

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA - FEMEC

PABLO VITOR AMORIM SOUZA

Máquina Semiautomatizada e Sustentável para Quebra do Coco Babaçu: Uma Solução
Tecnológica de Baixo Custo para Redução de Esforço e Risco nas Comunidades Extrativistas

Uberlândia - MG

2025

PABLO VITOR AMORIM SOUZA

Máquina Semiautomatizada e Sustentável para Quebra do Coco Babaçu: Uma Solução
Tecnológica de Baixo Custo para Redução de Esforço e Risco nas Comunidades Extrativistas.

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: Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Uberlândia - MG

2025

PABLO VITOR AMORIM SOUZA

Máquina Semiautomatizada e Sustentável para Quebra do Coco Babaçu: Uma Solução Tecnológica de Baixo Custo para Redução de Esforço e Risco nas Comunidades Extrativistas.

Trabalho de Conclusão de Curso ou Dissertação ou Tese apresentado à Faculdade... ou Instituto... da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel, especialista, mestre ou doutor em

Área de concentração: Engenharia Mecatrônica

Uberlândia, 30/12/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva (UFU)

Prof. Dr. Luciano José Arantes (UFU)

Ms. Felipe Chagas Rodrigues de Souza (UFU)

Dedico este trabalho a minha mãe, irmãos e
avós, pelo estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e amigo Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva por me confiar o desenvolvimento deste projeto, que abrange não apenas o teor técnico-científico relacionado a engenharia, mas principalmente a questão social das comunidades extrativistas. Desejo, de forma profundo, que esse trabalho e o possível protótipo que dele nasça, possa ajudar a mitigar o sofrimento destas comunidades.

Ao colega de graduação, Luiz Carlos Ferreira Pinto Filho que me ajudou em cada passo da construção desse trabalho. Fomos desafiados pelo orientador a fazer o melhor para a construção desse projeto e juntos abordamos o tema do coco babaçu por diferentes abordagens.

Agradeço a toda a minha família, em especial a minha mãe, Vânia Silva Amorim que me ajudou, financiou e apoiou nos meus estudos, sem o qual esse trabalho jamais poderia ter sido realizado.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós
ignoramos alguma coisa.”
(Freire, 2002, p. 69)

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso apresenta o desenvolvimento de uma máquina elétrica de baixo custo para a quebra do coco babaçu, concebida como uma alternativa ergonômica, segura e sustentável ao processo tradicional realizado manualmente por quebradeiras de coco. O projeto foi fundamentado em princípios da engenharia mecânica aplicada e da tecnologia social, com o objetivo de reduzir o esforço físico e o risco de acidentes, além de aumentar a produtividade e promover melhores condições de trabalho. O desenvolvimento passou por etapas conceituais e experimentais, partindo de protótipos baseados em motores de tanquinho e sistemas redutores por engrenagens até a configuração final, que utiliza um motor de portão deslizante com redução interna, transmissão por corrente e um sistema biela–manivela–pistão. A modelagem tridimensional foi realizada no software Autodesk Inventor, possibilitando a análise cinemática, o dimensionamento dos componentes e a validação geométrica do conjunto. Os resultados indicam que o projeto atende aos critérios de simplicidade, baixo custo e segurança, demonstrando viabilidade técnica e potencial de aplicação em comunidades extrativistas. Conclui-se que a máquina proposta representa uma tecnologia social eficiente, capaz de aliar inovação mecânica, sustentabilidade e valorização cultural das quebradeiras de coco babaçu.

Palavras-chave: Babaçu. Máquina elétrica. Engenharia mecânica. Ergonomia. Tecnologia social.

ABSTRACT

This Final Paper presents the development of a low-cost electric machine for cracking babassu coconuts, designed as an ergonomic, safe, and sustainable alternative to the traditional manual process carried out by babassu coconut breakers. The project was based on principles of applied mechanical engineering and social technology, aiming to reduce physical effort and accident risks while increasing productivity and improving working conditions. The development included conceptual and experimental stages, evolving from early prototypes using washing machine motors and gear reduction systems to the final configuration, which employs a sliding gate motor with internal reduction, chain transmission, and a connecting rod–crank–piston system. Three-dimensional modeling was performed using Autodesk Inventor software, allowing for kinematic analysis, component sizing, and geometric validation of the assembly. The results indicate that the project meets the criteria of simplicity, low cost, and safety, demonstrating technical feasibility and strong potential for application in extractivist communities. It is concluded that the proposed machine represents an efficient social technology, capable of combining mechanical innovation, sustainability, and cultural appreciation of babassu coconut breakers.

Keywords: Babaçu. Electric machine. Mechanical engineering. Ergonomics. Social technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Amostra de medição de comprimento.....	19
Figura 2 -	Amostra de medição de diâmetro.....	19
Figura 3 -	Modelo 3D do primeiro protótipo.....	25
Figura 4 -	Motor elétrico Garen KDZ Fit 1/4 HP.....	30
Figura 5 -	Modelo 3D de pinhão 16 dentes.....	31
Figura 6 -	Modelo 3D de coroa 40 dentes.....	31
Figura 7 -	Modelo 3D do pedivela utilizado como manivela.....	32
Figura 8 -	Modelo 3D da biela projetada.....	32
Figura 9 -	Modelo 3D do pistão projetado.....	33
Figura 10 -	Modelo 3D das conexões Manivela-Biela e Biela-Pistão.....	33
Figura 11 -	Modelo 3D apresentando Poka-yoke mencionado.....	39
Figura 12 -	Modelo 3D da mesa base da máquina.....	40
Figura 13 -	Modelo 3D do suporte de ancoragem.....	41
Figura 14 -	Modelo 3D da lâmina de corte.....	41
Figura 15 -	Modelo 3D apresentando canal do pistão.....	42
Figura 16 -	Modelo 3D apresentando caixa de segurança da máquina.....	43
Figura 17 -	Modelo 3D apresentando sistema de ventilação do motor.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medições do diâmetro e comprimento das amostras do coco babaçu.....	17
Tabela 2 - Principais equações utilizadas.....	28
Tabela 3 - Parâmetros adotados para os cálculos.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFU	Universidade Federal de Uberlândia
APL	Arranjo Produtivo Local
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEMEC	Faculdade de Engenharia Mecânica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MIQCB	Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVO GERAL	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	15
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL E PROTÓTIPOS INICIAIS.....	24
3.2	MODELAGEM DO SISTEMA BIELA-MANIVELA-PISTÃO.....	26
3.3	TRANSMISSÃO POR CORRENTE (REDUÇÃO DE VELOCIDADE)	27
3.4	ETAPAS PRÁTICAS DA METODOLOGIA.....	28
3.4	SÍNTESE DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS E RELAÇÕES.....	29
3.5	RESUMO TÉCNICO DOS COMPONENTES DE ACIONAMENTO.....	29
3.5	APLICAÇÃO DE FORMULÁRIO	34
3.6	POKA-YOKE E SEGURANÇA OPERACIONAL:	38
3.7	PEÇAS COMPLEMENTARES DO SISTEMA:.....	39
4	RESULTADOS	45
5	CONCLUSÃO.....	48
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Em diversas comunidades do Norte e Nordeste do Brasil, a extração do coco babaçu é mais que uma atividade econômica — trata-se de um modo de vida profundamente enraizado na identidade cultural de milhares de famílias. A palmeira babaçu (*Attalea speciosa*), nativa do bioma Amazônico e do Cerrado, forma extensos “babaçuais” que se estendem principalmente pelos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Pará. De acordo com a Embrapa (2021) e o Cerratinga (2016), essa espécie é considerada um recurso natural estratégico para a subsistência rural e para a economia extrativista brasileira.

Nesse contexto, as mulheres conhecidas como quebradeiras de coco babaçu exercem papel essencial, não apenas como responsáveis diretas pelo sustento de suas famílias, mas também como guardiãs da biodiversidade e da tradição cultural. Estima-se que centenas de milhares de mulheres estejam envolvidas nessa atividade, organizadas em associações, cooperativas e movimentos sociais — entre eles, o Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu (MIQCB), que atua na defesa do acesso livre aos babaçuais e na regulamentação de leis conhecidas como *Leis do Babaçu Livre* (Silva, 2018; Wikipedia, 2023). Para essas trabalhadoras, a quebra do coco não representa apenas um ofício, mas uma prática de resistência e afirmação cultural, fundamental à manutenção da vida comunitária.

A importância econômica do babaçu é igualmente expressiva. Suas amêndoas são utilizadas na produção de óleo de alto valor nutricional e cosmético; a casca dá origem a um carvão vegetal de qualidade, amplamente empregado tanto em residências quanto em indústrias; o mesocarpo é transformado em farinha amilácea usada na alimentação; e as fibras, folhas e caule são aproveitados em artesanato, construções rurais e adubação orgânica (Souza et al., 2020; Scielo, 2017). Dessa forma, praticamente todas as partes do coco são aproveitáveis, consolidando o babaçu como um recurso de uso múltiplo e de grande relevância socioeconômica.

Contudo, apesar dessa riqueza, a renda obtida pelas quebradeiras permanece baixa e instável, marcada pela informalidade, pela exploração de atravessadores e pela ausência de políticas de valorização justa do produto. O processo tradicional de extração é fisicamente extenuante e apresenta altos índices de acidentes. As quebradeiras realizam o trabalho sentadas no chão, apoiando o coco em um machado fixado ao solo e golpeando-o repetidamente com um pedaço de madeira — uma técnica simples, passada de geração em geração, mas que exige força, resistência e destreza.

Pesquisas ergonômicas apontam que mais de 90% dessas trabalhadoras sofrem dores musculoesqueléticas, com lesões recorrentes na coluna, ombros, punhos e joelhos (Paz, 2016; Fiocruz, 2021). Além disso, são frequentes cortes profundos e acidentes que comprometem a saúde e a produtividade. Ademais, a produtividade manual é baixa, limitando a quantidade de cocos quebrados por dia e, consequentemente, a renda das famílias que dependem desse trabalho (Fiocruz, 2021; Souza et al., 2020).

Diante desse cenário, torna-se urgente o desenvolvimento de soluções tecnológicas acessíveis que respeitem a tradição, mas que também promovam condições dignas de trabalho, maior segurança e eficiência produtiva. É nesse contexto que se insere a proposta deste trabalho: o desenvolvimento de uma máquina elétrica de baixo custo para a quebra do coco babaçu, projetada com componentes acessíveis e reaproveitados, como motores de portão deslizante, de modo a garantir viabilidade econômica e facilidade de manutenção local.

O equipamento proposto tem como objetivo aumentar a produtividade, reduzir o esforço físico e eliminar posturas prejudiciais, além de minimizar os riscos de acidentes ao manter as mãos da operadora afastadas da zona de impacto durante o processo de quebra. Por ser um projeto de baixo custo e de fácil replicação, a máquina tem potencial de difusão em comunidades de quebradeiras em todo o país, promovendo o acesso democrático à tecnologia.

Mais do que uma inovação mecânica, trata-se de uma contribuição social e cultural: um instrumento de emancipação que pode melhorar a saúde, a segurança e a renda de milhares de mulheres, fortalecendo a inclusão produtiva, a preservação cultural e a sustentabilidade ambiental. Assim, o presente trabalho vai além da resolução de um problema técnico de engenharia — representa uma iniciativa transformadora, capaz de redefinir o futuro das quebradeiras de coco babaçu e das comunidades que dependem desse valioso recurso natural.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e avaliar uma máquina elétrica de baixo custo, de fácil manutenção e construída com peças reaproveitáveis, destinada à quebra de cocos babaçu, visando aumentar a produtividade, melhorar a ergonomia e reduzir os riscos de acidentes das trabalhadoras envolvidas nesse processo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. COMPREENDER O CONTEXTO TRADICIONAL

Pesquisar e compreender o processo tradicional de quebra do coco babaçu e as dificuldades enfrentadas pelas “quebradeiras”..

2. DIAGNOSTICAR OS RISCOS ERGONÔMICOS E DE ACIDENTES

Identificar as principais lesões e riscos (musculoesqueléticos, cortes, esforço físico excessivo) associados ao método tradicional.

3. PROJETAR A SOLUÇÃO TÉCNICA

Elaborar o desenho e a estrutura funcional da máquina, assegurando que o operador mantenha as mãos em áreas seguras longe da zona de cisalhamento.

4. SELECIONAR COMPONENTES ACESSÍVEIS

Utilizar peças de baixo custo e de fácil obtenção, priorizando materiais reaproveitados de sucatas e ferros-velhos.

5. AVALIAR O DESEMPENHO

Avaliar, por meio de simulações e cálculos teóricos, a eficiência prevista da máquina em relação ao tempo de quebra, à redução estimada de esforço físico e ao nível esperado de segurança operacional, em comparação com o método manual.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

O babaçu (*Orbignya speciosa*) é uma palmeira nativa da região Meio-Norte do Brasil, especialmente no Maranhão, Tocantins, Piauí e Pará, sendo considerada uma das principais espécies de valor socioeconômico para populações extrativistas. O fruto do babaçu, o coco, é constituído por quatro partes distintas: epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoas, estas últimas responsáveis pelo maior interesse econômico, utilizadas na produção de óleo, sabão, cosméticos e alimentos.

Estima-se que mais de 400 mil mulheres atuem como quebradeiras de coco no Brasil, constituindo um movimento social consolidado, o Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu (MIQCB). Essas mulheres desempenham não apenas um papel econômico, mas também cultural e ambiental, sendo guardiãs da biodiversidade dos babaçuais e defensoras do uso sustentável dos recursos.

Entretanto, a quebra manual do coco babaçu é uma atividade penosa, caracterizada por baixo rendimento, riscos de acidentes e graves impactos ergonômicos. Estudos mostram que uma quebradeira consegue, em média, apenas 8 a 10 kg de amêndoas por dia, o que representa uma renda limitada diante da carga de trabalho. Além disso, a atividade está fortemente associada a dores musculoesqueléticas, lesões e problemas crônicos de saúde.

Ao longo das últimas décadas, diferentes iniciativas buscaram mecanizar ou facilitar a quebra do coco: ferramentas individuais, protótipos acadêmicos, máquinas industriais e até projetos comunitários de grande escala. No entanto, cada alternativa apresenta limitações, seja pelo custo, pela necessidade de manutenção complexa, pela baixa aceitação social ou pela inadequação ao contexto das quebradeiras.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso propõe uma solução intermediária: uma máquina elétrica de baixo custo e fácil manutenção, movida por um motor de portão deslizante, com sistema biela-manivela-pistão que aciona uma lâmina em cruz para partir o coco. A proposta valoriza três eixos fundamentais: ergonomia, segurança e produtividade, utilizando peças facilmente encontradas em ferros-velhos ou oficinas mecânicas.

Este capítulo tem por objetivo realizar uma análise comparativa entre a máquina proposta e as alternativas já existentes, destacando vantagens, limitações e impactos sociais.

2.1 MÉTODOS TRADICIONAIS DE QUEBRA

O método tradicional de quebra do coco babaçu permanece, até os dias atuais, como a técnica mais amplamente utilizada pelas quebradeiras, especialmente nas comunidades rurais do Norte e Nordeste do Brasil. Esse processo consiste, em sua forma mais comum, no uso de

instrumentos rudimentares, como porretes de madeira, pedras, cunhas e, principalmente, um machado fixado ao solo. O coco é apoiado sobre o gume do machado, enquanto a trabalhadora o golpeia repetidamente com um pedaço de madeira até que o fruto se parta e libere as amêndoas.

Embora simples e de baixo custo, essa técnica exige grande esforço físico e demanda habilidade adquirida com a prática. De acordo com estudos realizados pela Fiocruz (2021), a postura adotada e os movimentos repetitivos implicam sérios riscos à saúde das quebradeiras, que frequentemente relatam dores musculoesqueléticas crônicas, cortes e até esmagamentos. Paz (2016) aponta que mais de 90% das trabalhadoras apresentam sintomas de fadiga, lesões nos punhos e na coluna devido à natureza extenuante da atividade.

Além do impacto ergonômico, a produtividade é bastante limitada. Considerando que cada fruto contém de três a quatro amêndoas — representando cerca de 8,7% do peso total —, uma quebradeira consegue extrair em média apenas de 8 a 10 kg de amêndoas por dia (ResearchGate, 2018). Essa limitação reflete diretamente na renda obtida, tornando o trabalho economicamente pouco vantajoso.

Apesar das dificuldades, a quebra manual do coco carrega forte valor simbólico e cultural. Segundo Silva (2018), a prática representa a transmissão de saberes entre gerações e constitui um elemento de identidade coletiva das comunidades extrativistas. Essa dimensão cultural explica, em parte, a resistência à substituição completa do método tradicional por alternativas mecanizadas, uma vez que o ato de quebrar o coco é percebido como um gesto de pertencimento e autonomia.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COCOS BABAÇU

Para o adequado dimensionamento da máquina elétrica desenvolvida, foi necessária a caracterização física dos frutos de babaçu a serem processados. Assim, realizou-se a medição de um conjunto de cocos coletados no município de Buritizeiro – MG, com o objetivo de determinar as dimensões médias que serviriam de base para o projeto do sistema de corte. As medições contemplaram o comprimento total e o diâmetro máximo dos frutos, utilizando régua graduada e paquímetro digital para garantir maior precisão.

Os resultados obtidos em campo indicaram comprimento médio de 72,2 mm e diâmetro médio de 53,5 mm, com variações atribuídas ao estágio de maturação, à origem dos frutos e às condições de coleta. Esses valores foram levados em consideração para o dimensionamento da altura útil de corte da lâmina e da largura interna do tubo de alimentação, assegurando que o equipamento seja compatível com o tamanho real dos frutos comumente encontrados na região.

Entretanto, ao comparar os dados obtidos localmente com os apresentados no estudo “Estudo Preliminar de Dispositivo de Quebra e Caracterização dos Parâmetros Físicos do Coco Babaçu”, desenvolvido pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), observa-se uma diferença dimensional relevante. Segundo o referido estudo, o coco babaçu apresenta, em média, 9,4 cm de comprimento e 6,0 cm de diâmetro, valores superiores aos medidos em Buritizeiro – MG.

Essa discrepância reforça a existência de variações regionais significativas nas dimensões do fruto, possivelmente associadas a diferenças de clima, solo e subespécies de palmeira babaçu. Considerando tais variações, o projeto da máquina foi desenvolvido de modo a atender tanto os frutos locais quanto os maiores descritos na literatura, adotando-se margens de folga no curso do pistão e nas dimensões do canal de alimentação. Dessa forma, o equipamento mantém sua funcionalidade e segurança mesmo diante das variações naturais de tamanho observadas entre diferentes regiões produtoras.

A tabela a seguir apresenta os valores dimensionais da amostra de cocos babaçu encontradas em Buritizeiro – MG

Tabela 1- Medições do diâmetro e comprimento das amostras do coco babaçu

AMOSTRA	MEDIDAS COCOS [mm]	
	VERTICAL	HORIZONTAL
1	63,9	63,65
2	69,9	61,35
3	68,3	57,6
4	68,25	47,6
5	68,05	57,4
6	80,55	48,75
7	66,5	52,85
8	69,9	50,6
9	70,25	59,5
10	77,25	46,15
11	67,2	63,5
12	74,8	49,5
13	81,3	49
14	66,4	61,3
15	65,5	57,95
16	83,1	44,05
17	68,8	65,2
18	76,65	54
19	80,8	50,1
20	72,25	63,95
21	62,7	65,95
22	69,7	67,4
23	62,5	52,4

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

Gráfico 1 – Amostra de medidas

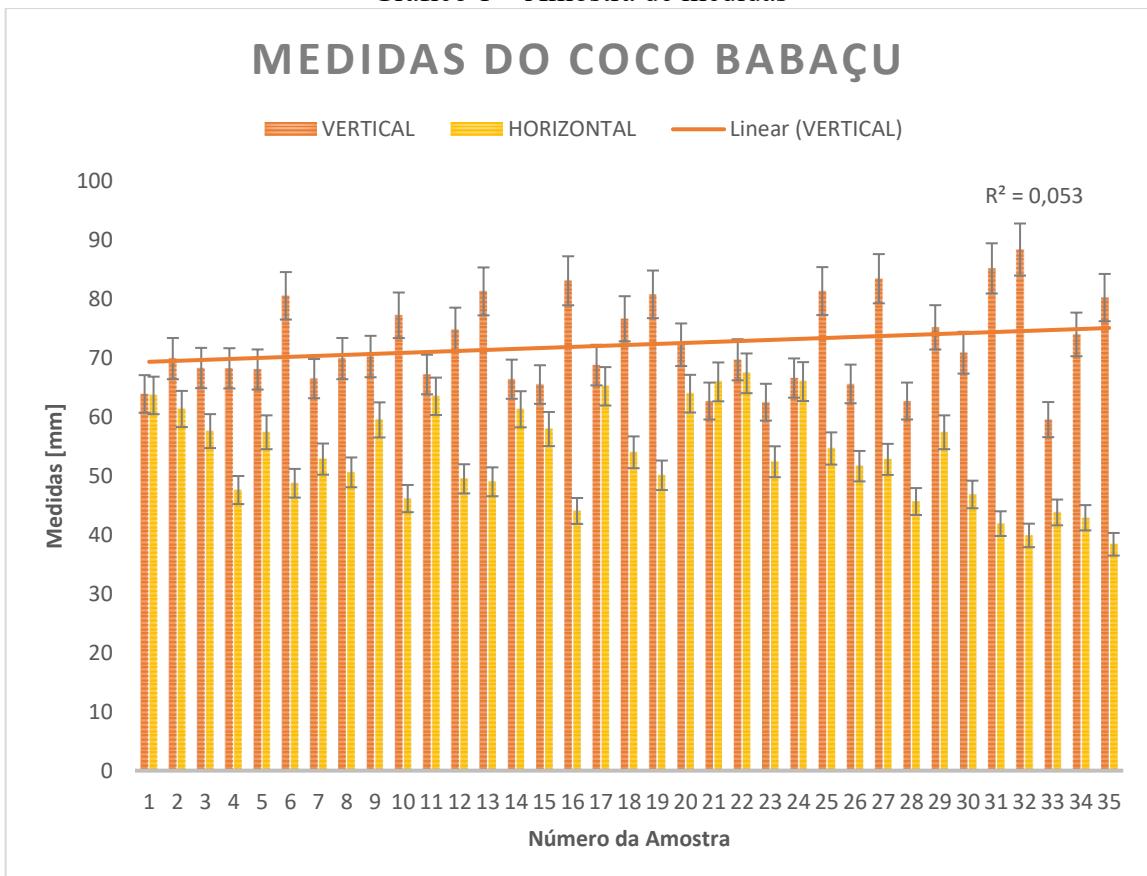


Figura 1- Amostra de medição de comprimento (Fonte: Própria)



Figura 2 - Amostra de medição de diâmetro (Fonte: Própria)



2.3 FERRAMENTAS INDIVIDUAIS E SEMI-MECANIZADAS

Buscando alternativas que pudessesem melhorar as condições de trabalho das quebradeiras sem afastá-las de seu modo de vida tradicional, instituições públicas e centros de pesquisa, como a Embrapa Cocais, desenvolveram ferramentas individuais para facilitar o processo de quebra do coco. Segundo a Embrapa (2016), esses dispositivos, geralmente metálicos e de fácil manuseio, visam reduzir o esforço físico e aumentar a segurança da operação.

Entre as principais vantagens destacam-se o baixo custo de produção e a portabilidade, que permite o uso em qualquer ambiente, inclusive nas áreas de coleta. Tais ferramentas proporcionam redução parcial do esforço físico e diminuem os riscos de cortes e acidentes leves, representando um avanço significativo em comparação ao método tradicional.

Contudo, essas melhorias são limitadas. Mesmo com o auxílio das ferramentas, a força física exigida permanece alta e a produtividade obtida é semelhante à do método manual. Além disso, a aceitação entre as quebradeiras tem se mostrado variável. Muitas trabalhadoras consideram essas ferramentas menos eficazes ou mais lentas que o método tradicional, preferindo continuar utilizando as técnicas transmitidas por gerações.

Dessa forma, ainda que as ferramentas desenvolvidas pela Embrapa Cocais representem um passo importante em termos de ergonomia e segurança, elas não proporcionam um aumento expressivo na escala de produção. Assim, configuraram-se como soluções de transição, úteis principalmente em contextos de baixa disponibilidade de recursos tecnológicos.

2.4 MÁQUINAS ACADÊMICAS E PROTÓTIPOS UNIVERSITÁRIOS

Diversos estudos acadêmicos buscaram compreender o comportamento físico e mecânico do coco babaçu e propor dispositivos capazes de mecanizar sua quebra. Um dos trabalhos pioneiros é a dissertação de mestrado de Porto (2004), desenvolvida na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), que caracterizou propriedades fundamentais do fruto, como densidade, número de amêndoas por unidade e força de impacto necessária para a ruptura. Esses dados serviram como base para projetos posteriores voltados ao desenvolvimento de mecanismos automatizados.

Entre esses estudos destaca-se o Trabalho de Conclusão de Curso de Sousa (2018), que propôs um protótipo composto por garras metálicas responsáveis por conduzir o coco até um disco de serra. O sistema atingiu produtividade de até 10 cocos por minuto, superando em muito o desempenho manual. Entretanto, apresentava limitações importantes, principalmente no que diz respeito à segurança operacional, devido ao risco de contato com a serra, além de custos de manutenção elevados.

Outro exemplo é o trabalho de Machado (2020), desenvolvido na Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), que, embora focado no processamento do coco licuri, apresentou soluções semelhantes baseadas em sistemas de cilindros e engrenagens. O projeto alcançou ganhos ergonômicos e eficiência satisfatória, mas dependia de motores de maior potência e de peças industriais de difícil acesso em comunidades rurais.

De modo geral, as principais limitações observadas nesses protótipos acadêmicos incluem o custo elevado, a complexidade de manutenção e a necessidade de operadores com treinamento técnico. Embora representem avanços notáveis em termos de mecanização, ainda se mostram pouco acessíveis para a realidade socioeconômica das quebradeiras de coco babaçu.

2.5 MÁQUINAS INDUSTRIALIS E PROJETOS INSTITUCIONAIS

Em uma escala mais ampla, surgiram projetos industriais de grande porte voltados à mecanização completa do processamento do coco babaçu. Um dos exemplos mais relevantes é o Projeto APL Babaçu, desenvolvido em parceria entre a Universidade de São Paulo (USP) e a empresa Biotechnos. De acordo com os relatórios do projeto (USP; Biotechnos, 2019), a máquina criada foi capaz de processar automaticamente até 850 kg de coco em 90 minutos, separando todas as partes do fruto sem danificá-las — o que amplia as possibilidades de aproveitamento industrial das cascas, amêndoas e fibras.

Os benefícios desse tipo de equipamento incluem a alta produtividade, a preservação integral das partes do coco e a inserção das comunidades em cadeias de valor organizadas, voltadas à indústria alimentícia, cosmética e energética. No entanto, tais sistemas também apresentam desvantagens consideráveis. O custo de aquisição é elevado, a manutenção é complexa — devido à abrasividade natural do coco, que causa desgaste acelerado das peças —, e a operação requer infraestrutura elétrica robusta e mão de obra especializada.

Essas características tornam os equipamentos industriais adequados apenas para cooperativas de médio e grande porte, sendo inviáveis para uso em pequenas comunidades. Assim, apesar de sua eficiência produtiva, tais máquinas se distanciam da proposta de acessibilidade e sustentabilidade necessária para a realidade das quebradeiras de coco, reforçando a importância de soluções intermediárias que combinem simplicidade e eficiência.

2.6 COMPARAÇÃO COM A MÁQUINA PROPOSTA

A máquina elétrica proposta neste trabalho busca preencher o espaço existente entre as soluções manuais e as alternativas industriais, equilibrando simplicidade construtiva, custo acessível e ganhos ergonômicos significativos. O projeto foi concebido com base em um sistema biela–manivela–pistão acionado por um motor de portão deslizante, que movimenta uma lâmina em formato de cruz responsável por partir o coco de forma controlada e segura.

Em termos técnicos, o motor de portão apresenta robustez, baixo custo e ampla disponibilidade no mercado, o que facilita a manutenção e substituição de peças. A transmissão por corrente, associada ao mecanismo biela–manivela, garante a conversão eficiente do torque em força linear, resultando em um sistema potente, porém seguro para a operadora. O acionamento é realizado por meio de botões que exigem o uso simultâneo das duas mãos, reduzindo o risco de acidentes e garantindo maior controle sobre o processo de corte.

Quando comparada às alternativas existentes, a máquina proposta demonstra vantagens expressivas. Em relação à quebra manual, elimina o esforço físico excessivo e aumenta significativamente a produtividade. Frente às ferramentas individuais, apresenta operação totalmente motorizada, dispensando a força humana. Em comparação com os protótipos acadêmicos, oferece menor custo e facilidade de manutenção, e, diante das máquinas industriais, embora possua menor capacidade produtiva, destaca-se pela viabilidade comunitária e pelo foco na sustentabilidade.

O projeto também se diferencia pelo impacto social. A concepção da máquina respeita a lógica de trabalho comunitário das quebradeiras, podendo ser operada de forma colaborativa sem a necessidade de conhecimento técnico avançado. Além disso, a utilização de peças reaproveitadas reforça o compromisso ambiental e o caráter sustentável da proposta.

Em síntese, a máquina elétrica desenvolvida neste TCC representa uma solução de engenharia socialmente inclusiva, que alia baixo custo, segurança e eficiência. Sua adoção tem potencial para transformar a rotina das quebradeiras, proporcionando melhoria das condições de trabalho, aumento da produtividade e valorização de um saber tradicional que, mesmo diante da inovação tecnológica, continua sendo símbolo de resistência e identidade cultural.

2.7 IMPACTOS SOCIAIS E CULTURAIS

O trabalho das quebradeiras não é apenas econômico, mas também cultural e ambiental. A introdução de uma tecnologia que preserve esse protagonismo, ao invés de substituí-lo, é essencial para garantir aceitação social.

Pesquisas da ENSP/Fiocruz mostram que a melhoria das condições de trabalho é um dos maiores desejos das quebradeiras, especialmente em relação à saúde. Assim, uma máquina que preserve a autonomia e aumente a dignidade do trabalho tem potencial transformador. Do ponto de vista ambiental, ao viabilizar o aproveitamento integral do coco e reduzir desperdícios, a máquina pode fortalecer a cadeia produtiva sustentável. Isso contribui tanto para a valorização da biodiversidade quanto para a geração de renda em escala local.

A análise comparativa demonstra que as alternativas existentes apresentam lacunas entre custo, produtividade e viabilidade social. Métodos tradicionais são insustentáveis a longo prazo; ferramentas individuais oferecem apenas melhorias pontuais; protótipos acadêmicos e máquinas industriais apresentam produtividade elevada, mas não se adequam ao contexto das quebradeiras.

A máquina proposta neste TCC ocupa um espaço estratégico: combina baixo custo, simplicidade e facilidade de manutenção com ganhos significativos em ergonomia, segurança e produtividade.

Mais do que uma solução técnica, a proposta representa uma tecnologia social, capaz de fortalecer a autonomia das quebradeiras, preservar a cultura extrativista e ampliar a inserção das comunidades em cadeias produtivas sustentáveis.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do projeto da máquina elétrica para quebra do coco babaçu seguiu uma metodologia estruturada em etapas, com base nos princípios da engenharia mecânica aplicada, envolvendo modelagem cinemática e dinâmica do sistema biela-manivela-pistão e a transmissão de potência por corrente e engrenagens. O objetivo principal foi obter um sistema funcional, de baixo custo e fácil manutenção, capaz de realizar a quebra do coco de forma eficiente e segura.

3.1 DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL E PROTÓTIPOS INICIAIS

O desenvolvimento da máquina elétrica para a quebra do coco babaçu passou por diferentes etapas conceituais até alcançar o modelo final apresentado neste trabalho. Durante o processo de concepção, foram avaliadas alternativas de componentes, mecanismos de acionamento e soluções construtivas que pudessem atender simultaneamente aos critérios de baixo custo, simplicidade de montagem e eficiência operacional.

A ideia inicial consistia na utilização de um motor de máquina de lavar do tipo tanquinho como fonte de acionamento principal. Esse motor seria acoplado a um sistema de redução de velocidade por engrenagens, cuja função seria converter a alta rotação em movimento adequado para acionar um mecanismo biela–manivela–pistão conectado a uma lâmina de corte. O objetivo era reproduzir o movimento alternado necessário para a ruptura do coco, utilizando componentes de fácil obtenção e montagem artesanal.

O projeto conceitual previa ainda a integração de um sistema automático de alimentação e descarga. Nesse arranjo, a lâmina estaria fixada em um suporte que, durante o movimento de avanço do pistão, manteria o tubo de alimentação — por onde o coco é inserido — temporariamente fechado, garantindo que o fruto permanecesse corretamente posicionado no momento do corte. Quando o pistão atingisse a metade do ciclo de retorno, o suporte se abriria, permitindo que o coco já cortado caísse e outro se posicionasse automaticamente no tubo. A repetição contínua desse ciclo possibilitaria uma operação quase automatizada, em que o próprio movimento mecânico do pistão coordenaria a entrada e a saída dos frutos.

Entretanto, a aplicação prática desse conceito revelou uma série de limitações técnicas e de viabilidade econômica. O motor de tanquinho, apesar de ser uma alternativa acessível, apresentava rotação excessivamente alta, exigindo uma redução muito grande para que o sistema funcionasse de forma segura e controlada. As engrenagens disponíveis no mercado tinham custo elevado e dimensões incompatíveis com o espaço disponível, o que demandaria a

fabricação de uma caixa redutora sob medida, aumentando significativamente a complexidade construtiva e os custos de produção.

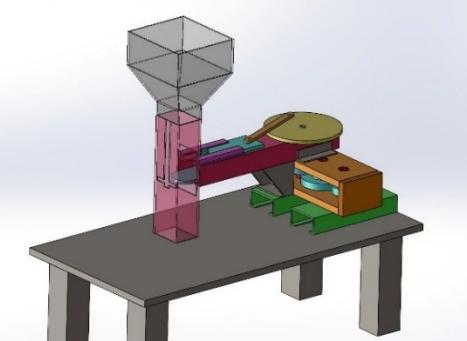
Outro desafio identificado foi a sincronização do suporte da lâmina com o tubo de alimentação. Como o sistema dependia da precisão do ciclo mecânico para abrir e fechar o tubo no momento exato, qualquer variação na velocidade do motor afetaria o sincronismo, exigindo o uso de sensores e sistemas de controle eletrônico para compensar desvios. Essa solução contrariava o objetivo inicial de manter o projeto simples, acessível e de manutenção local, além de elevar o custo e a dificuldade de replicação da máquina em comunidades rurais.

Além disso, o sistema biela–manivela precisaria ser construído inteiramente do zero, o que implicava maior tempo de fabricação, necessidade de equipamentos de usinagem e aumento do custo total. Diante desses entraves, o protótipo inicial foi considerado inviável para a realidade das quebradeiras de coco babaçu.

Essas dificuldades levaram à reformulação do projeto e à adoção de um novo conceito, resultando no modelo final descrito neste trabalho. A solução definitiva incorporou um motor de portão deslizante, que já possui redução interna de fábrica, eliminando a necessidade de sistemas complexos de engrenagens. A transmissão passou a ser feita por corrente e rodas dentadas de bicicleta, proporcionando um mecanismo robusto, de fácil manutenção e baixo custo. Essa configuração também permitiu o aproveitamento direto do conjunto de pedal e coroa da bicicleta como manivela, simplificando a construção do sistema biela–manivela–pistão e mantendo excelente eficiência mecânica.

Assim, o desenvolvimento conceitual e experimental da máquina foi essencial para a consolidação de uma solução tecnicamente funcional, economicamente viável e socialmente apropriada, em conformidade com os objetivos deste trabalho de oferecer uma tecnologia simples, segura e sustentável para a quebra do coco babaçu.

Figura 3 - Modelo 3D do primeiro protótipo (Fonte: Própria)



3.2 MODELAGEM DO SISTEMA BIELA-MANIVELA-PISTÃO

O sistema biela-manivela-pistão converte o movimento rotativo do eixo do motor em um movimento alternado linear do pistão. Esse mecanismo é responsável pelo acionamento da lâmina de corte, que realiza a ruptura do coco babaçu.

- Parâmetros Geométricos:

- (r) — Raio da manivela (m)
- (L) — Comprimento da biela (m)
- (θ) — Ângulo de rotação da manivela (rad ou °)
- (x) — Deslocamento do pistão (m)

- Equação do Deslocamento do Pistão:

O deslocamento linear do pistão em função do ângulo da manivela é dado por:

$$x = r(1 - \cos\theta) + [L - \sqrt{L^2 - (r \sin\theta)^2}]$$

Essa equação permite determinar a posição instantânea do pistão, essencial para definir o curso total e o ponto de impacto da lâmina sobre o coco.

- Velocidade Linear do Pistão:

A velocidade do pistão é obtida pela derivada do deslocamento em relação ao tempo:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega r [\sin\theta + \frac{r \sin 2\theta}{2L}]$$

onde:

(ω) é a velocidade angular da manivela ($\omega = \frac{2n\pi}{60}$),

sendo (n) a rotação da manivela em rpm.

- Aceleração do Pistão:

A aceleração é obtida pela derivada da velocidade:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \omega^2 r [\cos\theta + \frac{r}{L} \cos 2\theta]$$

Essa relação é importante para estimar as forças de inércia no sistema e o impacto no momento do corte.

- Força Transmitida ao Pistão:

A força gerada no pistão é função do torque aplicado na manivela:

$$F_p = \frac{T}{r} * \frac{\sin(\theta + \varphi)}{\sin(\varphi)}$$

onde (φ) é o ângulo entre a biela e o eixo do pistão, calculado por:

$$\sin\varphi = \frac{r}{L} \sin\theta$$

Essa equação permite converter o torque disponível do motor (após a redução) em força linear efetiva no pistão, responsável pelo corte do coco.

- Tempo de Ciclo do Pistão:

Considerando uma rotação de (n) rpm, o tempo de um ciclo completo (ida e volta do pistão) é:

$$t_c = \frac{60}{n}$$

O tempo de meio ciclo, correspondente ao movimento de avanço (golpe de corte), é:

$$t_{golpe} = \frac{t_c}{2} = \frac{30}{n}$$

3.3 TRANSMISSÃO POR CORRENTE (REDUÇÃO DE VELOCIDADE)

O motor elétrico aciona o sistema biela-manivela por meio de um conjunto de duas rodas dentadas ligadas por uma corrente, cuja função é transmitir o torque e reduzir a rotação para obter o movimento ideal da manivela.

- Relação de Transmissão:

A relação de transmissão (ou redução) é dada por:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Onde:

(n1) — rotação da roda motora (rpm)

(n2) — rotação da roda movida (rpm)

(Z1) — número de dentes da roda motora

(Z2) — número de dentes da roda movida

Se ($i > 1$), há redução de rotação e aumento de torque.

- Torque Transmitido:

Considerando perdas desprezíveis, o torque na roda movida é:

$$T_2 = T_1 * i$$

onde (T_1) é o torque do motor e (T_2) é o torque aplicado à manivela

- Velocidade Linear da Corrente:

A velocidade linear da corrente, comum às duas rodas, é dada por:

$$v_c = \frac{\pi d_1 n_1}{60} = \frac{\pi d_2 n_2}{60}$$

onde (d_1) e (d_2) são os diâmetros primitivos das rodas dentadas.

- Distância entre Centros:

A distância entre os centros das rodas pode ser estimada (aproximadamente) por:

$$C = \frac{p}{4}(Z_1 + Z_2) + \frac{p}{8\pi} \left(\frac{Z_2 - Z_1}{\operatorname{sen}(\frac{\pi(Z_2 - Z_1)}{2L_p})} \right)$$

onde (p) é o passo da corrente e (L_p) é o número de elos.

3.4 ETAPAS PRÁTICAS DA METODOLOGIA

- 1. Dimensionamento do sistema biela-manivela-pistão**, aplicando as fórmulas acima para determinar deslocamento, velocidade e força de corte.
- 2. Seleção do motor elétrico**, com base no torque necessário no pistão e no tempo de ciclo desejado.
- 3. Cálculo da redução por corrente**, de modo que a rotação e o torque transmitidos à manivela sejam adequados.
- 4. Modelagem CAD** (no Autodesk Inventor), para validação geométrica e simulação cinemática do sistema.

3.4 SÍNTESE DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS E RELAÇÕES

Tabela 2- Principais equações utilizadas

Parâmetro	Fórmula	Descrição
Deslocamento do pistão	$x = r(1 - \cos\theta) + [L - \sqrt{L^2 - (r \sin\theta)^2}]$	Posição do pistão
Velocidade do pistão	$v = \frac{dx}{dt} = \omega r [\sin\theta + \frac{r \sin 2\theta}{2L}]$	Velocidade linear
Aceleração do pistão	$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \omega^2 r [\cos\theta + \frac{r}{L} \cos 2\theta]$	Aceleração linear
Força no pistão	$F_p = \frac{T}{r} * \frac{\sin(\theta + \varphi)}{\sin(\varphi)}$	Conversão torque → força
Relação de redução	$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$	Redução entre rodas dentadas
Torque transmitido	$T_2 = T_1 * i$	Aumento de torque na saída
Tempo de ciclo	$t_c = \frac{60}{n}$	Tempo de um ciclo completo

3.5 RESUMO TÉCNICO DOS COMPONENTES DE ACIONAMENTO

- Motor elétrico Garen KDZ Fit 1/4 HP:

O motor selecionado para o projeto é o Garen KDZ Fit 1/4 HP, amplamente utilizado em portões deslizantes residenciais e industriais de pequeno porte. Trata-se de um motor monofásico de indução, de 1/4 de cavalo-vapor (≈ 186 W), com tensão de alimentação de 127 V ou 220 V, e rotação nominal de 1740 rpm.

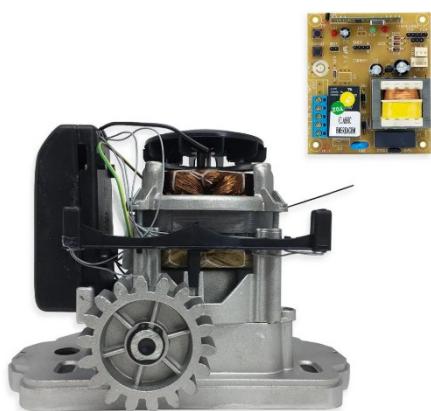
O motor conta com uma redução interna por engrenagens de 25:1, o que reduz sua velocidade de saída para aproximadamente 70 rpm, ao mesmo tempo que amplifica o torque para cerca de 20 N·m em regime contínuo. Essa característica torna o modelo ideal para aplicações que exigem movimento lento e alto torque, como mecanismos de translação, sistemas de portão e, neste caso, a máquina de corte de coco babaçu.

Além disso, o KDZ Fit apresenta dimensões compactas, custo acessível e fácil reposição de peças, sendo um equipamento amplamente comercializado em lojas de automação de portões e plataformas online (como Mercado Livre, Amazon e lojas especializadas como TudoForte e

Garen Store). Sua popularidade e simplicidade de instalação garantem baixo custo de manutenção e ampla disponibilidade no mercado nacional.

Dentre as alternativas possíveis, podem ser considerados motores equivalentes, como o Peccinin DZ Rio 1/4 HP, o PPA Jet Flex 1/4 HP ou o Rossi DZ Home 1/4 HP, todos com reduções internas similares (entre 20:1 e 30:1) e desempenho compatível.

Figura 4 - Motor elétrico Garen KDZ Fit 1/4 HP (Fonte:
https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2009169283-kit-motor-de-porto-deslizante-garen-kdz-fit-14-hp-_JM)



- Sistema de coroa e pinhão (transmissão por corrente)

A transmissão secundária do sistema utiliza um engrenamento por corrente de rolos, composto por uma roda motora (pinhão) de 16 dentes e uma roda movida (coroa) de 40 dentes, resultando em uma relação de transmissão de 2,5:1. O passo da corrente é de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ pol) um padrão industrial amplamente utilizado em aplicações mecânicas de baixa e média potência.

Esse tipo de componente é comum, de fácil aquisição e intercambiável, podendo ser encontrado em lojas de componentes mecânicos, oficinas de motocicletas, distribuidores de rolamentos ou fornecedores industriais (SKF, WDMA, Rexon, Vonder, Tsubaki, entre outros).

A combinação adotada garante transmissão robusta e confiável, com baixo escorregamento e alta eficiência mecânica, sendo adequada para converter o movimento rotativo lento do motor em movimento alternativo do pistão, sem perdas significativas.

Alternativamente, poderiam ser utilizadas outras combinações de engrenagens que resultam em redução semelhante, como:

- Pinhão de 15 dentes com coroa de 37 ou 38 dentes (redução $\approx 2,47:1$);
- Pinhão de 18 dentes com coroa de 45 dentes (redução $\approx 2,5:1$);
- Conjunto de corrente padrão 08B ou 428, dependendo da disponibilidade

Essas alternativas mantêm características equivalentes em termos de torque transmitido e velocidade do pistão, permitindo flexibilidade na fabricação e substituição conforme materiais disponíveis.

Figura 5 – Modelo 3D de pinhão 16 dentes (Fonte: Própria)



Figura 6 – Modelo 3D de coroa 40 dentes (Fonte: Própria)



- Sistema biela–manivela–pistão:

O sistema biela–manivela–pistão foi desenvolvido de forma simples, utilizando materiais reaproveitados, priorizando baixo custo e sustentabilidade, conforme descrito a seguir:

- Manivela: construída a partir do conjunto de pedais de uma bicicleta, aproveitando o braço e a coroa original. O pedal do lado oposto à coroa foi removido, e em seu lugar o eixo do motor foi conectado ao pinhão que aciona a corrente. Assim, o movimento do motor faz a coroa girar, convertendo o movimento rotativo em movimento alternativo por meio do pedal que atua como manivela.

Figura 7 – Modelo 3D do pedivela utilizado como manivela (Fonte: Própria)



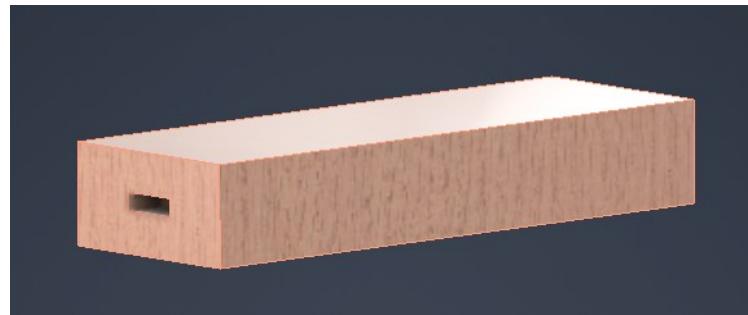
-Biela: confeccionada com vergalhão de aço lixado, garantindo resistência e rigidez. Nas extremidades, foram soldados dois pequenos segmentos do mesmo material, formando um “U” aberto que permite o encaixe preciso com os rolamentos localizados no pedal e no pistão, assegurando o movimento articulado.

Figura 8 – Modelo 3D da biela projetada (Fonte: Própria)



- Pistão: feito em madeira maciça, com dimensões de 36 mm × 71 mm × 217 mm, de formato retangular alongado. Esse pistão se desloca linearmente dentro de um perfil metálico enrijecido, que atua como guia e canal de movimentação, garantindo alinhamento e reduzindo atrito.

Figura 9 – Modelo 3D do pistão projetado (Fonte: Própria)



-Conexões por rolamentos: para assegurar suavidade e durabilidade no movimento, utilizou-se o rolamento 6001 tanto na conexão da biela com o pedal (manivela) quanto na conexão da biela com o pistão.

No lado da manivela, o rolamento é fixado ao pedal, servindo como ponto de apoio para o movimento de rotação.

No lado do pistão, o rolamento é soldado a um parafuso rosqueado diretamente no corpo do pistão. A biela encaixa nesse rolamento, o que permite o movimento livre e preciso do conjunto, evitando travamentos e desgastes prematuros.

Figura 10 – Modelo 3D das conexões Manivela-Bielas e Biela-Pistão (Fonte: Própria)



- Síntese dos componentes:

O conjunto formado pelo motor elétrico, o sistema de transmissão por corrente, e o mecanismo biela–manivela–pistão artesanal demonstra um equilíbrio eficiente entre simplicidade, desempenho e custo.

Os componentes foram escolhidos com base em critérios de acessibilidade, reaproveitamento de materiais e manutenção facilitada, possibilitando a construção de uma máquina funcional utilizando peças comuns em bicicletarias, ferros-velhos e lojas de ferramentas.

Essa abordagem reforça o caráter sustentável e socialmente relevante do projeto, atendendo ao objetivo central de oferecer uma solução tecnológica de baixo custo, capaz de reduzir o esforço físico e os riscos enfrentados pelas quebradeiras de coco babaçu.

3.5 APLICAÇÃO DE FORMULÁRIO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação das equações teóricas que descrevem o funcionamento do sistema biela–manivela–pistão e da transmissão por corrente, considerando as características físicas e geométricas dos componentes utilizados na máquina elétrica projetada para a quebra do coco babaçu. Os resultados permitem compreender o comportamento do sistema em operação, incluindo variações de velocidade, deslocamento e esforço mecânico ao longo do ciclo, fornecendo subsídios para avaliar a eficiência e a adequação do projeto proposto.

- Parâmetros adotados:

Os parâmetros utilizados nos cálculos foram extraídos das especificações reais do projeto e das características técnicas do motor Garen KDZ Fit 1/4 HP, conforme a tabela a seguir.

Tabela 3 - Parâmetros adotados para os cálculos

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Torque contínuo na saída do motor	T_m	20,1	N.m
Rotação na saída do motor	n_m	70	rpm
Redução interna do motor	g_i	25:1	-
Raio da manivela	r	0,16764	m
Comprimento da biela	L	0,24	m
Passo da corrente	p	12,7	mm
Número de dentes da roda motora	Z_1	16	-
Número de dentes da roda movida	Z_2	40	-
Distância entre centros das rodas	C	269,365	mm

- Redução total do sistema:

O sistema de transmissão por corrente atua como uma segunda etapa de redução, multiplicando o torque disponível no eixo da manivela e diminuindo a rotação. A relação de transmissão é dada por:

$$i_c = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Substituindo-se os valores:

$$i_c = \frac{40}{16} = 2,5$$

Assim, a redução total entre o eixo do motor e a manivela é:

$$i_t = i_c = 2,5$$

- Rotação e tempo de ciclo do pistão:

A rotação angular da manivela é reduzida pela relação de transmissão, sendo:

$$\begin{aligned} n_c &= \frac{n_m}{i_c} \\ n_c &= \frac{70}{2,5} = 28 \text{ rpm} \end{aligned}$$

A partir disso, o tempo de um ciclo completo (uma rotação da manivela) é:

$$t = \frac{60}{n_c} = \frac{60}{28} = 2,14s$$

Logo, cada golpe completo do pistão (avanço e retorno) ocorre em aproximadamente 2,14 segundos, o que resulta em ~28 ciclos por minuto.

- Torque e força transmitida ao pistão:

O torque disponível no eixo da manivela é ampliado pela relação de corrente:

$$T_c = T_m * i_c$$

$$T_c = 20,1 * 2,5 = 50,25N.m$$

A força tangencial aplicada pela manivela sobre a biela é:

$$F_t = \frac{T_c}{r}$$

$$F_t = \frac{50,25}{0,16764} = 299,7N$$

Para a força linear efetiva no pistão, considera-se o ângulo (θ) da manivela, que influencia o braço de alavanca e a direção do esforço. A força no pistão é obtida por:

$$F_p = F_t * \frac{\cos(\theta + \beta)}{\cos(\beta)}$$

onde (β) é o ângulo formado entre a biela e o eixo do pistão, calculado por:

$$\operatorname{sen}(\beta) = \frac{r}{L} * \operatorname{sen}(\theta)$$

Essa relação permite avaliar a força transmitida em cada ponto do ciclo, mostrando que o pico de força ocorre próximo ao ponto morto superior (PMS), onde o braço de alavanca é máximo.

- Deslocamento, velocidade e aceleração do pistão:

O deslocamento do pistão em função do ângulo da manivela é dado por:

$$x = r(1 - \cos\theta) + [L - \sqrt{L^2 - (r \operatorname{sen}\theta)^2}]$$

A velocidade linear do pistão é obtida derivando a posição em relação ao tempo:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega r [\operatorname{sen}\theta + \frac{r \operatorname{sen}2\theta}{2L}]$$

A aceleração é a derivada da velocidade:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \omega^2 r [\cos\theta + \frac{r}{L} \cos2\theta]$$

onde (ω) é a velocidade angular da manivela:

$$\omega = \frac{2\pi n_c}{60}$$

Substituindo os valores:

$$\omega = \frac{2\pi * (28)}{60} = 2,93 \text{ rad/s}$$

Com isso, obtém-se:

- Velocidade máxima do pistão $\approx 0,5 \text{ m/s}$
- Aceleração máxima $\approx 1,5 \text{ m/s}^2$ (valores estimados para $\frac{r}{L} = 0,7$)

- Interpretação dos resultados:

A partir dos resultados, observa-se que:

- A rotação de 28 rpm na manivela proporciona um ciclo relativamente lento, porém adequado para garantir controle e segurança no corte do coco babaçu, evitando vibrações e impactos bruscos.
- O torque de 50,25 N·m na manivela e a força linear próxima de 300 N no pistão são suficientes para movimentar a lâmina de corte e vencer a resistência do coco, especialmente considerando o braço mecânico do sistema.
- O curso do pistão (duas vezes o raio da manivela) é de cerca de 335 mm, o que garante amplitude suficiente para o deslocamento da lâmina durante o processo de corte.
- O tempo de ciclo de 2,14 s fornece uma cadência de trabalho adequada, com ritmo contínuo e seguro para o operador.

Esses resultados demonstram que a máquina apresenta bom equilíbrio entre força, velocidade e controle, permitindo a quebra eficiente do coco babaçu com esforço físico mínimo e risco reduzido ao operador.

- Considerações finais dos resultados:

O dimensionamento do sistema biela–manivela–pistão, aliado à redução por corrente e à redução interna do motor, mostrou-se eficiente para converter a potência do motor elétrico em força mecânica de impacto controlada.

Os resultados indicam que, mesmo com um motor de baixa potência ($1/4 \text{ HP} \approx 186 \text{ W}$), a máquina é capaz de realizar o processo de corte com eficiência, mantendo baixo consumo energético e custo de manutenção reduzido.

Assim, o sistema projetado cumpre os objetivos de ser de baixo custo, simples, ergonômico e sustentável, alinhando-se à proposta do trabalho.

3.6 POKA-YOKE E SEGURANÇA OPERACIONAL:

O sistema desenvolvido para a máquina elétrica de quebra do coco babaçu incorpora elementos construtivos que garantem a segurança do operador por meio de um mecanismo físico de isolamento e de um controle elétrico simples e confiável. O princípio de funcionamento segue o conceito de poka-yoke, evitando que o operador entre em contato com a área de corte durante o funcionamento.

A lâmina de corte está fixada na extremidade do pistão, responsável pelo movimento alternativo produzido pelo sistema biela–manivela. O pistão se desloca no interior de um perfil metálico enrijecido, que atua como guia e canal de movimento, impedindo o acesso direto à lâmina. Esse perfil está acoplado a um tubo metálico fabricado a partir de material de calha, formando um condutor de alimentação dos cocos.

O tubo possui uma abertura superior de 9,4 cm de comprimento por 6 cm de largura, dimensões que correspondem ao tamanho médio do coco babaçu, permitindo que o fruto seja inserido de forma individual. O coco desliza pelo interior do tubo até atingir a área de corte, localizada aproximadamente 20 cm abaixo da entrada. Nessa região, existe uma escotilha lateral que, em operação normal, permanece fechada.

O procedimento operacional é o seguinte: o operador insere o coco pela abertura superior; o fruto desliza pelo tubo e é retido pela escotilha já fechada, posicionando-se corretamente na área de corte. Com o coco retido, o operador aciona o botão momentâneo para mover o pistão e efetuar o corte; o movimento do motor ocorre apenas enquanto o botão é pressionado, interrompendo-se imediatamente ao ser solto. Após a realização do corte, o operador puxa o puxador (tipo maçaneta) para abrir a escotilha, permitindo que o coco partido caia na área de armazenamento abaixo; em seguida o operador fecha novamente a escotilha para iniciar o ciclo seguinte.

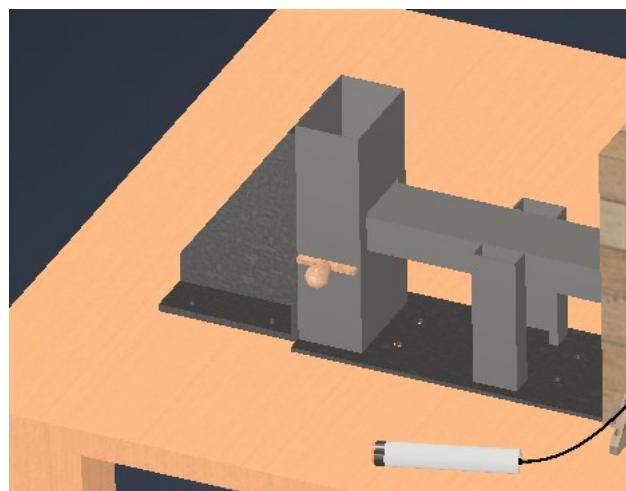
O acionamento do motor é feito por meio de um botão com mola, montado em um corpo de PVC e conectado por fiação ao comando do motor. Esse dispositivo garante que o motor funcione apenas enquanto o operador mantém pressão no botão, conferindo controle direto e imediato sobre o ciclo de corte.

Essa configuração constitui uma solução de poka-yoke físico e funcional, pois:

- Confinamento físico da lâmina dentro do perfil e do tubo, eliminando a possibilidade de contato direto com a lâmina durante a operação;
- Retenção do coco em posição correta por meio da escotilha fechada, assegurando posicionamento consistente para o corte;
- Controle manual direto do ciclo por botão momentâneo, garantindo que o movimento ocorra somente sob supervisão contínua do operador.

Como resultado, o sistema garante a segurança operacional do usuário, permitindo a quebra do coco babaçu de forma segura, controlada e ergonômica, sem contato físico direto com o mecanismo de corte.

Figura 11- Modelo 3D apresentando Poka-yoke mencionado (Fonte: Própria)



3.7 PEÇAS COMPLEMENTARES DO SISTEMA:

O projeto da máquina elétrica para quebra do coco babaçu conta com um conjunto de peças complementares que têm a função de garantir a estrutura, fixação, estabilidade e proteção do sistema mecânico e elétrico, além de facilitar eventuais manutenções. Esses componentes

foram projetados com base em critérios de baixo custo, reaproveitamento de materiais e facilidade de fabricação, mantendo a robustez necessária para suportar os esforços de operação.

- Base estrutural:

A base da máquina foi construída a partir de uma mesa de madeira reforçada, que serve como plataforma principal de montagem. Todos os conjuntos mecânicos e elétricos são fixados sobre esta base, proporcionando estabilidade durante o funcionamento e absorvendo as vibrações geradas pelo sistema biela–manivela–pistão.

A escolha da madeira como material estrutural principal se deve à sua facilidade de obtenção, baixo custo e boa capacidade de amortecimento de vibrações, além de permitir a fixação de componentes com parafusos e buchas de forma prática e segura.

Figura 12 – Modelo 3D da mesa base da máquina (Fonte: Própria)



- Suporte de ancoragem do tubo de alimentação:

O tubo metálico por onde o coco babaçu é inserido é sustentado por um suporte de ancoragem confeccionado em aço soldado, projetado para resistir aos esforços de impacto durante o corte e impedir deformações no tubo (feito de chapa metálica fina proveniente de calha).

O suporte é composto por três placas metálicas:

- Duas delas são dispostas em forma de “L”, formando a estrutura de sustentação principal;

- A terceira placa, de formato triangular, é soldada entre as duas primeiras, funcionando como escora diagonal, o que aumenta a rigidez e impede o deslocamento do tubo durante o impacto da lâmina.

Esse suporte é parafusado à mesa de madeira, garantindo firmeza e alinhamento com o canal de movimento do pistão. Essa ancoragem evita que o tubo ceda ou amasse quando o pistão, com a lâmina acoplada, aplica força sobre o coco durante o processo de corte.

Figura 13 – Modelo 3D do suporte de ancoragem (Fonte: Própria)

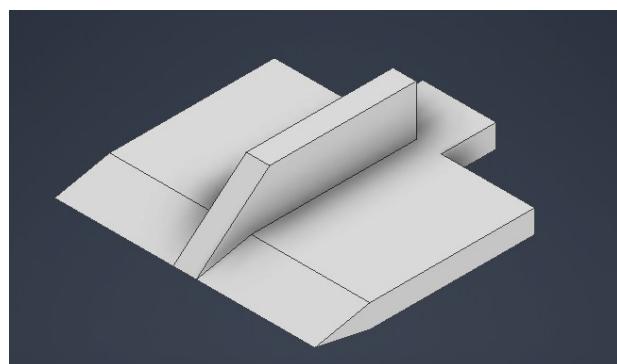


- Lâmina de corte:

A lâmina utilizada no sistema foi confeccionada a partir de um feixe de mola automotiva reaproveitado, material conhecido por sua alta resistência mecânica e elasticidade.

O feixe foi recortado e soldado em formato de cruz, criando quatro arestas de corte. Em seguida, as extremidades foram afiadas manualmente, garantindo uma penetração eficiente no coco babaçu. Essa configuração em cruz permite que o fruto seja cortado em múltiplas direções com um único movimento do pistão, aumentando a eficiência do processo.

Figura 14 – Modelo 3D da lâmina de corte (Fonte: Própria)



- Canal de movimento do pistão:

O canal de deslocamento do pistão é composto por um perfil metálico enrijecido, que atua como guia linear para o movimento alternativo. Esse canal é fixado a uma placa de aço por meio de perfis menores soldados lateralmente, proporcionando estabilidade e precisão no alinhamento do pistão durante o funcionamento.

A placa de aço, por sua vez, é parafusada à mesa de madeira, garantindo rigidez e facilitando o processo de montagem e desmontagem quando necessário. Essa fixação modular também permite ajustes de posição durante o alinhamento do conjunto biela–manivela.

Figura 15 – Modelo 3D apresentando canal do pistão (Fonte: Própria)



- Estrutura de fechamento e proteção:

Todo o conjunto mecânico (motor, engrenagens, manivela, biela e canal do pistão) é envolvido por uma caixa de madeira compensada, montada com parafusos para facilitar a desmontagem e manutenção. A caixa funciona como uma estrutura de proteção, evitando o acesso acidental às partes móveis e reduzindo o nível de ruído emitido pela máquina.

A parte superior da caixa atua como uma tampa tipo baú, presa por dobradiças metálicas que permitem sua abertura para inspeção, ajustes ou lubrificação do sistema interno. Essa tampa garante fácil acesso ao conjunto interno sem a necessidade de desmontar toda a estrutura.

Na caixa foram realizados furos estratégicamente posicionados para:

- Entrada e circulação de ar, auxiliando na ventilação interna;
- Saída do canal do pistão, permitindo o deslocamento livre da peça e a atuação da lâmina na extremidade externa.

Figura 16 – Modelo 3D apresentando caixa de segurança da máquina (Fonte: Própria)



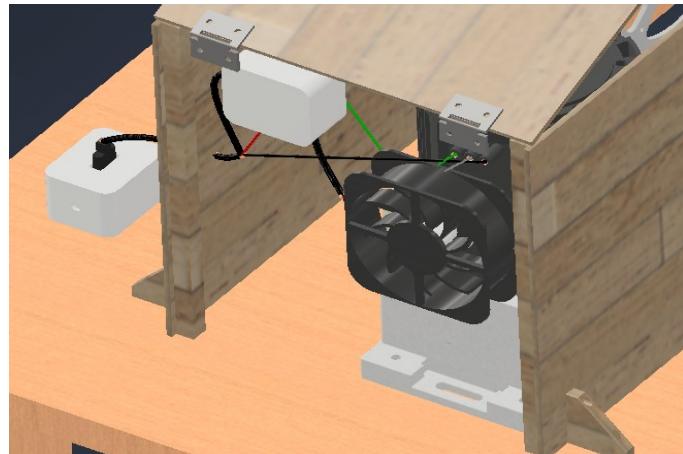
- Sistema de ventilação e alimentação elétrica:

Para evitar o superaquecimento do motor durante o funcionamento contínuo, foi incorporado um sistema de ventilação forçada composto por uma ventoinha elétrica e uma fonte de alimentação de 12 V.

A ventoinha é posicionada de modo a direcionar o fluxo de ar diretamente para o corpo do motor, garantindo resfriamento constante. A fonte é alimentada diretamente pela rede elétrica de 220 V, realizando a conversão para 12 V necessários à ventoinha.

Além disso, o sistema elétrico conta com um botão geral de acionamento, responsável por energizar toda a máquina. Quando o botão é ligado, a energia da rede alimenta simultaneamente a fonte da ventoinha e o circuito do motor, que só entra em operação quando o botão momentâneo de controle é pressionado pelo operador.

Figura 17 – Modelo 3D apresentando sistema de ventilação do motor (Fonte: Própria)



- Síntese das funções complementares:

Essas peças complementares garantem:

- Estabilidade estrutural durante o corte;
- Rigidez e resistência nas regiões sujeitas a impacto;
- Segurança operacional por meio do isolamento das partes móveis;
- Facilidade de manutenção e desmontagem;
- Ventilação adequada e controle elétrico simplificado.

O uso combinado de madeira, aço reaproveitado e componentes simples demonstra que é possível construir um sistema funcional e seguro a partir de materiais acessíveis e de baixo custo, mantendo a eficiência mecânica e a confiabilidade necessárias para a quebra do coco babaçu.

4 RESULTADOS

- Descrição Geral do Projeto:

O projeto final da máquina elétrica para a quebra do coco babaçu foi integralmente desenvolvido e modelado no software Autodesk Inventor, o que possibilitou a visualização tridimensional do conjunto e a validação geométrica dos componentes. A modelagem incluiu tanto o arranjo completo da máquina quanto as partes individuais — como o sistema de transmissão por corrente, o conjunto biela–manivela–pistão, a base estrutural e o tubo de alimentação do coco.

A representação virtual permitiu compreender a interação entre os mecanismos e avaliar a viabilidade da montagem, bem como a disposição dos elementos em relação ao operador. O resultado foi um equipamento compacto, funcional e de concepção simples, que pode ser fabricado com materiais amplamente disponíveis em ferros-velhos, bicicletarias e oficinas mecânicas.

As figuras geradas no Inventor (não incluídas aqui, mas anexadas no apêndice do trabalho) mostram o modelo completo do equipamento, além de vistas explodidas que evidenciam o sistema interno de transmissão e o mecanismo de corte. A simulação do movimento confirmou o correto funcionamento cinematólico do conjunto, com o pistão realizando o curso completo de avanço e retorno sem interferências ou desalinhamentos.

- Avaliação dos Resultados Obtidos:

Com base nas análises teóricas e nas simulações mecânicas realizadas, o projeto atendeu satisfatoriamente aos objetivos gerais e específicos propostos. O uso de um motor de portão deslizante de $\frac{1}{4}$ HP, dotado de redução interna, mostrou-se uma escolha adequada para fornecer o torque necessário à operação, garantindo segurança e confiabilidade sem a necessidade de sistemas de controle complexos.

A transmissão secundária, composta por coroa e pinhão de bicicleta, proporcionou a redução adicional exigida pelo sistema biela–manivela–pistão, mantendo o equilíbrio entre força e velocidade de corte. A combinação desses componentes garantiu desempenho mecânico eficiente com custo significativamente inferior ao de soluções industriais.

Do ponto de vista ergonômico e de segurança, a máquina cumpre o que foi proposto: o operador permanece em posição confortável, sem necessidade de aplicar esforço físico direto. As mãos permanecem afastadas da zona de impacto durante toda a operação, eliminando o risco

de acidentes com a lâmina. O acionamento é feito por botões de comando de curta duração (momentary switches), o que garante controle total do movimento e impede acionamentos involuntários — uma aplicação direta do conceito de poka-yoke, descrito na metodologia.

A análise dimensional dos cocos babaçu coletados em Buritizeiro – MG permitiu validar as medidas adotadas no projeto. As dimensões médias de 72,2 mm de comprimento e 53,5 mm de diâmetro mostraram-se compatíveis com o espaço interno do tubo de alimentação e com o curso útil do pistão, assegurando que o equipamento é adequado ao tamanho real dos frutos encontrados em campo.

- Eficiência e Viabilidade do Projeto:

Embora não tenha sido construída uma versão física do equipamento, as simulações indicam que o projeto é plenamente funcional e apresenta boa eficiência teórica. O torque transmitido e a força aplicada no pistão foram calculados de forma a superar a resistência estimada da casca do coco babaçu, garantindo capacidade de corte adequada.

O ciclo de operação, com aproximadamente 2,14 segundos por golpe, mostra-se compatível com o ritmo de trabalho seguro e controlado, permitindo uma produtividade significativamente superior ao método manual, mesmo em regime contínuo. Além disso, o consumo energético estimado é baixo, considerando a potência modesta do motor (≈ 186 W), o que reforça a viabilidade de uso em comunidades com infraestrutura elétrica limitada.

O custo total de fabricação estimado é reduzido, uma vez que a maior parte dos componentes pode ser obtida de forma reaproveitada ou com materiais de fácil acesso. Essa característica cumpre o objetivo de oferecer uma tecnologia social de baixo custo, passível de ser reproduzida localmente e mantida sem necessidade de peças industriais complexas.

- Considerações Finais sobre os Resultados:

De modo geral, o projeto alcançou todos os objetivos propostos: demonstrou viabilidade técnica e construtiva, apresentou baixo custo estimado, promoveu soluções de segurança e ergonomia e foi concebido com foco na sustentabilidade e na replicabilidade comunitária.

Ainda que não tenha sido construído o protótipo físico, os resultados obtidos por meio das modelagens e cálculos teóricos permitem concluir que a máquina projetada é uma alternativa promissora para a mecanização segura da quebra do coco babaçu.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a fabricação de um protótipo funcional para validação experimental dos resultados, incluindo medições reais de tempo de ciclo, esforço de corte e conforto operacional. Essa etapa permitirá ajustar parâmetros de operação, otimizar o desempenho e confirmar, em campo, o potencial de impacto social e econômico da tecnologia desenvolvida.

5 CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo o desenvolvimento de uma máquina elétrica de baixo custo para a quebra do coco babaçu, concebida a partir dos princípios de engenharia mecânica aplicada, sustentabilidade e tecnologia social. A proposta buscou oferecer uma alternativa segura, ergonômica e economicamente viável ao processo tradicional de quebra manual realizado pelas quebradeiras de coco, preservando o caráter cultural dessa atividade e, ao mesmo tempo, promovendo dignidade e eficiência ao trabalho.

Durante o desenvolvimento do projeto, foram investigadas diferentes soluções construtivas e mecanismos de acionamento, desde as ideias iniciais baseadas em motores de tanquinho e sistemas redutores por engrenagens até a concepção final, que adotou um motor de portão deslizante com redução interna e transmissão secundária por corrente e rodas dentadas de bicicleta. Essa evolução conceitual foi essencial para alcançar uma configuração simples, de fácil manutenção e baixo custo, mantendo desempenho mecânico satisfatório e segurança operacional.

As análises teóricas realizadas, apoiadas na modelagem cinemática e dinâmica do sistema biela–manivela–pistão, demonstraram que o projeto é funcional e atende às exigências de força e deslocamento necessárias para a quebra do coco babaçu. O torque e a velocidade calculados resultaram em um movimento eficiente e controlado, capaz de executar o corte sem risco de impacto excessivo ou vibrações.

A modelagem tridimensional no Autodesk Inventor permitiu validar a geometria do conjunto, avaliar interferências, simular o movimento do pistão e confirmar a coerência dimensional entre os componentes. O projeto atendeu plenamente aos critérios de ergonomia, segurança e baixo custo, sendo projetado para operar sem esforço físico significativo e mantendo as mãos do operador afastadas da zona de corte, em conformidade com o conceito de poka-yoke.

Embora o protótipo físico ainda não tenha sido construído, as simulações e os cálculos teóricos demonstram que a máquina projetada é tecnicamente viável e apresenta grande potencial de aplicação prática. O uso de materiais reaproveitados e de fácil obtenção reforça o caráter sustentável da proposta, enquanto o custo reduzido e a simplicidade de fabricação tornam o projeto acessível às comunidades extrativistas.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o equipamento projetado cumpre os objetivos estabelecidos e se apresenta como uma alternativa promissora para mecanizar a quebra do coco babaçu de forma segura e eficiente. Além de sua relevância técnica, o projeto

possui forte dimensão social e ambiental, por contribuir para a melhoria das condições de trabalho das quebradeiras, reduzir riscos ergonômicos e estimular o aproveitamento integral do fruto.

Como continuidade, recomenda-se a construção de um protótipo funcional para validação experimental do sistema, possibilitando a medição de parâmetros reais de desempenho, produtividade e conforto operacional. A partir desses ensaios, será possível aperfeiçoar o projeto, dimensionar componentes com maior precisão e adaptar o equipamento às condições específicas das comunidades onde será implementado.

Em síntese, este trabalho representa uma aplicação prática da engenharia mecânica orientada para o desenvolvimento humano. A máquina de quebra do coco babaçu simboliza não apenas um avanço técnico, mas também um instrumento de inclusão produtiva e valorização cultural, demonstrando que é possível aliar inovação tecnológica, sustentabilidade e transformação social em um mesmo projeto.

REFERÊNCIAS

CERRATINGA. *Catálogo de Espécies Nativas da Caatinga*. Fortaleza: Instituto CERRATINGA, 2016. Disponível em: <https://cerratinga.org.br/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

EMBRAPA. *Aproveitamento integral do coco babaçu*. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2021.

EMBRAPA COCAIS. *Tecnologias sociais para comunidades extrativistas: ferramentas para a quebra do coco babaçu*. São Luís: Embrapa Cocaíns, 2016.

FIOCRUZ. *Relatório técnico sobre condições de trabalho das quebradeiras de coco babaçu*. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2021.

MACHADO, J. R. *Desenvolvimento de um equipamento para quebra de coco licuri*. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, 2020.

PAZ, D. S. *Estudo ergonômico das quebradeiras de coco babaçu*. São Luís, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Maranhão, 2016.

PORTO, L. A. *Caracterização física e mecânica do coco babaçu (*Orbignya phalerata Mart.*)*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SCIELO. *Estudos sobre o aproveitamento do babaçu e seus derivados*. SciELO Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

SILVA, M. A. *O trabalho das quebradeiras de coco babaçu e sua importância sociocultural*. São Luís: Universidade Federal do Maranhão, 2018.

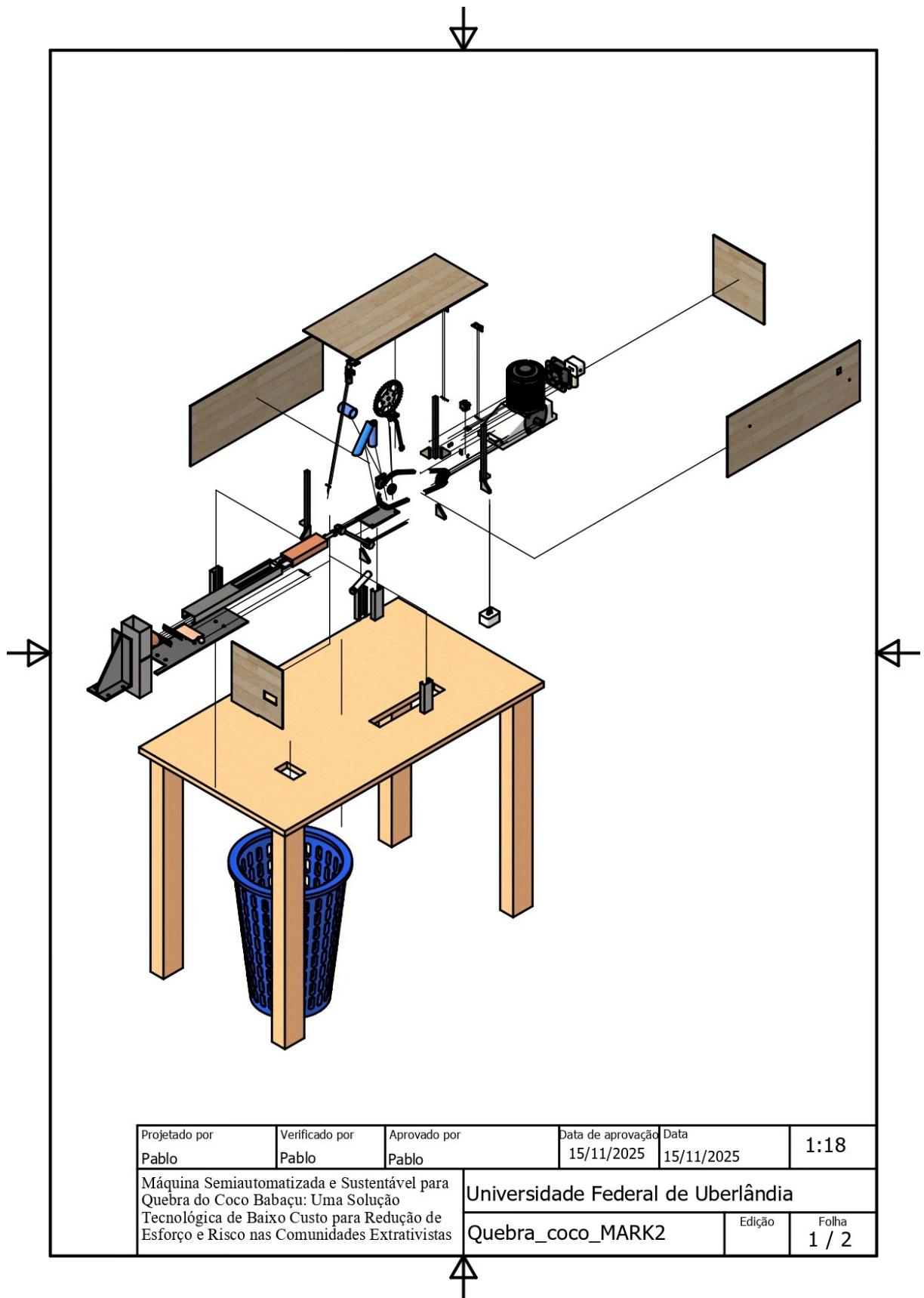
SOUZA, G. F. *Projeto de uma máquina de corte para o coco babaçu*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Maranhão, 2018.

SOUZA, L. H. et al. *Valorização socioeconómica do babaçu e sustentabilidade no extrativismo*. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 15, n. 2, 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO; BIOTECHNOS. *Projeto APL Babaçu: automação do processamento do fruto do babaçu*. São Paulo: USP; Biotechnos, 2019.

WIKIPEDIA. *Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu (MIQCB)*. 2023. Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Movimento_Interestadual_das_Quebradeiras_de_Coco_Baba%C3%A7u. Acesso em: 6 nov. 2025.

APÊNDICE A – VISTA EXPLODIDA



↓

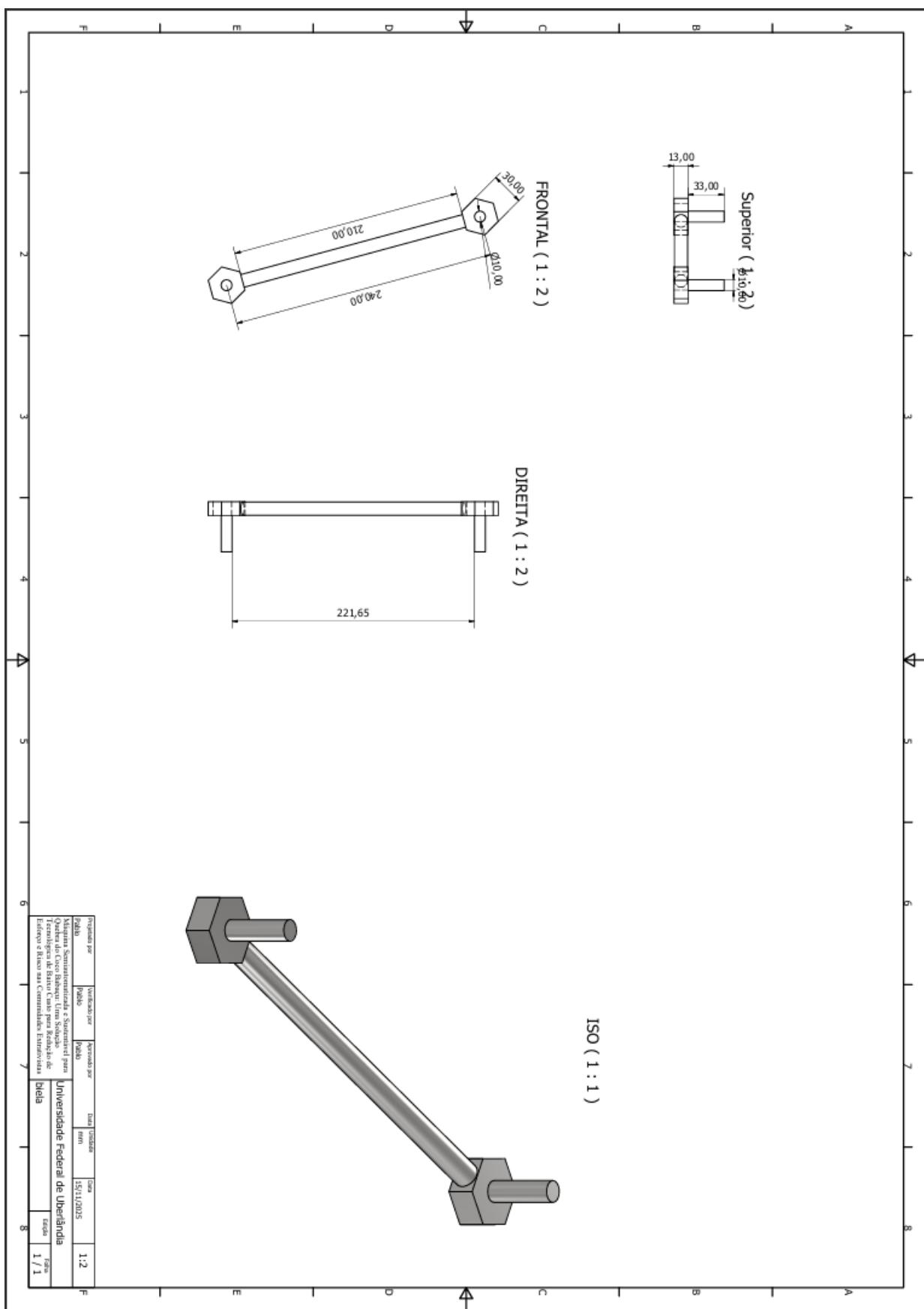
LISTA DE PEÇAS			LISTA DE PEÇAS		
ITEM	QTDE	NÚMERO DA PEÇA	ITEM	QTDE	NÚMERO DA PEÇA
1	1	ALOJAMENTO_M ONOBLOCO	25	1	Lamina
			26	1	Reforço
2	1	CANOTE_QUADR O	27	10	Fixação_da_caixa
			28	3	Coluna_caixa
3	1	CONJ_PEDIVELA_ ASM	29	2	Dobradiça_2
			30	2	Dobradiça_1
4	1	MESA	31	2	Dobradiça_3
5	1	Elektro motor za Kliznu Kapiju do 300kg	32	1	case_3
6	1	CATRACA_ASM_A SM	33	1	Transmissão em cadeia
7	1	tubo	34	1	Fechadura_1
8	1	Câmara_do_pistão	35	1	Fechadura_2
9	1	pistão	36	1	Fechadura_3
10	1	ponta do pistão	37	1	pino_fechadura
11	1	PORCA_MEIA_PO L	38	1	Cadeado
12	2	Chapa_para_pren der_rolamento	39	1	babaçu
13	1	SKF_BEARING_62 00-2Z_2_ASM	40	1	Botão
14	1	biela	41	1	Controle
15	4	suporte	42	1	Capacitor.upt
16	1	case_1	43	1	Ventuinha
17	2	case_2	44	2	Tomada
18	1	case_4	45	1	Fonte
19	4	cantoneira_de_su porte_de_porta	46	1	Plugue_de_tomad a.upt
20	1	Porta	47	1	Quebra_coco_MA RK2.Fiação3
21	1	Puxador	48	1	cesto de roupa suja
22	1	Base_1			
23	1	Base_2			
24	1	reforço_manivela			

→

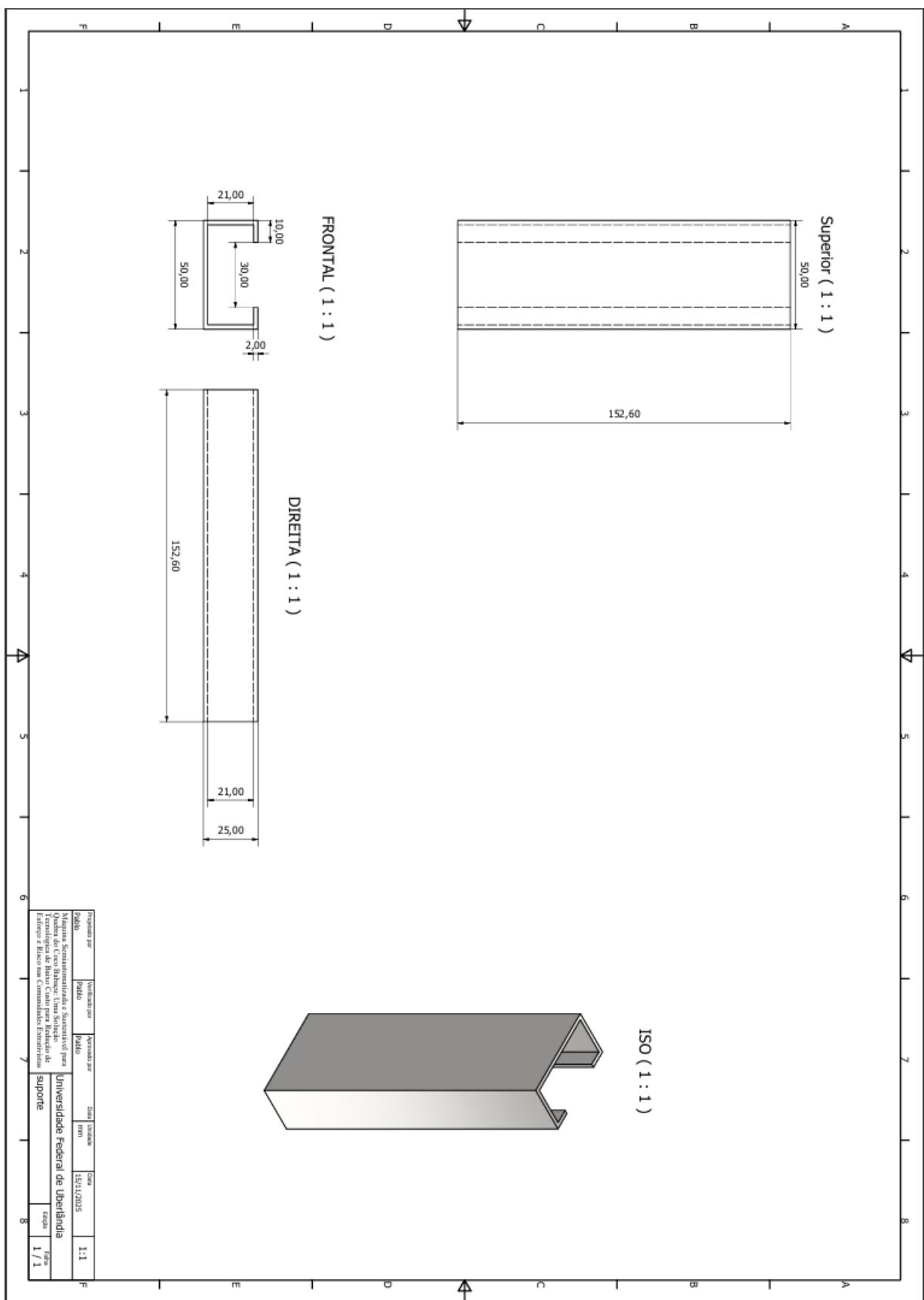
←

↑

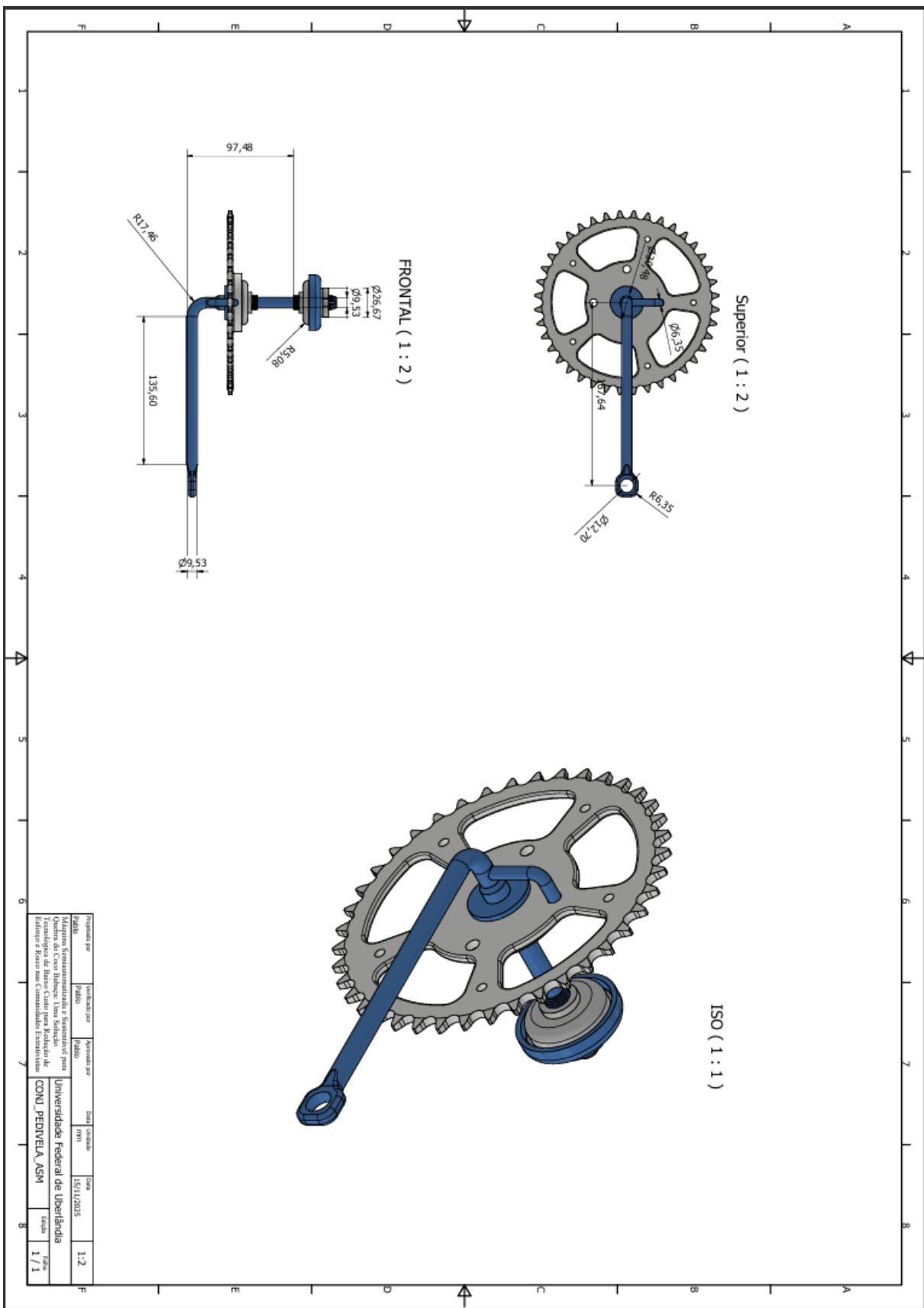
APÊNDICE B – BIELA



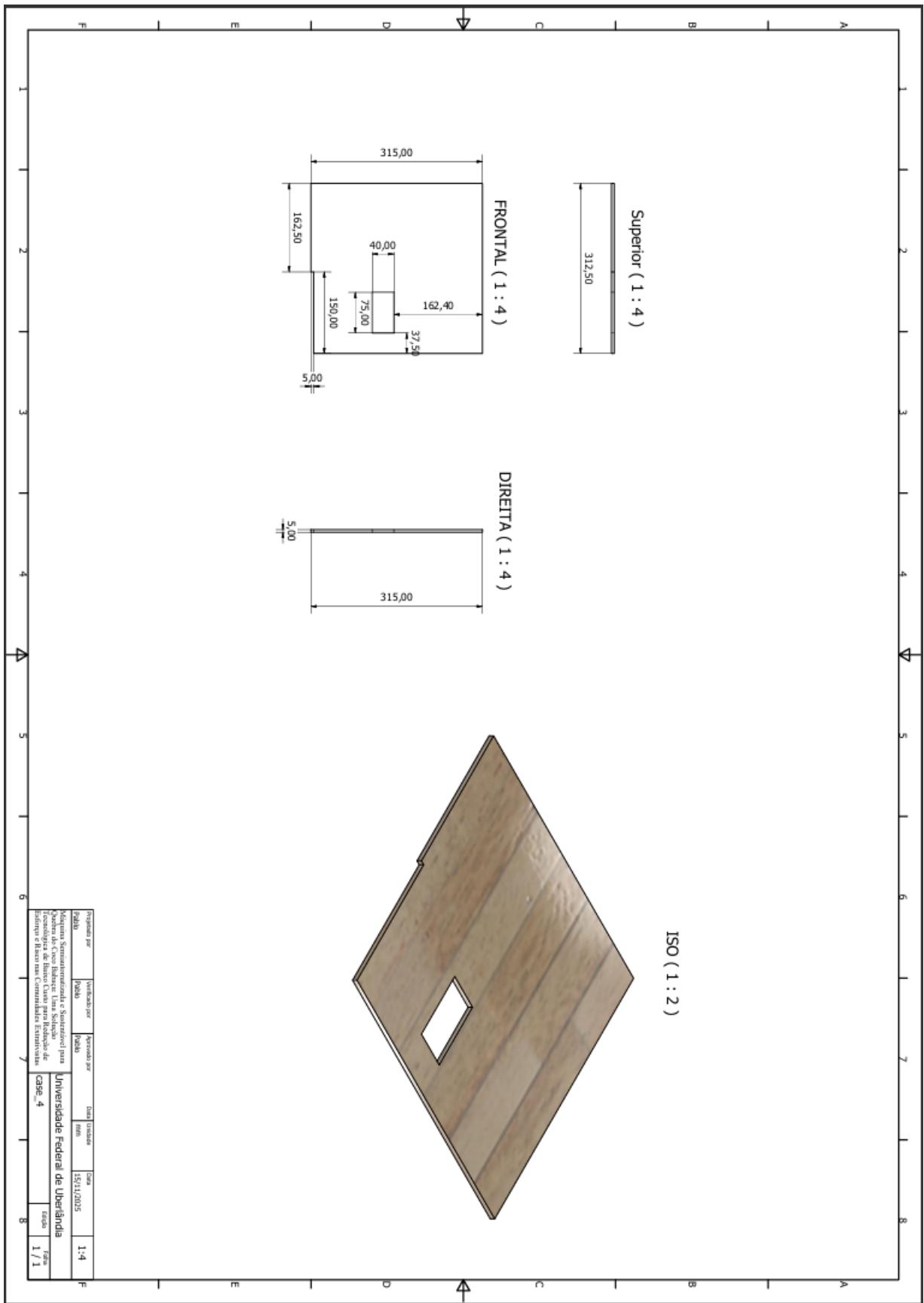
APÊNDICE C – SUPORTE



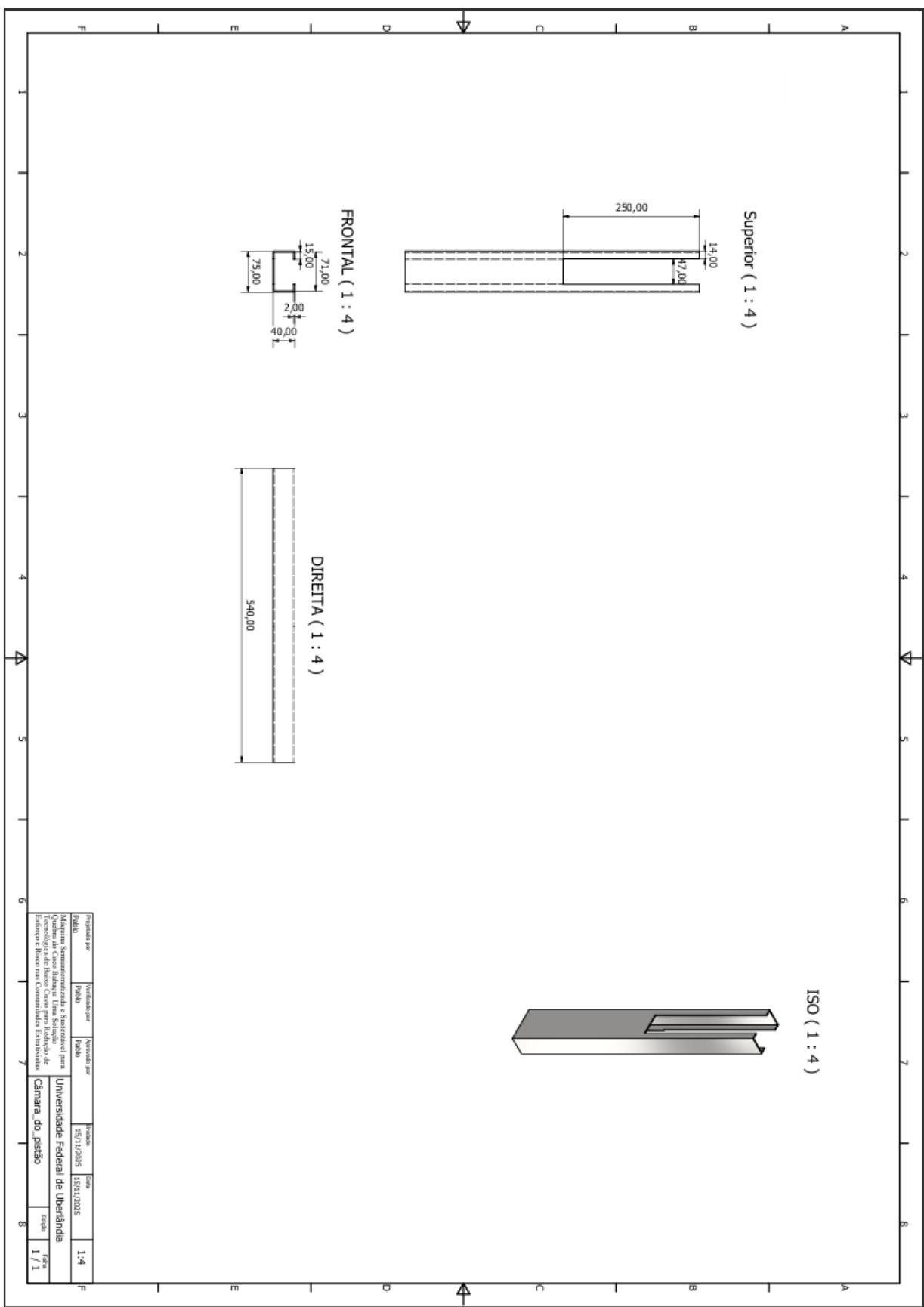
APÊNDICE D – CONJ_PEDIVELA



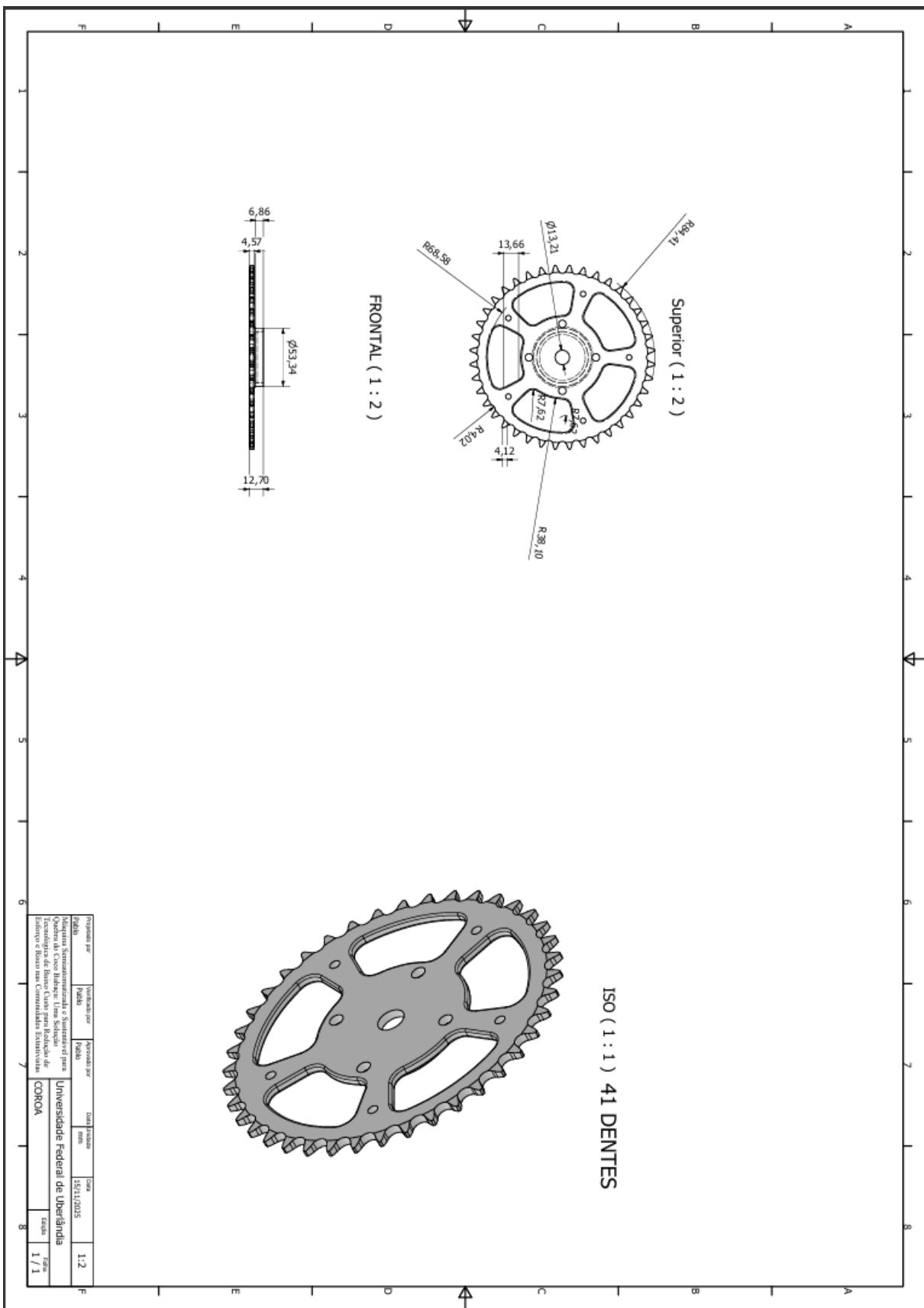
APÊNDICE E – CASE_4



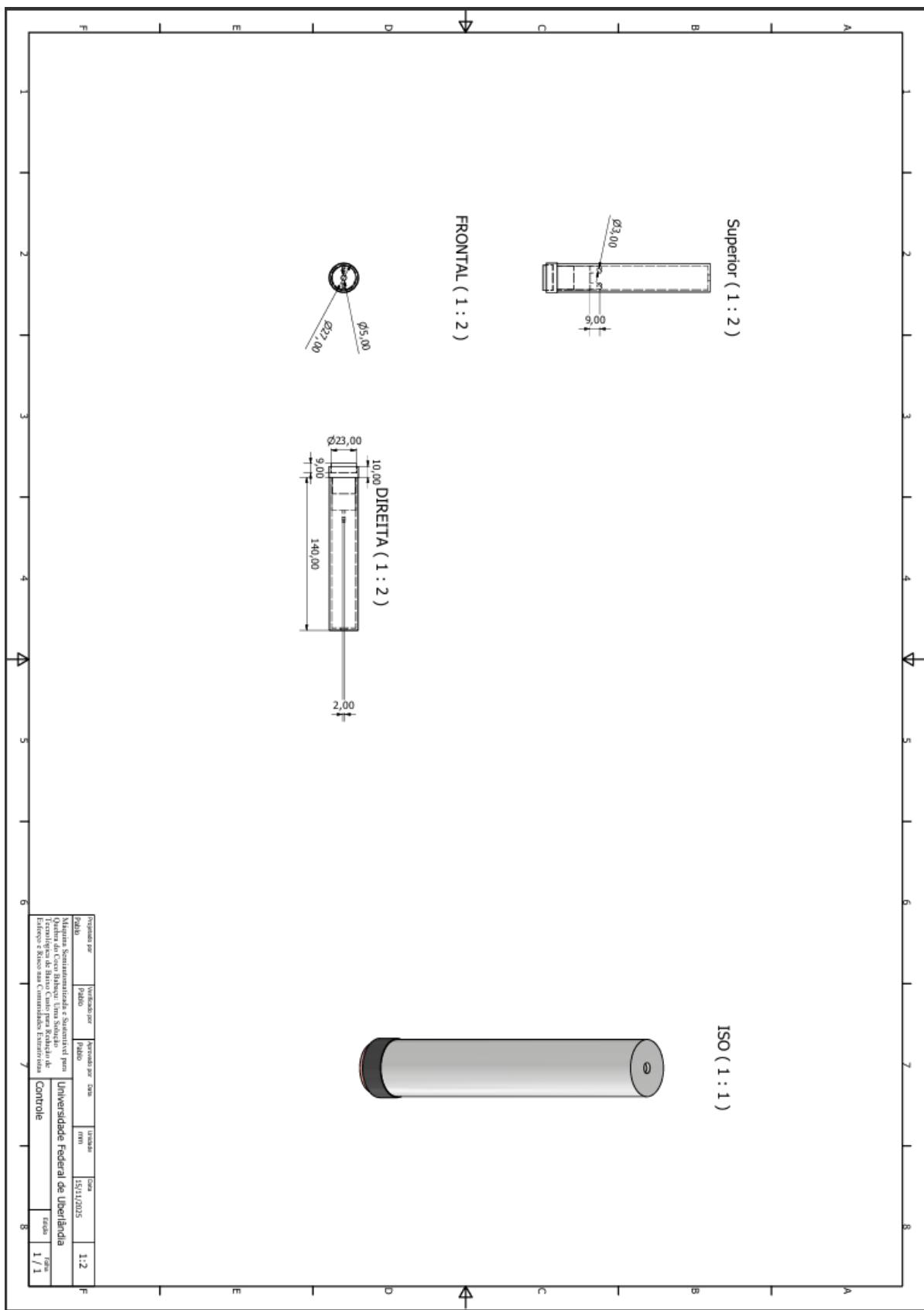
APÊNDICE F – CÂMARA DO PISTÃO



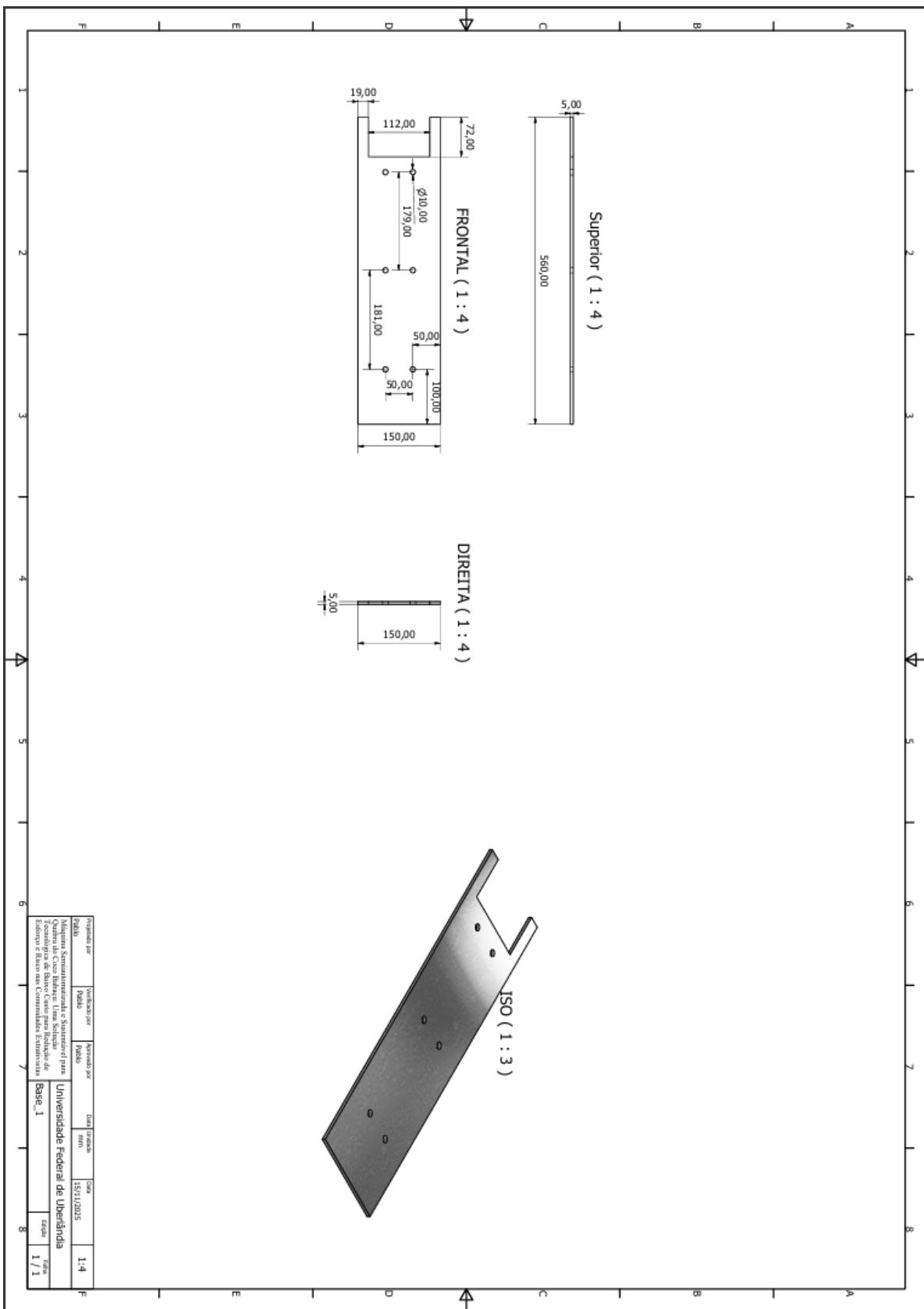
APÊNDICE G – COROA



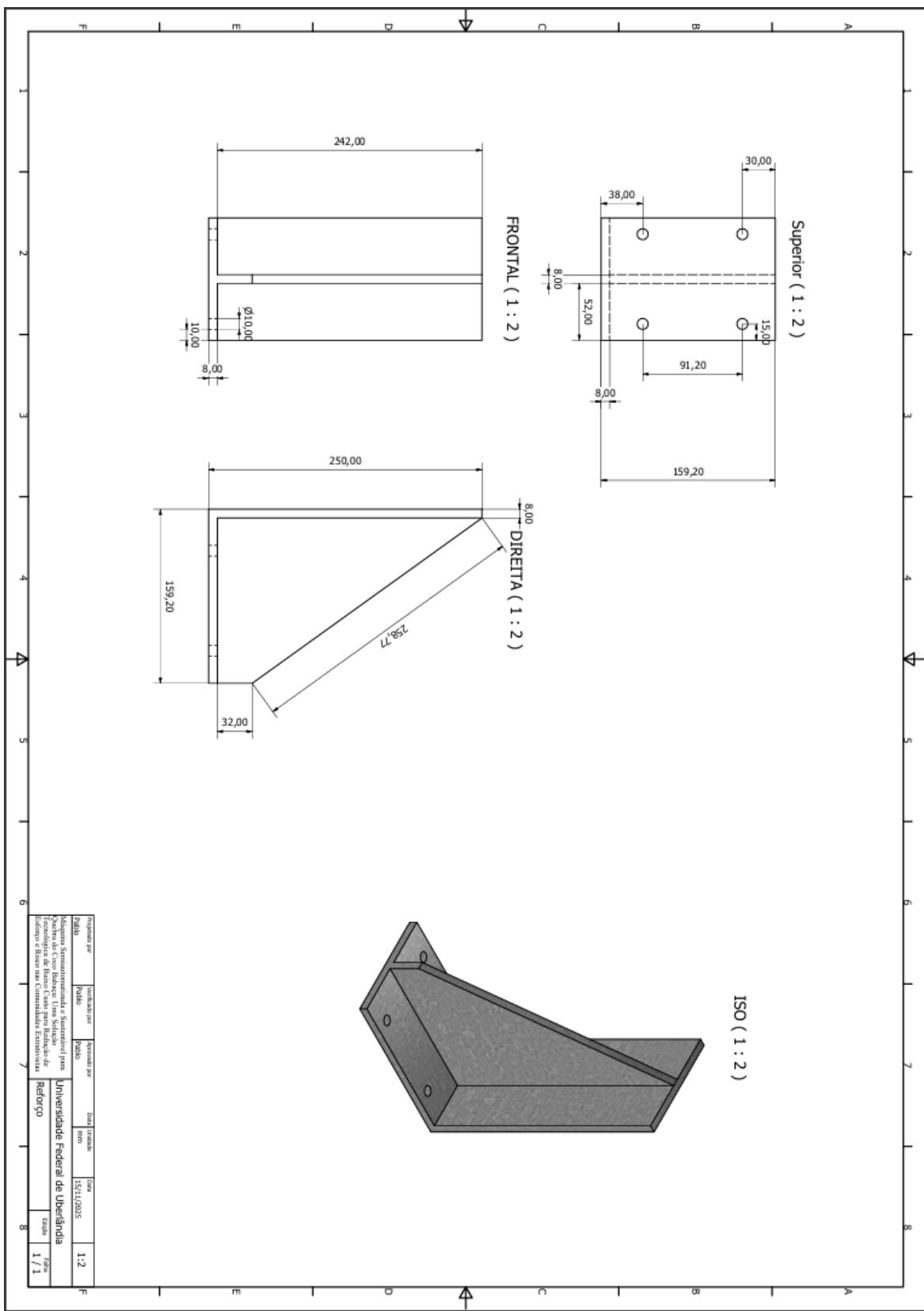
APÊNDICE H – CONTROLE



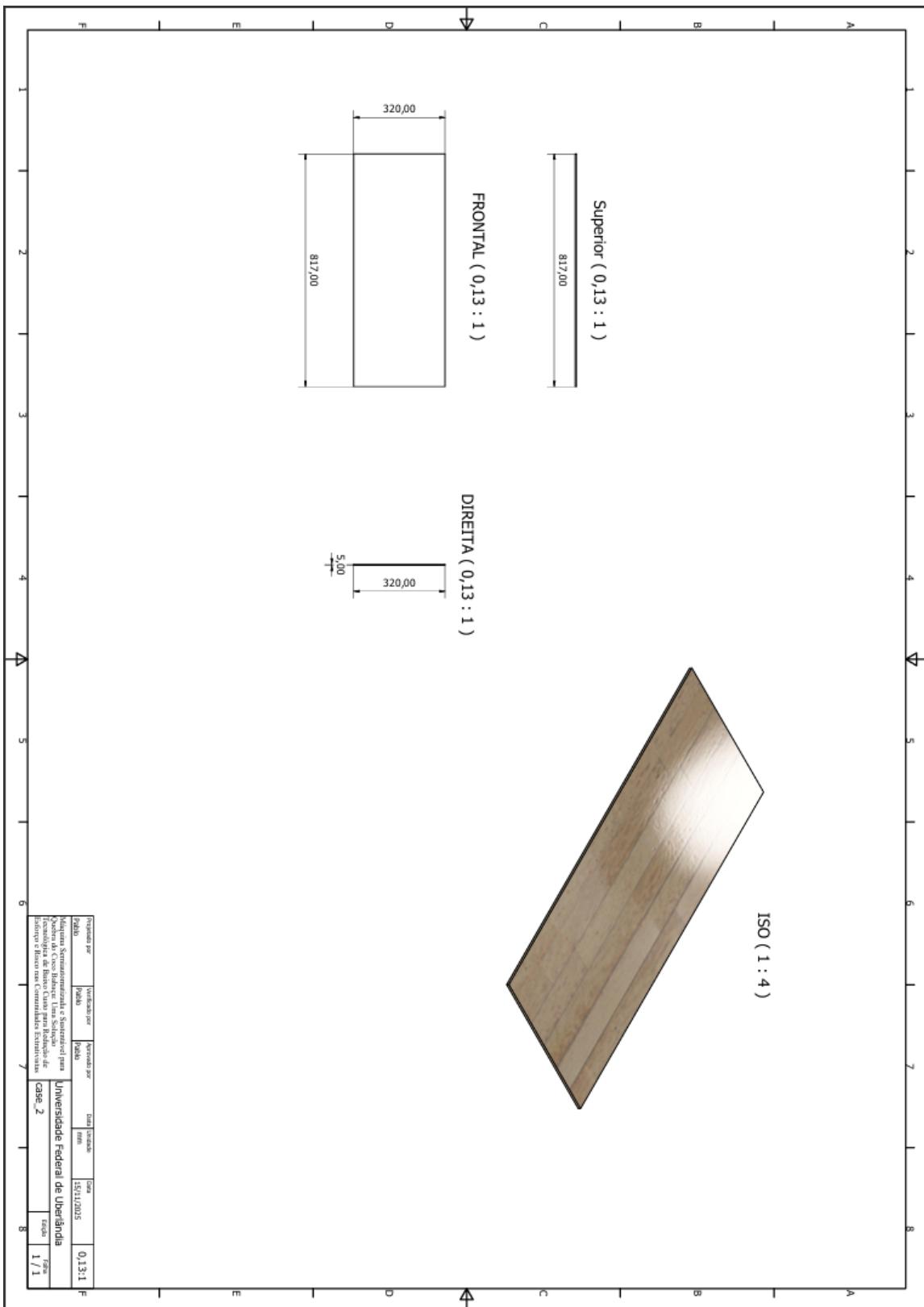
APÊNDICE I – BASE_1



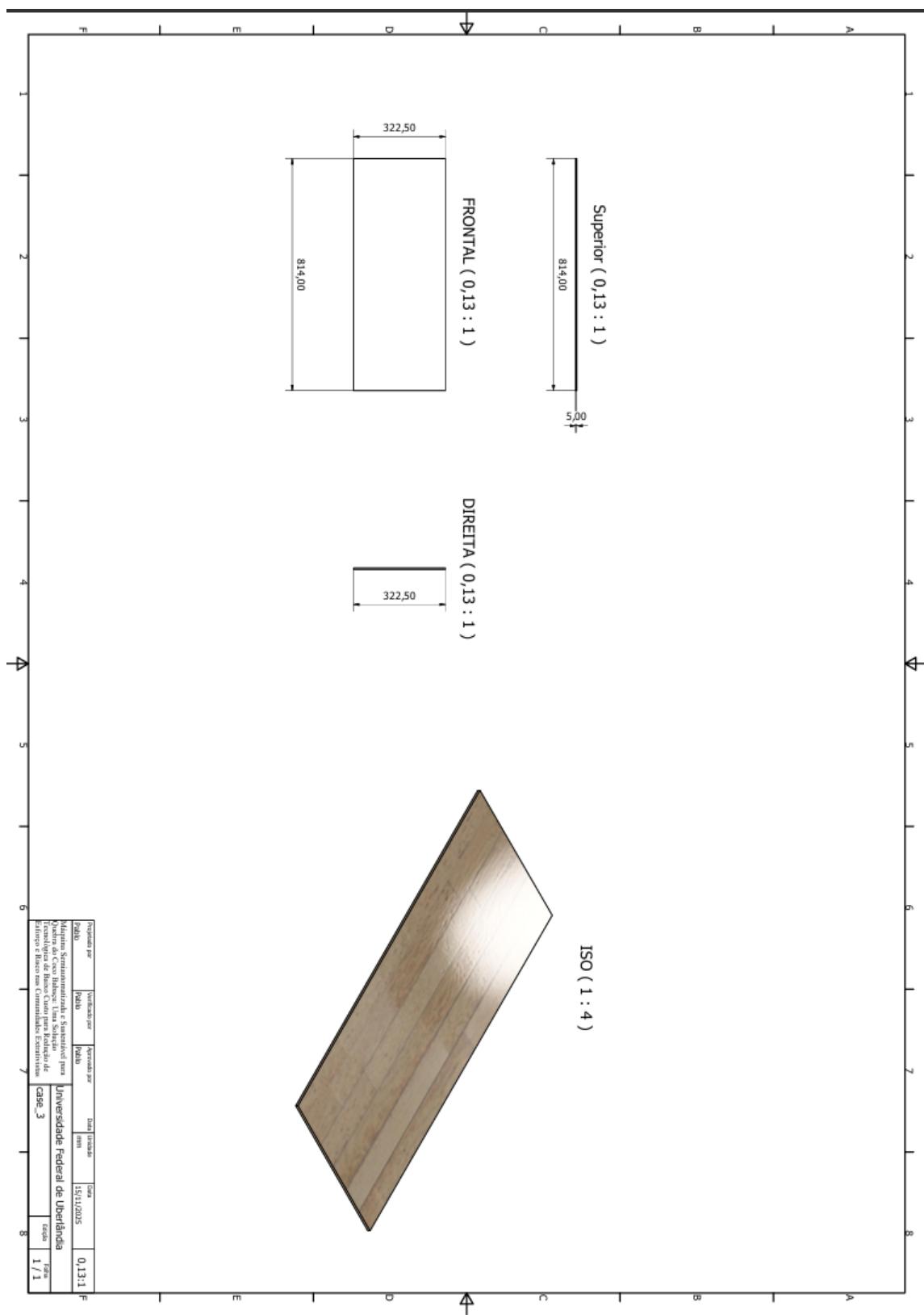
APÊNDICE J – SUPORTE_2



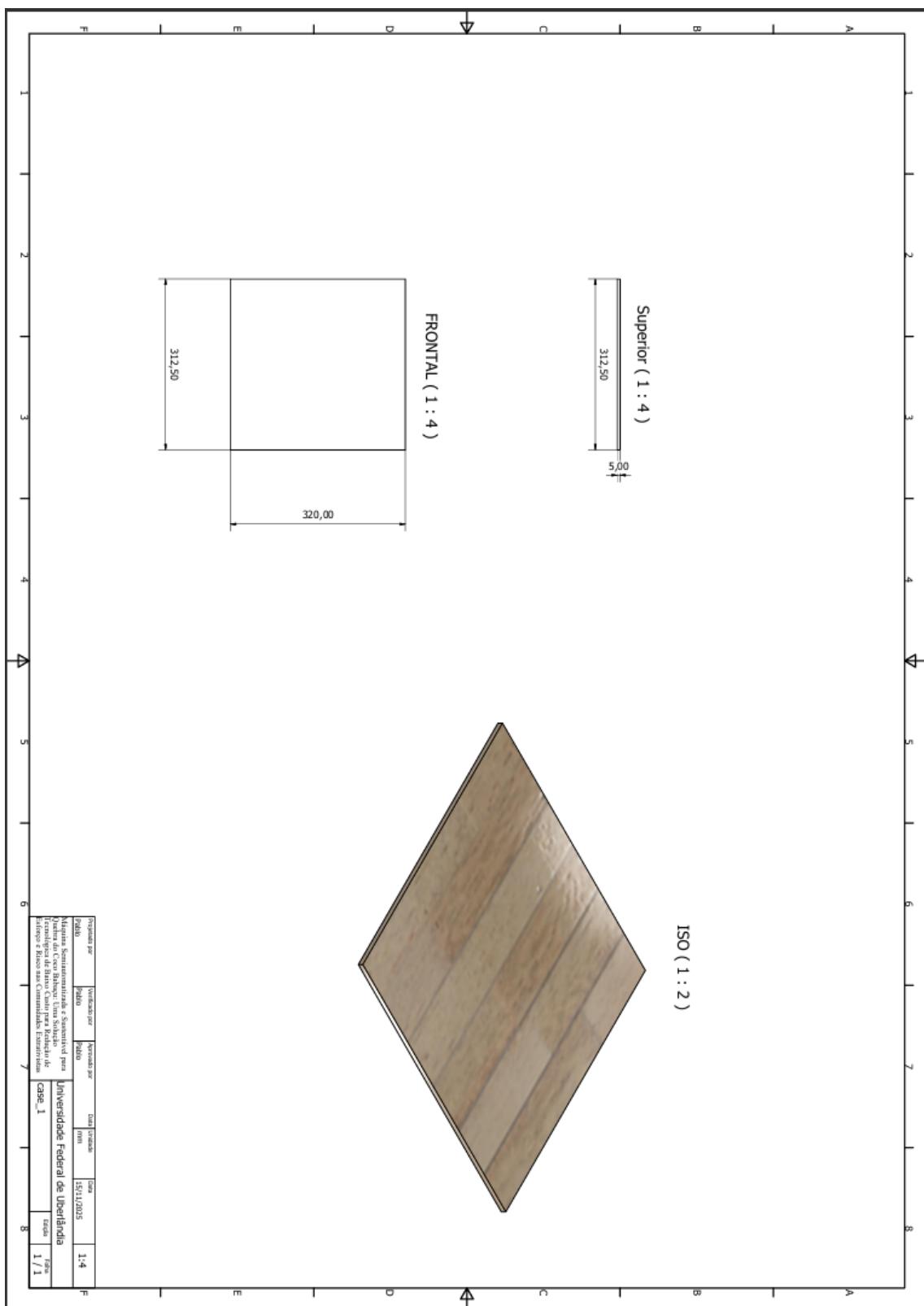
APÊNDICE K – CASE_2



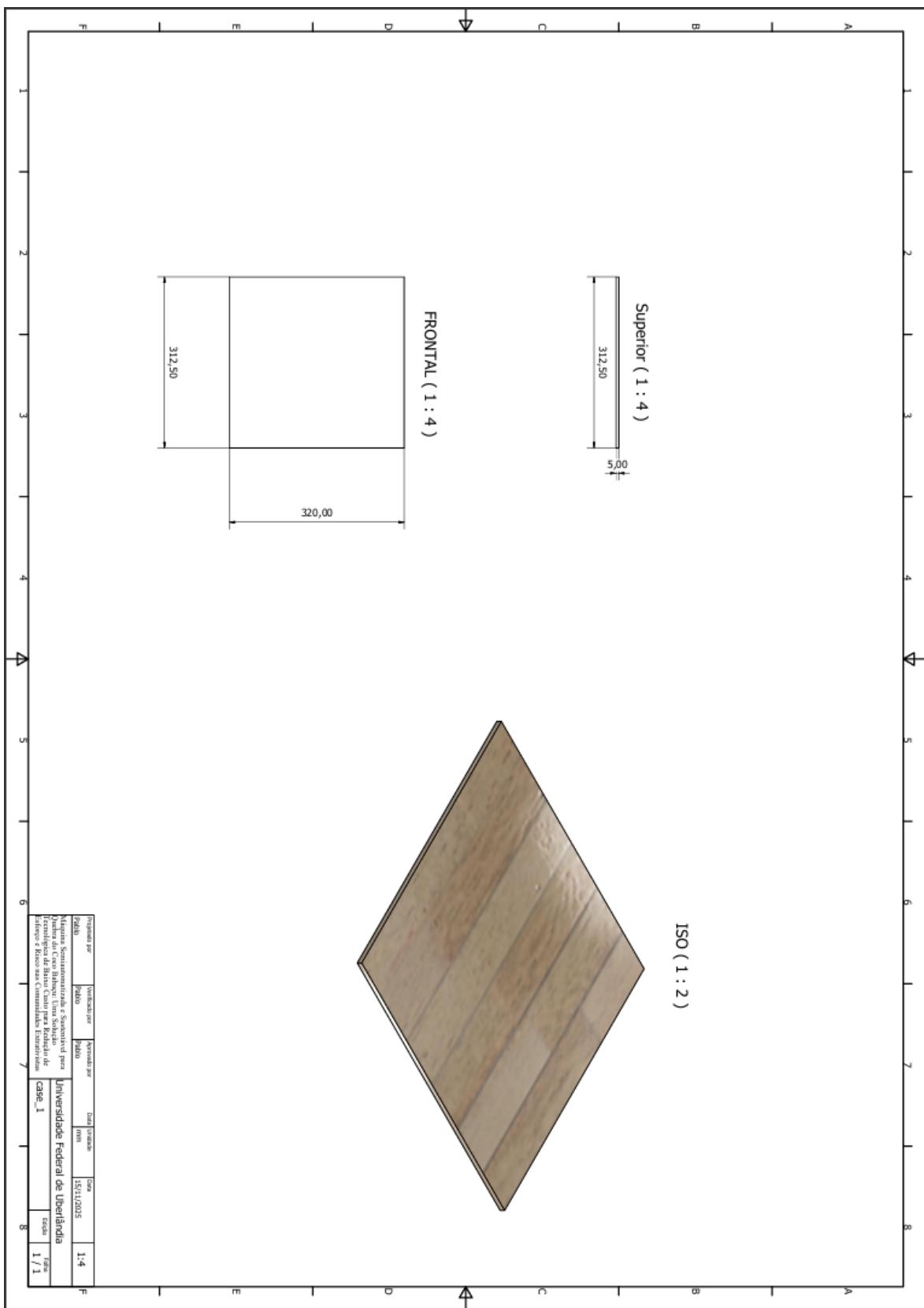
APÊNDICE L – CASE_3



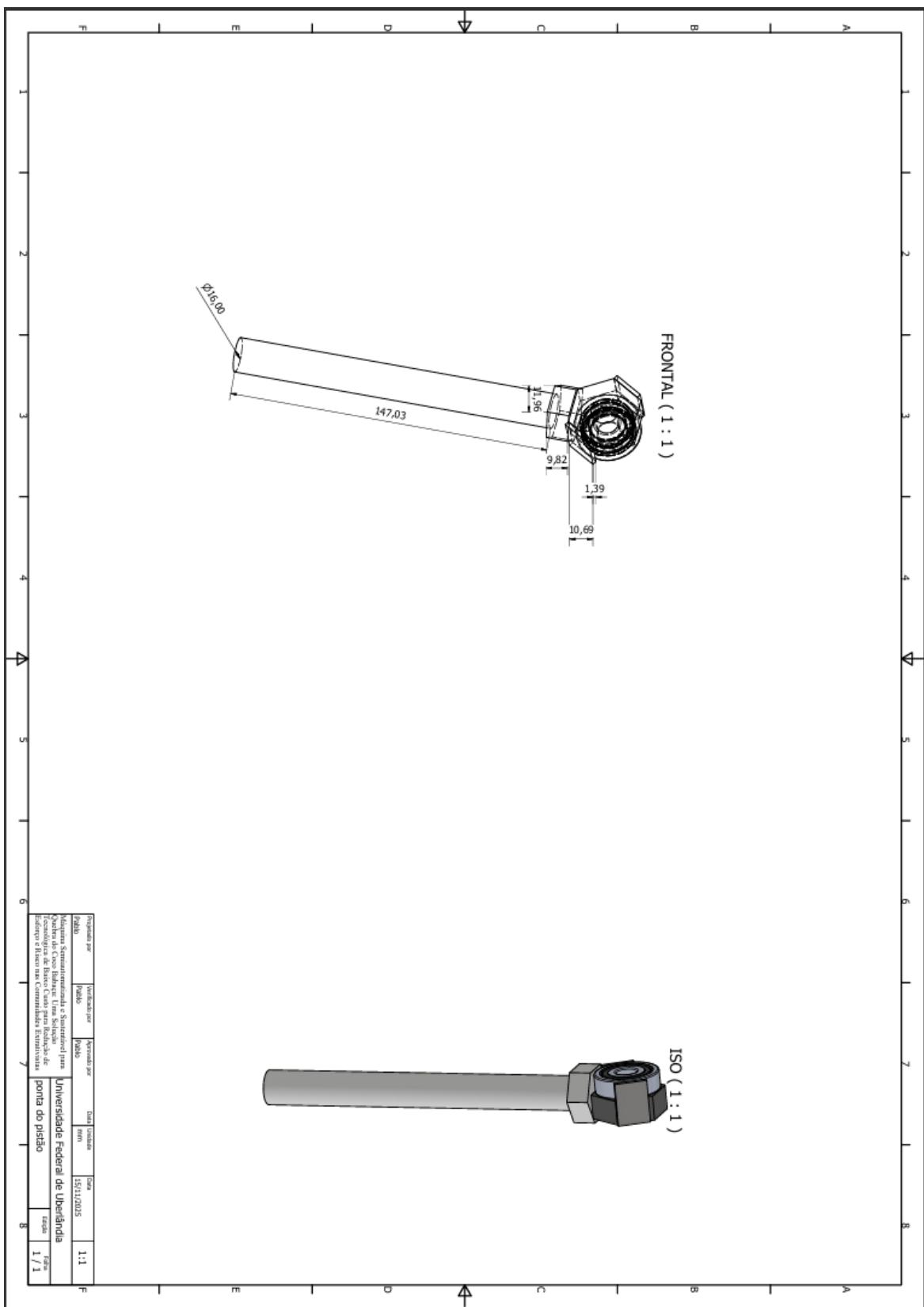
APÊNDICE M – CASE_1



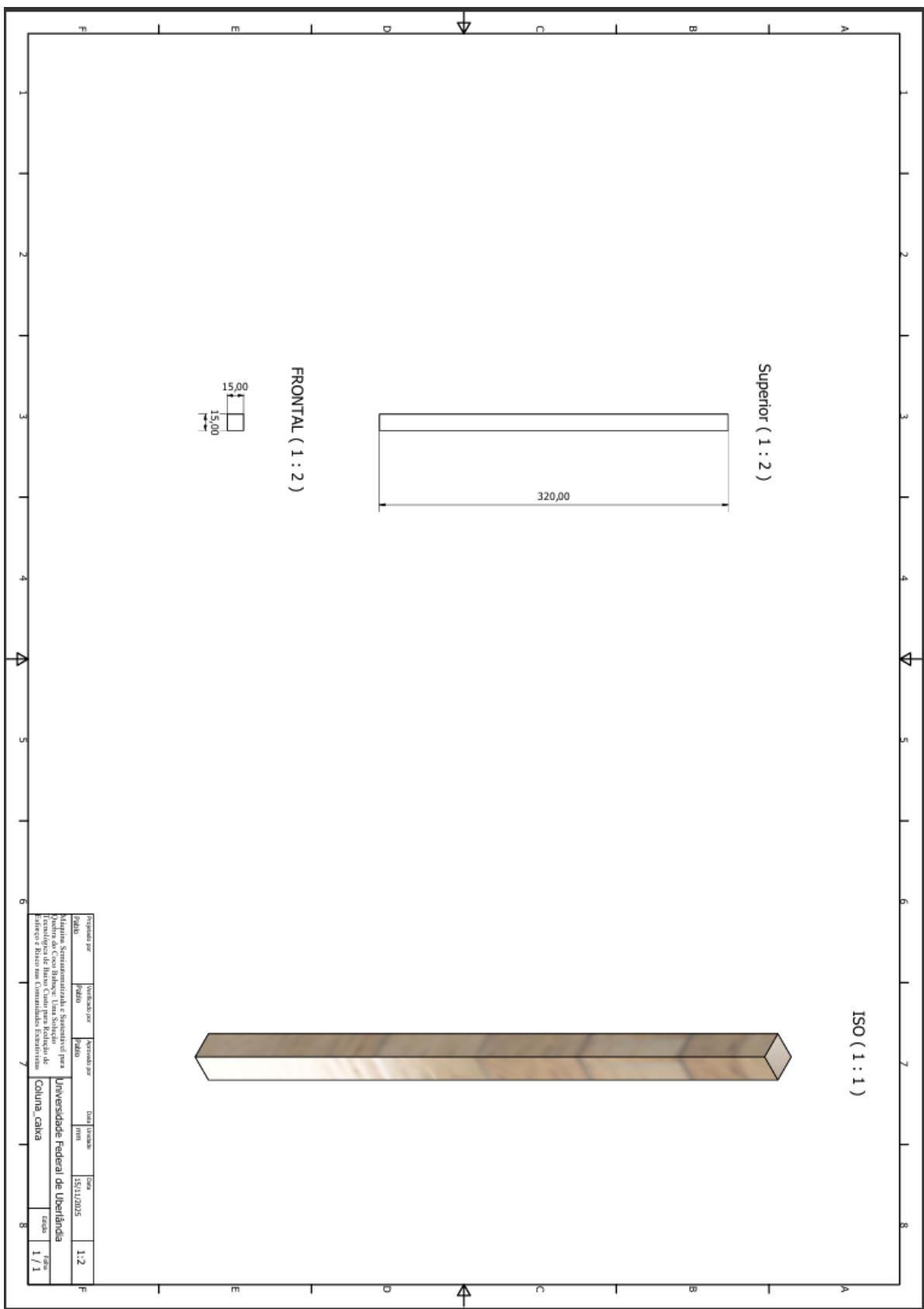
APÊNDICE N – CASE_1



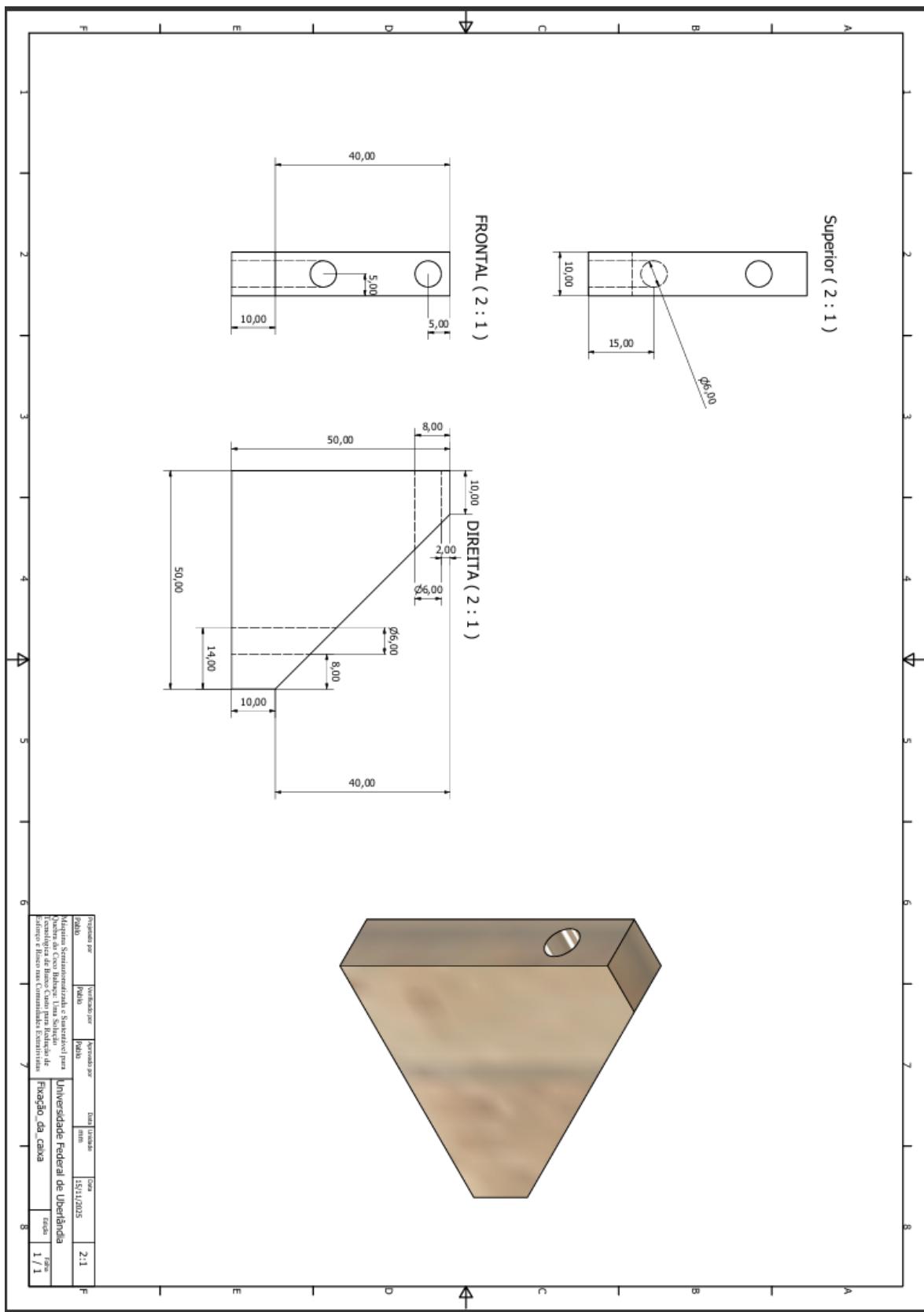
APÊNDICE O – PONTA DO PISTÃO



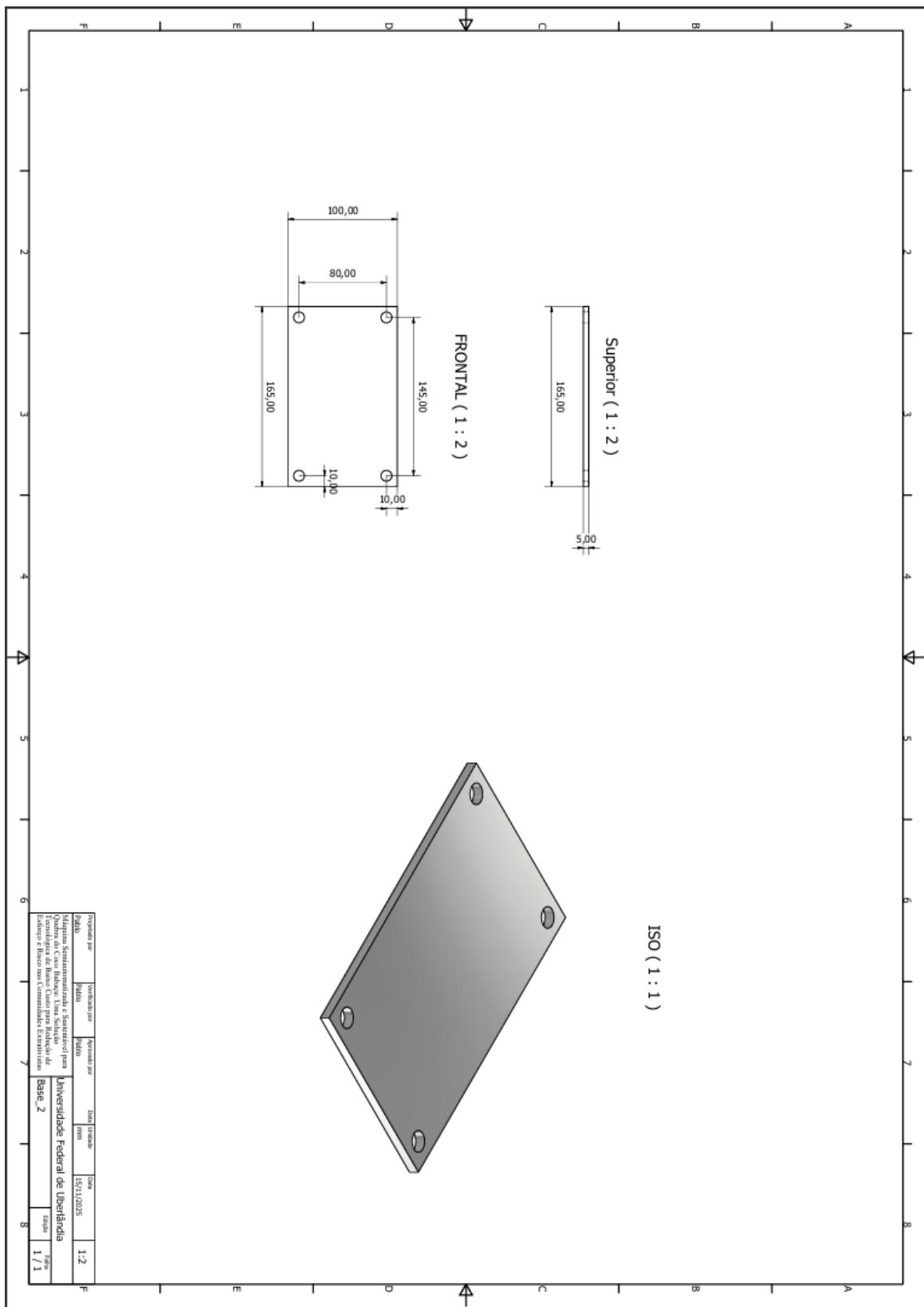
APÊNDICE P – COLUNA CAIXA



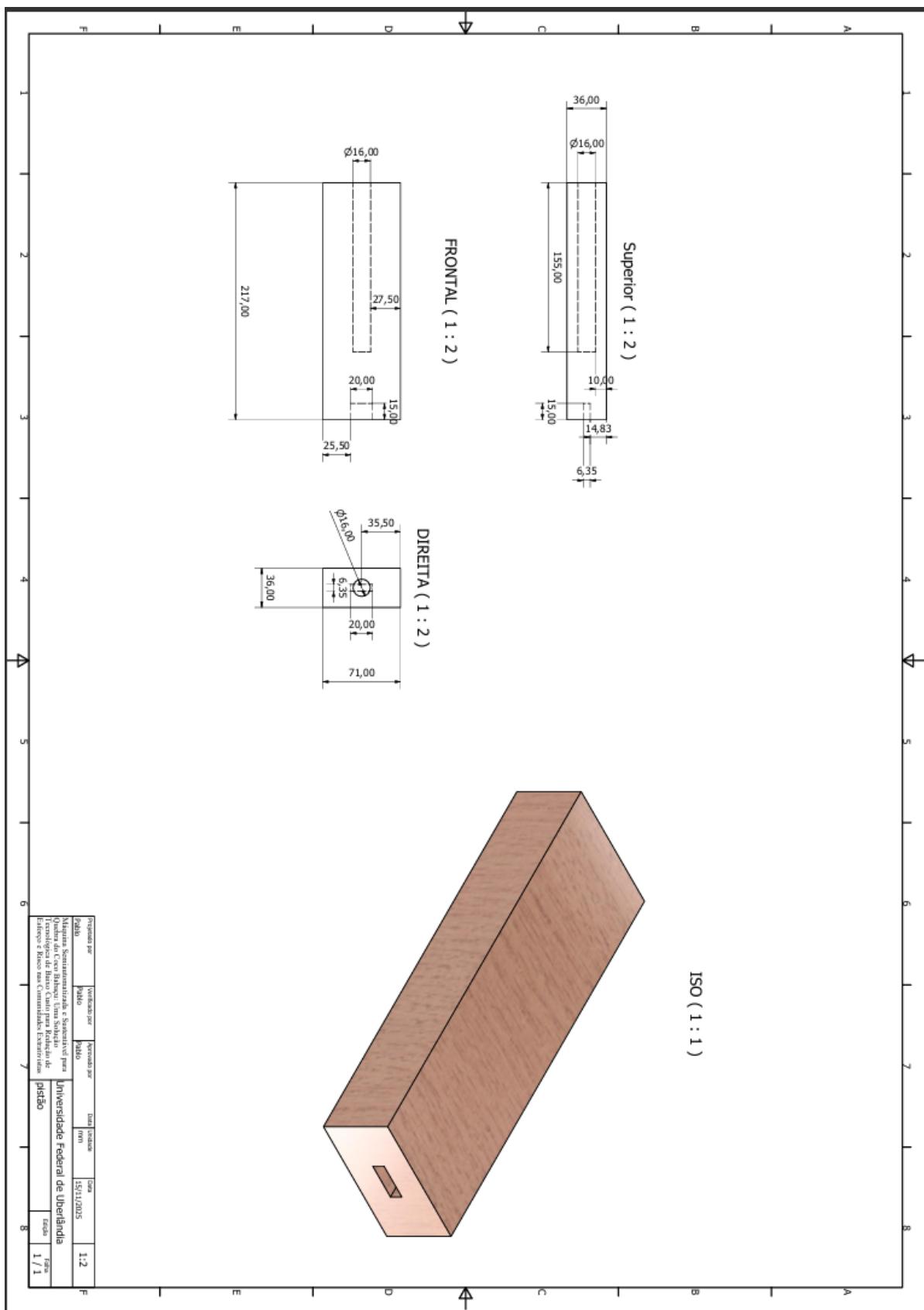
APÊNDICE Q – FIXAÇÃO_DA_CAI



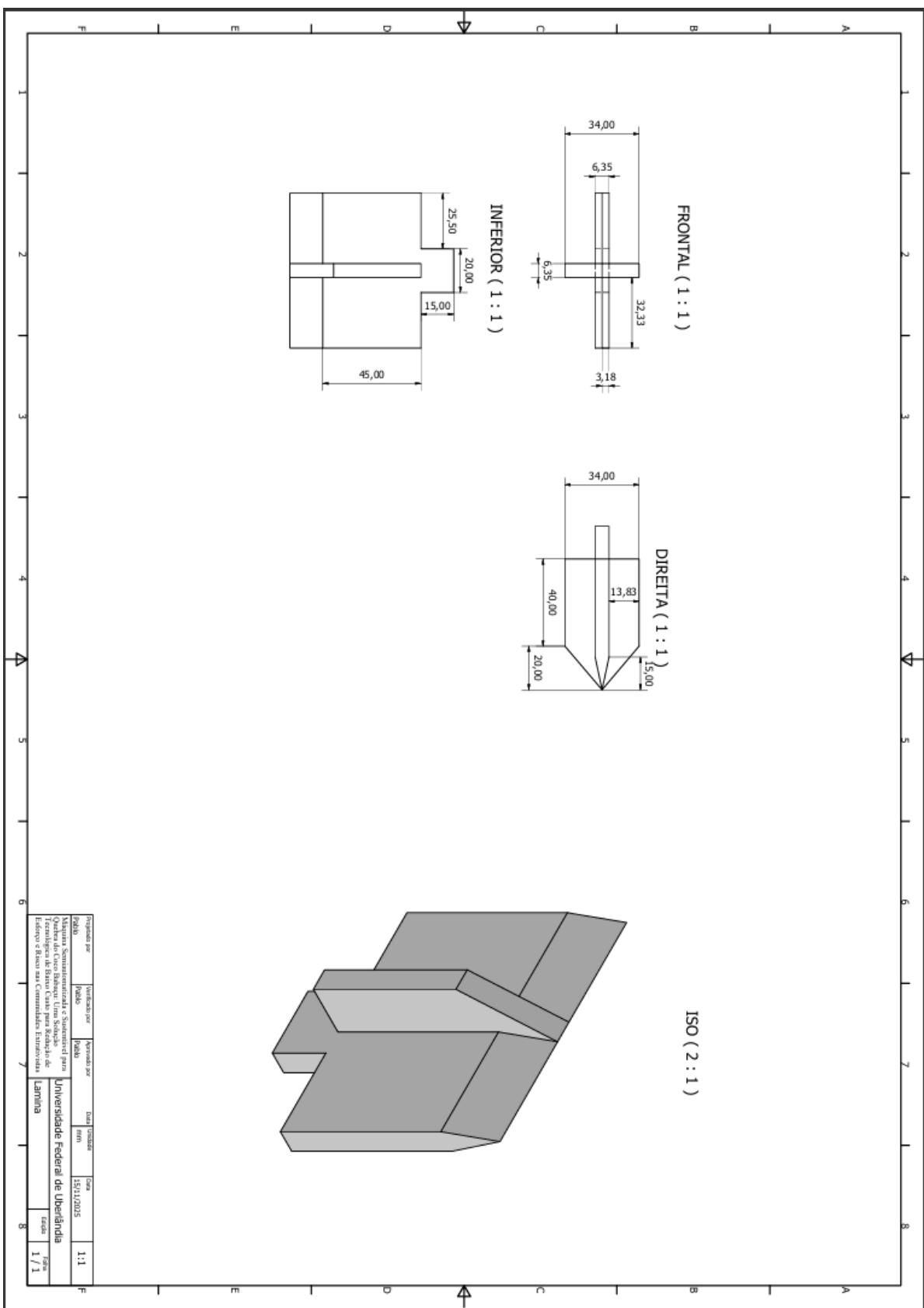
APÊNDICE R – BASE_2



APÊNDICE S – PISTÃO

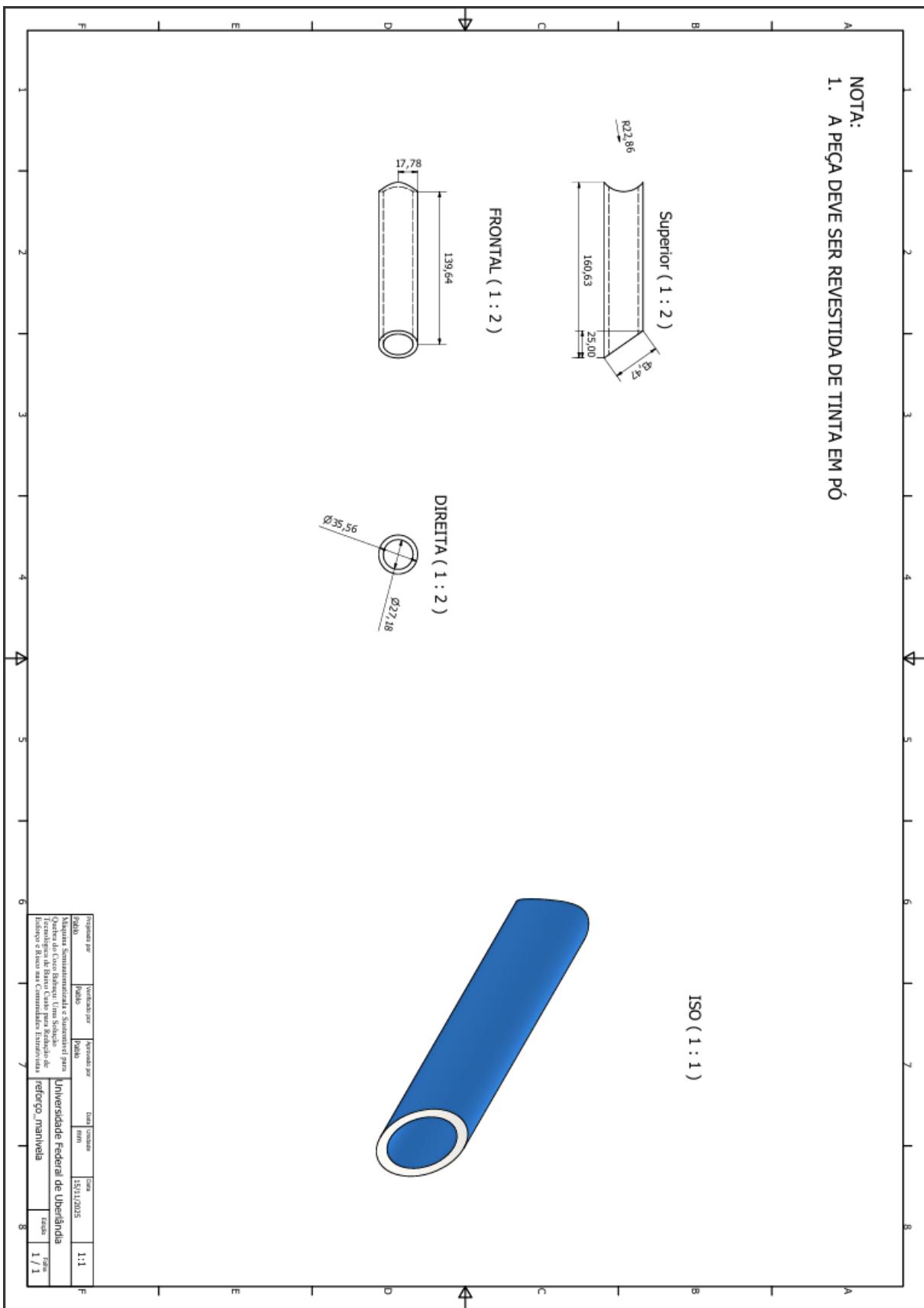


APÊNDICE T – LÂMINA

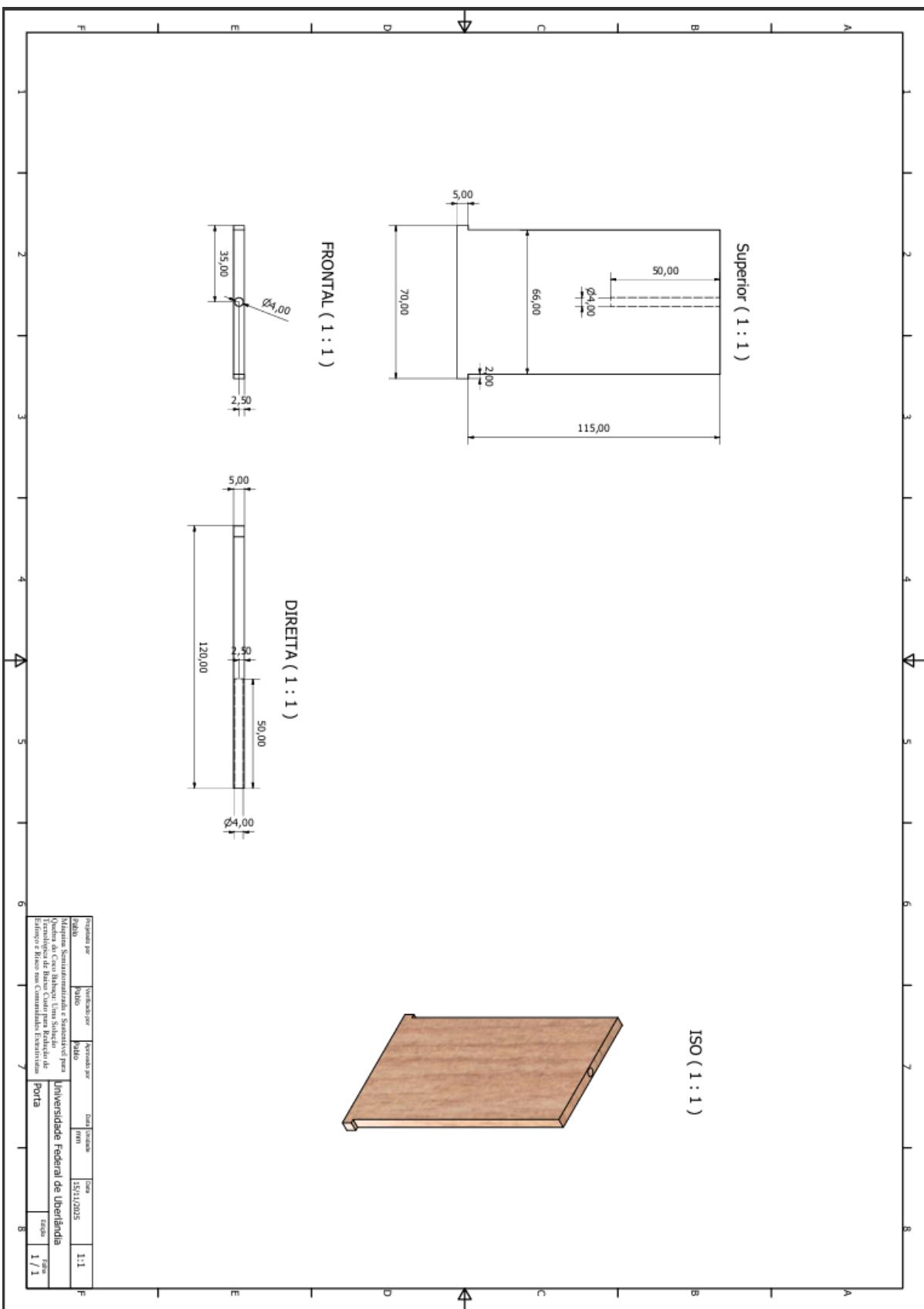


APÊNDICE U – REFORÇO_MANIVELA

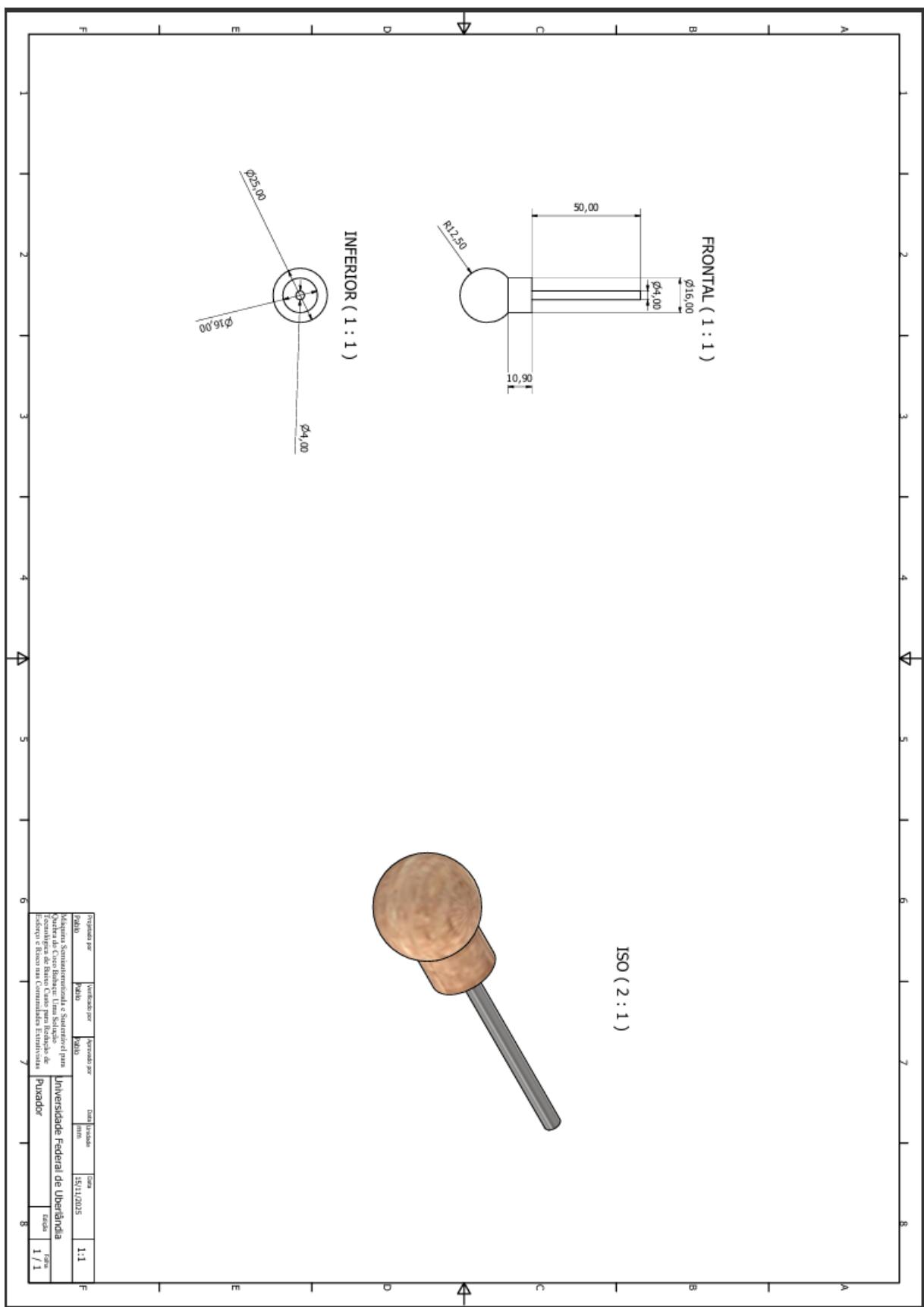
NOTA:
1. A PEÇA DEVE SER REVESTIDA DE TINTA EM PÓ



APÊNDICE V – PORTA



APÊNDICE W – PUXADOR



APÊNDICE X – CANTONEIRA_DE_SUPORTE

