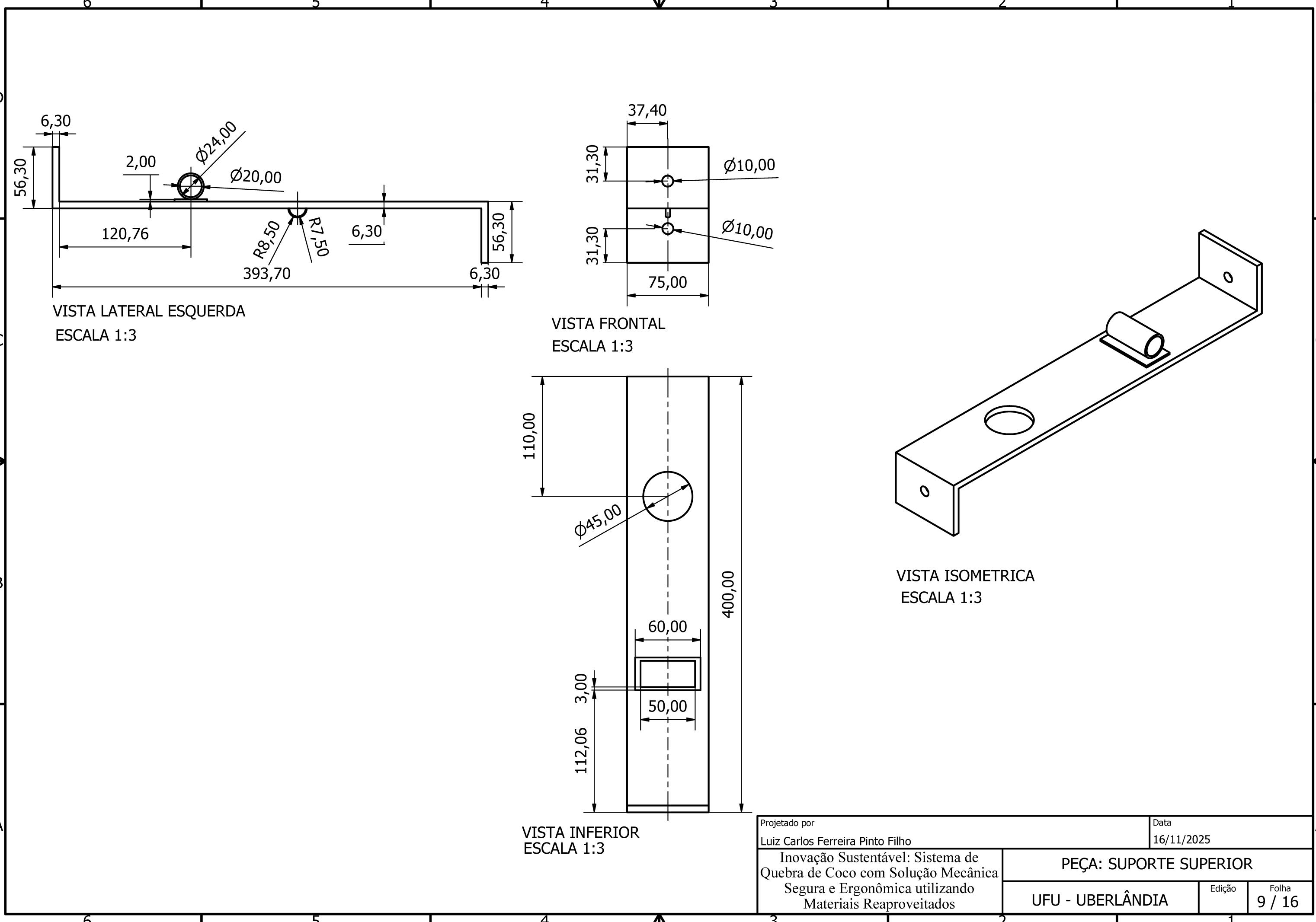






Projetado por Luiz Carlos Ferreira Pinto Filho	Data 16/11/2025
Inovação Sustentável: Sistema de Quebra de Coco com Solução Mecânica Segura e Ergonômica utilizando Materiais Reaproveitados	PEÇA: POLIA MENOR
UFU - UBERLÂNDIA	Edição Folha 7 / 16





6 5 4 3 2 1

D

D

C

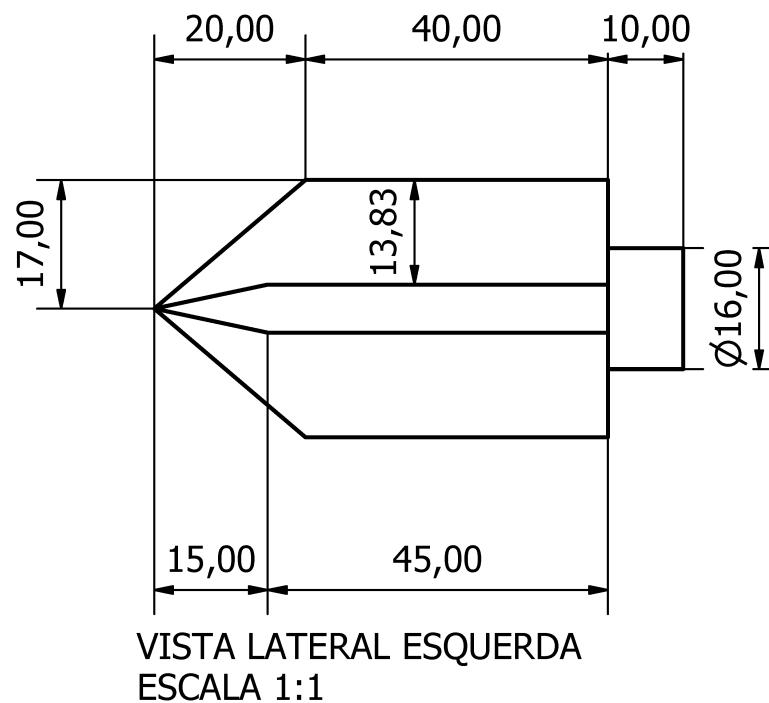
C

B

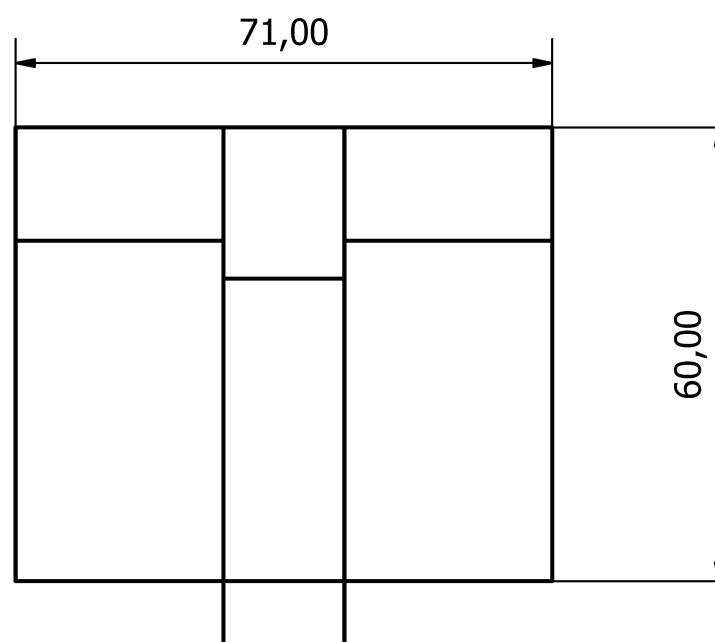
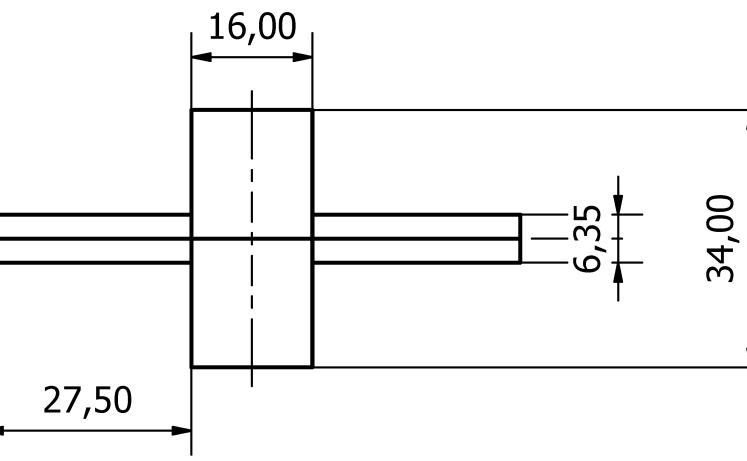
B

A

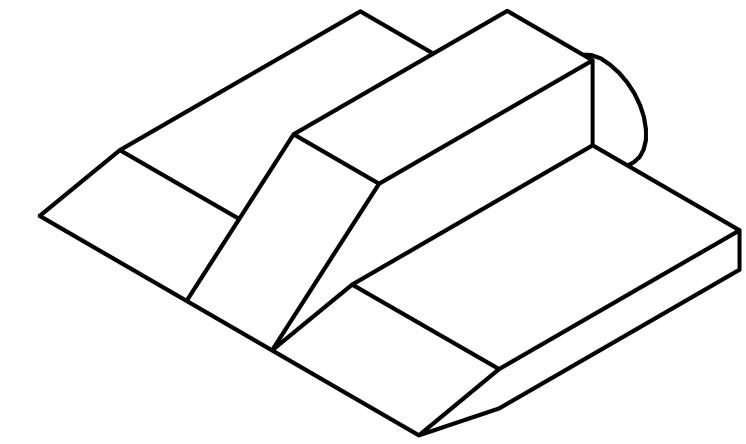
A



VISTA SUPERIOR  
ESCALA 1:1



VISTA ISOMETRICA  
ESCALA 1:1



Projetado por

Luiz Carlos Ferreira Pinto Filho

Data

16/11/2025

Inovação Sustentável: Sistema de  
Quebra de Coco com Solução Mecânica  
Segura e Ergonômica utilizando  
Materiais Reaproveitados

PEÇA: LAMINA

UFU - UBERLÂNDIA

Edição

Folha  
10 / 16

