

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE UM
DISPOSITIVO PARA A VALORAÇÃO DE CINZAS DE
FUNDO DE CALDEIRA ATRAVÉS DA OBTENÇÃO DE
ALCALINIZANTE

Henrique Signor Backes

CIP – Catalogação na Publicação

B126d Backes, Henrique Signor

Desenvolvimento do conceito de um dispositivo para a valoração de cinzas de fundo de caldeira através da obtenção de alcalinizante [recurso eletrônico] / Henrique Signor Backes. – 2023.

4 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hemkemeier.

Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2023.

1. Processos de fabricação. 2. Máquinas - Projetos.

3. Economia ambiental. 4. Biomassa florestal. 5. Cinzas de biomassa. I. Hemkemeier, Marcelo, orientador.

II. Título.

CDU: 620.91

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL

Henrique Signor Backes

DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE UM DISPOSITIVO PARA A
VALORAÇÃO DE CINZAS DE FUNDO DE CALDEIRA ATRAVÉS DA OBTENÇÃO
DE ALCALINIZANTE

Passo Fundo

2023

Henrique Signor Backes

**DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE UM DISPOSITIVO PARA A
VALORAÇÃO DE CINZAS DE FUNDO DE CALDEIRA ATRAVÉS DA OBTENÇÃO
DE ALCALINIZANTE**

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hemkemeier

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2023

Henrique Signor Backes

**DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE UM DISPOSITIVO PARA A
VALORAÇÃO DE CINZAS DE FUNDO DE CALDEIRA ATRAVÉS DA OBTENÇÃO
DE ALCALINIZANTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação:

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Dr. Marcelo Hemkemeier
Orientador

Professora Dra. Aline Dettmer

Professor Dr. Márcio Weber.

Professor Dr. Marcio Paulo Moreira

AGRADECIMENTOS

Primeiro a minha família que é a base de tudo, ao qual me apoiam em todas as decisões profissionais e pessoais de minha vida.

A minha namorada Kelin que é uma grande parceira e incentivadora dessa etapa da minha vida.

Aos meus bons amigos e em especial ao meu amigo e colega Rafael Bressiani que não mediu esforços em me apoiar com seu conhecimento.

A Gabriela Dalmora, que me ajudou do início ao fim nos testes em laboratório.

Aos professores e orientadores que contribuíram para a construção do conhecimento. Em especial o meu orientador Marcelo Hemkemeier que com calma e didática me ajudou nesse processo desde o início.

A Engenharia de Alimentos e Engenharia Química da UPF por fornecer todo o material humano e estrutural para realizar os testes desse trabalho.

Agradeço especialmente a Universidade de Passo Fundo, todos os professores, funcionários e com ela envolvidos, que me abriu portas para a realização dessa conquista e que possui uma estrutura educacional incrível.

*“Investir em você mesmo é a melhor coisa
que você pode fazer. Qualquer coisa que
melhore seus talentos.”*

(Warren Buffett).

RESUMO

A utilização de biomassa de eucalipto na matriz energética mundial, especialmente na produção de vapor em caldeiras da indústria de alimentos, é crescente. Como resíduo deste processo tem-se as cinzas, consideradas como resíduos classe II, que necessitam ser descartadas gerando custos para as indústrias. As cinzas são compostas basicamente de óxidos alcalinos, que podem ser solubilizados para a produção de um alcalinizante de baixo custo. O uso de cinzas tem sido o foco de muitos estudos, porém, não há estudos sobre a recuperação de cinzas através da produção de agentes alcalinizantes na literatura. Com isso, caracterizou-se quimicamente as cinzas provenientes da combustão da madeira de eucalipto, originárias de uma caldeira operando dentro de uma indústria de alimentos, concluindo que as mesmas são compostas principalmente por Óxido de Cálcio (CaO), Potássio (K₂O) e Magnésio (MgO), sendo os responsáveis pela basicidade das cinzas. Encontrando-se valores de pH variando entre 11,3 e 13,7 e valores máximos de alcalinidade total e parcial de 19.050 e 26.000 mg/CaCO₃ para 100 ml de amostra respectivamente, deixando evidente o potencial alcalino do extrato. Os parâmetros de temperatura, agitação, tempo de contato e massa de cinzas foram analisados por meio de planejamento experimental para verificar a influência sobre a extração alcalina, onde observou-se que a temperatura não demonstrou efeito sobre pH e alcalinidade, por outro lado, massa de cinzas e tempo, foram as que mais apresentaram efeitos sobre as respostas. Portanto, o foco foi dado às condições de massa de cinzas e tempo de contato. Com a definição do extrato alcalino, foi possível testar sua eficácia em um efluente de laticínio, com resultados interessantes na remoção de fósforo, DQO, turbidez e cor. O presente trabalho tem o objetivo de projetar um dispositivo que aproveite das cinzas do fundo de caldeira para transformação do alcalinizante, através do método projetual proposto por Pahl *et al.* (2005), que através do processo de 4 fases, sendo elas: O processo envolveu quatro fases: Planejamento do projeto, projeto conceitual, apresentação do conceito e projeto detalhado desenvolvendo sua forma final. Tal dispositivo trará um benefício econômico e ambiental para o setor industrial, pois, o projeto da máquina foi pensado para utilização das cinzas no local, transformando o resíduo proveniente da queima em um alcalinizante para a própria empresa utilizá-lo em seu tratamento de efluente.

Palavras-chave: Cinzas de biomassa; projeto de equipamento; economia circular.

ABSTRACT

The use of eucalyptus biomass in the global energy matrix, especially in the production of steam in food industry boilers, is increasing. As a residue of this process, there are ashes, considered class II waste, which need to be disposed of, generating costs for the industries. The ashes are mainly composed of alkali oxides, which can be solubilized to produce a low-cost alkalizing agent. The use of ashes has been the focus of many studies, but there are no studies on the recovery of ashes through the production of alkalizing agents in the literature. Thus, the ashes from the combustion of eucalyptus wood, originating from a boiler operating within a food industry, were chemically characterized, concluding that they are mainly composed of Calcium Oxide (CaO), Potassium (K₂O), and Magnesium (MgO), responsible for the alkalinity of the ashes. pH values ranging from 11.3 to 13.7 and maximum values of total and partial alkalinity of 19,050 and 26,000 mg/CaCO₃ per 100 ml of sample were found, clearly indicating the alkaline potential of the extract. The parameters of temperature, agitation, contact time, and ash mass were analyzed through experimental design to verify their influence on alkaline extraction, where it was observed that temperature had no effect on pH and alkalinity, while ash mass and time had the most significant effects on the responses. Therefore, the focus was on the ash mass and contact time conditions. With the definition of the alkaline extract, its effectiveness was tested on a dairy effluent, showing interesting results in the removal of phosphorus, COD, turbidity, and color. The present work aims to design a device that utilizes bottom boiler ashes for the production of the alkalizing agent, following the design method proposed by Pahl et al. (2005), involving four phases: Project planning, conceptual design, concept presentation, and detailed design, developing its final form. Such a device will bring economic and environmental benefits to the industrial sector, as the machine's design was conceived for on-site use of the ashes, transforming the waste resulting from combustion into an alkalizing agent that the company can use in its effluent treatment.

Keywords: Biomass ash; equipment project; circular economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre as palavras-chave com os termos da busca bibliográfica “bottom ash AND valorization OR valorisation”	18
Figura 2 - Nuvem de palavras com os termos “bottom ash AND valorization OR valorisation”	19
Figura 3 - Circulo virtuoso da economia verde do produto.....	23
Figura 4 - Matriz energética Mundial 2019.....	24
Figura 5 - GDF Suez usina de biomassa na Polônia.....	26
Figura 6 - Ciclo da biomassa.....	28
Figura 7 - Fluxograma do método de projeto de Pahl & Beitz.....	39
Figura 8 - Fluxograma geral do Processo.....	42
Figura 9 - Função global do processo.....	51
Figura 10 - Croquis com variantes de subfunções.....	53
Figura 11 - Primeiros croquis do dispositivo.....	56
Figura 12 - Resultados de OH.....	65
Figura 13 - Resultados da alcalinidade parcial em gráfico 3D.....	65
Figura 14 - Resultados da alcalinidade total em gráfico 3D.....	66
Figura 15 - Vista isométrica da máquina de valoração de cinzas para extrato alcalino.....	69
Figura 16 - Vista Isométrica em corte da máquina de valoração de cinzas para extrato alcalino.....	69
Figura 17 - Desenho máquina completa 3D explodido.....	70
Figura 18 - Montagem 1: Agitador.....	71
Figura 19 - Montagem 2: Calha autolimpante.....	72
Figura 20 - Montagem 3: Painel de controle.....	73
Figura 21: Montagem 4: Mancal.....	74
Figura 22: Montagem 5 - Tacho.....	75
Figura 23: Montagem 6 - Estrutura da máquina.....	76
Figura 24: Montagem 7 - Conjunto proteção do motor.....	77
Figura 25: Montagem Final - Máquina de extrato alcalino.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição de cinzas de biomassa.....	32
Tabela 2 - Matriz do Planejamento Fatorial (2^{4-1}) da preparação dos experimentos para extração do alcalinizante de cinza.....	44
Tabela 3 - Condições experimentais.....	47
Tabela 4 - Resultados obtidos para variáveis de resposta pH, OH ⁻ e alcalinidade total e parcial das cinzas.....	61
Tabela 5 - Resultados totais dos parâmetros do extrato alcalino.....	63
Tabela 6 - Resultados do primeiro DCCR executado – ensaio 1.....	63
Tabela 7 - Valores de P e Efeito de ensaio 1.....	64
Tabela 8 - Resultado do processo de flocculação para DQO e fósforo.....	66
Tabela 9 - Resultado do processo de flocculação para cor e turbidez.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo das principais patentes relacionadas ao tema de produção de alcalinizantes a partir de cinzas de eucalipto.....	20
Quadro 2 - Fatores para o sucesso de um produto verde.....	21
Quadro 3 - Concepções alternativas para o desenvolvimento do equipamento.....	52
Quadro 4 - Resumo da concepção escolhida.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileiro de Normas Técnicas
CAD	Desenho Assistido por Computador
DQO	Demanda de Química de Oxigênio
EC	Economia Circular
IEA	Agência Internacional de Energia
NBR	Normas Técnicas Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
UPF	Universidade de Passo Fundo

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
Ca	Cálcio
CaO	Óxido de cálcio
Fe	Ferro
g	Gramas
h	Hora
K	Potássio
Kg	Quilograma
kWh	Quilo Watt Hora
L	Litros
m ³	Metros cúbicos
Mg	Manganês
mg	Miligrama
ml	Mililitro
mm	Milímetro
NaOH	Hidróxido de sódio
OH	Hidroxila
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogenionico
rpm	Rotação por minuto
s	Segundos
t	Tempo
Ti	Titânio
S	Enxofre
Si	Silício

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	155
1.1	Justificativa	166
1.2	Objetivos	177
1.2.1	Objetivo geral	177
1.2.2	Objetivos Específicos	177
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	188
2.1	Pesquisa bibliométrica	188
2.2	Produto verde	200
2.2.1	Economia circular	222
2.3	Produção de energia sustentável	233
2.3.1	Termoelétrica de biomassa	255
2.3.2	Ciclo energético da biomassa	277
2.3.3	Resíduos sólidos	288
2.3.4	Cinzas de eucalipto	2929
2.3.5	Caracterização das cinzas	311
2.3.6	Extração de alcalinizante das cinzas	344
2.3.7	Aplicação de alcalinizante no tratamento de águas e efluentes	366
2.4	Metodologia de projeto para novos equipamentos	37
2.4.1	Planejamento do Projeto	39
2.4.2	Projeto conceitual	400
2.4.3	Projeto do produto	400
2.4.4	Projeto detalhado	411
3	MATERIAIS E METODOS	422
3.1	Fluxograma do Processo	422
3.2	Preparo da amostra	433
3.3	Caracterização Química	433
3.4	Extração de alcalinizantes	433
3.4.1	Determinação da Alcalinidade	44
3.5	Tratamento de efluente de laticínio	46
3.5.1	Tratamento físico-químico	46
3.5.2	Caracterização físico-química do efluente	47
3.5.3	Demanda química de oxigênio (DQO)	48

3.5.4	Fósforo total.....	48
3.5.5	Cor.....	48
3.5.6	Turbidez.....	48
3.6	Metodologia de desenvolvimento de projeto.....	48
3.6.1	Planejamento do projeto.....	48
3.6.2	Projeto conceitual.....	490
3.6.2.1	Elaboração da função global.....	500
3.6.2.2	Elaboração das subfunções.....	511
3.6.3	Apresentação do conceito.....	555
3.6.4	Projeto detalhado.....	566
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	5757
4.1	Extrato Alcalino.....	57
4.2	Otimização do Alcalinizante.....	633
4.3	Tratamento do efluente	66
4.4	Projeto final 3D.....	68
4.5	Projeto detalhado da máquina do extrato alcalino	70
5	CONCLUSÃO	79
5.1	Propostas para futuros trabalhos	79
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICES	87

1 INTRODUÇÃO

Durante muitos anos o desenvolvimento econômico esteve ligado ao uso de carvão mineral, petróleo e seus derivados (VASCONCELOS; MELO, 2021). Contudo, as presentes preocupações quanto ao impacto ambiental e o aquecimento global geraram a busca por novas fontes de energia renováveis.

De acordo com a International Energy Agency (2019), a biomassa representa apenas 10% da matriz energética mundial, entretanto, os países com as maiores matrizes energéticas do mundo estão utilizando cada vez mais a biomassa para a produção de energia. Desta forma, uma transição de energia insustentável, em função da queima de combustíveis fósseis, para sustentável está acontecendo. A procura por energia limpa e conscientização da indústria, junto ao crescimento do desenvolvimento sustentável, tem resultado em pesquisas que possibilitem um melhor aproveitamento dos resíduos da queima de biomassa (PEREIRA.L. 2020) e (GONZALEZ *et al.*, 2014).

Quando utilizada para fins energéticos, a biomassa é classificada em três categorias: florestal, agrícola e rejeitos urbanos. O potencial energético de cada um desses grupos depende tanto da matéria-prima utilizada quanto da tecnologia utilizada no processamento para obtê-los (CARDOSO, 2012). A biomassa florestal provinda da madeira de eucalipto (*Eucalyptus*) apresenta-se como uma fonte de energia renovável, sendo uma forma eficaz na geração de calor para caldeiras e fornos, mostrando-se vantajosa frente a outras biomassas e combustíveis. Portanto, é uma das melhores alternativas desta categoria para a produção de energia, com boas características térmicas e ainda é economicamente competitiva (TOLLER 2019).

Mesmo muito eficiente e sendo considerada uma forma mais limpa de se produzir energia, a biomassa gera grandes quantidades de resíduos, as cinzas pesadas (ou cinzas de fundo), que devem ser descartadas de forma correta pelas empresas, pois, são resíduos com composições químicas riquíssimas como: Ca, Si, Al, Ti, Fe, Mg, Na, K, S e P gerando despesas no descarte ao não serem reaproveitadas (AMARO *et al.*, 2013).

Pode-se destacar a aplicação das cinzas no solo para corrigir a acidez e na construção civil como substituição parcial da areia. Existe eficiência também na remoção de íons metálicos ou na absorção de corantes, quando utilizadas no tratamento de efluentes, ainda a sua grande viabilidade de ser reagente a meios ácidos, pois há eficácia das cinzas em potencializar a alcalinidade. Tal alcalinidade das cinzas, está associada à presença de carbonatos e de óxidos metálicos em sua composição gerados pela queima da madeira. (HEVIÁNKOVÁ, 2014).

De acordo com Back *et al.* (2008), ao desenvolver projetos de produtos mais complexos,

é essencial seguir um procedimento ou metodologia predeterminada que planeje, implemente, monitore e direcione todo o processo de design.

Segundo Pahl *et al.* (2005), considerando a grande importância do desenvolvimento de produtos em tempo hábil e de um produto que incite interesse no mercado, é necessário um bom processo de desenvolvimento de soluções, que devem ser planejadas, flexíveis, otimizadas e controláveis.

Com isso, o desenvolvimento do dispositivo será utilizado a metodologia projetual desenvolvido por Gerhard Pahl e Wolfgang Beitz (PAHL *et al.*, 2005), que se resume em quatro grandes passos, sendo eles: projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado do produto.

1.1 Justificativa

Com o aumento crescente de alternativas ao carvão, derivados de petróleo e gás para obtenção de energias mais limpas, a biomassa é cada vez mais utilizada, com isso, gerando uma grande quantidade de cinzas, 2,5 toneladas por ano no Brasil, que são hoje classificadas como resíduos classe II e devem ser descartados de forma correta, esse descarte soma-se nas despesas da empresa. Portanto, devem ser uma alternativa para a implantação do conceito de Economia Circular (EC) no aproveitamento de cinzas de biomassa (VEIGA, 2015). Com a Economia Circular, a vantagem é possuir um produto ecologicamente correto e ao mesmo tempo eficaz tecnicamente e economicamente, ideal para ser utilizado nesse caso de valorização das cinzas para as indústrias que trabalham com a energia provindas da biomassa e que necessitam de um alcalinizante em seus tratamentos de efluentes ao mesmo tempo.

Isso se mostra como um fato por ter poucos estudos sobre a recuperação de cinzas através da produção de agentes alcalinizantes na literatura, pois a cinza é culturalmente subestimada como um resíduo sem utilidade.

A valoração das cinzas na forma de um alcalinizante também é justificada nos preços dos alcalinizantes a base de soda, hoje utilizados em praticamente todos os processos de estabilização de pH e do processo de tratamento dos efluentes, assim, poupando recursos para outras demandas. Assim, realizando um projeto de uma máquina com função de produzir um extrato alcalinizante a base de cinzas de fundo de caldeira com o objetivo de facilitar a produção in loco com o reaproveitamento do resíduo em um produto competitivo e eficiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa visa o desenvolvimento de um projeto de um equipamento para reaproveitamento de cinzas de fundo de caldeiras, que seja capaz de produzir um extrato alcalino sustentável e ser aplicável substituindo total ou parcialmente os utilizados hoje na indústria.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Otimizar a produção de alcalinizante em função da quantidade de cinzas, temperatura, tempo de contato e agitação do meio.
2. Testar o alcalinizante em efluente industrial.
3. Desenvolver o projeto aplicando um procedimento metodológico de projeto de produto, de maneira que o equipamento permita a produção do alcalinizante de cinzas de uma forma rápida e econômica reaproveitando o resíduo da caldeira local.

Figura 2: Nuvem de palavras com os termos “bottom ash AND valorization OR valorisation”.



Fonte: Adaptado pelo autor (2021).

Uma nova busca, agora na base de patentes *Patentscope* (<https://patentscope.wipo.int/search/pt/search.jsf>), retornou algumas patentes semelhantes ao tema alcalinizante de resíduos sólidos, no entanto nenhum resultado se refere a ideia apresentada que é de produção de alcalinizante. O Quadro 1 resume esta pesquisa.

A análise bibliográfica mostra claramente a preocupação com o gerenciamento e novas oportunidades para as cinzas, incluindo os conceitos de economia circular e valorização. No entanto, a produção de alcalinizantes a partir de cinzas ainda não é explorada expressivamente.

Através do artigo no **APENDICE A**: “VALORIZAÇÃO DE CINZAS DE FUNDO DE CALDEIRA ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE ALCALINIZANTE: UMA PROPOSTA DE ECONOMIA CIRCULAR”. Publicado na revista: *Research, Society and Development journal*, é fruto da pesquisa e artigo fundamental para demonstrar a importância de um alcalinizante de cinzas de fundo de caldeira.

Quadro 1: Resumo das principais patentes relacionadas ao tema de produção de alcalinizantes a partir de cinzas de eucalipto.

Identificação da patente	Descrição
CN103130248 - METHOD FOR PREPARING POTASSIUM SALT FROM BIOMASS FUEL BOILER ASH (China)	Descreve um método de solubilização das cinzas para a obtenção de sal de potássio sólido
JP2017077552 - METHOD FOR UTILIZING WOODY COMBUSTION ASH (Japão)	Descreve um método de solubilização das cinzas para a obtenção de uma pastilha alcalina que pode ser utilizada para a correção do solo
CN112010428 - METHOD FOR CULTURING CELLULOSE ETHER WASTEWATER ANAEROBIC SLUDGE BY USING BIOMASS BOILER ASH (China)	Descreve um método de cultivo de lodo anaeróbio através da imobilização e manutenção do pH deste lodo
BR102014028780 - CINZAS DE MADEIRA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DAS INDÚSTRIAS PROCESSADORAS DE AMIDO DE MILHO E SIMILARES (Brasil)	Descreve um método para aplicação direta das cinzas no tratamento físico-químico de efluentes de amido de milho e similares

Fonte: Adaptado pelo autor (2021).

2.2 Produto verde

O desenvolvimento sustentável pode ser visto por diferentes vieses, sendo um deles a ambição de que a humanidade venha a atender às suas necessidades sem comprometer as futuras gerações (VEIGA, 2019).

Neste tocante, as questões ambientais em novos produtos são de suma importância, uma vez que a prática da inovação sustentável deve ser algo buscado constantemente no mundo acadêmico e industrial, por motivos de auto sustentabilidade e enriquecimento tecnológico (MEDEIROS *et al.*, 2018).

A temática ambiental vem sendo utilizada como forma de diferenciação, aumentando o

fator competitivo, desde que de fato a empresa seja reconhecida pela sociedade como sustentável, e “conhecer a sustentabilidade de fato é o primeiro passo para a realização de estratégias organizacionais” (FALSARELLA; JANNUSSI, 2020).

A prática dessa inovação possibilita o desenvolvimento de uma maior capacidade de antecipação de demandas do mercado, gerando assim, uma vantagem competitiva para as empresas que se adequarem a esse movimento e inovarem com a criação e divulgação de produtos que possam unir a sustentabilidade com o meio econômico.

O foco no desenvolvimento de inovações verdes faz com que as empresas empreguem novas tecnologias, abastecendo o mercado com produtos mais eficientes e provocando mudanças em seus modelos de negócios e em seus sistemas de suporte.

Segundo Medeiros *et al.* (2018), são quatro fatores determinantes para um produto sustentável, sendo eles listados no Quadro 2:

Quadro 2: Fatores para o sucesso de um produto verde.

Conhecimento de mercado e legislação	Cumprimento das expectativas do cliente, estar dentro das leis e normas que regem o produto, conhecimento sobre os fatores que impulsionam a compra sustentável e o consumo deste produto.
Colaboração interfuncional	P&D, marketing e integração de produção, Integração das partes interessadas (fornecedores, universidades, especialistas em meio ambiente e outros).
Aprendizagem orientada para a inovação	Eliminação de barreiras culturais, desenvolvimento de um conjunto de competências verdes criatividade e experimentação, possuir análise reflexiva crítica.
Investimentos em P&D	Investimento em pesquisa de tecnologia mais limpa, investimento/adoção de métodos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis, investimento em infraestrutura de P&D.

Fonte: Adaptado de Medeiros *et al.* (2011).

Logo, destacam-se os principais aspectos considerados dos consumidores ao comprar produtos sustentáveis, conforme entendimento de Furtado (2020), sendo as atitudes de consumo, o bem-estar, a saúde, os grupos de referências e alguns atributos percebidos, como preço e qualidade. Desta forma, as organizações, investindo em produção e estratégias de marketing para os consumidores, podem gerar valor a curto e longo prazo.

2.2.1 Economia circular

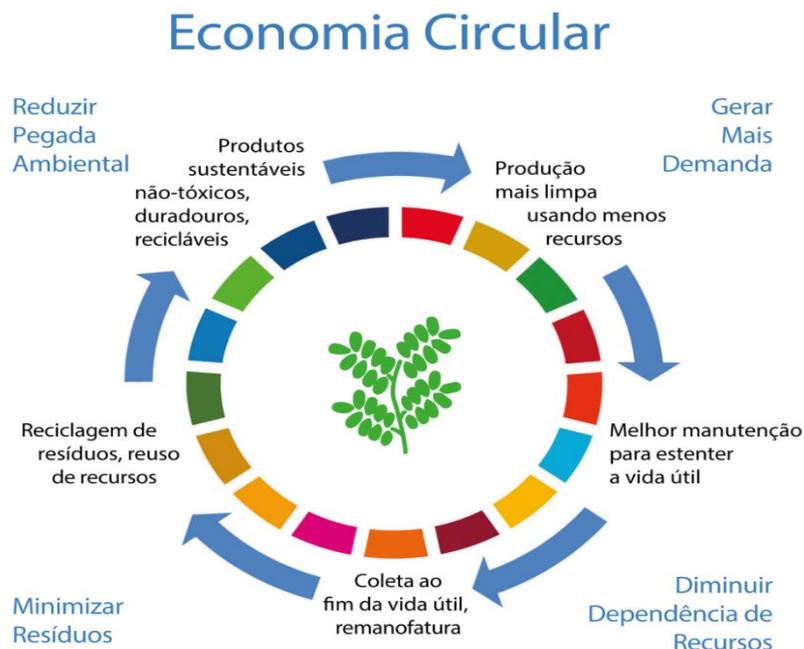
A Economia Circular (EC) se trata de uma alternativa nova e sustentável envolvendo a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia na indústria. Dessa forma, ela destoa da economia linear que se baseia no fim de vida dos materiais, criando assim um processo integrado com novos fluxos cíclicos. Através das atividades de uma EC, o valor dos produtos e serviços é recuperado no longo prazo no sistema econômico. Seu principal objetivo é a preservação e valorização do capital natural e minimização de desperdícios. Sua implementação se dá por diversos elos de cadeias, com etapas de concepção e reentrada de ciclos produtivos (PEREIRA, 2020).

Segundo Barros *et al.* (2018), a Economia Circular pode ser implementada em todas as áreas dentro da indústria, auxiliando na implementação de uma gestão de negócios mais sustentável. Por um outro lado, Stumpf *et al.* (2021) aponta que a modificação e melhoria de processos já existentes ocupa a maior parte do cenário, e, portanto, mudanças radicais no planejamento estratégico da organização para focar na EC são casos esporádicos.

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (2019), 76,5% das indústrias entrevistadas declaram que desenvolvem alguma atividade relacionada a EC, sendo 56,5% destas práticas de otimizações de processos, 37,1% de utilização de recursos circulares e 24,1% de recuperação de recursos. Neste contexto, aliar o conceito de EC e o desenvolvimento de produtos verdes pode aumentar a sustentabilidade das indústrias, trazendo aspectos positivos ao negócio.

A Figura 3 apresenta de forma resumida o conceito de Economia Circular.

Figura 3: Circulo virtuoso da economia verde do produto.



Fonte: GBC Brasil (2019).

Destaca-se que a reutilização da matéria prima é vista como papel de destaque no que tange as inovações, bem como, no impacto de ganhos sustentáveis. A diferenciação que se pode utilizar entre os termos de reciclagem, reutilização e valorização, é que a reciclagem é o processo mais macro, justamente por tratar da fusão das matérias-primas dos produtos e criando novos produtos com essa matéria selecionada. A reutilização por sua vez é mais minuciosa, pois não trabalha com a fusão e sim com a utilização de produtos danificados para construção ou conserto de outros, e por fim, a valorização é considerada como a criação de energia a partir de produtos à base de combustível (GONZALEZ *et al.*, 2019).

2.3 Produção de energia sustentável

Com a Revolução Industrial do século XVIII, foi possível alcançar patamares antes considerados impossíveis no setor energético, repercutindo diretamente no avanço da sociedade (VASCONCELOS *et al.*, 2021). Porém com o impacto causado no meio ambiente pelo uso excessivo desses combustíveis, o resultado negativo da evolução foi o aquecimento global.

A crise do petróleo na década de 1970 e as crescentes preocupações com os impactos do aquecimento global aumentaram a busca por fontes de energia renováveis, porém os

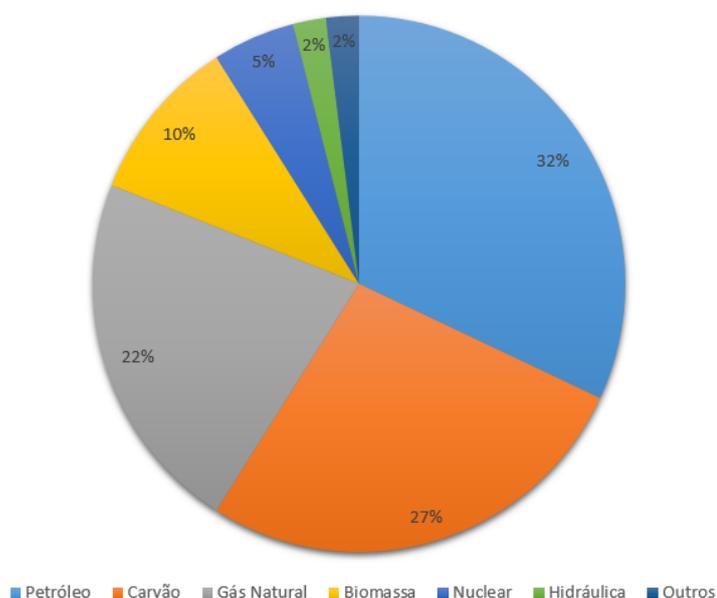
combustíveis fósseis ainda dominam a geração de energia, gerando uma dependência global. De acordo com a International Energy Agency (2019), a biomassa representa apenas 10% da matriz energética mundial. O acesso à energia limpa até 2030 é um Objetivo de Desenvolvimento Sustentável – ODS da Organização Mundial da Saúde – ONU.

Os Governos e as empresas em todo o mundo se comprometeram a adicionar cerca de 826 giga watts de nova capacidade de energia renovável não hidrelétrica na década até 2030, a um custo provável de cerca de US \$ 1 trilhão. Esses compromissos estão muito aquém do que seria necessário para limitar o aumento da temperatura mundial a menos de 2 graus Celsius. (BLOOMBERGNEF, 2020).

O uso de combustíveis de biomassa pode reduzir significativamente o carbono das emissões, especialmente quando comparadas aos combustíveis fósseis, como carvão e petróleo. Por outro lado, a biomassa pode garantir uma redução significativa da dependência energética em relação a outros países, devido à disponibilidade que apresenta em várias regiões e nações do mundo (VIANA, 2020).

A Figura 4 mostra a matriz energética mundial, sendo o petróleo e o carvão ainda muito utilizado na geração de energia da maioria dos países, principalmente os emergentes. As energias renováveis estão crescendo todos os anos na matriz mundial, muito por conta da queima de biomassa, uma estratégia barata e que substitui diretamente o topo da cadeia nas termoelétricas (MORELLO, 2020).

Figura 4: Matriz energética Mundial 2019.



Fonte: Adaptado de Agência Internacional de Energia (2021).

A biomassa pode substituir o petróleo, o gás e o carvão em muitas aplicações (MORELLO, 2020). Existem três classes de biomassa, sendo elas:

- Sólidas: Madeira de reflorestamento, bagaço de cano de açúcar, resíduo orgânico (queima do sólido e reaproveitamento do biogás em algumas caldeiras, chamado de retroalimentação).
- Líquidas: Biodiesel, Bioetanol.
- Gasosos: Biogás (gás inflamável, produzido a partir de uma mistura de dióxido de carbono e metano, por meio de bactérias fermentadoras em matérias orgânicas).

A queima de biomassa é a maior fonte doméstica de energia nos países em desenvolvimento com o cavaco de eucalipto sendo uma das fontes de biomassa mais favoráveis para produção de energia, pois possui um grande potencial energético como também sua economia na geração de calor para caldeiras e fornos. Para atingir a mesma energia obtida na queima de 1 m³ desta biomassa (50% de umidade), seriam necessários 72 kg de óleo combustível, 220,39 kWh de energia elétrica, ou ainda, 105 kg de carvão mineral (GONZALEZ *et al.*, 2014).

2.3.1 Termoelétrica de biomassa

A combustão é uma reação química exotérmica que ocorre na presença de combustível e comburente (geralmente o oxigênio), para liberar calor e luz. O processo de combustão é o principal processo de conversão das fontes de biomassa sólida para extração da energia contida na mesma e o processo de cogeração é a geração simultânea de energia térmica e mecânica, a partir de uma mesma fonte primária de energia (BOUJAOUDE, 1991).

Como visto, no início do século XVIII, surgiram as primeiras máquinas geradoras de vapor à alta pressão, também conhecidas como caldeiras. Estas centrais de vapor eram muito mais seguras, abrangentes e de fácil distribuição que as anteriores. A eficiência deste processo de geração de vapor, do ponto de vista energético, depende do entendimento da reação de combustão ocorrida no interior da câmara do gerador de vapor. Esta combustão pode ser consequência da queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. O vapor escolhido como fluido de trabalho é justificado por ter seu calor específico alto e pela grande disponibilidade da água. Este vapor pode ser superaquecido para acionamentos mecânicos, cogeração de energia e saturado com pressões inferiores a 15 bar, o que é mais utilizado atualmente (KAKAÇ, 2002).

As caldeiras flamotubulares, são construídas de forma que a água circule ao redor de diversos tubos, montados entre espelhos, na forma de um único feixe tubular. Os gases de combustão circulam pelo interior dos tubos na direção da chaminé, onde são lançados ao ambiente. Este tipo de caldeira é utilizado para unidades geradoras de energia de pequeno/médio porte (BAZZO, 1992).

A NR-13 define caldeira a vapor como todo equipamento destinado a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia. Quanto à pressão de operação, podem ser classificadas como:

- CATEGORIA A: pressão de operação superior a 19,98 kgf/cm²;
- CATEGORIA C: caldeiras cuja pressão de operação seja igual ou inferior a 5,99 kgf/cm² e volume interno igual ou menor que 100 L;
- CATEGORIA B: caldeiras que não se enquadram nas categorias A e C.

A usina termoelétrica é uma alternativa para a produção de energia elétrica para uso em geral, principalmente no setor industrial, sendo a biomassa um combustível utilizado (KAKAÇ, 2005).

Na figura 5 é ilustrado a usina de biomassa Polaniec operada pela GDF Suez, em Polaniec (Polônia) é uma das maiores usinas de queima de 100% de biomassa do mundo atualmente. A usina queima em torno de 80% de cavacos de madeira e 20% de resíduos agrícolas desde 2012, produzindo 205 MW de energia, com isso, consumindo em média 222.000 toneladas de agro combustíveis e 890.000 toneladas de biomassa lenhosa a cada ano (POWER-TECHNOLOG, 2021).

Figura 5: GDF Suez usina de biomassa na Polônia.



Fonte: biomassmagazine.com (2013).

2.3.2 Ciclo energético da biomassa

Biocombustíveis têm potencial para entregar pelo menos um quarto das necessidades energéticas projetadas no mundo até 2035, junto com outras fontes renováveis, diminuindo drasticamente as matrizes energéticas “suja” (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2011).

A utilização da bioenergia é uma alternativa com potencial de substituir parcialmente os combustíveis fósseis, apesar de não possuir a capacidade de solucionar totalmente o problema energético do mundo, justamente por ser uma energia renovável obtida a partir da biomassa e os principais benefícios são redução de emissão dos gases de efeito estufa e eliminação de resíduo (JESUS, 2021).

Destaca-se que a geração de energia através do ciclo de biomassa contribui para diminuir a dependência de combustíveis fósseis e hidrelétricos, possibilitando uma gama maior na matriz de energia elétrica no país, não perdendo o caráter renovável.

Além disso, surgem vários investimentos e pesquisas acerca da viabilidade econômica de fontes alternativas para extração da matéria prima, para posterior geração de energia. (MARAFON, 2016).

Segundo Rossetto (2012), uma das principais culturas nas florestas cultivadas para biomassa florestal é o eucalipto, sendo ele a melhor alternativa para geração de vapor em caldeiras. Por possuir ótimas características térmicas, e principalmente um preço de mercado economicamente viável, este tipo de cultura, consegue gerar grandes quantidades de biomassa, estimando-se que cada hectare de eucalipto plantado pode gerar cerca de 45 toneladas de galhos e cascas. De acordo com a ABRAF (2019), 72,80% dos plantios florestais brasileiros, no ano de 2018 foram ocupados pela espécie, confirmando assim o seu grande potencial para geração de energia sendo de grande valia na análise de ciclo de vida. As variantes do eucalipto como todas as outras biomassas, têm sido importantes na produção de energia renovável no tocante às baixas emissões de CO₂ em comparação com os combustíveis fósseis.

A Biomassa florestal são bastante conhecidas e utilizadas como fonte de cogeração de energia tanto no setor sucroalcooleiro como em outras indústrias como energia motriz e elétrica. A demanda para geração de bioenergia é significativa o suficiente para criar uma mudança no paradigma tradicional para a agricultura global (SCHMIDHUBER, 2006).

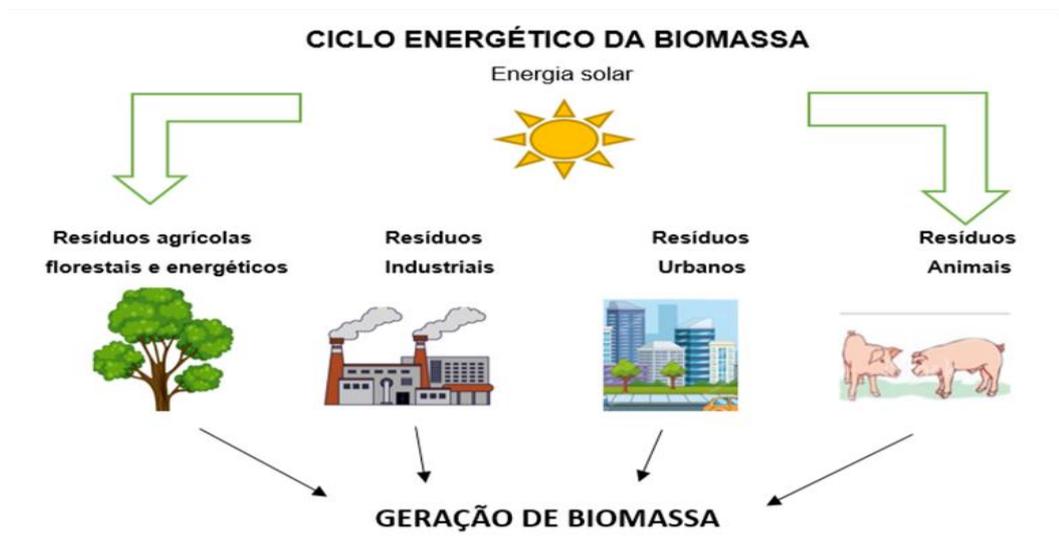
2.3.3 Resíduos sólidos

Nessa questão da biomassa, podemos exemplificar o ciclo da biomassa pelo esquema abaixo da Figura 6, sendo um tipo de matéria de fonte orgânica, que pode se dar através da fotossíntese, em que as plantas conseguem gerar energia química, que ao serem convertidas, se transformam em fontes de energia, como eletricidade, combustível, calor. Essas fontes organizadas são usadas justamente para produzir energia, denominando-se biomassa, matéria utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão do material orgânico produzida e acumulada em um ecossistema.

Estima-se que cerca de 3 % da lenha que queima durante a combustão da biomassa para produzir vapor é agora convertida em cinzas (Borlini *et al.*, 2005). Segundo o BEN (2019), em 2019, foram geradas 2.489 milhões de toneladas de cinzas em caldeiras industriais no Brasil, o que corresponde a um volume de 1.914 milhões de m³. O percentual de cinzas formadas na queima que são arrastadas com os gases varia de 60 a 90% em sistemas de queima em camada (sobre a grelha) e de 90 a 98% para queima em suspensão (SILVA, 2000).

Atualmente, uma grande porção de cinzas da madeira produzida, são descartadas em aterros sanitários. Assim, deve-se encontrar maneiras de utilizar essas cinzas de forma ambiental e que seja economicamente eficiente, considerando seu conteúdo de valiosos nutrientes e suas propriedades físicas, o que torna as cinzas utilizáveis na agricultura, silvicultura e na construção industrial como opções interessantes (OBERNBERGER, 2009).

Figura 6: Ciclo da biomassa.



Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

Tem-se que os elementos mais encontrados na formação das cinzas da biomassa são aqueles comumente conhecidos como metais alcalinos, metais alcalino-terrosos, sílica e enxofre. Além disso, pode-se verificar nestes resíduos, também, a presença de alguns metais tóxicos, que estão associados principalmente às cinzas de fundo, e que são prejudiciais tanto à vida humana quanto ao ambiente se manejados de maneira errônea. Por este motivo, é de suma importância conhecer a composição da fuligem antes do seu descarte (KHAN *et al.*, 2009).

A presença de metais alcalinos, metais alcalino-terrosos, cloro, enxofre e silício afeta a reatividade e lixiviação das fases inorgânicas, que podem ter impactos significantes nos solos e na reciclagem de nutrientes do solo. O carbono não queimado contido nas cinzas permite que as cinzas sejam postas como combustível, podendo ser fracionado por peneira, seguido pela aplicação da tecnologia de gaseificação para tamanhos de partículas de uso intensivo de energia. Espera-se que este processo reduz significativamente a quantidade de cinzas que vai para os aterros (JAMES, 2012).

De acordo com a NBR 10.004/2004, é a norma brasileira que trata os resíduos sólidos onde estão definidos como aqueles encontrados no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, serviços e varrição. Incluem-se nesta definição as lamas de sistemas de tratamento de água, as geradas por equipamentos e despoluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades incluem a sua descarga na rede pública de esgotos ou em corpos de água impossíveis, ou requerem soluções que são tecnicamente e inviáveis dada a melhor tecnologia disponível”. Essas cinzas são classificadas como resíduo de classe II e devem ser dispostas em aterros industriais a um custo aproximado de R\$ 200,00/m³, sendo que o passivo do setor industrial brasileiro em 2019 foi de aproximadamente R\$ 382,8 milhões, com isso, um custo muito alto a longo prazo para essas indústrias.

2.3.4 Cinzas de eucalipto

A biomassa florestal de madeira de eucalipto é uma das fontes de matéria prima para a fabricação de papel, ela reúne mais de 600 espécies sendo considerada a mais difundida plantada no mundo, apresenta-se como uma das melhores alternativas nesta categoria para produção de energia, uma vez que possui boas características térmicas e mantém-se economicamente competitiva. (GONZALEZ, 2014).

Espécies do gênero *Eucalyptus* são ricos em nutrientes devido à sua maior capacidade de carregar nutrientes em comparação com outras espécies florestais, a maioria dos quais são

nitrogênio, fósforo e potássio que consiste na migração de constituintes químicos das folhas para os ramos antes de sua queda (COSTA *et al.*, 2005).

As empresas de base florestal que o utilizam como matéria prima o eucalipto, buscam obter maior produtividade e eficiência. Diversos modelos podem ajudar uma empresa na melhoria da tomada de decisão de qual espécie de eucalipto pode ser mais eficiente, visando reduzir custos e aumentar sua produtividade, pelo seu excelente desenvolvimento em território brasileiro, como seu alto índice de fecundidade podem ser cultivados em terrenos de baixa fertilidade natural (SILVA, 2018).

A cinza de biomassa é outro fator a ser levado em consideração, seja por causa das quantidades geradas durante a combustão, seja pela sua composição química. O conhecimento das quantidades de cinzas geradas está particularmente no planejamento técnico das caldeiras, onde esse material é queimado (VIANA, 2020).

Atualmente, uma grande porção de cinzas da madeira produzida, são descartadas em aterros sanitários. Assim, deve-se encontrar maneiras de utilizar essas cinzas de forma ambiental e que seja economicamente eficiente, considerando seu conteúdo de valiosos nutrientes e suas propriedades físicas, o que torna as cinzas utilizáveis na agricultura, silvicultura e na construção industrial como opções interessantes (OBERNBERGER, 2009).

Segundo James (2012), o conceito de cinzas significa basicamente o material não queimado durante o processo de combustão, e nisso exposto, pode conter algum teor de matéria orgânica em função da queima incompleta. Pode ser chamado de escória (quando retirado no cinzeiro), cinza volante (o que é arrastado pelos gases) ou material particulado, quando emitido através da chaminé (BRAUNBECK *et al.*, 1999; GIMENES, 2012).

As cinzas da incineração podem ser tratadas como resíduo a ser despejado em aterro ou como recurso adequado capaz de ser reutilizado. Para escolher o melhor cenário de gestão, é necessário conhecimento sobre o potencial impacto ambiental que se pode esperar, incluindo não apenas o impacto local, mas também o globo em geral (SBRUZZI, 2017).

Os metais tóxicos encontrados nas cinzas de fundo são considerados prejudiciais quando não manejados da forma correta, por isso o estudo é de extrema importância para conhecer a composição da fuligem antes do seu descarte (SILVA; AKASAKI; SANCHES, 2020).

O percentual de cinzas depende da eficiência do processo de queima. Estima-se que dos 750 milhões de toneladas de cinzas da biomassa florestal são produzidos anualmente, somente 50% desse volume são utilizadas como substrato e fonte de adubos em florestas (SBRUZZI, 2017).

A cinza funciona como agente melhorador das características químicas do solo e como

fonte de nutrientes para as árvores, principalmente, de P, K, Ca e Mg, portanto o uso da cinza provoca um aumento do pH, devido à liberação de cátions básicos, como K e Ca (MORO; GONÇALVES, 1995).

Segundo Dallago (2000), a aplicação do resíduo de cinzas em plantio de eucalipto, é uma técnica economicamente viável, aumentando a fertilidade do solo e influenciando o desenvolvimento da espécie.

De acordo com Rossi *et al.* (2011), as cinzas podem ser utilizadas na construção civil, pois essa prática já possui uma exploração através de grandes pesquisas para seu reaproveitamento tais como na indústria do cimento e principalmente no ramo da cerâmica segundo Peterson *et al.* (2016).

O cultivo intenso na agricultura moderna acarreta a diminuição da fertilidade do solo, portanto pode-se apresentar deficiências de minerais para o plantio, sendo possível utilizar as cinzas vegetais para melhorar a fertilidade do solo, dando destino adequado ao resíduo (GUARIZ *et al.*, 2009). A utilização de cinzas como substituição e suplementação de adubos minerais ou orgânicos pode ser considerada uma alternativa viável em pesquisas e aplicações em áreas florestais. (SILVA *et al.*, 2013; SBRUZZI, 2017).

2.3.5 Caracterização das cinzas

Cinzas podem ser definidas como material não queimado do processo de queima. Podendo haver algum teor de matéria orgânica remanescente. Pode ser chamado de escória (quando retirado no cinzeiro), cinza volante (o que é arrastado pelos gases) ou material particulado (quando emitido através da chaminé) (GIMENES, 2012).

Os elementos mais encontrados na formação de cinzas da biomassa são conhecidos como metais alcalino e alcalino-terrosos, sílica e enxofre, além de outros metais associados a cinzas de fundo. (SILVERIO, 2013).

As cinzas de eucalipto são compostas principalmente por óxido de cálcio (CaO) e dióxido de silício (SiO₂), porém o elemento que se apresenta de forma mais significativa é o CaO, que popularmente é conhecido com cal virgem. Este composto em reação com água transforma-se no hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), conhecido como cal hidratada (SILVÉRIO, 2013).

O método analítico de fluorescência de raio X é utilizado para caracterizar as cinzas da biomassa de eucalipto (DIAS *et al.*, 2017; PETERSON *et al.*, 2016), em seu trabalho realizou a caracterização por fluorescência de raio x das cinzas de eucalipto que foram geradas em uma

indústria de cerâmica, e concluiu que elas também eram compostas predominantemente de CaO (40,10%) e SiO₂ (8,87%). Os autores também encontraram quantidades relevantes de óxidos de potássio (K₂O) e óxido de magnésio (MgO). Outros óxidos como o de alumínio, ferro, titânio, fósforo também estavam presentes nas cinzas em quantidades menores.

Borlini *et al.* (2005) também concluíram que os elementos que possuem maiores quantidades na composição química da cinza são: CaO (32,6%) e SiO₂ (16,9%), sendo composta também por alguns outros óxidos (Tabela 1), além de possuírem altas concentrações de carbonatos e hidróxidos de cálcio, o que justifica a predominância do CaO.

Tabela 1 Composição de cinzas de biomassa

Composto	Concentração (%)	
	Borlini et al. 2005	Vaske 2012
CaO	32,60	48,99
SiO ₂	16,90	3,45
MgO	7,20	1,92
K ₂ O	7,00	6,11
SO ₃	4,40	1,67
P ₂ O ₅	3,70	2,04
Al ₂ O ₃	2,70	1,00
Na ₂ O	2,40	-
Fe ₂ O ₃	0,80	2,00
SrO	0,72	0,65
MnO ₂	0,39	2,88
Cl ⁻¹	0,15	3,08
BaO	-	0,41
TiO ₂	-	0,15
ZnO	-	0,07
CuO	-	0,03

Fonte: Adaptado pelo autor (2021).

Segundo Gonzalez *et al.* (2014), a caracterização de cinzas possui médias muito parecidas, sendo as cinzas de eucalipto compostas em proporções maiores de CaO e SiO₂, além de outros óxidos como alumínio, titânio, ferro e até mesmo a presença de cloro (Cl) na composição da cinza.

De acordo com Brand e Muniz (2012), a influência na composição química da cinza possui variação de acordo com a época de colheita e estocagem da biomassa.

Segundo Fernandes *et al.* (2016) também é importante conhecer a taxa de carbono residual para resíduos orgânicos. Na análise obtida pelo autor a taxa de matéria orgânica para amostras de cinzas de eucalipto de diferentes origens, obteve-se teores de carbono de até 9%. Essa taxa mostra-se interessante para o uso na construção civil e de adição de minerais em vários meios por exemplo.

Toda substância química que causa a transformação do meio aquoso para um pH acima de 7,0 é um alcalinizante (GUIDI, 2015). As bases e sais são os componentes que atuam como alcalinizantes na correção de pH de soluções, solos, efluentes dentre muitas outras aplicações. Define-se alcalinizantes como compostos que são capazes de proporcionar a alcalinidade necessária para coagulação ou para o equilíbrio do carbonato de cálcio (OTTESTETTER *et al.*, 1971). Os sais básicos como o aluminato ou carbonato de sódio possuem efeitos de neutralizar acidez, mas que não são tão potentes como o Hidróxido de Cálcio (GUIDI, 2015).

A alcalinidade das cinzas está associada à presença de carbonatos e principalmente de óxidos metálicos em sua composição gerados pela queima da madeira. Apesar da composição da cinza ser variada e com diversos compostos, os únicos solúveis são os óxidos e carbonatos de potássio e sódio (AMARO *et al.*, 2013).

Fatores como a espécie de biomassa utilizada, o clima da região de cultivo e o tipo de fertilizante empregado durante o desenvolvimento da espécie, são determinantes para as concentrações dos elementos da cinza, uma vez que causam alterações na composição do material. Sendo este o motivo da ocorrência de diferentes quantidades de um mesmo composto, em diferentes caracterizações e autores (GONZÁLEZ *et al.*, 2014).

A alcalinidade das cinzas está associada à presença de carbonatos e principalmente de óxidos metálicos em sua composição gerados pela queima da madeira e neste caso foi o eucalipto, e apesar da composição da cinza ser variada e com diversos compostos os únicos solúveis são os óxidos e carbonatos de potássio e sódio (AMARO *et al.*, 2013).

Analisando a composição geral das cinzas encontradas é evidente que o material possui bons teores de alcalinidade, e conseqüentemente apresenta elevados valores de pH, e com isto pode ser utilizado para correção da acidez de meios como solos, águas e efluentes, dentre tantas

outras aplicações possíveis.

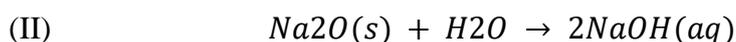
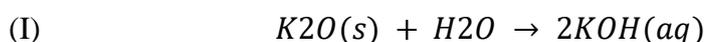
As cinzas possuíam um elevado teor em cálcio, o que justificará a alcalinidade deste resíduo (pH=9,6). A queima de madeira produz cinzas altamente alcalinas (HORTA *et al.*, 2010).

2.3.6 Extração de alcalinizante das cinzas

Define-se por alcalinizante uma substância química, com potencial alcalino suficiente para que possa corrigir o pH de meios ácidos, para básicos (GUIDI, 2015). Estes produtos possuem uma vasta aplicabilidade, principalmente na área de tratamentos de águas e efluentes, para correção de pH em meios ácidos. Os alcalinizantes mais utilizados neste tipo de aplicação devido ao seu baixo custo são os a base de óxido de cálcio (CaO), seja a cal virgem, hidratada ou extinta (MENDES, 2016).

Como sabemos, as cinzas de biomassa são ricas em CaO, muito utilizado como agente alcalinizante. Com isto, a preparação de um extrato altamente concentrado neste composto, torna-se uma alternativa sustentável e econômica, quando comparada aos agentes químicos, como a cal.

Para que se possa realizar a extração destes óxidos, coloca-se a cinza em contato com a água, onde os óxidos serão convertidos a hidróxidos alcalinos (RUSSELL, 2013), e juntamente com os bicarbonatos e carbonatos se solubilizam na solução, gerando um extrato altamente alcalino (VENQUIARUTO *et al.*, 2016), de acordo com as reações I e II.



Utilizando esta metodologia de dissolução das cinzas em água, analisando parâmetros como temperatura, agitação, tempo de reação e massa de cinzas foi que Dalmora e Tonin (2021), produziram um extrato alcalino com cinzas de biomassa de eucalipto provenientes da combustão em caldeiras.

De acordo com as autoras, o extrato produzido apresentou elevados valores de pH, variando de 11,36 a 13,70 e alcalinidade variando de 4.850 a 24.650 mg/CaO₃ para uma amostra de 100 ml. Tais resultados listados na Tabela 3, demonstram o alto potencial alcalinizante do extrato, bem como confirmaram sua aplicabilidade em casos de correção de

meios ácidos.

Toda substância química que causa a transformação de uma substância química para um pH de base, é um alcalinizante (GUIDI, 2015). Sua utilização no dia a dia é diversa, se estendendo para a área da química, engenharia e até mesmo da medicina, sempre que há a necessidade de se neutralizar a acidez de um elemento (CARDOSO, 2012).

O que torna uma substância em uma base, ou substância alcalina, é sua dissociação iônica em contato com a água, este processo sendo denominado como força de base, podendo assim serem mais fracas ou fortes (CARDOSO, 2012). O processo dos alcalinizantes, de tornar uma substância ácida em uma substância alcalina, se dá pela adição de sais como o Carbonato de Cálcio para aumentar o processo hidrogênico e elevar o pH do meio para um valor acima de 8. As bases e sais são os componentes que atuam como alcalinizantes na correção de pH de soluções que estão com pH ácidos, tem como aplicações os solos, efluentes e outras variadas serventias. Os alcalinizantes são definidos como compostos capazes de proporcionar uma alcalinidade necessária para coagulação ou para o equilíbrio do carbonato de cálcio (OTTESTETTER *et al.*, 1971).

Para Cavalcante (2009) a neutralização da acidez em soluções é atingida por causa dos agentes alcalinizantes responsáveis, sendo eles: Cal (CaO), calcário (CaCO₃), soda cáustica (NaOH), carbonato de sódio (Na₂O₃), hidróxido de amônia (NH₄OH). Porém entre todos, a cal é o alcalinizante mais utilizado para neutralização de ácidos.

Há diferentes substâncias existentes que possuem efeitos alcalinizantes e são utilizadas para diferentes funções. Como o Aluminato de Sódio que possui efeitos de neutralizar acidez, mas que não é tão potente como o Hidróxido de Cálcio por exemplo que é mais otimizado. O Carbonato de Sódio, também possui ótimos efeitos de modificação de pH, além da sua capacidade para dissolução de sólidos (GUIDI, 2015).

Alguns estudos demonstram o uso de alcalinizantes para despoluição do solo, junto da utilização de cinzas provenientes da combustão de resíduos orgânicos. Pois devido ao seu alto teor alcalino, formado principalmente por Carbonato de Cálcio mencionado antes, apresentam grande efeito alcalinizante. Quando aplicados em solo ácido eles promovem um efeito de correção da acidez na alteração dos processos da troca de solos.

O que torna essas cinzas tão alcalinas, é devido a sua quantidade considerável de elementos como cálcio, fósforo e potássio, formam combinações químicas com caráter básico mais reativas, além de possuir um processo de sequestro de carbono, apresentando assim um pH entre 9 e 13. O Carbonato de Cálcio, a substância utilizada em conjunto com as cinzas com alto fator alcalino, é um derivado do Hidróxido de Potássio, que também possui aplicações

químicas e industriais para reatividade com ácidos.

As soluções com base de Hidróxido de Potássio são altamente alcalinizantes, deportando ácidos com facilidade. É utilizado por exemplo no eletrólito em baterias alcalinas baseadas em níquel-cádmio, níquel-ferro e dióxido de manganês-zinco, sendo preferido em relação a outros compostos por gerar soluções mais condutivas.

A utilização de tais compostos alcalinizantes é estendida para diferentes aplicações, desde a indústria até o meio de pesquisas laboratoriais (GUIDECHEM. 2010).

Segundo Peterson et al 2016, foi obtido uma caracterização por fluorescência de raio x das cinzas de eucalipto e concluiu que elas eram compostas predominantemente de CaO (40,10%) e SiO₂ (8,87%). Os autores também encontraram quantidades relevantes de óxidos de potássio (K₂O) e óxido de magnésio (MgO). Outros óxidos como o de alumínio, ferro, titânio, fósforo também estavam presentes nas cinzas, porém em quantidades menores. Explica Venquiaruto *et al.* (2016), que para a extração de compostos alcalinos das cinzas, normalmente realiza-se a extração em meio aquoso. Bem como, as bases e sais são os componentes que atuam como alcalinizantes na correção de pH de soluções, solos, efluentes etc. (OTTESTETTER *et al.*, 1971).

A neutralização da acidez em solução, conforme Cavalgante (2009), pode ser obtida pelos agentes alcalinizantes Cal (CaO), calcário (CaCO₃), soda caustica (NaOH), carbonato de sódio (Na₂CO₃), hidróxido de amônia (NH₄OH). Mas considera-se que o Cal (CaO) é o alcalinizante mais utilizado para a neutralização de ácidos (NUNE, 2001).

2.3.7 Aplicação de alcalinizante no tratamento de águas e efluentes

Uma importante abordagem é a de aplicação do extrato no tratamento de águas e efluentes, avaliando que em uma condição mais otimizada será produzido extrato em maior quantidade para a aplicação no tratamento de águas e efluentes. Com isso, se faz necessário uma comparação entre o tratamento convencional e substituição total ou parcial do alcalinizante e/ou do coagulantes comercial pelo extrato de cinzas. Serão usados parâmetros como cor e turbidez para a determinação da eficiência do tratamento de água. As análises citadas nesta etapa serão realizadas de acordo com as metodologias descritas por APHA (2012).

No processo de tratamento de efluentes é necessária uma etapa de mistura de coagulante ao efluente, ao qual necessita-se um pH controlado e uniforme que influencia diretamente no que se diz respeito a coagulação e floculação do tratamento químico (GUIDECHEM, 2010).

A coagulação é um processo que gera a desestabilização das partículas coloidais que se

encontra suspensas no efluente, decorrente de interações de ações físicas e químicas atuando no processo (DALMORA, 2021).

Destaca-se que a produção de um alcalinizante com o reaproveitamento de cinzas de caldeiras é uma ação sustentável e que proporciona a geração de um novo produto verde no mercado, abrangendo o escopo econômico no que se diz respeito ao reaproveitamento de resíduos, pois possuem maior potencial de benefícios de médio e longo prazo para o consumidor também. Assim, seu foco é o estudo para a utilização ou reutilização de cinzas e sua viabilidade técnica e econômica, discutindo tecnologias existentes para o processamento de cinzas.

2.4 Metodologia de projeto para novos equipamentos

Muitos dos problemas práticos são resolvidos utilizando com base em experiências anteriores, com resultados satisfatórios, mesmo com soluções simples. Porém, para projetos complexos na engenharia de um produto, é fundamental a escolha de procedimentos metodológicos e sistemáticos para se obter melhores soluções. Essas metodologias englobam todo o ciclo de vida de um produto, ao qual, vão desde a identificação de um problema, até sua solução final no desenvolvimento do projeto (PEREIRA, 2016).

Projetos que utilizam ferramentas de estudo de viabilidade técnica e econômica têm quase 2,5 vezes mais chances de sucesso, enquanto produtos dimensionados antes da construção, possuem mais de 3,3 vezes mais chances de sucesso. Dessa forma, as ferramentas da metodologia projetual são fundamentais para a boa execução de qualquer produto de engenharia (BAXTER, 1998).

Novos produtos devem ser desenvolvidos com grande atenção, pois, mais importante que o planejamento bem definido, é a análise de viabilidade do produto para aquilo que é demandado pelo mercado. A demanda sempre surgirá diante a uma carência do mercado ou a partir de uma nova ideia, introduzindo à execução de uma solução para suprir a necessidade, terminando com a reciclagem ou o descarte ambientalmente seguro (PAHL *et al.*, 2005).

Além de despertar interesse ao consumidor final, há a responsabilidade técnica e econômica por trás de tudo, logo é válido dizer que o desenvolvimento de um novo produto é considerado como um longo processo metodológico deve respeitar as suas diversas fases para se obter êxito contra falhas.

O desenvolvimento de produto é um conceito amplo que incluirá planejamento e projeto de forma conjunta e detalhada, ao qual, todas as atividades ao longo da sequência do processo, desde a pesquisa de mercado até sua descontinuação. Através deste conceito, pode ser entendido

como todo processo de transformação de informações necessárias para a identificação da demanda, a produção e o uso do produto (BACK *et al.*, 2008).

Para Baxter (2005), a atividade de desenvolvimento de um novo produto não é de realização fácil. Ela requer pesquisa, planejamento e controle metuculoso e principalmente adotar métodos sistemáticos”.

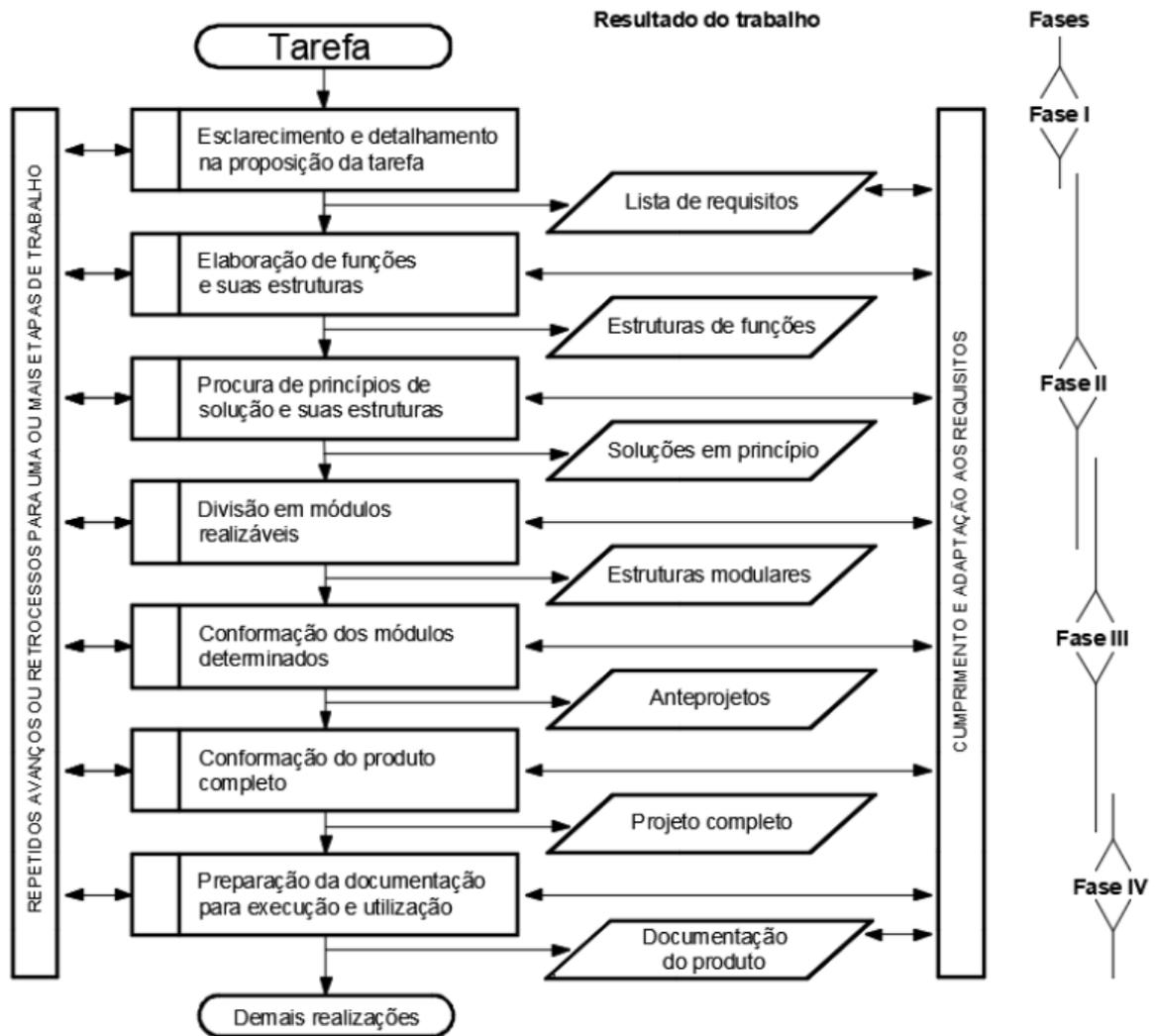
Conforme Filho (2008), é recomendável a utilização métodos de projeto que permita uma rapidez nas soluções, aliando sempre com uma equipe capacitada e criativa de projetistas que saibam analisar cada decisão dentro de um projeto.

Considerando todo o ciclo de desenvolvimento de um produto novo até chegar a sua comercialização, temos um árduo caminho desenvolvido por uma equipe multidisciplinar que vai desde pessoas ligadas à área de marketing e pesquisa de mercado, equipes dos diversos campos da engenharia (projeto, ferramentaria, produção etc.), suprimentos, logística (principalmente quando envolvemos aquisições de peças e componentes de outros países), departamento de custos, design etc. Conforme expressamos acima, dificilmente ocorrerá em um processo de desenvolvimento de produto para uma empresa, que o projeto seja desenvolvido por uma única pessoa ou engenheiro, e sim ele será encaminhado por um grupo de pessoas (NETTO, 2010).

Segundo Pahl *et al.* (2005), define que um método de projeto é um processo planejado que contém instruções específicas sobre o comportamento a ser seguido durante o desenvolvimento e projeto de sistemas de engenharia, resultantes do conhecimento no campo do projeto, psicologia cognitiva e experiencial de várias aplicações.

Na figura 9 é demonstrado as 4 fases do método projetual proposto por Pahl *et al.* (2005), dessas 4 etapas, cada uma delas, tem um planejamento para o produto bem definidos sendo elas:

Figura 7: Fluxograma do método de projeto de Pahl & Beitz



Fonte: Pahl, et al. (2005).

2.4.1 Planejamento do Projeto

O projeto informacional de Pahl e Beitz, também conhecido como "Projeto de Informação" ou "Concepção de Informação", é uma metodologia utilizada no desenvolvimento de produtos, que visa organizar e estruturar as informações relevantes para a concepção de um produto ou sistema. O projeto informacional envolve várias etapas, incluindo a identificação das necessidades e restrições do projeto, a geração de conceitos e alternativas de projeto, a seleção e avaliação desses conceitos, e a comunicação eficiente das informações relevantes entre os membros da equipe de projeto.

Conforme Back *et al.* (2008), o mais importante é definir a necessidade do projeto no ponto de vista do mercado e os requisitos para o mesmo, comparando com o já utilizado pelos

clientes ou a falta desse produto.

Para Pahl *et al.* (2005), O esclarecimento e a determinação das especificações, são extremamente necessários para obter um bom resultado na elaboração e na execução de um projeto.

2.4.2 Projeto conceitual

Segundo Back *et al.* (2008), o projeto conceitual estabelece a estrutura funcional do produto, definindo assim as principais soluções da estrutura e suas funcionalidades, assim é necessário dividir em partes para facilitar o projeto.

Para Pahl *et al.* (2005) é a fase do projeto que depois de explicado o problema, por isolamento dos problemas principais, a elaboração de estruturas da função e a busca de princípios de funcionamento adequados, junto com a sua combinação na estrutura de funcionamento, determina a solução preliminar da concepção e a definição de uma solução inicial. O projeto conceitual é composto das etapas:

- Concepção para identificação dos problemas essenciais;
- Estruturação de funções, função global e subfunções principais e secundárias;
- Procura de princípio de trabalho para atendimento das subfunções;
- Combinação dos princípios de trabalho para a estrutura de funções;
- Seleção de combinações apropriadas;
- Concretização de variantes de soluções de ideias;
- Avaliação segundo critérios técnicos e econômicos;
- Determinação de solução inicial.

2.4.3 Projeto do produto

Um projeto preliminar visa construir de maneira clara e completa a estrutura e funcionamento de um produto (PAHL *et al.*, 2005). As configurações da solução são definidas nessa fase, bem como, essa fase possui como principal premissa de que o projeto seja suficientemente delimitado e definido para que possa ser avaliado por todos os fatores que envolvem, desenvolvendo os critérios técnicos e econômicos para o funcionamento estrutural ou a solução básica. Essa fase pode ser utilizada na correção de falhas e na melhoria de projetos e produtos já existentes, não sendo exclusivamente para o desenvolvimento de novos produtos.

O Projeto do produto é composto das etapas:

- Avaliação e seleção de conceitos: Analisar os conceitos gerados com base em critérios pré-definidos, como viabilidade técnica, funcionalidade e usabilidade.
- Considerações de viabilidade: Avaliar a viabilidade técnica e econômica dos conceitos, considerando aspectos como materiais, processos de fabricação e restrições do projeto.
- Definição de parâmetros técnicos: Estabelecer os parâmetros técnicos necessários para o desenvolvimento do produto, como dimensões, especificações de desempenho e características funcionais.
- Tomada de decisões preliminares: Realizar decisões preliminares em relação a aspectos técnicos, como a seleção de materiais, métodos de fabricação e tecnologias a serem utilizadas no projeto.

2.4.4 Projeto detalhado

Segundo Pieritz Netto (2010), o detalhamento do projeto é a fase mais trabalhosa e deve ser bem especificado para otimizar os resultados do produto e reduzir eventuais equívocos, então, enquanto profissional de projetos, muita atenção e dedicação será necessário nessa etapa.

De acordo com Pahl *et al.* (2005), a etapa do detalhamento de um projeto possui determinações decisivas para o modelo e o dimensionamento de todas as peças.

O projeto detalhado de Pahl e Beitz busca garantir a elaboração dos documentos para a fabricação de peças e conjuntos, desenhos técnicos, procedimentos de montagem, manual de instruções, entre outros, são os principais pontos desta fase. Ele é essencial para orientar a etapa seguinte do desenvolvimento, que envolve a fabricação, a montagem e a entrega do produto final.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A extração do alcalinizante foi realizada em escala de laboratório e estudado variáveis como temperatura, agitação, tempo e quantidade de cinzas, utilizando o planejamento fatorial 2^{4-1} , sendo essa etapa a de otimização dos dados obtidos.

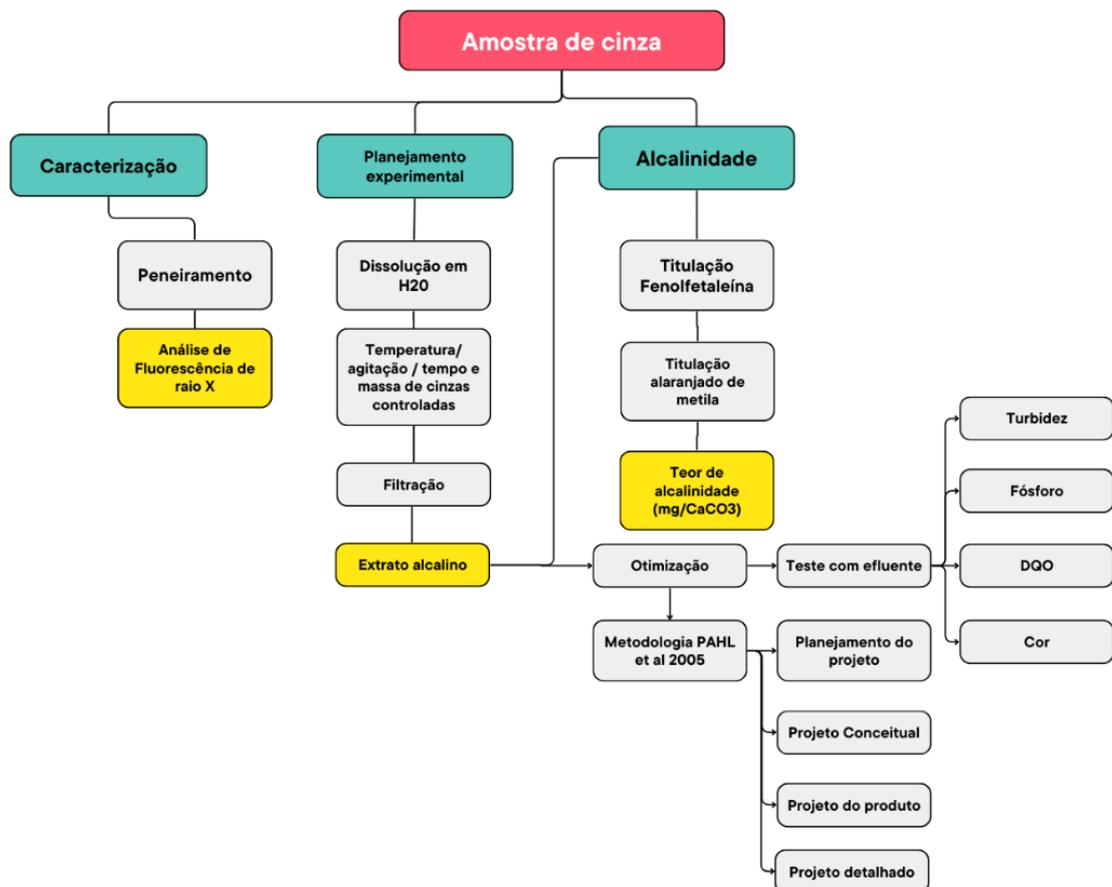
Com os pontos ótimos da extração do alcalinizante, será definido quais os dispositivos/variáveis importantes que padronizarão o processo de extração, sempre obtendo o mesmo resultado desejado para o alcalinizante.

O estudo fundamentalmente foi baseado na metodologia de Pahl *et al.* (2005).

3.1 Fluxograma do Processo

As etapas seguidas durante a metodologia estão ilustradas na Figura 8.

Figura 8: Fluxograma geral do processo



Através do fluxograma detalhado, é possível demonstrar as etapas sequenciais do processo de pesquisa que envolve a caracterização das cinzas, o planejamento experimental para otimização dos parâmetros utilizando o extrato alcalino e a obtenção de resultados comprobatórios da eficácia do alcalinizante à base de cinzas. Além disso, a partir da otimização dos parâmetros, é concebido o equipamento por meio de uma metodologia de projeto e desenvolvido o projeto do conceito, culminando no teste do alcalinizante em efluentes industriais.

3.2 Preparo da amostra

A coleta das cinzas de caldeira foi realizada em uma empresa frigorífica, localizada no estado do Rio Grande do Sul, a qual realiza a queima de cavaco de biomassa, que advém da árvore espécie *Eucalyptus*.

A amostra de cinza foi passada em peneira n° 200 (0,074 mm). Posteriormente foi encaminhada para caracterização química no espectrômetro da Universidade De Passo Fundo Campus de Soledade/RS. Esta amostra principal foi fracionada e direcionada para os testes de caracterização química e extração de alcalinizantes.

3.3 Caracterização Química

A caracterização química foi realizada pelo método de Espectrometria de Fluorescência de Raio X.

Para realização da caracterização foi criada uma pastilha com a amostra de cinza e acrescentado o aditivo Wax Panalytical®, na proporção de 9 g de cinzas para 1 g de aditivo, tal pastilha foi confeccionada em Prensa Manual Fluxana à 25 ton.

Então a pastilha foi colocada em porta amostra sendo utilizado para a análise o método Equa Oxides na programação do equipamento de Fluorescência de raios-X. Para obtenção da análise química semi-quantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo software Spectra EDX sem curva de calibração específica.

3.4 Extração de alcalinizantes

A extração de alcalinizante das cinzas foi feita pela dissolução das cinzas em água seguida de uma filtração. Deste extrato foram analisadas as variáveis que influenciaram na

alcalinidade, por meio de um Planejamento Fatorial fracionário. As amostras foram separadas de modo que possibilitaram analisar a influência da temperatura, da agitação, do tempo de reação e da quantidade de cinzas, buscando assim conhecer quais as condições que mais influenciaram na variável de resposta (alcalinidade). A Tabela 2 apresenta a matriz do planejamento fatorial fracionário (2^{4-1}).

Seguindo o planejamento fatorial (2^{4-1}) foram preparadas 8 amostras em duplicata, totalizando 16 ensaios em *Erlenmeyers* de 125 ml devidamente identificados, as interações das variáveis tempo, temperatura, agitação e massa de cinzas foram feitas conforme a matriz do planejamento fatorial da Tabela 2, e posteriormente o extrato obtido foi filtrado e realizada a aferição do pH do mesmo, como uma abordagem estatística através do DCCR.

Tabela 2: Matriz do Planejamento Fatorial (2^{4-1}) da preparação dos experimentos para extração do alcalinizante de cinza.

Experimento	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Agitação (rpm)	Massa de cinzas (g/100ml)
1	25 (-1)	90 (+1)	0 (-1)	10 (-1)
2	60 (+1)	25 (-1)	0 (-1)	20 (+1)
3	25 (-1)	90 (+1)	0 (-1)	20 (+1)
4	60 (+1)	90 (+1)	0 (-1)	10 (-1)
5	25 (-1)	25 (-1)	200 (+1)	20 (+1)
6	60 (+1)	25 (-1)	200 (+1)	10 (-1)
7	25 (-1)	90 (+1)	200 (+1)	10 (-1)
8	60 (+1)	90 (+1)	200 (+1)	20 (+1)

Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

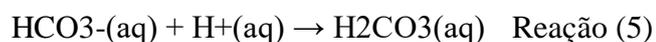
3.4.1 Determinação da Alcalinidade

A partir do extrato aquoso alcalino, foi realizada a determinação dos íons $[OH^-]$ e $[CO_3^{2-}]$, conforme já determinado por Venquiaruto *et al.* (2016). Para isso, foi realizada uma

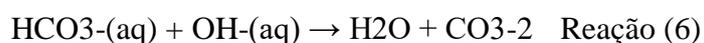
titulação ácida com solução padrão de HCl 0,5 mol.L-1, utilizando, sequencialmente, fenolftaleína e alaranjado de metila como indicadores, para cada amostra, totalizando 16 titulações com cada indicador. Durante a titulação com fenolftaleína, o HCl gasto (V1) foi consumido pelos íons hidroxila (OH-) e carbonato (CO3-2), para se transformar em bicarbonato (HCO3-), conforme apresentado nas reações 3 e 4.



Após esta primeira titulação foi realizada uma segunda titulação usando como indicador o alaranjado de metila. O volume de HCl gasto ($V_F - V_1 = V_2$) está associado aos íons de (HCO3-) que foram gerados conforme reação 5.



Os íons HCO3- também podem fazer parte da composição química da cinza. No entanto, em solução, na presença de íons hidroxila, eles são convertidos a carbonato, de acordo com a reação 6 (MACEDO, 2001 apud VENQUIARUTO et al (2016).



A próxima etapa foi a determinação dos íons hidroxila [OH-], que foi calculada pela diferença entre os volumes de HCl gastos nas titulações, conforme equação 1.

$$V_{\text{HCl}} = (V_1 - V_2) \quad \text{Equação (1)}$$

Para a determinação da [CO3 =] emprega-se o volume de HCl 0,1 mol L gasto empregando o alaranjado de metila como indicador (V2), multiplicado por 2:

$$V_{\text{HCl}} = (2 \times V_2) \quad \text{Equação (2)}$$

A alcalinidade das amostras calculadas é expressa em carbonato de cálcio, que é um padrão muito utilizado para determinar concentrações ácidas, será então calculada a alcalinidade parcial e total conforme Equações 3 e 4, respectivamente.

$$\text{CaCO}_3 = V1 * M * 100.000 / V_a \quad \text{Equação (3)}$$

Sendo: CaCO_3 = alcalinidade parcial do extrato aquoso de cinzas expressa em mg/L, V1 = volume gasto da titulação com fenolftaleína, M = molaridade do HCl, V_a = volume de amostra titulada e 100.000 é a massa fornecida pelo padrão de Carbonato de cálcio.

$$\text{CaCO}_3 = V2 * M * 100.000 / V_a \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo: CaCO_3 = alcalinidade total do extrato aquoso de cinzas expressa em mg/L, V2 = volume gasto da titulação com alaranjado de metila, M = molaridade do HCl, V_a = volume de amostra titulada e 100.000 é a massa fornecida pelo padrão de Carbonato de cálcio.

A alcalinidade das cinzas está vinculada à presença de bicarbonatos, carbonatos e, principalmente, óxidos de metais alcalinos, em sua composição. Esses compostos são gerados durante a queima de combustíveis, neste caso da queima da madeira.

3.5 Tratamento de efluente de laticínio

3.5.1 Tratamento Físico-químico

A coleta do efluente foi realizada em um laticínio localizado na Região Norte do Estado do Rio Grande do Sul, sendo ainda um efluente bruto, ou seja, sem receber nenhum tipo de tratamento.

Foi utilizado a flocculação como tratamento físico-químico, sendo empregado 300 ml de amostra de efluente bruto em cada. Foi medido o pH inicial elevando-o até o ponto ótimo (pH=10), sendo uma das amostras somente com a soda caustica 40% e as outras amostras com diferentes concentrações de alcalinizante líquido a base de cinzas. Quando chegou a um pH bom para coagulação, foi adicionado o coagulante, com o bastão de vidro, foi feito inicialmente

30 segundos de agitação rápida e posteriormente agitação lenta por 1 minuto até acontecer a floculação. Após descanso de uma hora e meia, foi filtrado com funil e algodão, assim, feito as análises para observar a remoção dos contaminantes. Todos esses dados apresentados na Tabela 4 para cada ensaio. A Quantidade da amostra utilizada para os ensaios de jar test foi de 300 ml.

Tabela 3: Condições experimentais

Medição/aplicação	Ensaio padrão	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
pH inicial	4,85	4,86	4,9	4,91
Alcalinizante	0	0,8	27	5,5
Cinzas (ml)				
pH corrigido	11,09	9,19	9,7	9
Concentração do Coagulante - Pac (mg/L)	1930	965	965	482
pH final	6	5,8	6,26	4,83
Concentração de Hidróxido de sódio (mg/L)	1600	4000	0	800

Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

3.5.2 Caracterização físico-química do efluente

Foi seguida a metodologia descrita em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Sendo analisados os seguintes parâmetros: DQO e fósforo total, turbidez e cor.

Para o efluente tratado foi empregada a metodologia descrita em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Sendo avaliados os seguintes parâmetros: pH, DQO, turbidez, fósforo total, pelos mesmos métodos do efluente bruto.

3.5.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO foi analisada conforme o método 5220 D descrito no APHA (2012). Para chegar aos valores de DQO das amostras, utilizou-se a equação da reta, obtida a partir da curva padrão concentração versus absorvância de uma amostra com concentrações conhecidas.

3.5.4 Fósforo total

A determinação do fósforo total foi realizada conforme método 4500 E (APHA,2012). Para chegar aos valores de fósforo total presente nas amostras utilizou-se a equação da reta, obtida a partir da curva padrão de uma solução de concentração conhecida versus absorvância.

3.5.5 Cor

A determinação da cor aparente foi utilizado o método 2120B de acordo com Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 22th ed.

3.5.6 Turbidez

Determinação de turbidez pelo método nefelométrico conforme método 2130 B do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th ed.

3.6 Metodologia de desenvolvimento de projeto

O desenvolvimento do equipamento tem como foco a metodologia de Pahl *et al.* (2005), onde o desenvolvimento de projeto é seguido de quatro fases que tem como objetivo atender as demandas conceituais e mecânicas do produto.

3.6.1 Planejamento do projeto

Conforme descrito no Quadro 1, não há uma patente de dispositivo capaz de fazer o processo da valoração de cinzas de fundo de caldeira em um extrato alcalino aquoso, o reaproveitamento desse material se dá de outras formas.

Ao mesmo tempo que a indústria utiliza alcalinizantes químicos principalmente a base

de hidróxido de sódio NaOH, também conhecido como soda cáustica, e as cinzas da caldeira são descartadas gerando despesa, o projeto da máquina de valoração dessas cinzas é totalmente novo e tem o objetivo de ser utilizado como uma novidade no setor principalmente frigorífico, ao qual foi visto uma oportunidade para esse projeto.

Dito isto, através do estudo das variáveis principais, é desenvolvido nessa fase inicial com quais variáveis deve-se trabalhar e de que forma impactará na dificuldade do projeto e da fabricação futura, isso é definido através da otimização do alcalinizante, que demonstra a ordem de importância das variáveis. Portanto, sabe-se que deverá haver agitação mesmo que constante, um tempo controlado devido ao contato da água com as cinzas, como também a quantidade de cinzas em relação ao volume de água como fator importante, e a facilitação de não haver a necessidade de controlar a temperatura, foi dado o início do que seria as primeiras ideias do dispositivo através da segunda fase (projeto conceitual).

Os requisitos de projeto podem variar dependendo do contexto, da indústria e do tipo de projeto em questão. A metodologia de Pahl and Beitz fornece um conjunto de diretrizes para auxiliar no processo de definição e priorização dos requisitos, mas sua aplicação específica dependerá da natureza do projeto em si.

Requisitos do usuário: Esses requisitos descrevem as necessidades, expectativas e restrições dos usuários finais em relação ao produto ou sistema a ser desenvolvido.

Requisitos funcionais: Esses requisitos descrevem as funcionalidades e recursos que o produto ou sistema deve ter para atender às necessidades dos usuários. Eles são identificados com base nos requisitos do usuário e ajudam a definir as principais tarefas que o produto deve executar.

Requisitos técnicos: Esses requisitos dizem respeito às restrições técnicas e limitações que devem ser consideradas durante o projeto. Eles podem incluir requisitos de desempenho, requisitos de segurança, restrições de custo, requisitos de materiais, entre outros.

Requisitos de produção: Esses requisitos estão relacionados ao processo de produção do produto ou sistema. Eles incluem restrições de fabricação, considerações de montagem.

Requisitos legais e normativos: Esses requisitos se referem às leis, regulamentos e normas técnicas que devem ser atendidos pelo produto ou sistema.

3.6.2 Projeto conceitual

De acordo com Pahl et al. (2005), é difícil encontrar uma solução para uma função global que transforme diretamente a entrada na saída desejada. Portanto, o autor propõe que a

função geral seja decomposta em funções mais simples, subfunções e até funções elementares sucessivamente, para que seja fácil encontrar uma solução.

3.6.2.1 Elaboração da função global

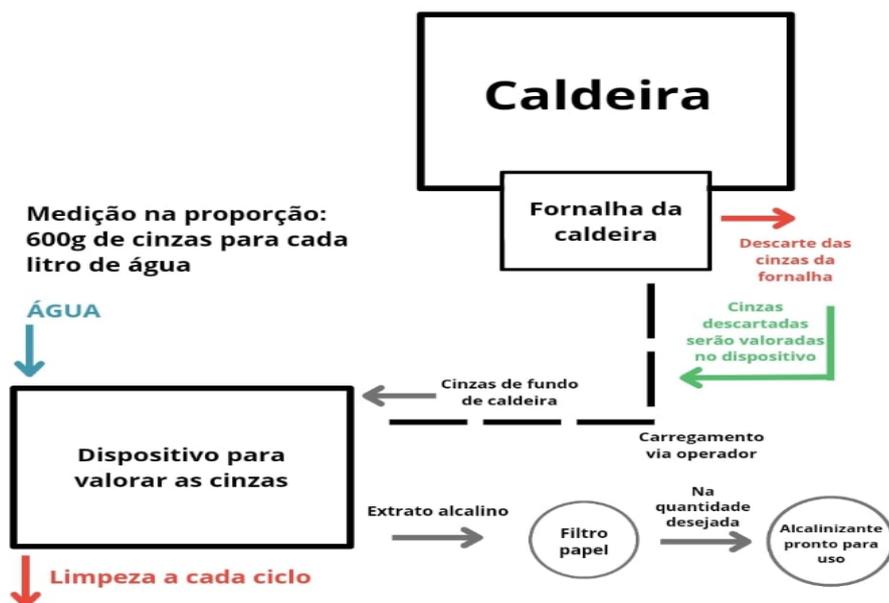
A estrutura da função global deve ter variáveis de entrada e saída, conversão e transformação para definir a função global do dispositivo. Esta função deve ser o mais simples possível para criar um sistema eficiente e viável do ponto de vista econômico, financeiro e operacional (PAHL *et al.*, 2005).

A elaboração da função global do dispositivo se dá através do estudo de transformar a cinza de fundo de caldeira em um produto útil para a própria indústria, no caso o alcalinizante a base de cinzas de eucalipto, para isso, foi preciso pensar além da otimização do extrato alcalino e de como seria o equipamento, mas também o formato global do processo, desde a coleta dessas cinzas na fornalha da caldeira, até o emprego do extrato alcalino pós processamento na máquina do projeto.

Na figura 13 é exemplificada a função global do processo do alcalinizante de cinzas de fundo de caldeira. O processo leva em conta que o operador recolherá as cinzas pesadas de fundo da fornalha, então da parte que seria descartada totalmente, uma fração será levada para o dispositivo próximo a caldeira, então será feita a medição com balde medidor, colocando a proporção de 600 gramas de cinzas para cada litro de água como é mostrado na tabela 8, acionar o tempo e a rotação do misturador no CLP, terminado o ciclo, retirar o extrato alcalino através do bocal de saída, filtrar em filtro de papel na quantidade desejada e estará pronto para uso na indústria o alcalinizante, seguidamente da limpeza através do bocal para novo ciclo.

A configuração da função global pode ser verificada na figura 9 a seguir:

Figura 9 - Função global do processo.



Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

3.6.2.2 Elaboração das subfunções

Depois da elaboração da função global, ela foi desmembrada em subfunções que tiveram como objetivo atender e garantir a função global e a compatibilidade com as soluções experimentadas. Para o projeto do equipamento foram definidas as seguintes subfunções:

a) Sistema de despejo de cinzas de fundo de caldeira: duas possibilidades foram pensadas para o despejo das cinzas no tacho, calha autolimpante (em ângulo) e uma calha reta.

b) Material do equipamento: Para o material do equipamento foram levantadas duas opções, uma estrutura em aço carbono e uma estrutura em aço inoxidável.

c) Dosador da quantidade de cinzas: esse dosador é pensando para o controle da quantidade de cinzas, pois, um dos parâmetros a serem controlados é a quantidade de água e de cinzas para produzir o extrato alcalino, sendo eles: Automático, manual via escotilha, Operador dosar antes do equipamento.

d) Tipo do misturador: O misturador é um homogeneizador da mistura água e massa de cinzas, sendo as opções: Pás verticais atreladas a um eixo e Anel com braços misturadores.

e) Estrutura da máquina: A estrutura deve suportar todo o peso e a vibração de trabalho da máquina em funcionamento, com duas opções sendo a opção 1: Estrutura com cavaletes e pés niveladores e a opção 2: Estrutura com pé estrutural, pé intermediário e travessas e reforços.

f) Sistema de limpeza: Quando o ciclo da produção do alcalinizante termina, para a

próxima produção é necessário a limpeza do sistema, com isso a limpeza com água corrente do filtro e do tacho. A saída do sistema de limpeza foram pensadas em: Limpeza mecânica via cano 90° e expurgo na chapa frontal e a opção de forma mecânica via tubo conexão de limpeza rosqueado no fundo do tacho.

g) Sistema de controle do tempo e rotação do agitador: O controle do tempo da cinza em contato com a água e a rotação do eixo foram pensadas em trabalhar juntas, quando estiver atingido o tempo a máquina deve parar a agitação e logo remover o extrato alcalino. Com isso, esse controle poderá ser utilizado de maneira manual, com acionamento individuais ou por sistema de CLP que poderá ser criado um controle programável podendo vir a monitorar o equipamento a distância com alerta de que o extrato está quase pronto.

No quadro 3 demonstra de forma simples essas concepções citadas a seguir:

Quadro 3 - Concepções alternativas para o desenvolvimento do equipamento.

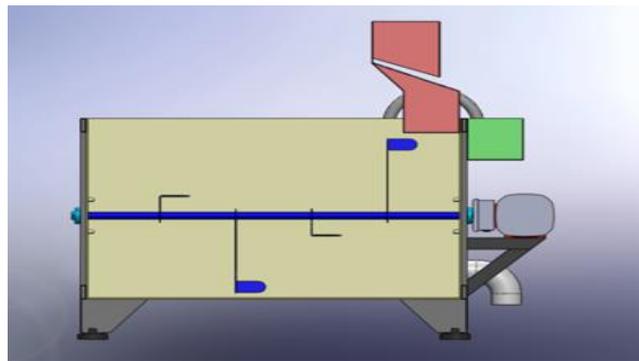
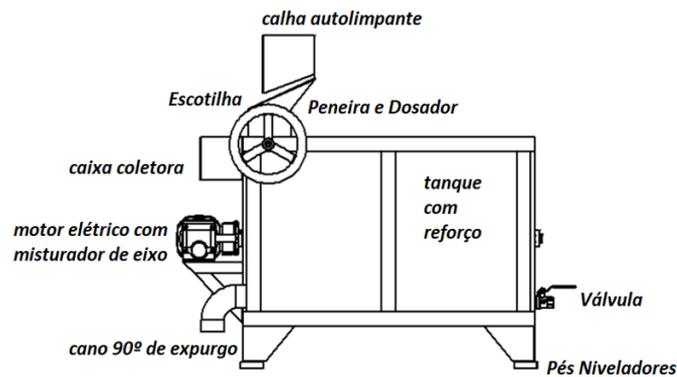
Subfunções	Opção 1	Opção 2	Opção 3
Sistema de despejo de cinzas de fundo de caldeira	Calha Reta	Calha autolimpante	
Material do equipamento	Aço	Aço inoxidável	
Dosador da quantidade de cinzas	Automático	Manual via escotilha	Operador dosar antes do equipamento.
Tipo do misturador	Pás verticais atreladas a um eixo	Anel com braços misturadores	
Estrutura da máquina	Estrutura com cavaletes e pés niveladores parafusados ao tacho.	Estrutura com pé estrutural, pé intermediário e travessas e reforços estruturais, todas uniões soldadas entre si e ao tacho.	
Sistema de limpeza	Mecânico via cano 90° e expurgo na chapa frontal.	Mecânico via tubo conexão de limpeza rosqueado no fundo do tacho.	
Sistema de controle do tempo e rotação do agitador	CLP	Manual	

Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

As subfunções foram desenvolvidas para auxiliar no projeto das partes do equipamento. Com variantes entre as opções de projeto, foram desenvolvidos a partir do estudo, para chegar a escolha final do conceito.

Na figura 10 ilustra essas ideias iniciais, ao qual se utilizava uma variante com Calha reta, substituída no croqui por calha autolimpante, tipo do misturador, dosador, estrutura da máquina, sistema de limpeza e sistema de controle todos na opção 1 (primeira variante).

Figura 10 – Croquis com variantes de subfunções



Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

No Quadro 4, demonstra o resultado das opções que cada subfunção teria, assim, escolhidas para o andamento definitivo do projeto.

Quadro 4 - Resumo da concepção escolhida.

Variante		Concepção
1	Sistema de despejo de cinzas de fundo de caldeira	Calha autolimpante
2	Estrutura do equipamento	Aço inoxidável (AISI 304)
3	Dosador da quantidade de cinzas	Operador dosar antes do equipamento.
4	Tipo do misturador	Anel com braços misturadores
5	Estrutura da máquina	Estrutura com pé estrutural, pé intermediário e travessas e reforços estruturais, todas uniões soldadas entre si e ao tacho.
6	Sistema de limpeza	Mecânico via tubo conexão de limpeza rosqueado no fundo do tacho.
7	Sistema de controle do tempo e rotação do agitador	CLP

Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

Concepção da escolha do quadro 4 explicada:

- 1- O Sistema de despejo das cinzas é a calha autolimpante, ao qual funcionando como um filtro para os cavacos e lenha não queimada não entrar na máquina e deformar os misturadores, como está feita em ângulo, o que não passar na peneira cairá fora do tacho.
- 2- O material mais utilizado do equipamento será em aço inox, comumente usados para esse tipo de aplicação em máquinas o AISI304. Pois, se feito em aço carbono precisará de um revestimento superficial para evitar a corrosão, logo, o Inox não ocorre problemas com corrosão, como a máquina pode ficar em ambientes úmidos e não necessariamente em uma sala de máquinas e sim ao relento, a corrosão deve ser evitada com um material de melhor qualidade, mesmo os custos aumentando.
- 3- A dosagem da quantidade de cinzas será feita pelo operador, como controlar a quantidade de água e cinzas seria mais custoso ao projeto, uma tarefa simples de ser feita pelo operador, alimentar o necessário respeitando sempre as 600 gramas de cinzas para cada litro de água.

- 4- O tipo do misturador será mais fácil de fabricar com modelos já existentes no mercado meio do formato de anel com braços misturadores, por já existir esse tipo de misturador na indústria alimentícia que trabalham com esse tipo de consistência.
- 5- Estrutura muito mais firme utilizando mais travessas entre os apoios laterais e centrais como a solda em todas as uniões, resistindo todo o trabalho e peso da máquina, com isso, não necessitando de pés niveladores, que são de alto custo.
- 6- Sistema de limpeza será feito através de tubo de conexão na forma mecânica, com o desenho do tacho facilitando a saída pelo fundo do mesmo retirando o tampão para a facilidade da limpeza.
- 7- Sistema de controle do tempo e rotação do agitador: controle via CLP, para poder controlar as variáveis de rotação dos agitadores e o tempo de agitação através de um temporizador, assim ter precisão do tempo do contato da massa de cinzas com a água, avisando o operador para retirar o extrato alcalino.

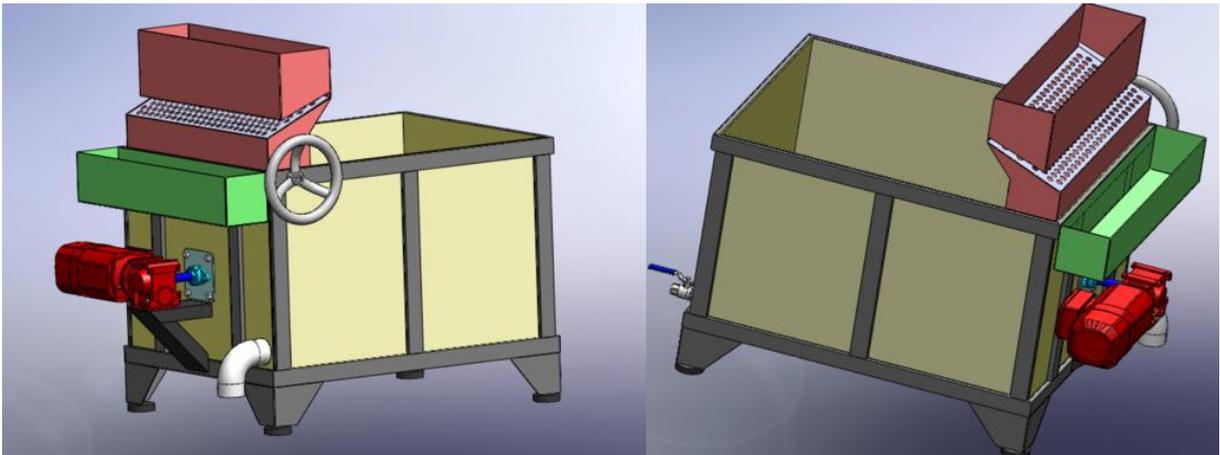
3.6.3 Apresentação do conceito

A apresentação do conceito visa estabelecer de forma clara e completa a estrutura e o funcionamento do produto (PAHL *et al.*, 2005). Esta fase pode ser usada para corrigir falhas e repensar os projetos. Assim, é possível fazer uma revisão e seleção dos layouts, dos materiais abordados e a avaliação do dimensionamento.

Na Figura 11 é demonstrado os primeiros desenhos em CAD do projeto, de uma forma mais rústica, com as ideias das primeiras fases formadas, focou-se nas tentativas através do desenho mecânico.

A ideia desta variante era o operador despejar as cinzas na calha autolimpante com dosador, com isso abrir a escotilha e contar o tempo até o misturador (pás verticais) homogeneizar a quantidade de cinzas com a água, concluída a etapa, desliga-se o motor elétrico manualmente, retirando o extrato alcalino pela válvula globo na parte de trás do equipamento. Com isso o processo de limpeza se daria retirando o tampão do cano 90° de expurgo, com lavagem manual do fundo do tacho.

Figura 11 – Primeiros croquis do dispositivo.



Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

Foi seguido esse Layout definitivamente, porém com algumas mudanças significativas durante o processo. As principais diferenças foram no eixo e nos agitadores, assim como nos sistemas de limpeza e a parte de sustentação estrutural e de material do equipamento.

3.6.4 Projeto detalhado

O projeto detalhado é a parte final da metodologia, ao qual todas as outras fases já foram aceitas pela equipe de projeto, onde o principal, é demonstrar todos os desenhos e especificações do projeto para a fabricação. Com isso, através do programa Solidworks todas as peças e suas montagens estão prontos para serem fabricados, através do recurso do CAD na aba anotação, foi possível detalhar as cotas e dimensionamentos com suas tolerâncias necessárias e as informações gerais do projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Extrato Alcalino

A Tabela 4 apresenta os resultados de pH final, alcalinidade parcial e total para o Planejamento Fatorial Fracionário 2^{4-1} para as variáveis de estudo tempo de agitação, velocidade de agitação, quantidade de cinzas e temperatura.

O extrato da cinza apresentou elevados resultados de pH variando de 11,36 a 13,70. Para que uma substância seja considerada alcalina é necessário que seu pH esteja acima de 7,0 e o quanto mais próximo de 14,0 mais básico será. Desta forma, podemos observar que o extrato mostrou-se altamente alcalino, devido aos seus valores de pH.

De acordo com Vaske (2012) e Dalmora (2021), as cinzas apresentam em sua composição óxidos de sódio, potássio, cálcio e magnésio que tem potencial de elevar o pH do extrato de cinzas através da formação em meios aquosos dos seus respectivos hidróxidos.

O mesmo comportamento foi observado para a alcalinidade parcial e total. A presença de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos dos metais citados acima, podem explicar os elevados valores para estes parâmetros.

As altas concentrações de OH^- são provenientes dos hidróxidos que se formam no extrato devido a reação entre o CaO , presente majoritariamente nas cinzas (Tabela 1), e a água acrescentada para obtenção do extrato. Os óxidos de potássio, sódio e magnésio também podem ter contribuído para este comportamento. De acordo com Borlini et al. (2005), as concentrações de óxidos de cálcio, magnésio, potássio e sódio são de 32,6%, 7,2% e 7% e 2,4% respectivamente.

Tabela 4: Resultados obtidos para variáveis de resposta pH, OH⁻ e alcalinidade total e parcial das cinzas

Exp	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Agitação (rpm)	Massa de cinzas (g/100ml)	pH	OH ⁻ (mol/L)	Alcalinidade Parcial (mg CaCO ₃ /L)	Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)
1	25 (-1)	90 (+1)	0	10 (-1)	11,78(0,24)	0,006 (0,0)	4 400(494)	5 850(1414)
2	60 (+1)	25 (-1)	0	20 (+1)	13,60(0,14)	0,410(0,13)	15 500(2474)	24 750(1767)
3	25 (-1)	90 (+1)	0	20 (+1)	13,35(0,17)	0,232(0,0)	16 950(2970)	24 325(459)
4	60 (+1)	90 (+1)	0	10 (-1)	13,21(0,07)	0,156(0,0)	9 900(1060)	15 000(4950)
5	25 (-1)	25 (-1)	200	20 (+1)	11,52(0,22)	0,003(0,0)	6 425(247)	7 150(141)
6	60 (+1)	25 (-1)	200	10 (-1)	12,18(0,43)	0,0185(0,0)	5 975(460)	7 350(353)
7	25 (-1)	90 (+1)	200	10 (-1)	12,40 (0,17)	0,026(0,0)	5 800(1979)	8 125(671)
8	60 (+1)	90 (+1)	200	20 (+1)	13,20(0,17)	0,162(0,0)	10 450(6081)	12425(5762)

Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

Para a concentração de íons hidroxila, observou-se que a massa de cinzas, a agitação e o tempo apresentaram efeito significativos, sendo efeitos positivos para massa de cinzas e tempo e negativo para agitação. A temperatura não apresentou efeito significativo na resposta deste parâmetro.

O aumento da massa de cinzas provocou o aumento da concentração de OH^- . Este comportamento se justifica pois o aumento da quantidade de cinzas aumentou a quantidade dos óxidos metálicos no meio.

O aumento da agitação, ao contrário do que se esperava, diminuiu a concentração dos íons hidroxila no extrato. Sabe-se que a agitação é importante em sistemas onde um componente sólido, como as cinzas, e um extrator líquido está presente.

O aumento do tempo provocou o aumento da concentração de OH^- , indicando que a solubilização dos óxidos presentes nas cinzas é dependente do tempo de contato entre o líquido e a massa sólida.

O efeito não significativo da temperatura pode ser explicado pela alta solubilidade dos hidróxidos de sódio e potássio, provavelmente presentes no extrato e com alta eficiência de extração, independente da temperatura utilizada.

Observa-se que é a massa de cinzas que gera os maiores efeitos sobre a alcalinidade do extrato, confirmando assim o que teoricamente já era esperado. Aumentando a massa de cinzas, aumentamos também a quantidade carbonatos e bicarbonatos presentes no extrato, e conseqüentemente sua alcalinidade

A alcalinidade está associada principalmente a presença de carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio, os quais apresentam baixa solubilidade, quando comparado aos carbonatos e bicarbonatos de sódio e potássio. Desta forma, entende-se que o tempo de extração utilizado nesta pesquisa tenha atingido o limite para a solubilização de tais componentes.

O efeito não significativo da temperatura pode ser explicado pelo comportamento da curva de solubilidade dos sais. Os carbonatos de cálcio e magnésio apresentam diminuição da solubilidade com o aumento da temperatura, o que não acontece com os mesmos compostos de sódio e potássio. Este efeito não foi considerado negativo, uma vez que a necessidade de elevar a temperatura num processo de extração em escala industrial dificulta e onera a construção de um equipamento para este fim.

Na tabela 5 ilustra os resultados dos parâmetros dos extrato das cinzas.

Tabela 5 – Resultados totais dos parâmetros do extrato alcalino

Fatores	Concentração de OH ⁻ (mol/L)		Alcalinidade parcial (mgCaCO ₃ /L)		Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	
	p	EFEITO	p	EFEITO	p	EFEITO
TEMPO (min)	0,0149	0,1196	0,1417	3518	0,3539	5812
TEMPERATURA (°C)	0,4149	0,035	0,1247	3693	0,6850	-4525
AGITAÇÃO (rpm)	0,0044	0,1482	0,0023	-8718	0,3431	2700
MASSA (g/100ml)	0,0041	0,1494	0,0039	8081	0,0007	2062

Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

Com vistas a otimização do processo, optou-se por retirar do planejamento a variável temperatura (mantida em temperatura ambiente de 25°C), manter a agitação, só que em um nível inferior de grandeza (160 rpm), e aumentar os níveis das variáveis tempo e massa de cinzas em busca das condições ótimas de extração do alcalinizante.

4.2 Otimização do Alcalinizante

A Tabela 6 apresenta os resultados de concentração de OH⁻ e alcalinidade parcial e total para o primeiro DCCR utilizado.

Tabela 6: Resultados do DCCR executado.

Experimento	Tempo(mim)	Massa de cinzas (g/100ml)	pH	AlcalinidadeParcial(mg de CaCo3/ml)	Alcalinidade Total (mg de CaCo3/ml)
1	70 (-1)	35	13,4	13100	14000
2	70 (-1)	60	13,49	16300	16900
3	100,0 (+1)	35	13,36	11600	12000
4	100,0 (+1)	60	13,5	16200	16900
5	64 (-1,41)	47,5 (0)	13,38	13200	13700
6	106 (+1,41)	47,5 (0)	13,48	15200	15800
7	85 (0)	30,2 (-1,41)	13,31	12200	12900
8	85 (0)	65,0(+1,41)	13,43	14700	15100
9	85 (0)	47,5 (0)	13,48	16000	16700
10	85 (0)	47,5 (0)	13,46	15500	16300
11	85 (0)	47,5 (0)	13,49	15000	15600

Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

Na tabela 7 é retratado os valores de p e efeitos para o ensaio.

Tabela 7: Valores de p e efeitos para o ensaio.

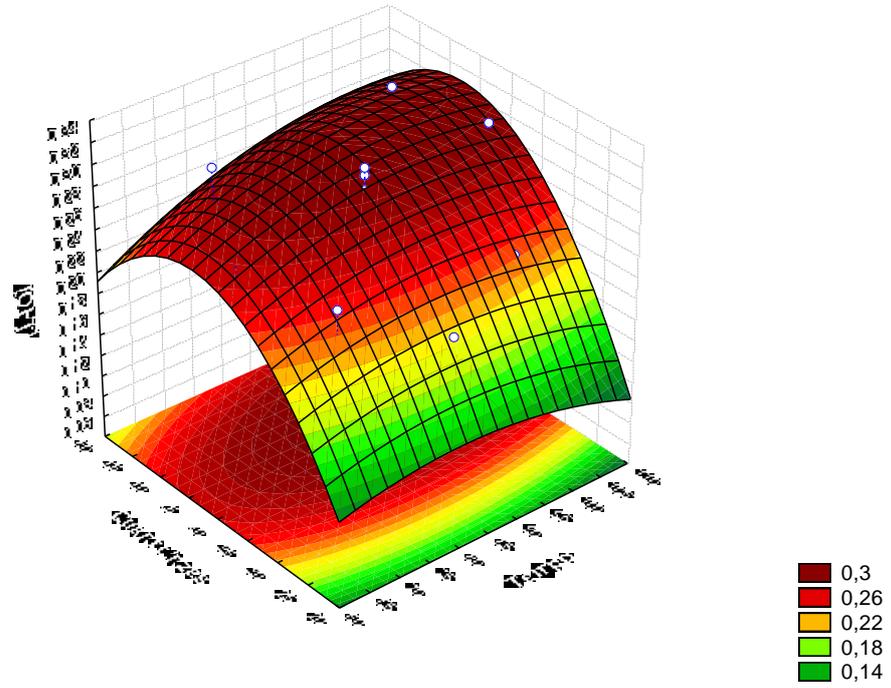
Respostas	OH ⁻		Alcalinidade Parcial		Alcalinidade Total	
	valor p	Efeito	valor p	Efeito	valor p	Efeito
TEMPO (L)	0,33	0,018	0,70	307	0,78	242
TEMPO (Q)	0,42	-0,017	0,28	-1062	0,29	-1162
MASSA (L)	0,017	0,059	0,013	2833	0,02	2727
MASSA (Q)	0,05	0,051	0,09	-1812	0,11	-1912

Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

A partir da análise estatística do ensaio definiu-se seguir com a otimização aumentando as variáveis tempo e quantidade de cinzas, no entanto com pontos axiais acrescidos, observou-se com uma quantidade maior de cinzas em relação a água ficou inviável a agitação e obtenção de resultados confiáveis. Desta forma, optou-se pelo experimento 4 que tinha como 100min de agitação e massa de cinzas de 60g/100ml. Esta condição foi utilizada para produzir o alcalinizante em escala maior para os experimentos de tratamento físico-químicos apresentados na sequência do trabalho.

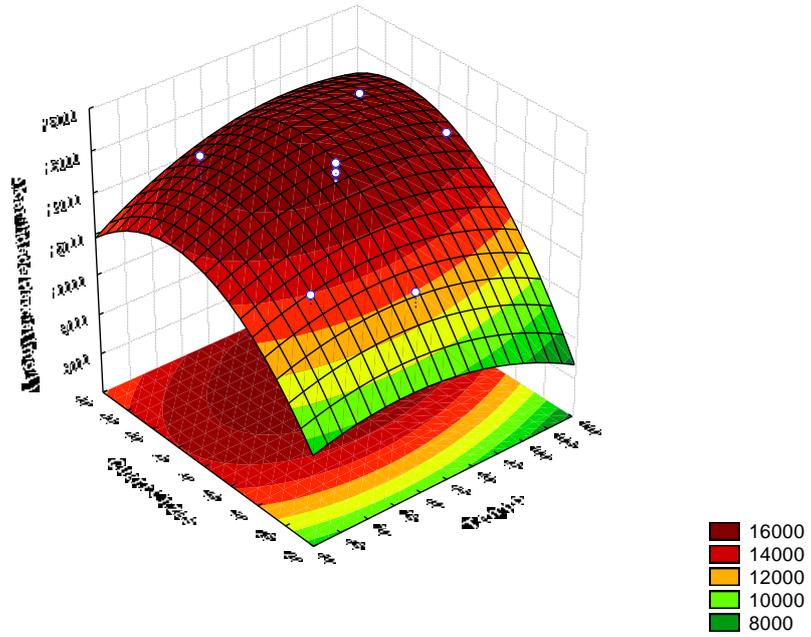
As Figuras 12, 13 e 14 apresentam as superfícies de resposta para a concentração de OH⁻, alcalinidade parcial e total, respectivamente.

Figura 12: Resultados de OH- em gráfico 3D



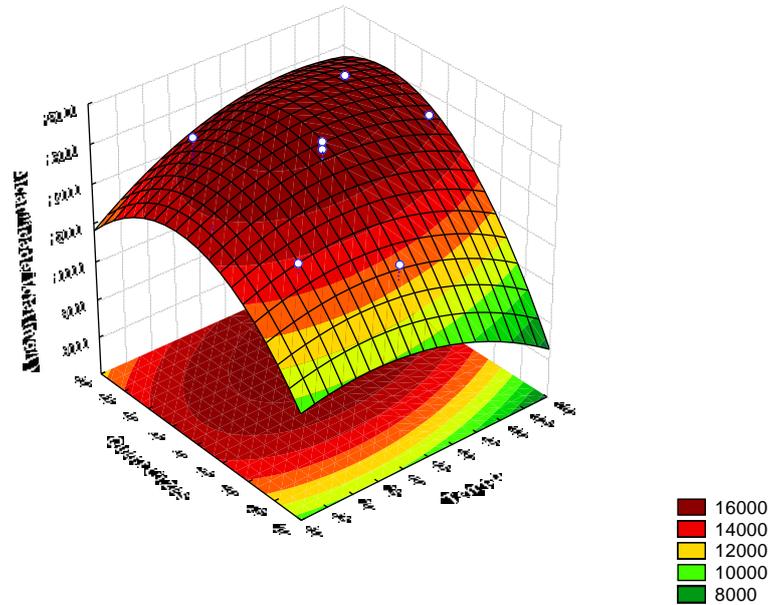
Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

Figura 13: Resultados da alcalinidade parcial em gráfico 3D



Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

Figura 14: Resultados da alcalinidade total em gráfico 3D



Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

4.3 Tratamento do efluente

As Tabelas 8 e 9 apresentam os resultados do tratamento físico-químico do efluente bruto de laticínios nas diferentes condições estudadas. A Tabela 8 refere-se aos resultados para DQO e fósforo, enquanto que a Tabela 9 a turbidez e cor.

Tabela 8: Resultados do processo de flodecantação para DQO e Fósforo

Ensaio	DQO		Fósforo	
	Conc. (mg/L)	Remoção (%)	Conc. (mg/l)	Remoção (%)
Bruto	4994	0	15,08	0
Ensaio 2	1961 ^a	60,72	0,83 ^a	94,50
Ensaio Padrão	2182 ^b	56,30	2,68 ^b	82,20
Ensaio 1	3965 ^a	20,61	1,13 ^a	92,53
Ensaio 3	1557,02 ^c	68,82	3,36 ^c	77,70

Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

Os resultados para remoção de carga orgânica (DQO) mostraram que, independente do tratamento utilizado, houve remoção. Quando comparamos o ensaio padrão com o ensaio 2 é possível concluir que o alcalinizante a base de cinzas também funcionou como coagulante. O Ensaio Padrão utilizou 1930mg/L de coagulante enquanto o Ensaio 2 utilizou 965mg/L e 27mL de alcalinizante de cinzas. Isto pode ser explicado pela presença do cálcio e magnésio, que são íons bivalentes e tem propriedades coagulantes.

Se considerarmos que o limite da legislação para lançamento em recurso hídrico (Consema 355/2017) para DQO é de 360mg/L, nenhum dos tratamentos atingiu este limite. Isto indica a necessidade de tratamento complementar. O tratamento físico-químico remove material coloidal, portanto a DQO remanescente deve estar associada a matéria orgânica solúvel, como a lactose e proteínas solúveis.

O comportamento dos tratamentos em relação a remoção de fósforo mostrou que a adição de alcalinizante de cinzas potencializou a remoção deste poluente. Os coagulantes a base de alumínio como o PAC quando acrescidos de sais de cálcio elevam a remoção de fósforo, o que de fato ocorreu nos tratamentos.

Se considerarmos que o limite da legislação para lançamento em recurso hídrico (Consema 355/2017) para fósforo é de 4mg/L, todos os tratamentos atenderiam este padrão.

Um dos desafios do tratamento de efluentes de laticínios é a remoção de fósforo. O sistema convencional de tratamento utiliza processo físico, flocculação, processo biológico e pós tratamento novamente com flocculação. Os resultados desta pesquisa nos permitem inferir que o alcalinizante de cinzas poderia ser utilizado também no pós tratamento para a remoção de fósforo em efluente de laticínios, conforme observado por DALMORA (2021).

Os resultados de turbidez e cor também foram analisados do tratamento do efluente, descritos na tabela 9.

Tabela 9: Resultados do processo de flocculação para Cor e turbidez.

Ensaio	Turbidez		Cor	
	Média	Remoção (%)	Média	Remoção (%)
Bruto	48,5	0	175	0
Ensaio 2	4,95 ^a	89,8	59 ^c	66,3
Ensaio Padrão	32,5 ^c	33	20 ^a	88,5
Ensaio 1	0,4 ^a	99,2	29 ^b	83,4
Ensaio 3	26 ^b	46,4	131 ^d	25,1

Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

A cor e a turbidez indicam a clarificação num processo físico-químico. Para todos os tratamentos utilizados foi observado esta clarificação do efluente. A adição do alcalinizante de cinzas melhorou este processo de clarificação. Cabe ressaltar que para o parâmetro cor, nota-se que o efeito de clarificação não foi tão expressivo uma vez que o próprio alcalinizante tem coloração amarelada, a qual permaneceu no efluente tratado.

O alcalinizante de cinzas demonstrou ser tão eficaz quanto o hidróxido de sódio no tratamento do efluente lácteo para a remoção de fósforo, DQO, turbidez e cor. No entanto, foram necessárias doses maiores de alcalinizante de cinzas para conseguir resultados compatíveis com o hidróxido de sódio, isso devido a maior pH e alcalinidade do hidróxido de sódio utilizado. Porém, há excelente performance do alcalinizante de cinzas no tratamento do efluente de laticínio. O ensaio 1 mostrou que a mistura do alcalinizante de cinzas com Hidróxido de sódio pode diminuir a quantidade de ambos, tornando o tratamento mais sustentável.

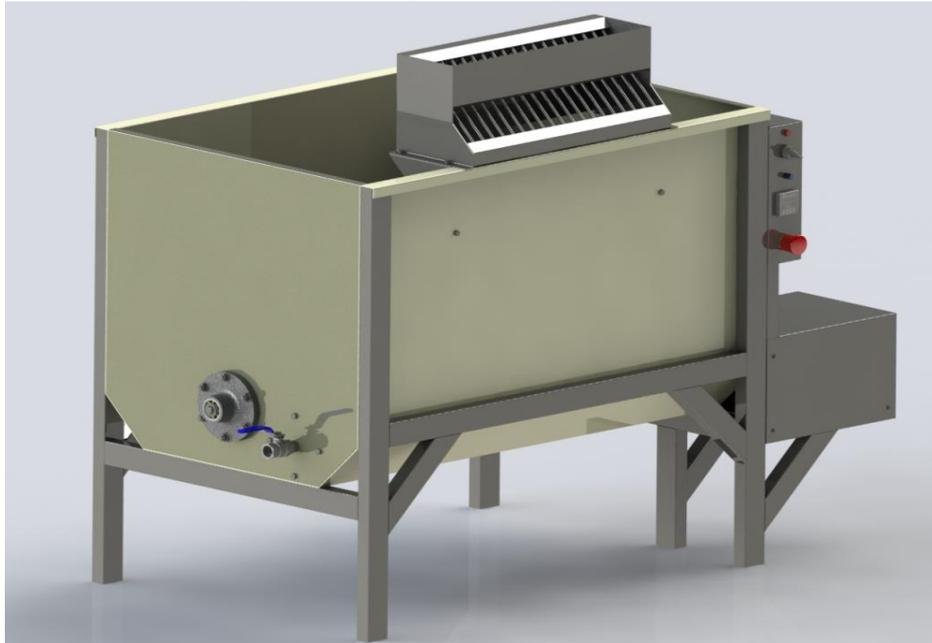
4.4 Projeto final 3D.

O dispositivo tem o objetivo um extrato alcalino para a produção do alcalinizante, com isso seu processo inicia-se com a operação do equipamento pelo operador, que cuidadosamente adiciona a quantidade apropriada de água e cinzas já mensuradas pré equipamento e despejada através de uma calha autolimpante para filtragem das cinzas. Em seguida, é realizada a etapa de ajuste do Controlador Lógico Programável (CLP), responsável por controlar o tempo de agitação, ativando de maneira precisa o sistema eletrônico que, por sua vez, aciona os agitadores de forma coordenada.

Uma vez que o ciclo de agitação é concluído, o extrato alcalino resultante é habilmente retirado por meio de uma válvula estrategicamente posicionada na lateral do dispositivo, assegurando uma coleta facilitada do líquido obtido. Para preservar a eficiência e manter o equipamento em perfeitas condições para futuras utilizações, é executada a etapa de limpeza do tacho, realizada através de um sistema de expurgo localizado na parte inferior, garantindo uma remoção completa de quaisquer resíduos remanescentes.

O Projeto finalizado, em perspectiva 3D para visualização do dispositivo na Figura 15.

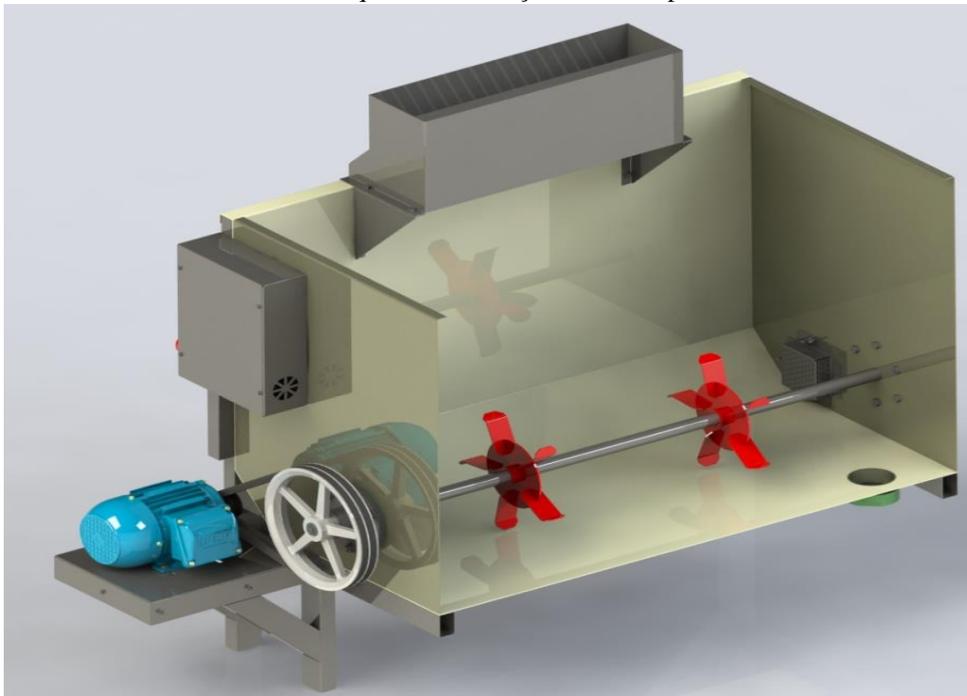
Figura 15 - Vista Isométrica da máquina de valoração de cinzas para extrato alcalino.



Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

Na imagem cortada na Figura 16, lado oposto da máquina em perspectiva 3D da figura 15, é observado o eixo motriz com o sistema dos dois agitadores, observa-se nitidamente também, o sistema de filtro na entrada tubo de saída, para filtrar ao máximo as impurezas da cinza, como o sistema de limpeza no tacho.

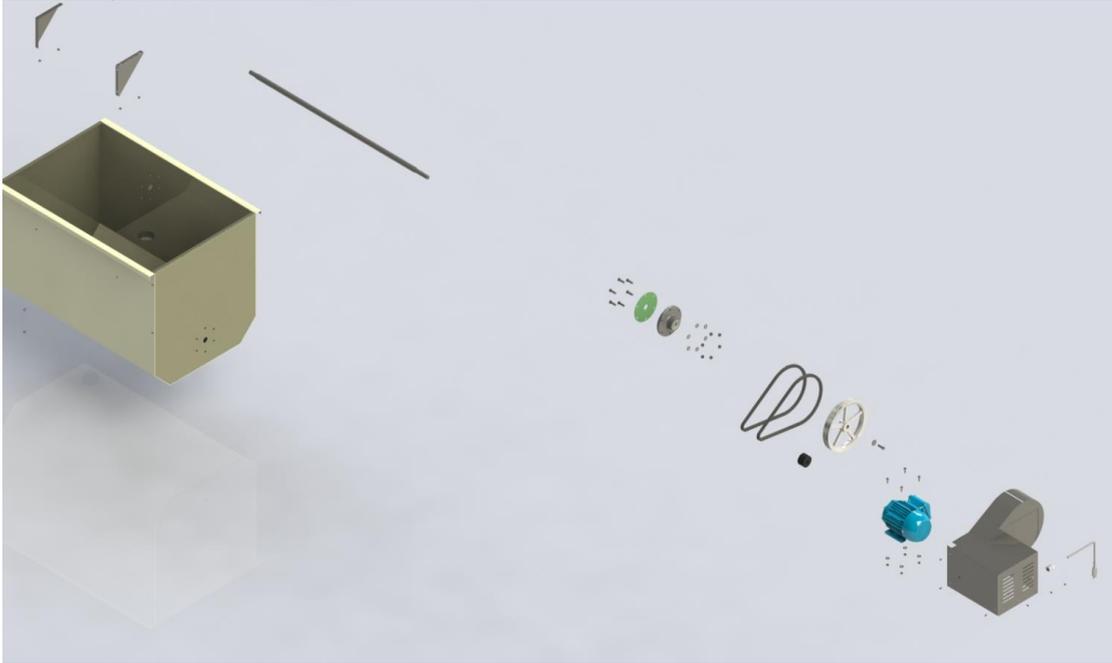
Figura 16 - Vista isométrica em corte da máquina de valoração de cinzas para extrato alcalino.



Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

Já na Figura 17 é mostrado o projeto final em 3D no modo vista explodida com todos os seus componentes, que facilita a visualização que é de grande ajuda no que se diz respeito ao auxílio da fabricação do equipamento, como também para uma venda técnica do mesmo e sua demonstração de pesquisa.

Figura 17 - Desenho maquina completa 3d explodido



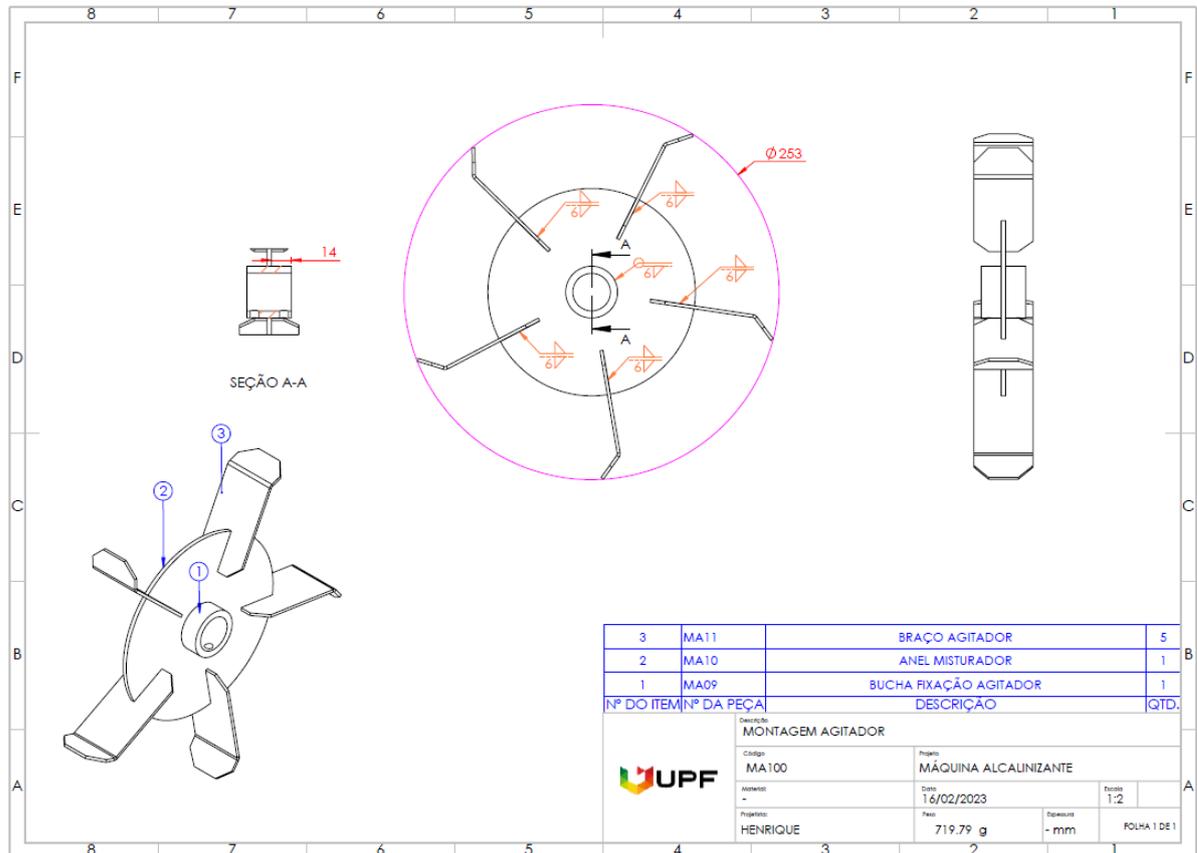
Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

4.5 Projeto detalhado da máquina do extrato alcalino

O projeto detalhado é o conjunto de montagens e informações destinado a fabricação do equipamento. A montagem do equipamento detalhado final é composta pelas 7 montagens, sendo que cada montagem é composta pelos seus respectivos conjuntos de peças.

A Figura 18, representa a montagem 1 ao qual é o arquivo salvo com a montagem das peças do APENDICE J, a bucha que fixa o agitador no eixo no centro da peça do APENDICE K, o anel com as 5 partes dos braços do agitador que se encontra detalhado no APENDICE L, montagem prevê 6 pontos de solda.

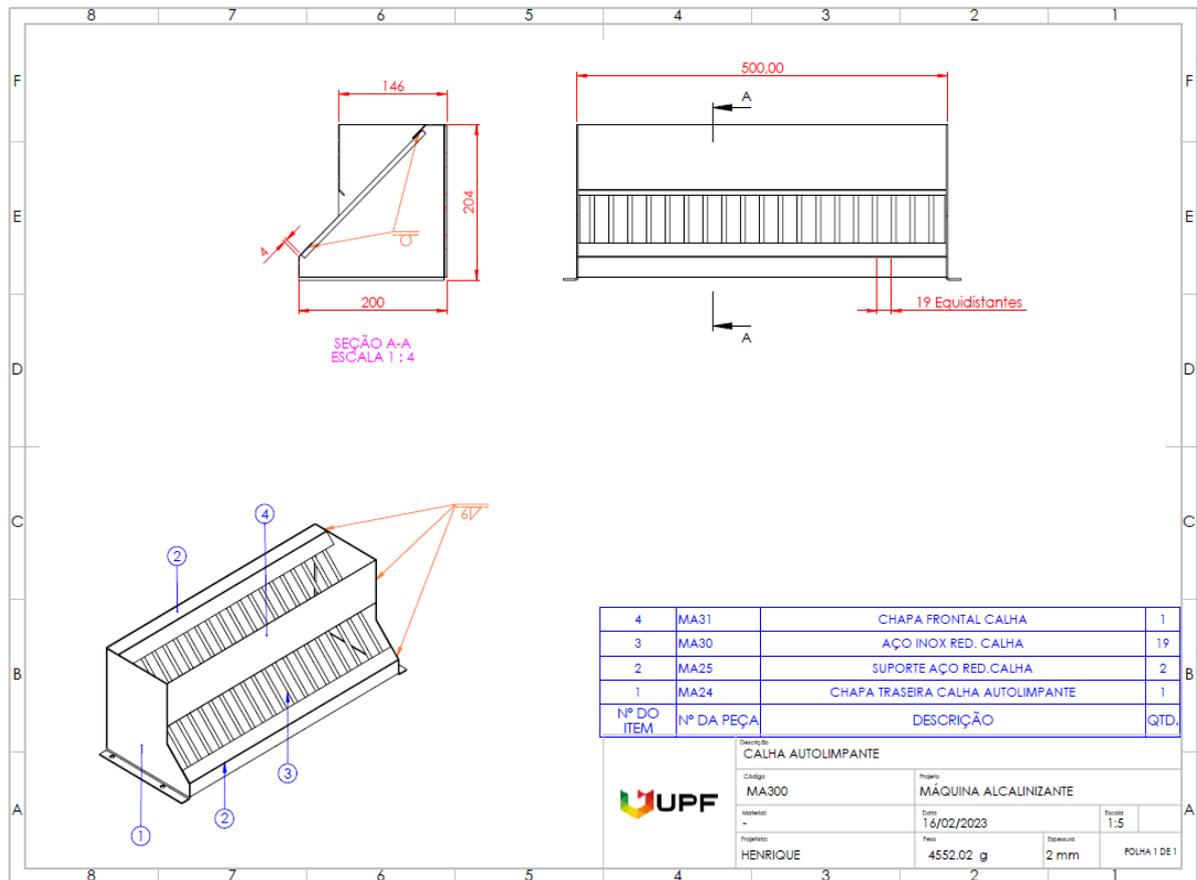
Figura 18: Montagem 1: Agitador



Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

A figura 19 ilustra a montagem 2, a calha autolimpante, com os componentes estruturais sendo representados em: APENDICE X como a chapa frontal, APENDICE T, Como a chapa traseira e as chapas laterais no APENDICE U. A calha autolimpante tem o objetivo de escoar as cinzas de fundo de caldeira deixando para trás cavacos mal queimados, pedregulhos e galhos. Projetada em ângulo, através das dezenove chapas redutoras detalhadas no projeto do APENDICE V, que permite uma autolimpeza do sistema. A montagem é feita através de solda em todas as uniões.

Figura 19: Montagem 2: Calha autolimpante



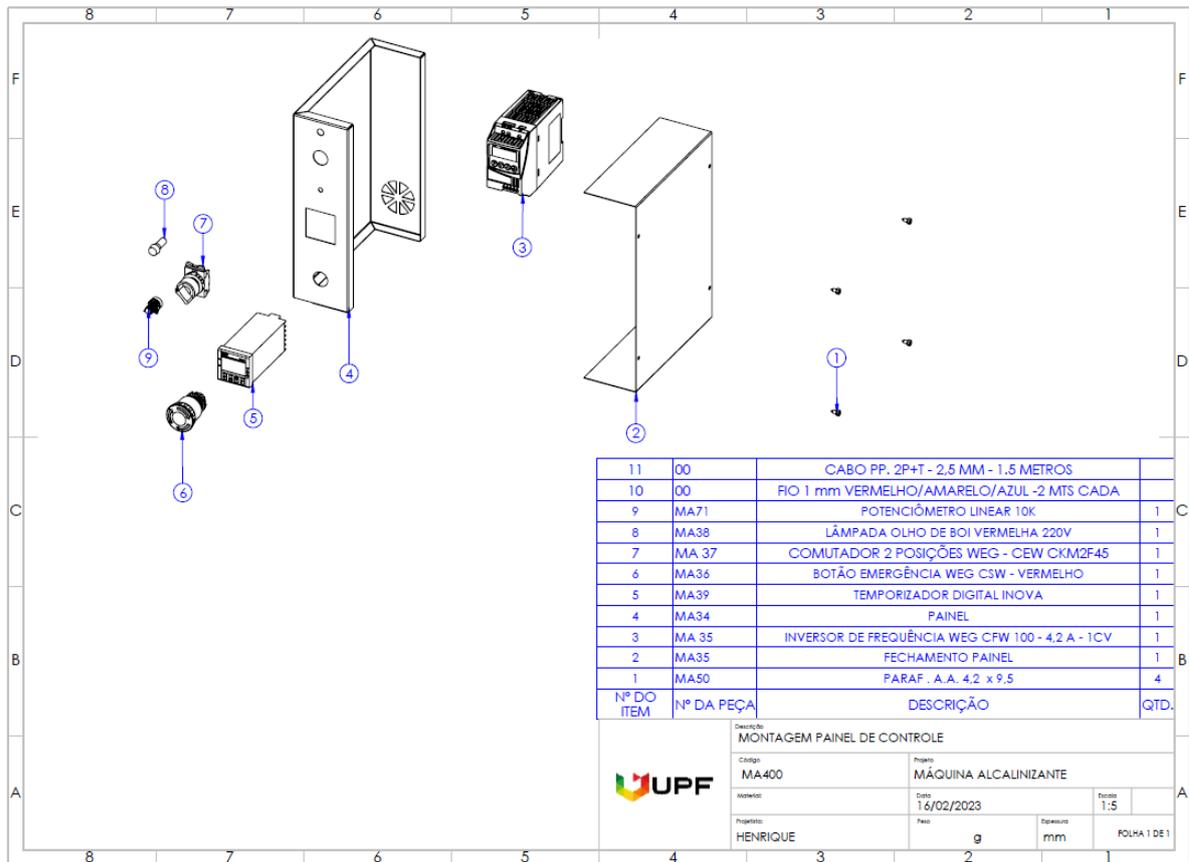
Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

A Figura 20, representa a montagem 3, o projeto do painel de controle detalhado com suas peças de carcaça. Ilustrados no APENDICE AB sendo o painel e a estrutura do APENDICE AC, é o fechamento do painel e componentes internos e externos.

O Painel de controle foi pensado para o operador controlar as variáveis através do uso de um inversor de frequência, ao qual consegue-se controlar a velocidade do agitador, um potenciômetro para regular a rotação, e o temporizador, para quando estiver pronto o extrato alcalino, a máquina acionar um alerta e desligar o conjunto, assim o contato da massa de cinzas com a água se dará com exatidão.

O painel digital foi pensado para usar um INOVA, em seu painel ainda, pela norma NR12, há o botão de emergência WE CSW – Vermelho e aviso luminoso.

Figura 20: Montagem 3: Painel de controle

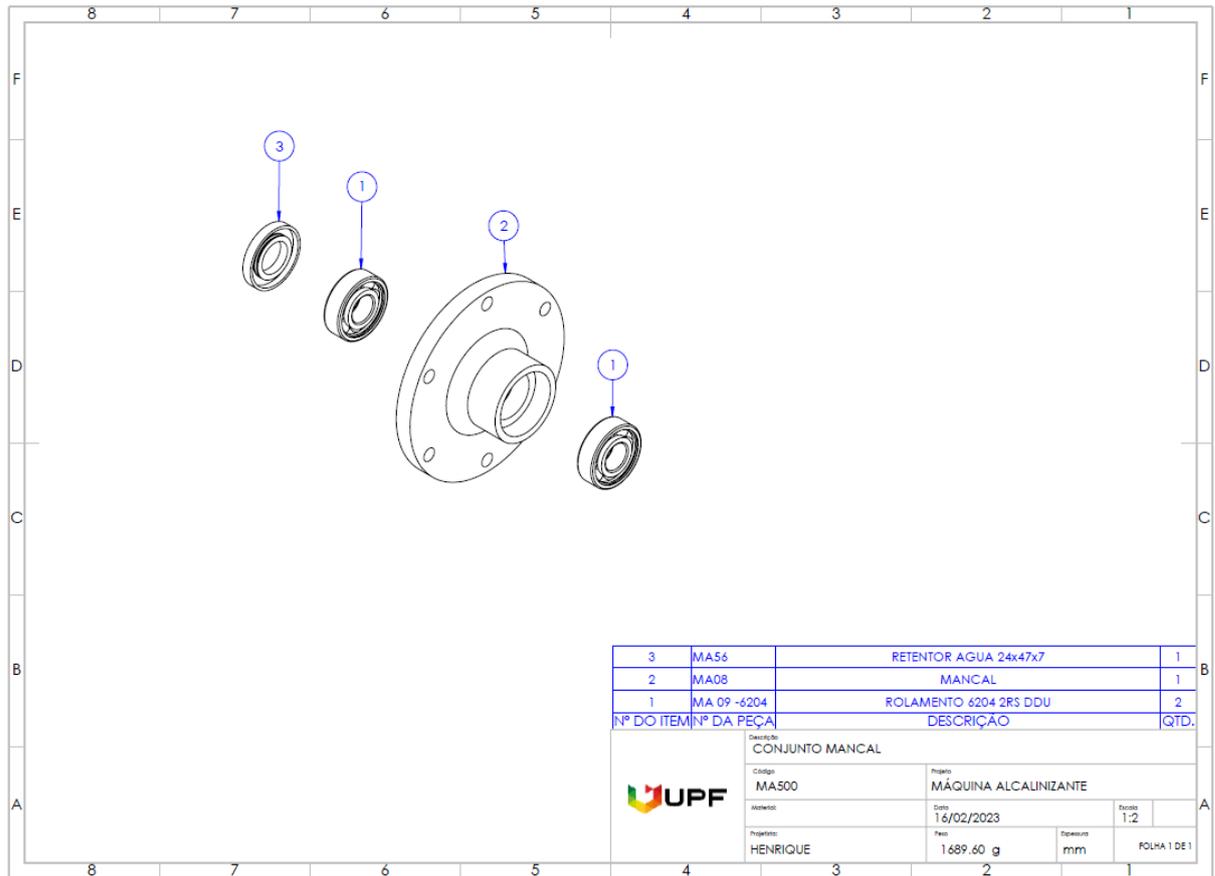


Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

A figura 21, demonstra a montagem 4 que é o conjunto resultante do mancal do eixo ao qual é elaborado em ferro fundido, pois possui melhor controle dimensional e resistência a compressão, necessitando de robustez por ser uma das peças que mais sofrerá com o trabalho.

O projeto da montagem 4 é composto ainda por um retentor de água 24x47x7mm e dois rolamentos: Interno e externo ao mancal, dos quais, tem vedação de borracha em razão de estarem em ambiente com presença de umidade.

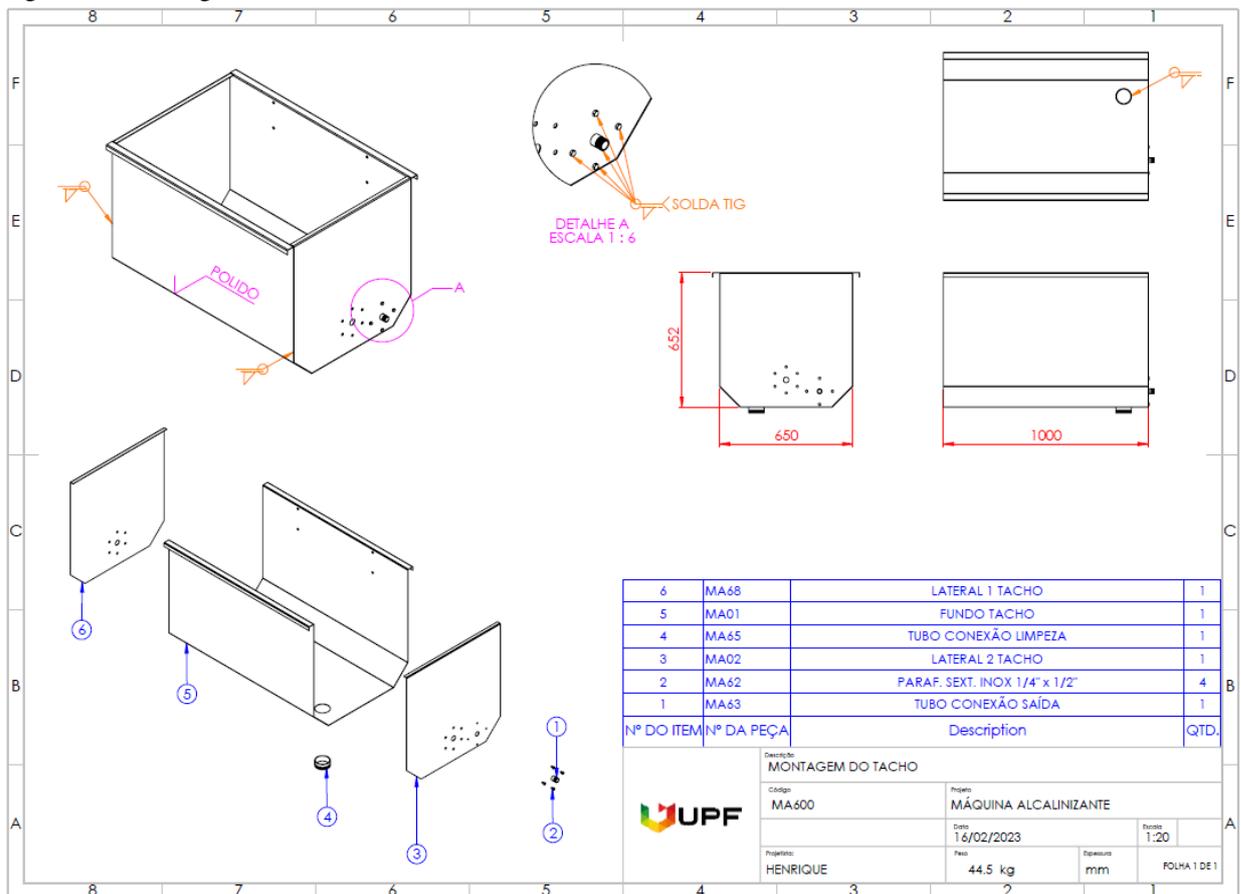
Figura 21: Montagem 4: Mancal



Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

A figura 22, mostra a montagem 5 ao qual é onde acontece praticamente o processo todo, o tacho. Tal qual a estrutura do mesmo por meio das chapas de inox formam o reservatório com o fundo do tacho observado no APENDICE B, onde é soldado com a lateral 1 do tacho representado pelo APENDICE AG, que possui um lado do mancal, e a lateral 2 do tacho observado no APENDICE A, que possui outro mancal que possui o tubo de conexão de saída observado no APENDICE AD, que é por onde resultará na remoção do extrato alcalino. Conjunto todo soldado em solda TIG.

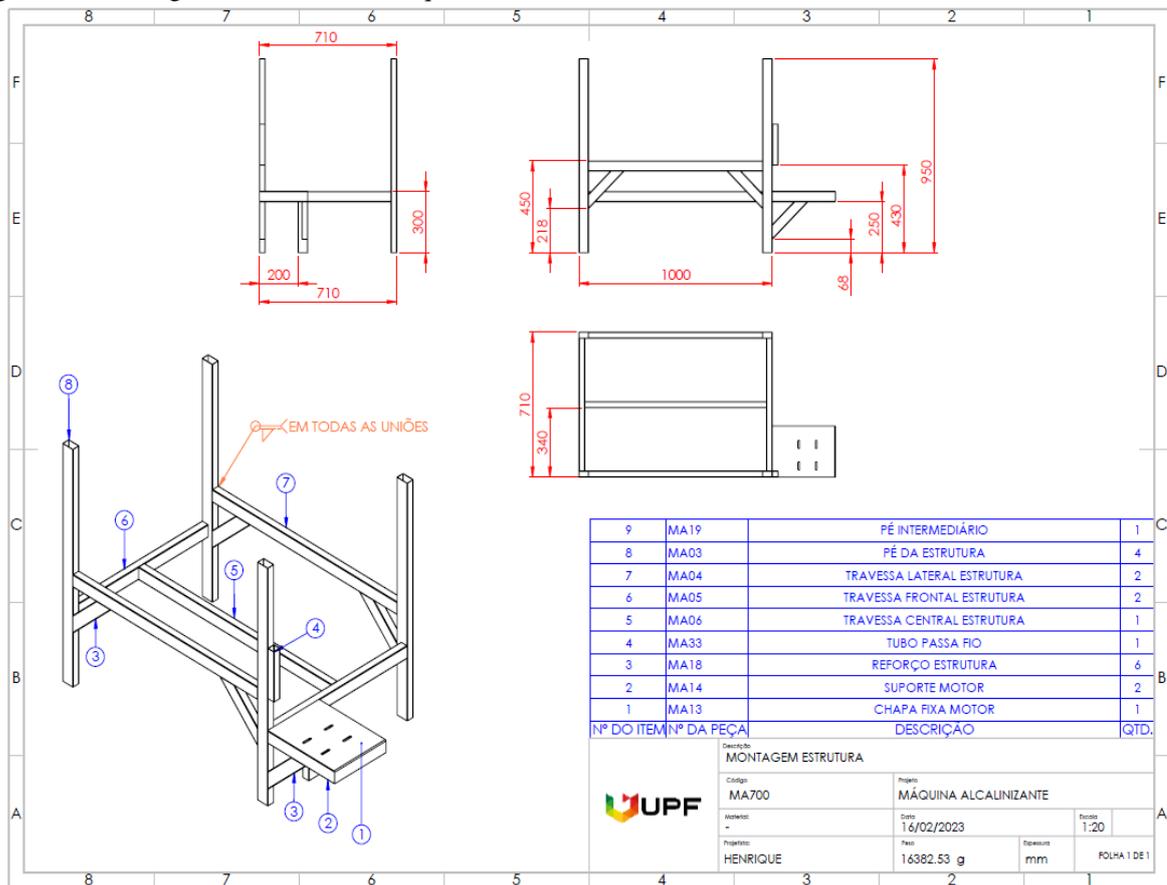
Figura 22 - Montagem 5: Tacho



Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

A Figura 23 mostra a montagem 6, ao qual é o conjunto de peças estrutural da máquina, sendo a estrutura do projeto detalhado no APENDICE D e as travessas lateral, frontal e a central, respectivamente detalhados em APENDICE E, APENDICE F E APENDICE G. Os reforços estruturais estão detalhados no APENDICE O. Tanto a estrutura suporte como a chapa fixa do motor estão detalhados respectivamente nos: APENDICES M, E e N. Todas as uniões da estrutura prevê solda. O Passa fio está detalhado no APENDICE Z.

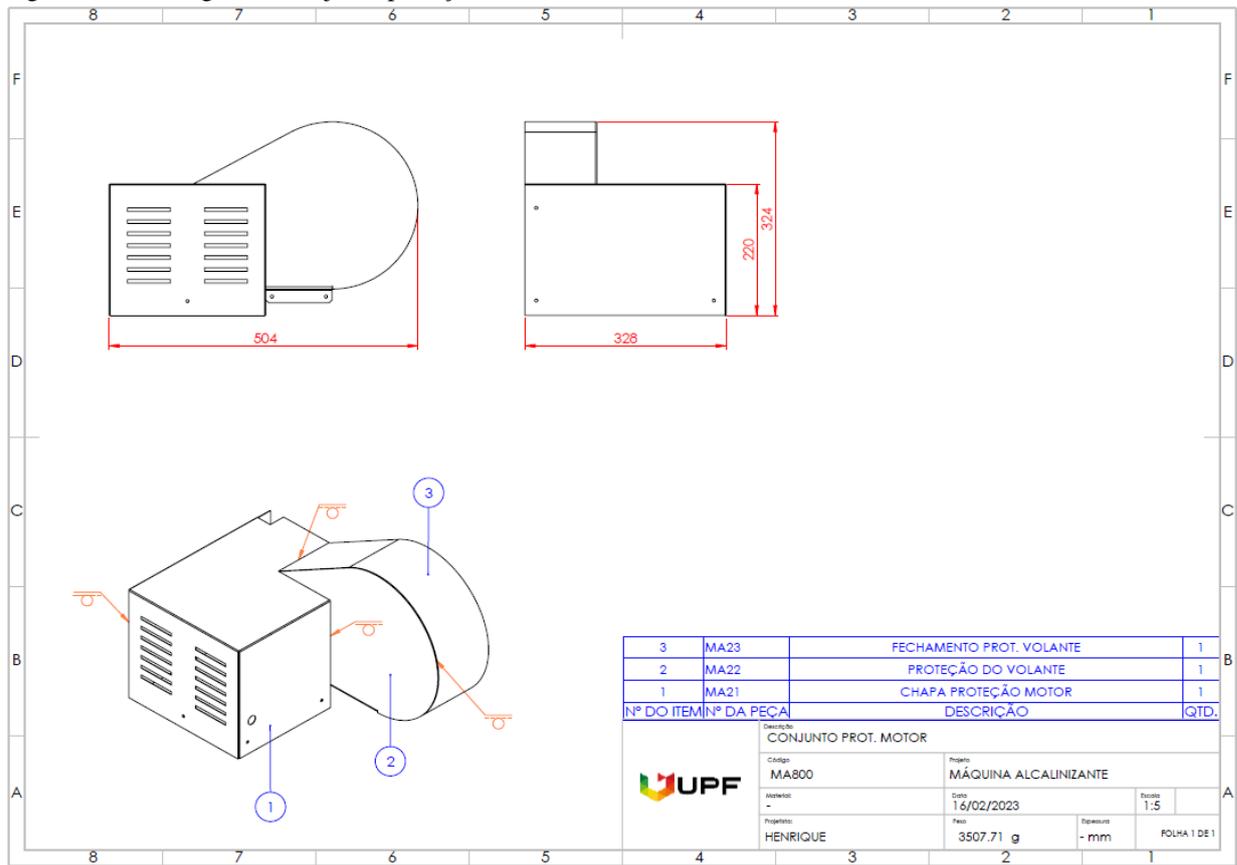
Figura 23 - Montagem 6: Estrutura da máquina.



Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

A figura 24, mostra a Montagem 7, que é o conjunto de proteção para o motor elétrico e correia, protegendo o operador, seguindo a norma da NR12. Esse projeto se desenvolveu nas peças descritas como: Fechamento da proteção do volante, proteção do volante e a chapa de proteção do motor, Respectivamente representados em: APENDICE R, APENDICE S e APENDICE Q.

Figura 24 - Montagem 7: Conjunto proteção do motor



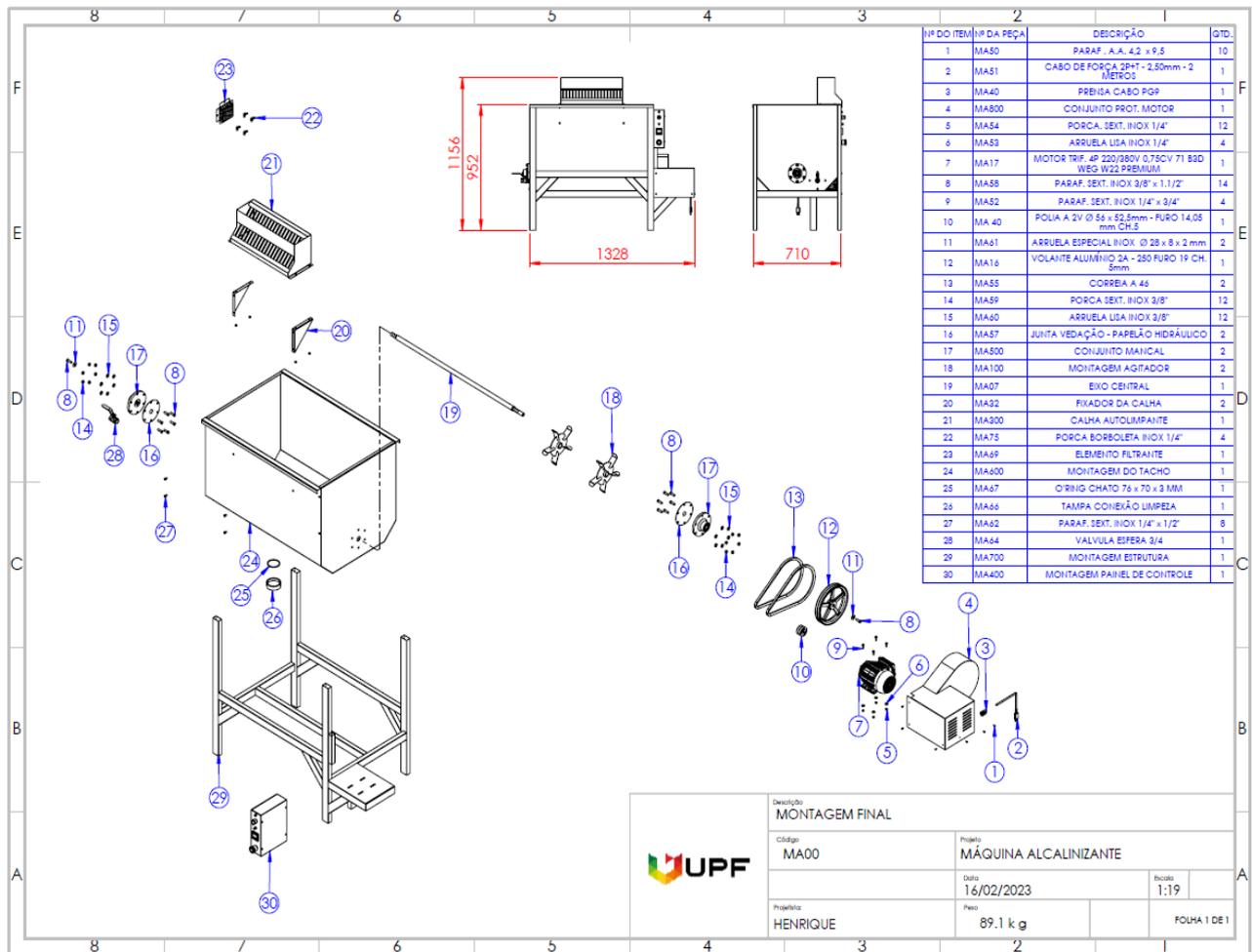
Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

Na figura 25 é ilustrado a montagem final do dispositivo com as montagens das figuras 19 a 25, além de soluções de montagem como alguns itens periféricos descritos na vista explodida.

O equipamento é praticamente todo construído em Aço inoxidável 304 por sua popularidade no mercado e ser resistente à corrosão e rachaduras, mesmo em baixas temperaturas, possuindo também boa ductilidade e ótima soldabilidade.

A máquina foi projetada para até 350 litros totais da mistura de água e cinzas, assim, pode-se utilizar de um motor de $\frac{3}{4}$ de cavalo vapor como é mostrado no item 7, para tal, foi dimensionado a polia (item 10) como uma correia A45 (item 13), para evitar o problema de escorregamento entre a polia/correia junto ao volante de alumínio (item 12).

Figura 25 - Montagem Final: Máquina de extrato alcalino



Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

Alguns outros itens periféricos relevantes devemos destacar como:

- Porca borboleta inox $\frac{1}{4}$ (item 22) projetada para segurar o elemento filtrante (item 23), que está projetada em detalhe no APENDICE AH, ao qual foi pensada nesse tipo de solução pois o filtro tem que ser retirado a cada ciclo de limpeza, facilitando esse trabalho.
- Junta de vedação de papelão hidráulico (item 16), que está localizado entre o tacho e o mancal, tem a função de evitar o vazamento de água entre as peças.
- Fixadores da calha no tacho (item 20): Detalhado seu projeto no APENDICE Y.
- No item 26 é ilustrado a peça da tampa que fecha o duto de limpeza que é possível visualizar sua peça detalhada no APENDICE AF e o seu anel o'ring (item 25) para não haver vazamento no duto de limpeza.

Com os detalhamentos técnicos mostrados na figura 25 será possível a fabricação da máquina ou até mesmo sua patente.

5 CONCLUSÃO

O aumento do uso da biomassa em caldeiras industriais para geração de vapor, traz preocupações ambientais. A disposição adequada das cinzas é uma preocupação relevante devido ao impacto ambiental e custos crescentes de processamento, transporte e distribuição. O gerenciamento eficiente das cinzas é essencial para mitigar os impactos negativos.

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que o extrato de cinzas de eucalipto possui alta alcalinidade, devido à presença de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos de sódio, potássio, cálcio e magnésio. A concentração de íons hidroxila é aumentada pela massa de cinzas e tempo de extração como observado na otimização. O estudo identificou as variáveis mais importantes para otimizar a extração do alcalinizante e aumentou as variáveis de tempo e quantidade de cinzas. Essas informações são relevantes para a produção em escala do alcalinizante para tratamentos físico-químicos.

Portanto, a pesquisa realizada também encontrou alternativas mais sustentáveis para o tratamento de efluentes de laticínios e apresentou resultados satisfatórios com o uso do alcalinizante de cinzas. Foi observada a remoção de carga orgânica e fósforo. Esses resultados indicaram que o alcalinizante de cinzas pode ser uma opção viável para o tratamento de efluentes.

Em conclusão, este trabalho buscou projetar um dispositivo inovador, seguindo a metodologia proposta por Pahl et al. (2005), com o objetivo de aproveitar as cinzas do fundo de caldeira para a produção de alcalinizante. O processo envolveu quatro fases: Planejamento do projeto, projeto conceitual, apresentação do conceito e projeto detalhado, culminando na criação da forma final do dispositivo. A implementação desse dispositivo trará benefícios significativos tanto no aspecto econômico quanto ambiental para o setor industrial. Ao utilizar as cinzas no próprio local, transformando-as em um alcalinizante para o tratamento de efluentes da empresa, ocorre uma redução de custos associados à aquisição de alcalinizantes comerciais, como o hidróxido de sódio, ao mesmo tempo em que se evita o descarte prejudicial das cinzas.

5.1 Propostas para futuros trabalhos

- Analisar a variação da composição das cinzas após o processo de produção do alcalinizante;
- Produção do equipamento e testes in loco para observar seu funcionamento;
- Viabilidade econômica e comercial do processo.

6. REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

ABRAF, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF**. Brasília, DF, 2019.

AMARO, C. K. *et al.* **Potencial da cinza para produção de Sabão**. 2013. 45f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Química), Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, São Paulo, SP, 2013.

APHA. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22nd. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.

BACK, N. *et al.* **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manoale, 2008.

BACKES, S. H. **Verificação da variação geométrica de uma peça utilizando uma máquina de medir por coordenadas e usinada em fresadora CNC programada pelo CAM do NX**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia mecânica), Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI. Erechim, RS. 2019.

BAZZO, E. **Geração de Vapor**. 2 ed. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 1996.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2020 – Ano base 2019**. Ministério de Minas e Energia, Brasil – Governo Federal e Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas> >. Acesso em: 20 nov. 2021.

BIOMASS. **GDF Suez inaugurates 205 MW biomass plant**. Disponível em: < <https://biomassmagazine.com/articles/9072/gdf-suez-inaugurates-205-mw-biomass-plant> >. Acesso em: 20 nov. 2021.

BLOOMBERGNEF. **Global Trends in Renewable Energy Investment**. Disponível em: < <https://www.fs-unep-centre.org/global-trends-in-renewable-energy-investment-2020/> >. Acesso em: 10 dez. 2021.

BORLINI, M. C. *et al.* Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v.51, p. 192-196, 2005. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n319/26791.pdf> >. Acesso em: 22 mai. 2022.

BOUJAOUDE, S. B. A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. **Journal of research in science teaching**, v.28, n.8, p. 689-704, 1991.

BRASIL. **NR-12 SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**. Portaria MTb n.º 1.083, de 18 de dezembro de 2018.

BRASIL. **NR-13 CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO, TUBULAÇÕES E TANQUES METÁLICOS DE ARMAZENAMENTO**. Portaria MTb n.º 1.082, de 18 de dezembro de 2018.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. Influência da Época de Colheita e da Estocagem na Composição Química da Biomassa Florestal. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.1, p. 66–78, 2012.

BRAUNBECK, O. A. *et al.* Prospects for green cane harvesting and cane residue use in Brazil. *Biomass and Bioenergy*. **Biomass and Bioenergy**, Londres, v.17, n.1, p. 495-506, 1999.

CARDOSO, R. G. *et al.* **Investigação da natureza e proporção de alcalinizantes combinados para o tratamento de efluente de lavandeira industrial**. ABES, 2012. Disponível em: < <https://www.tgambiental.com.br/artigos/II-168%20-%20AIDIS.pdf> >. Acesso em: 10 dez. 2021.

CHRISTIAN, H. W. **Commercial meets Open Source: Tuning STATISTICA with R**. R-Project, 2008.

CORPORATION SOLIDWORKS. **Ajuda do SOLIDWORKS**. Disponível em: < https://help.solidworks.com/2012/Portuguese-brazilian/SolidWorks/sldworks/SW_Fundamentals.htm?id=751f6c3deba64f368a8e9ca91e878b02#Pg0 >. Acesso em: 29 jan. 2023.

COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CUNHA, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Rev. Árvore**, v.29, n.4, p. 563-570, 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010067622005000400008&lng=en&nrm=iso >. Acesso em 10 jun. 2022.

DALMORA, G. P. V.; TONIN, S. A. **Valorização dos resíduos da cinza de biomassa através da produção de alcalinizante**. 2021. 30 p. Valorização dos resíduos da cinza de biomassa através da produção de alcalinizante, Projeto de pesquisa (Engenharia Química) - Universidade de Passo Fundo, 2021.

DALLAGO, J. S. **Utilização da Cinza de Biomassa de Caldeira como Fonte de Nutrientes no crescimento de plantas de Acácia negra. (*Acaia mearnsii De Wild.*)**. 2000. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2 ed., v. 1. São Carlos: Rima. 2005.

DIAS, B. L. N.; OLIVEIRA, D. F.; ANJOS, M. J. A utilização e a relevância multidisciplinar da fluorescência de raios X. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, 2017.

FALSARELLA, M. O.; JANNUSSI, C.S.C. Inteligência organizacional e competitiva e big data: uma visão sistêmica para a gestão sustentável das organizações. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.25, n.1, p. 179-204, 2020.

FIGUEIRA, R. J. C. M. **CAD/CAE/CAM/CIM**. Porto: Instituto Politécnico do Porto, 2002/2003. 123 p. Disponível em: < http://www.dei.isep.ipp.pt/~paf/proj/Julho2003/CAD_CAE_CAM_CIM.pdf >. Acesso em: 18 nov. 2022.

FURTADO, B. A. Cosméticos Sustentáveis e a Intenção de Compra de Consumidores no Brasil. Management in Perspective. **Management in Perspective**, v.1, n.1, p. 59-78, 2020.

GBC Brasil. **Economia Circular**. Disponível em: < <https://www.gbcbrasil.org.br/economia-circular/> >. Acesso em: 10 out. 2020.

GUARIZ, H. R. *et al.* Uso de cinzas de fornos de cerâmica como fonte de nutrientes para aproveitamento na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 2009, Vitória - ES. **Anais ...** Vitória – ES: Incaper, 2009.

GUIDECHEM. **Chemical Trading Guide Guidechem**. Disponível em: < <https://www.guidechem.com/dictionary/584-08-7.html> >. Acesso em: 26 jun. 2022.

GUIDI, A. Otimização de solventes, carreadores, surfactantes, alcalinizantes com potencial emprego para obtenção de dispersões sólidas contendo daidzeína. In: EPCC – ENCONTRO NACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA UNICESUMAR, 9, 2015, Maringá-PR. **Anais eletrônicos** ... Maringa: UniCesumar, 2015. Disponível em: < http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3026/1/ana_carolina_guidi_2.pdf >. Acesso em: 26 jun. 2022.

HEVIÁNKOVÁ, S.; BESTOVÁ, I.; KYNCL, M. The application of wood ash as a reagent in acid mine drainage treatment. **Minerals Engineering Magazine**. v. 56, p. 109-111, 2014.

HORTA, C. *et al.* Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal. **Revista de Ciências Agrárias**, Quinta Senhora de Mercules. Disponível em: < <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/15878/12948> >. Acesso em: 09 dez. 2020.

IBICT. **Staff View**: O Design para a Economia Circular, repensando a forma como fazemos as coisas. Disponível em: < https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNB_b42872ea7a972a3562976f6021bb4d89 >. Acesso em: 20 nov. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Data and statistics**. Disponível em: < <https://www.iea.org/data-and-statistics/datatables/?country=WORLD&energy=Electricity&year=2019> >. Acesso em: 26 jun. 2022.

KHAN, A. *et al.* Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. **Fuel Processing Technology**. v.90, p.21–50, 2009.

KAKAÇ, S., et al. **Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design**, 2 ed., CRC Press: Boca Raton, 2002.

MARAFON, A. C. *et al.* **Uso da biomassa para a geração de energia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 28 p. (Documentos 2011. Embrapa Tabuleiros Costeiros).

MEDEIROS, J. F., *et al.* Proposal of a novel reference system for the green product development process (GPDP). **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 984–995, 2018.

MORELLO, M. *et al.* Biomassa para produção de Energia Sustentável. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v.16, p.81-102, 2020. Disponível em: <

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/meio-ambiente/energia-sustentavel> >. Acesso em: 26 jun. 2022.

NANNI, B. **Implementação de CADD nos cursos de graduação em Engenharia Mecânica**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2016. Disponível em: <
<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139262/000865346.pdf?sequence=1> >.
Acesso em: 20 nov. 2022.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. Aracaju: Gráfica e Editora Triunfo, 2001.

PAHL *et al.* **Projeto na Engenharia**. 6 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2005.

PACHECO. A. J, OGLIARI. P. J. **Análise estatística usando o STATISCA 6**. Centro tecnológico departamento de informática e estatística. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Disponível em <
https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1087168/mod_resource/content/0/statistica.pdf >.
Acesso em: 15 jan. 2023.

PEREIRA, J. C. **Metodologia de projeto aplicada à concepção de sistemas mecatrônicos a partir da elaboração de um modelo prescritivo de desenvolvimento**. 2016. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

PEREIRA, C. C. P.; QUEIROZ, E. A.; COSTA JÚNIOR, E. Estudo de caso da curricularização da extensão nos cursos de tecnologia em um campus do IFMG. **ForScience**, v.9, n.2, 2021.

PETERSON, M. N. *et al.* Estudo da incorporação de cinza proveniente da queima de lenha de eucalipto na formulação de massa de uma indústria cerâmica estrutural do sulcatarinense. **Revista da UNIFEFE**, v. 1, n. 15, p. 9-17, 2016.

PIERITZ NETTO, A. **Projeto de Produto e Processo**. 2016. 226f. Livro (Engenharia de produção) - Engenharia produção, ênfase desenvolvimento de produtos. UNIASSELVI, Indaial, Santa Catarina, 2016. Disponível em <
<https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=18292>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

RAMIRES, M. F. *et al.* Uso potencial de resíduos de abatedouro de suínos como fonte de nutrientes na agricultura. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n.1, 2021.

RESENDE, D.S. **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**. 2013. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2013. Disponível em: < <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4411> >. Acesso em: 22 mai. 2022.

RODRIGUES, D. J. **Estudo da utilização de biomassa e resíduos orgânicos na fitoestabilização assistida de solos afetados por atividades mineiras**. 2017. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Politécnico de Beja, Beja, 2017. Disponível em: < <https://repositorio.ipbeja.pt/bitstream/20.500.12207/4696/1/D%c3%a9bora%20Rodrigues.pdf> >. Acesso em: 20 mai. 2022.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. São Paulo: Pearson, 2013.

SILVA, M. N. *et al.* Caracterização da cinza do eucalipto e seu uso em materiais cerâmicos. In: Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. 2018. **Anais eletrônicos...** Pesquisa UNIFIMES, 2018. Disponível em: < <https://unifimes.edu.br/ojs/index.php/coloquio/article/view/387> >. Acesso em: 10 dez. 2021.

SILVÉRIO, J. **Determinação da composição química e aproveitamento de cinzas da queima da lenha de eucalipto para produção de água sanitária ecológica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. Disponível em: < http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/913/1/PB_COQUI_2012_2_05.PDF >. Acesso em: 20 jun. 2022.

SBRUZZI, E. K. **Cinza de biomassa florestal para aplicação nas culturas do feijão e do milho**. 2017. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

SCHMIDHUBER, J. **Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective**. “International symposium of Notre Europe”, Paris, p. 27-29, 2006.

SILVA, S. P.; AKASAKI, J. L.; SANCHES, A. O. Reaproveitamento do resíduo da madeira de eucalipto (RME) para a produção de energia sustentável. **Revista Científica ANAP Brasil**, v.13, n.28, 2020.

STANDARD Methods for the Examination of water and wastewater, 20th ed. Washington: APHA 200. Manual do aparelho.

STUMPF, L.; SCHÖGGL, J.; BAUMGARTNER, R. J. Climbing up the circularity ladder? – A mixed-methods analysis of circular economy in business practice. **Journal of Cleaner Production**, v.316, 2021.

VASKE, N. R. **Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumotubular como adição ao concreto**. 2012. 325f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

VASCONCELOS, P. E. A.; MELLO, C. M. Direitos humanos a luz da agenda 2030 e plano clima energia 2050: o uso das energias renováveis em prol do meio ambiente. **Revista Interdisciplinar de Direito**, v.19, n.1, p. 154-164, 2021.

VEIGA, R. M. **Do lixo à Economia Circular: um salto possível?**. 2019. 418f. Tese (Doutorado em Geografia e Gestão do Território) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

VENQUIARUTO, L. D. *et al.* Atividades experimentais envolvendo extrato aquoso de cinzas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 17. 2016. Florianópolis. **Anais eletrônicos** ... Florianópolis, 2016. Disponível em: < <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R1873-1.pdf> >. Acesso em: 03 out. 2020.

APENDICES

APENDICE A – Artigo publicado

Boiler bottom ash appreciation through alkalinizer production: a circular economy proposal

Henrique Signor Backes

Universidade de Passo Fundo
<https://orcid.org/0000-0001-6153-3634>

Marcelo Hemkemeier

Universidade de Passo Fundo
<https://orcid.org/0000-0001-6541-4827>

Gabriela Dalmora

Universidade de Passo Fundo
<https://orcid.org/0000-0001-9813-934X>

Sabrina Tonin

Universidade de Passo Fundo
<https://orcid.org/0000-0003-0372-5712>

DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31312>

Keywords: Industrial boiler; Alkalizing extract; Bottom ashes.

ABSTRACT

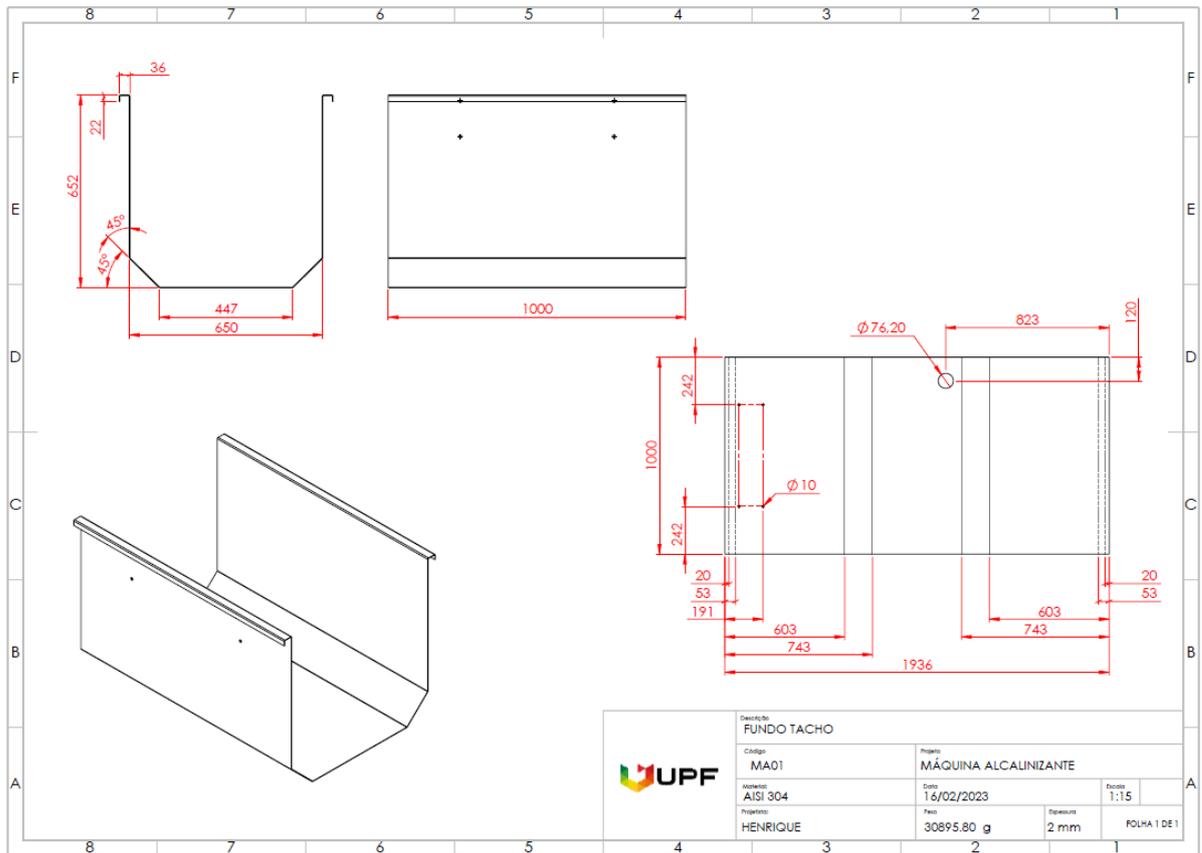


 PDF (PORTUGUÊS (BRASIL))

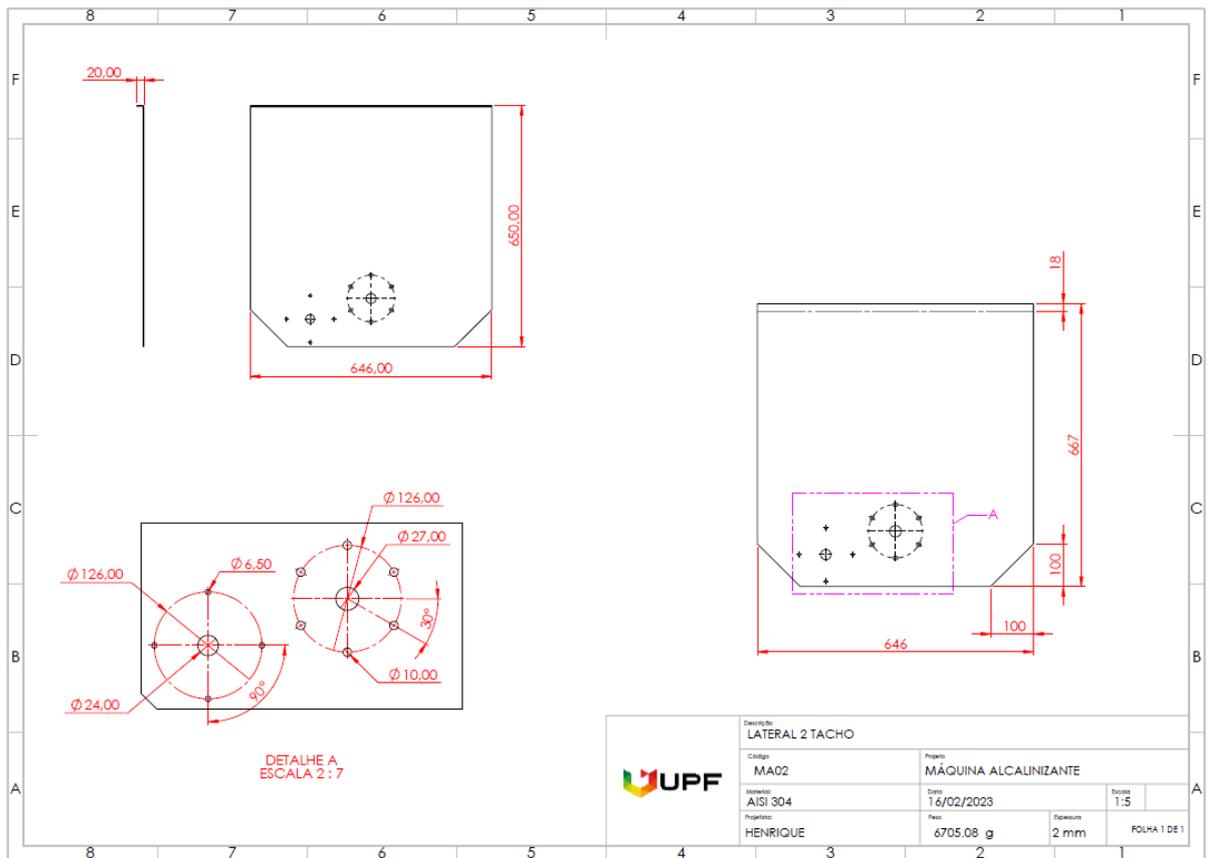
PUBLISHED

02/07/2022

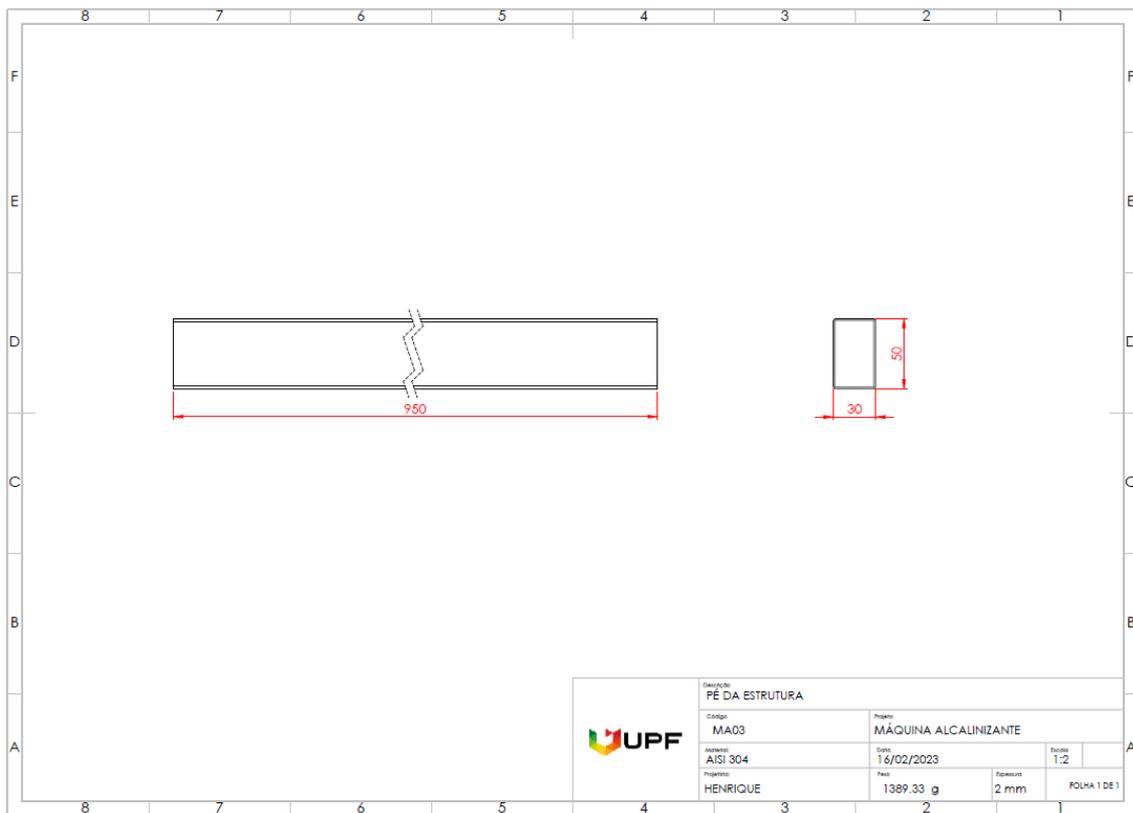
APENDICE B – Fundo do tacho



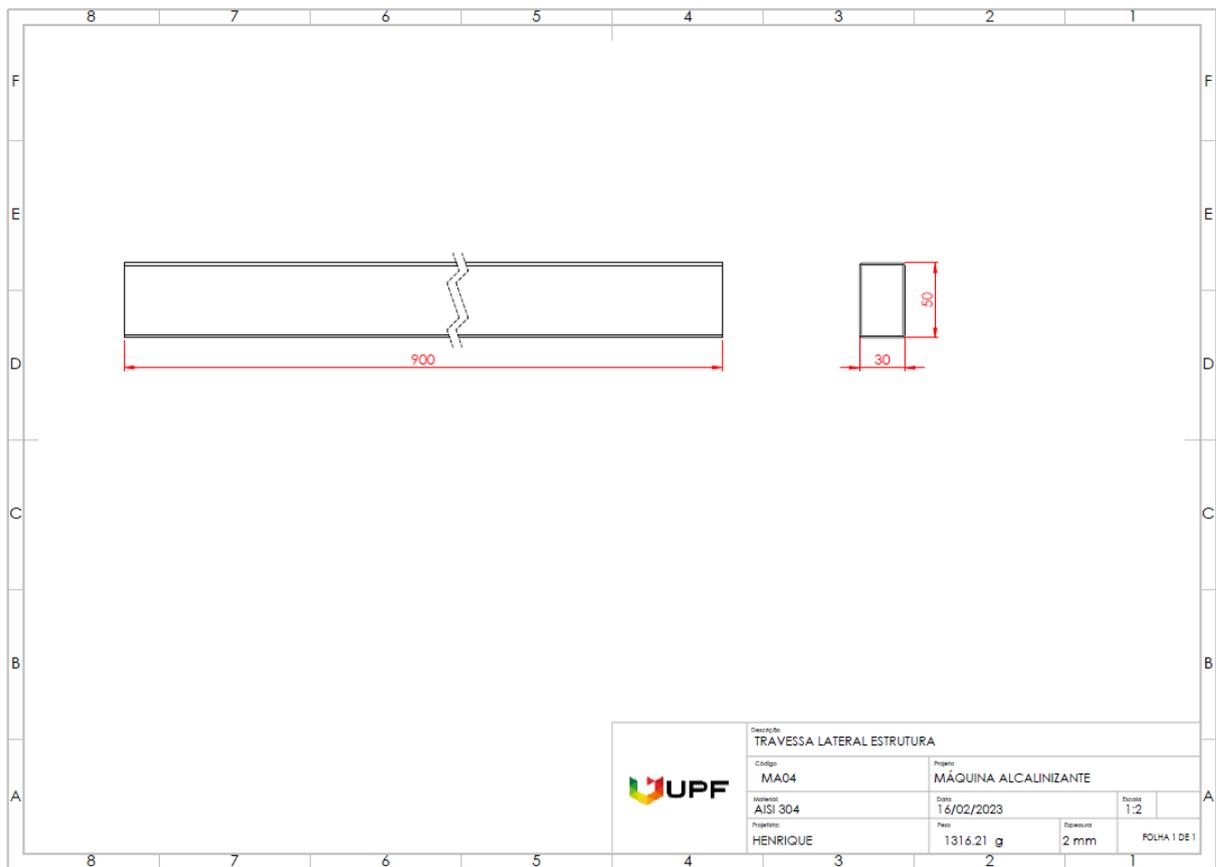
APENDICE C - Lateral 2 do tacho



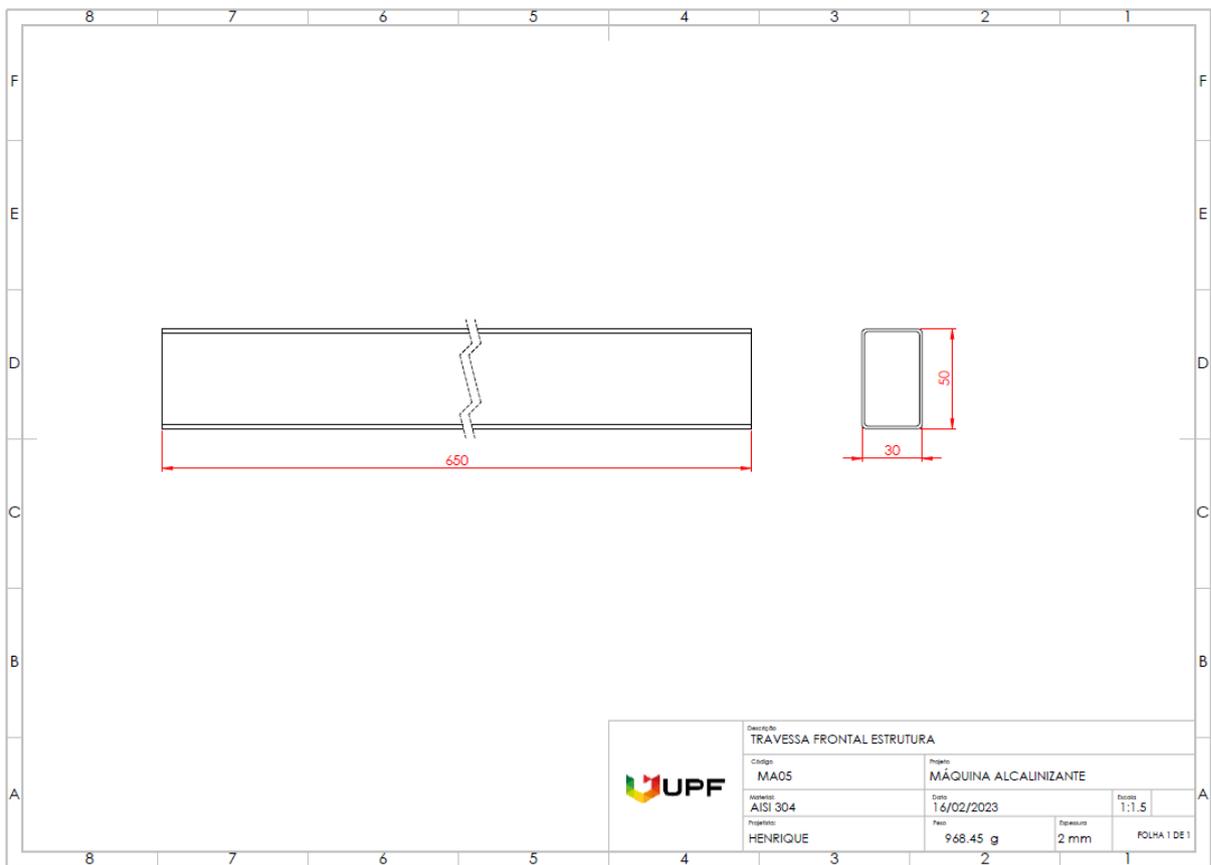
APENDICE D - Pés da estrutura



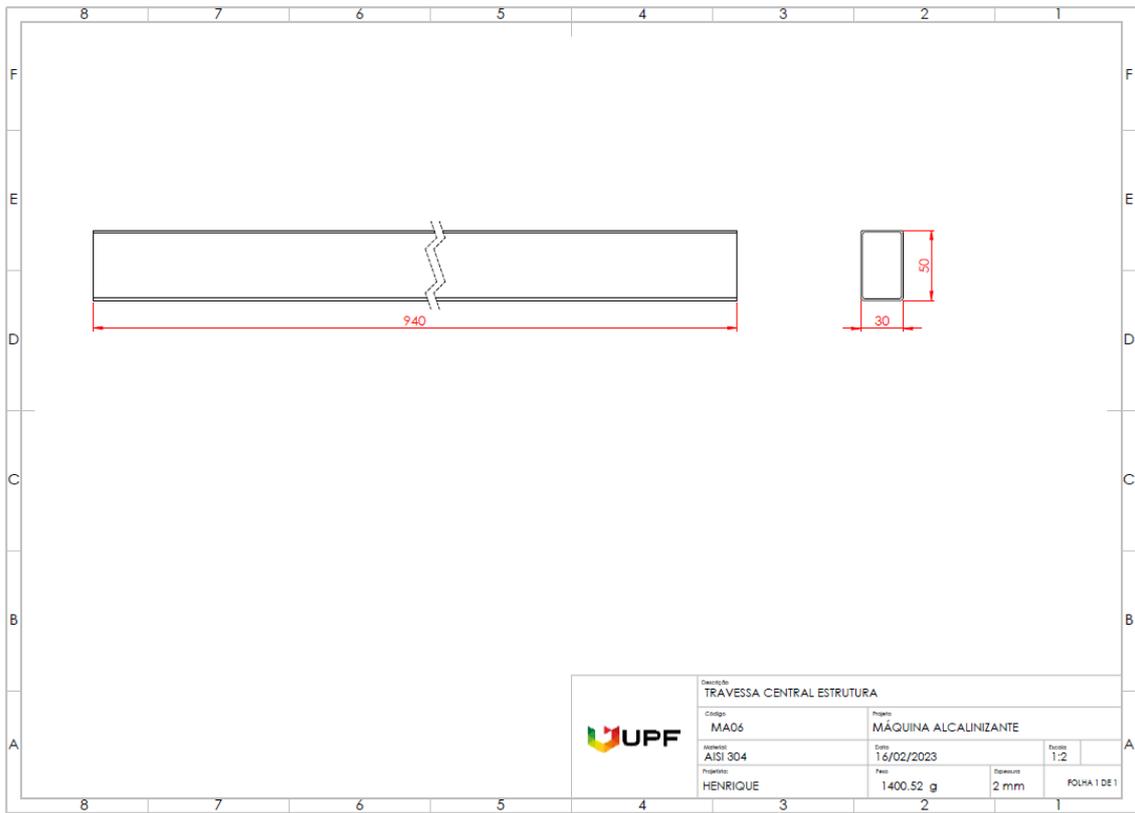
APENDICE E - Travessa de lateral da base da estrutura



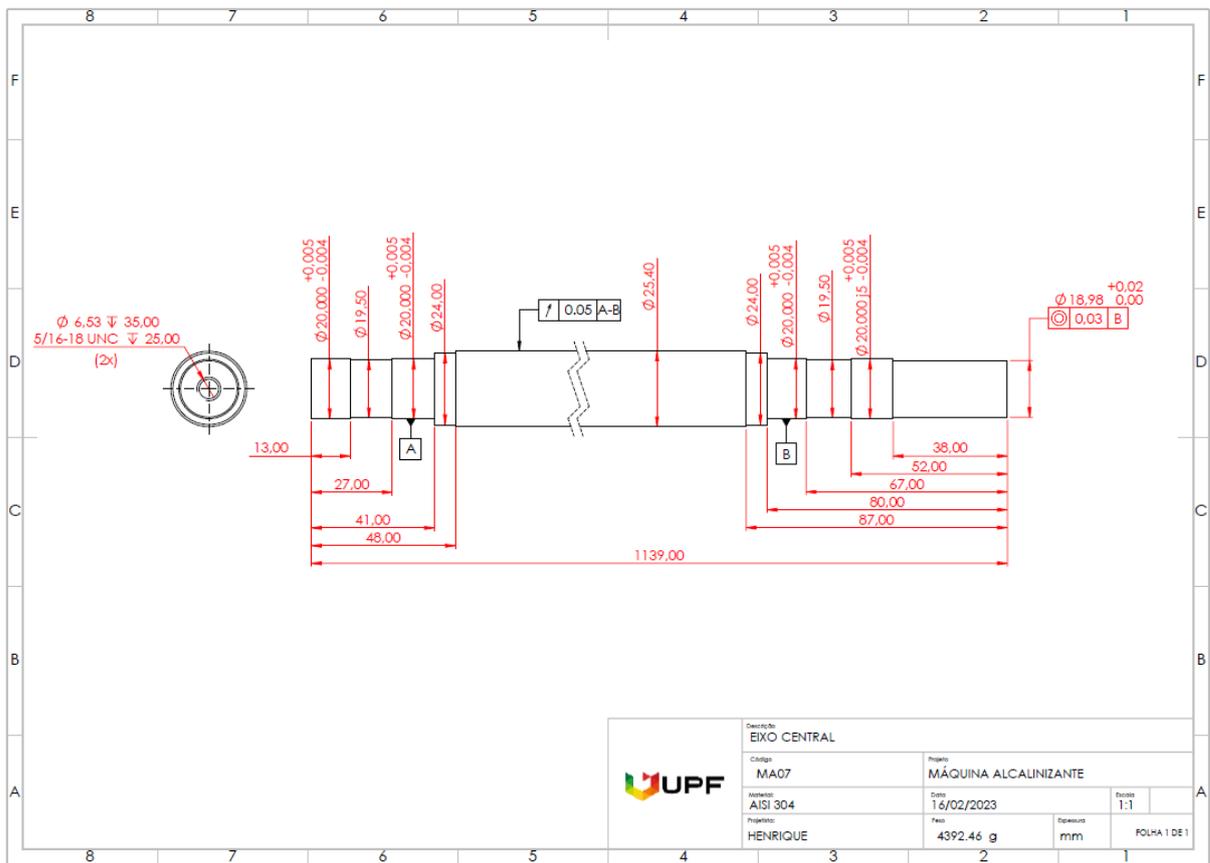
APENDICE F - Travessa frontal da base da estrutura



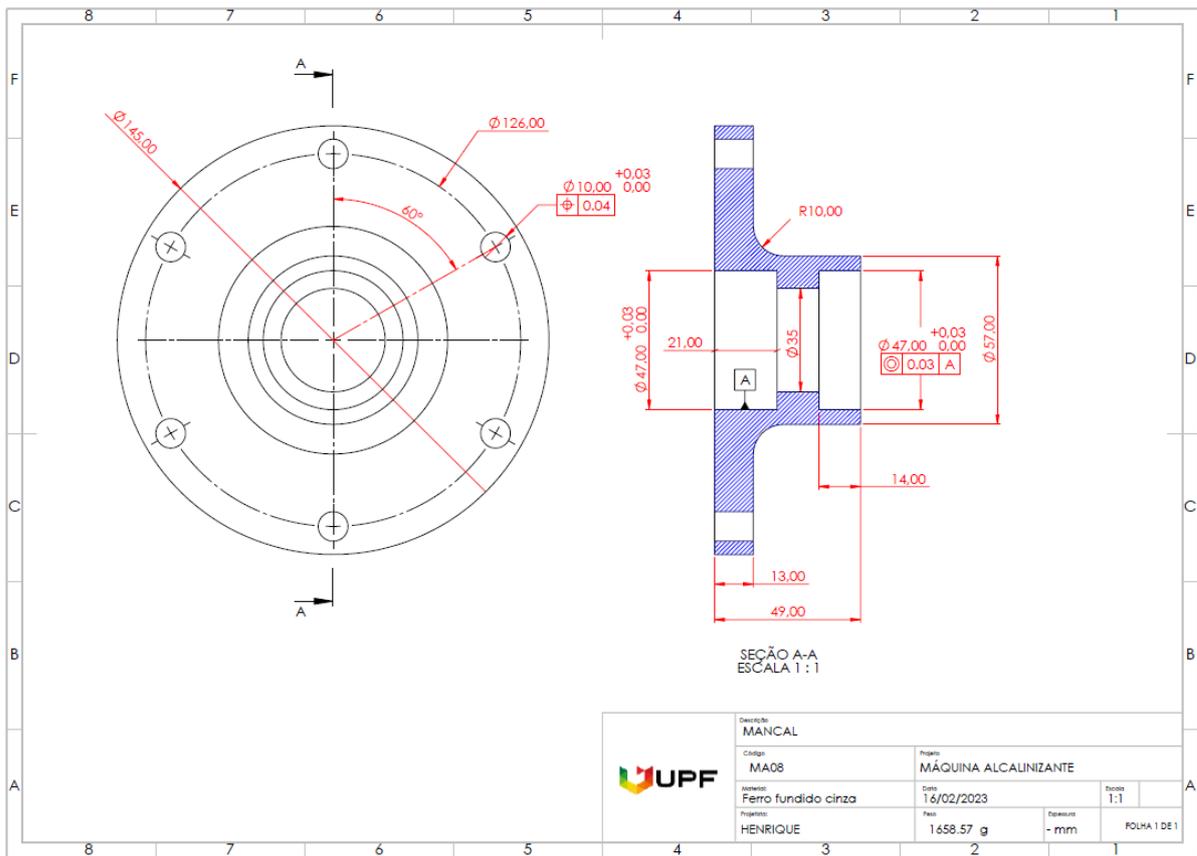
APENDICE G - Travessa central da estrutura



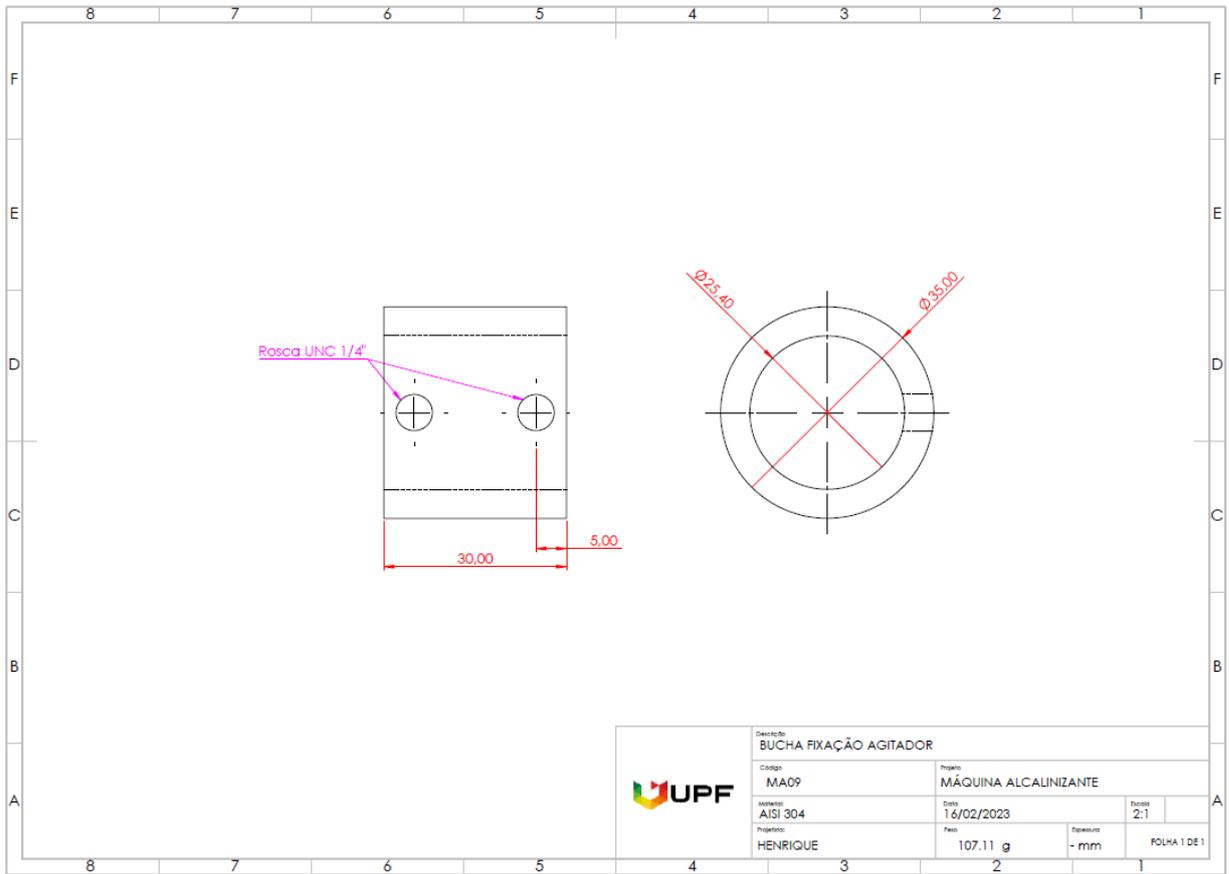
APENDICE H - Eixo central da estrutura



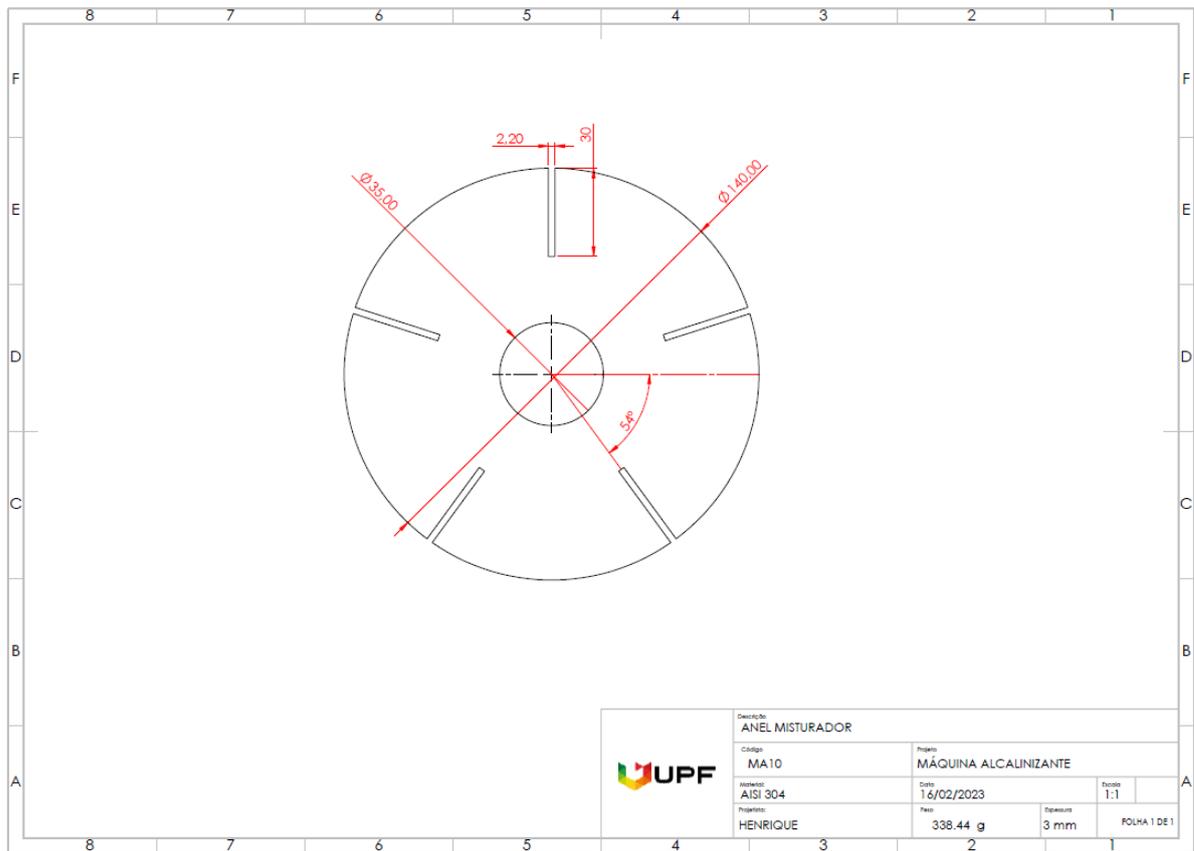
APENDICE I - Mancal



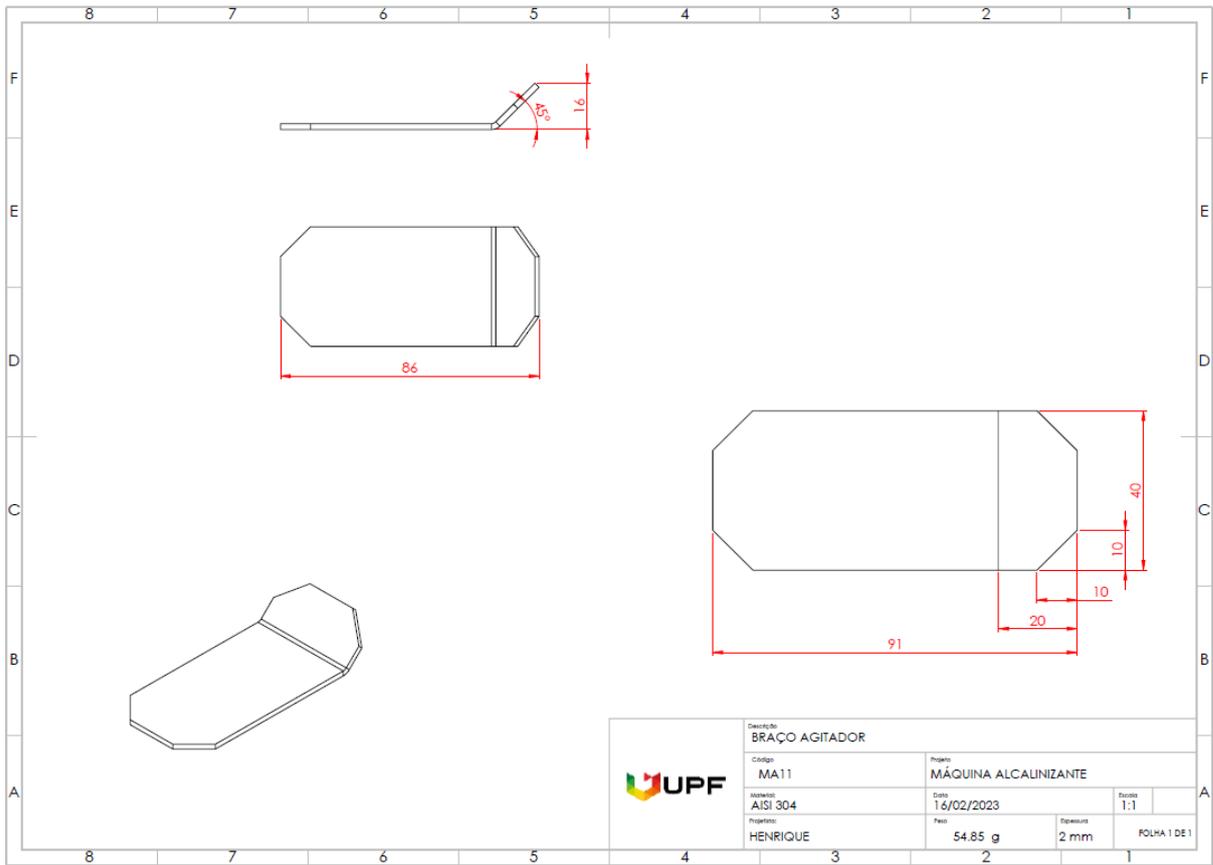
APENDICE J - Bucha fixação agitador



APENDICE K - Anel misturador

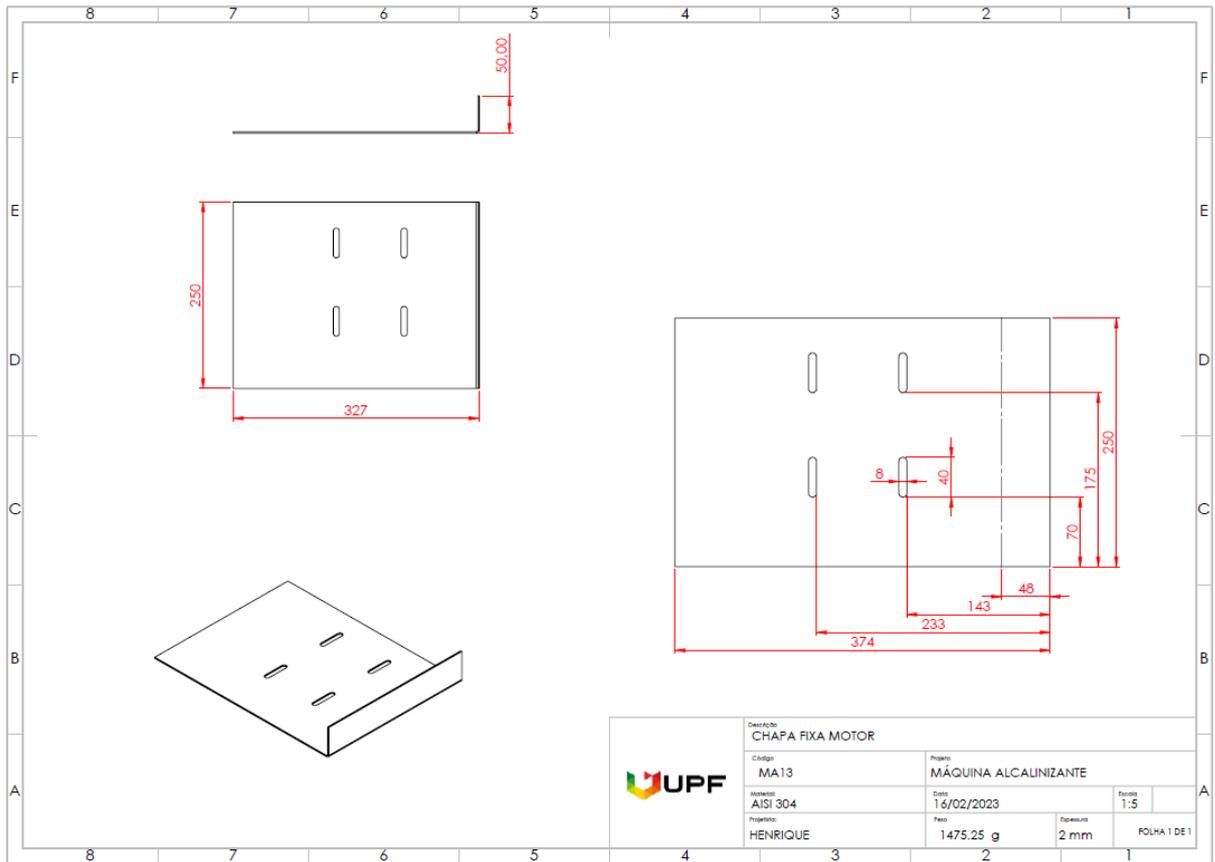


APENDICE L - Braço agitador

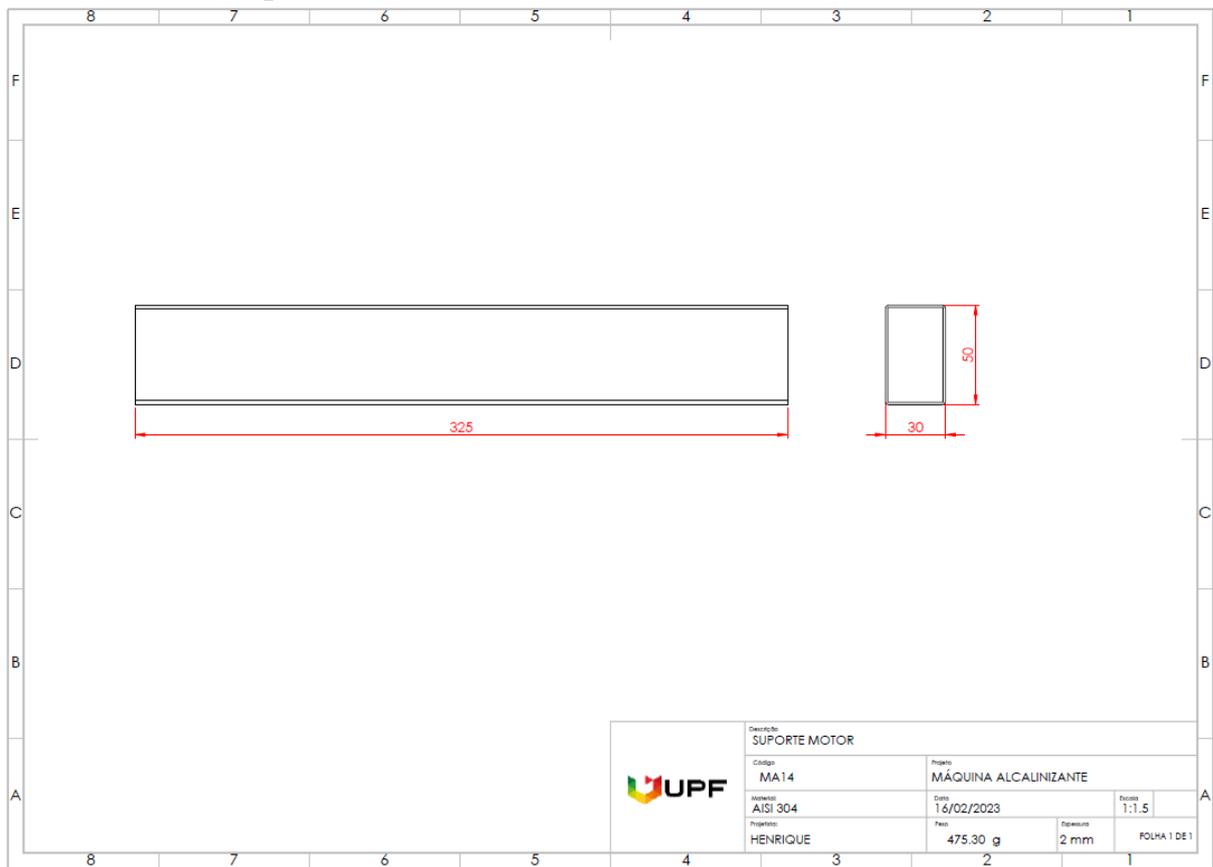


	Descrição: BRAÇO AGITADOR		Projeto: MÁQUINA ALCALIZANTE		
	Código: MA11		Data: 16/02/2023		
	Material: AISI 304		Escala: 1:1		
	Responsável: HENRIQUE		Peso: 54.85 g		
		Espessura: 2 mm		FOLHA 1 DE 1	

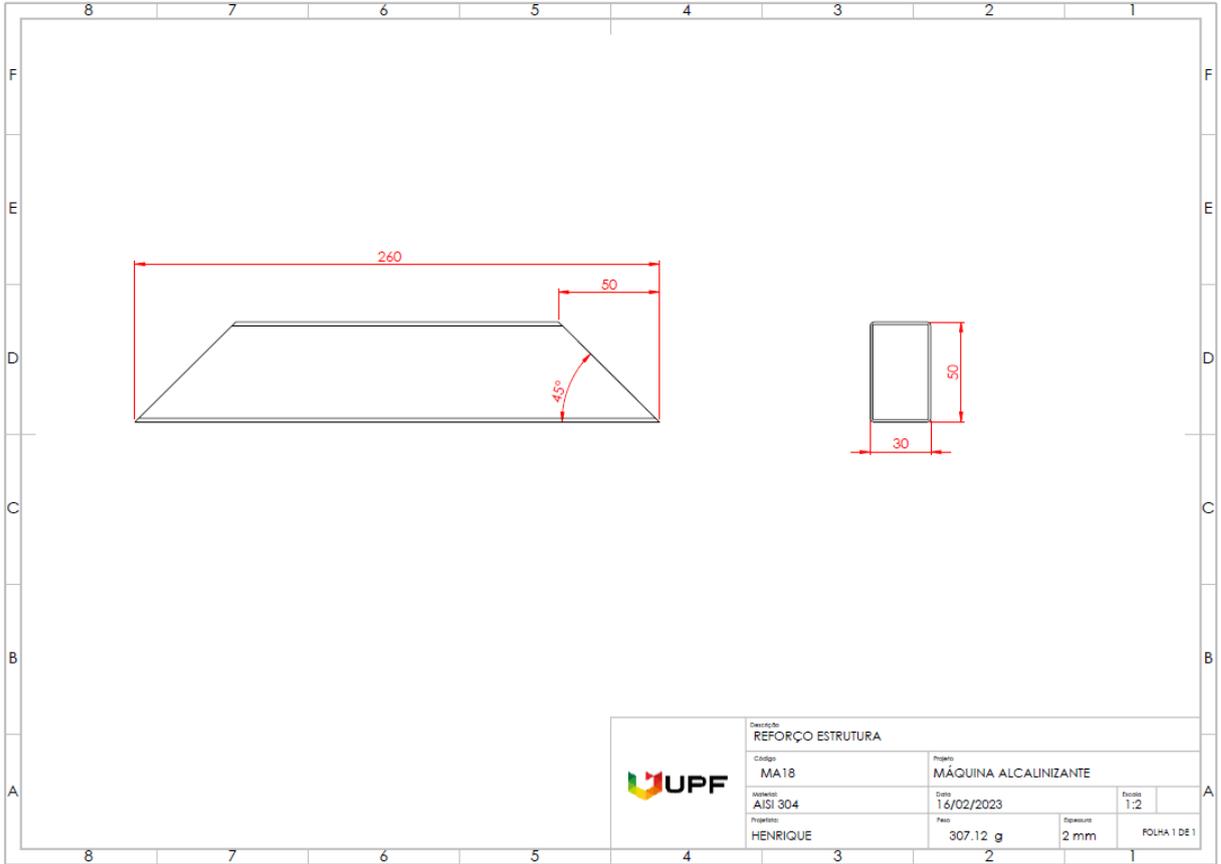
APENDICE M - Chapa fixa motor



APENDICE N - Suporte motor

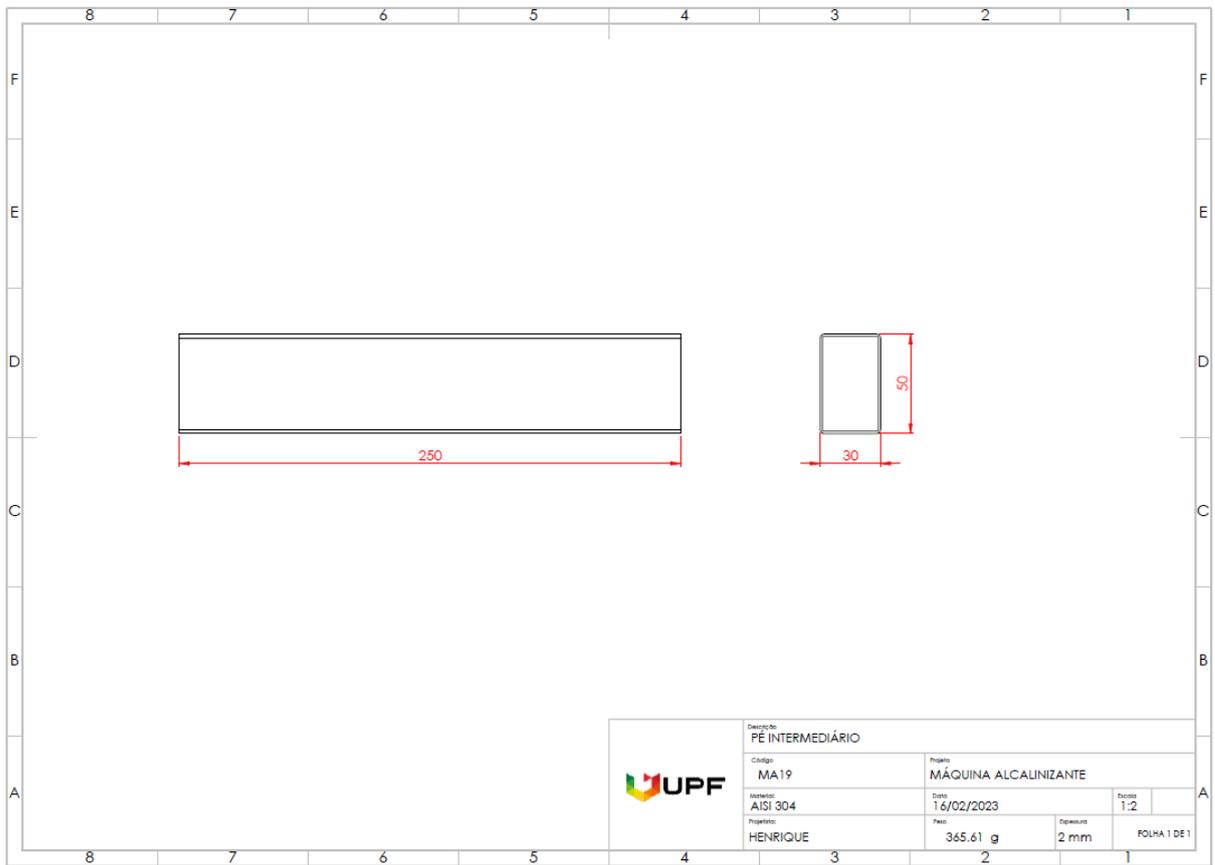


APENDICE O - Reforço da estrutura

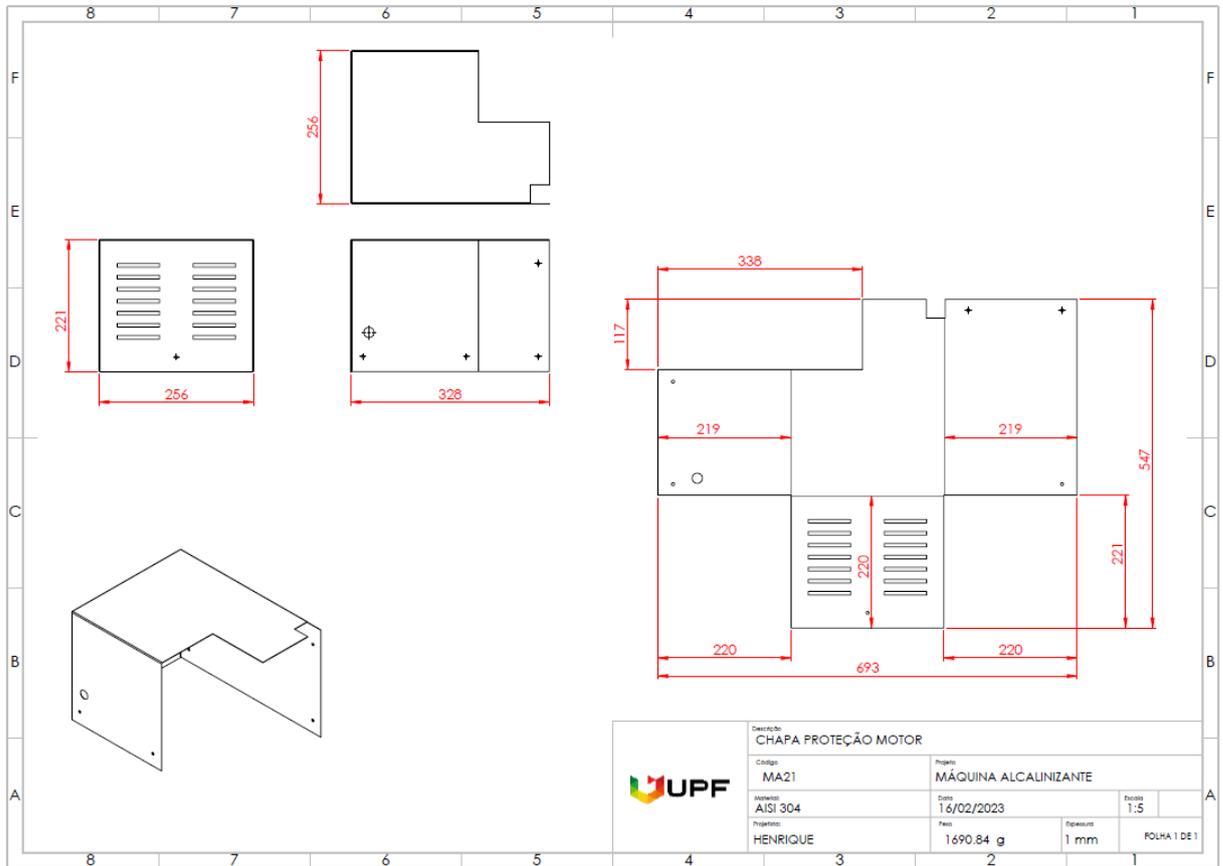


	Descrição: REFORÇO ESTRUTURA		
	Código: MA18	Projeto: MÁQUINA ALCALIZANTE	
	Materiais: AISI 304	Data: 16/02/2023	Escala: 1:2
	Projeto: HENRIQUE	Peso: 307.12 g	Espessura: 2 mm
			FOLHA 1 DE 1

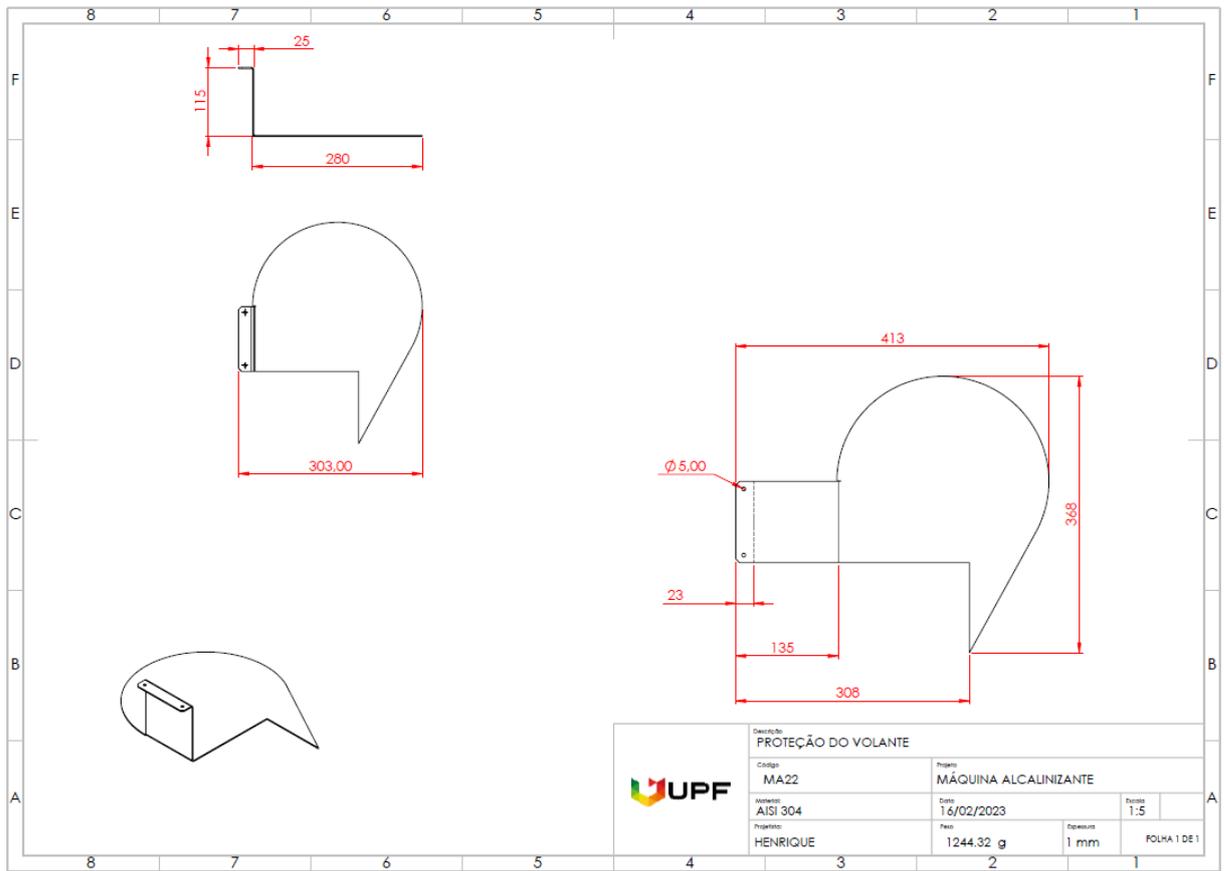
APENDICE P - Pé intermediário



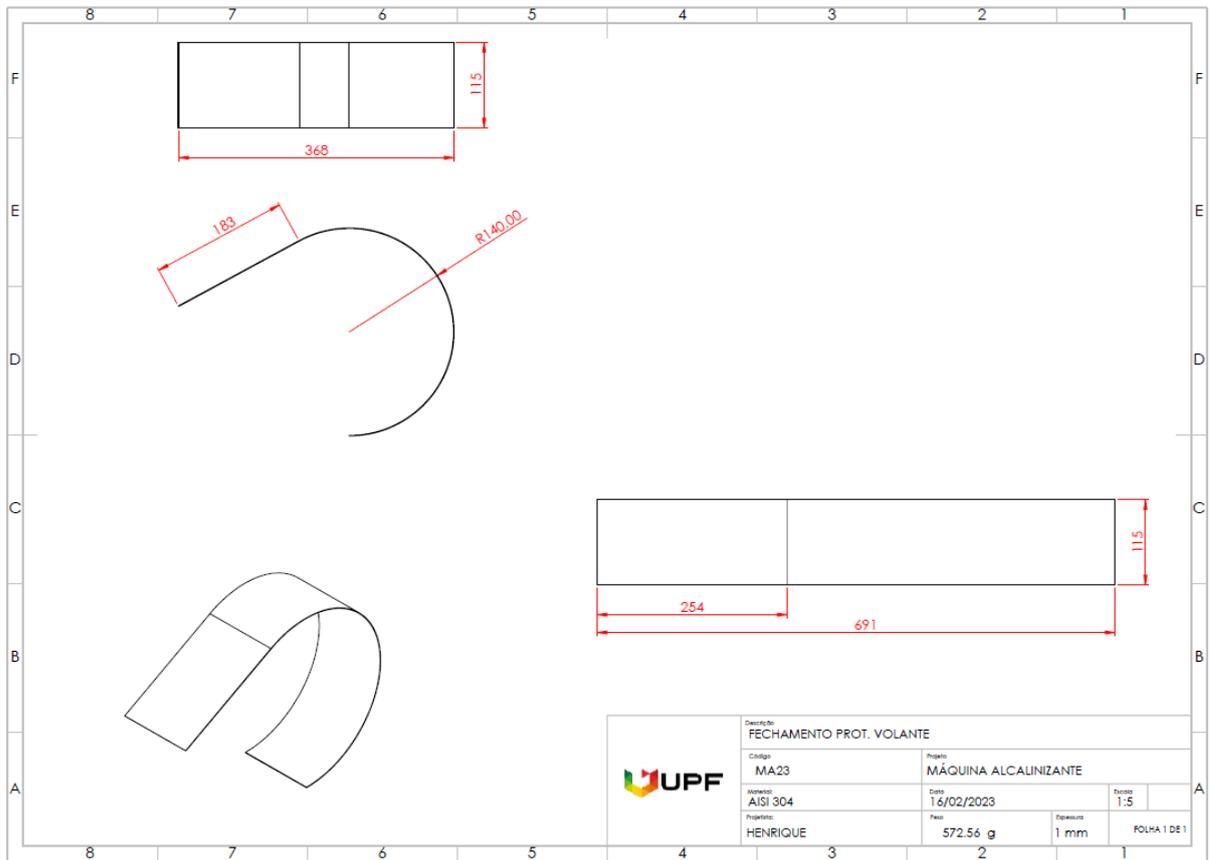
APENDICE Q - Chapa proteção do motor



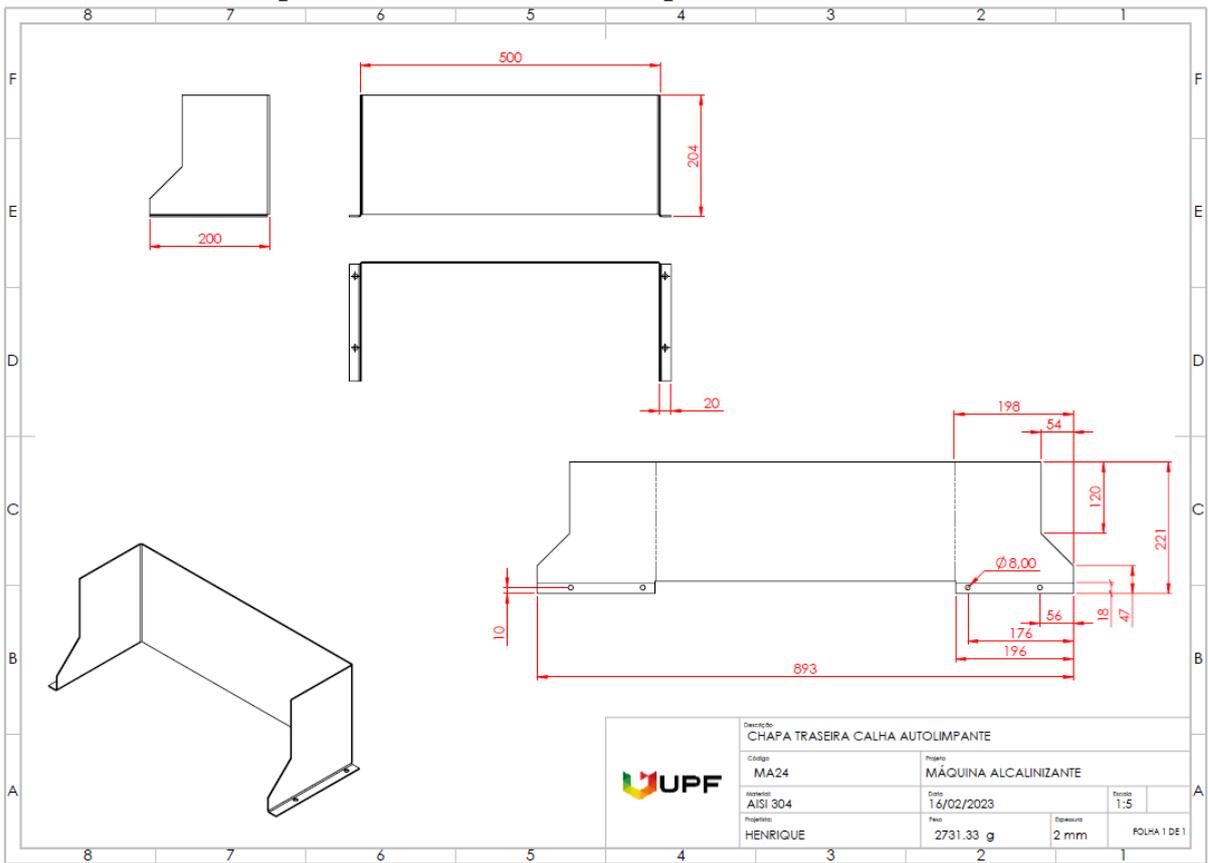
APENDICE R - Proteção do volante



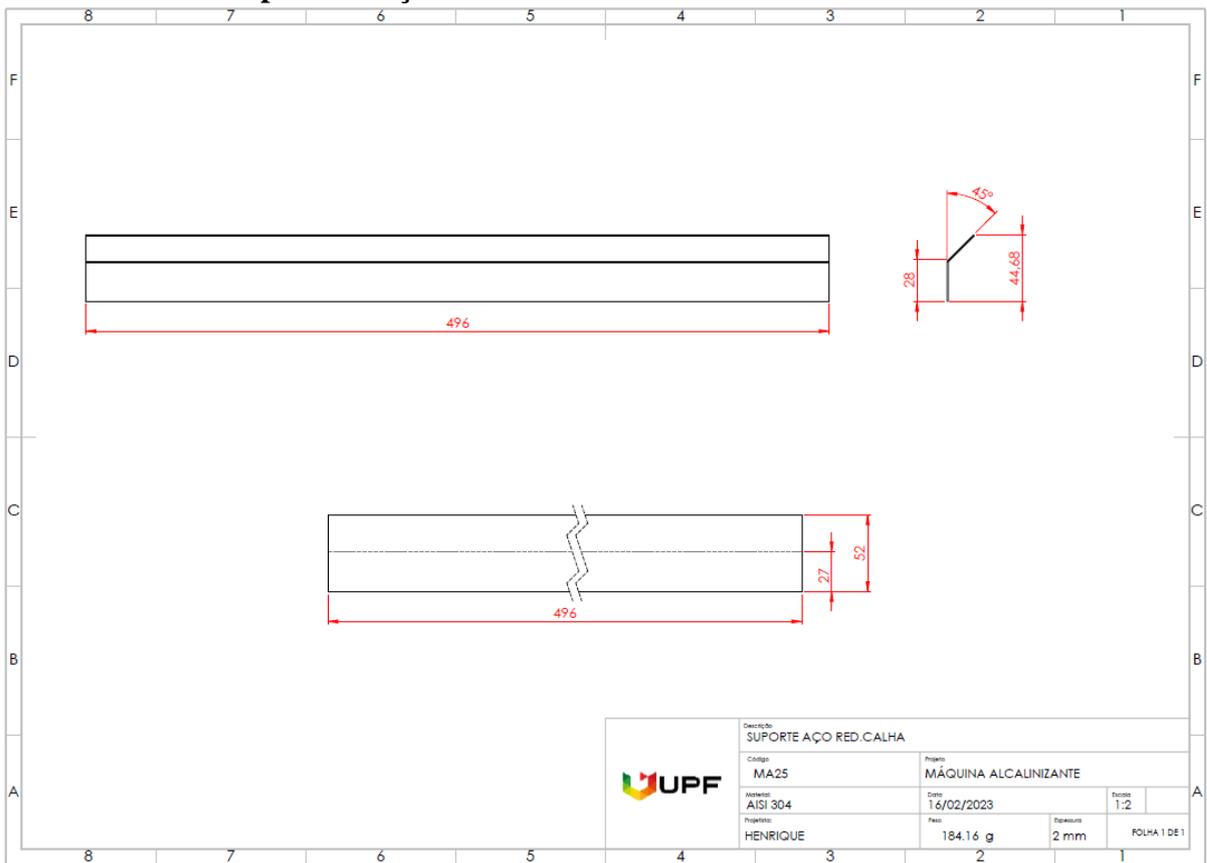
APENDICE S - Fechamento do volante



APENDICE T - Chapa traseira da calha autolimpante

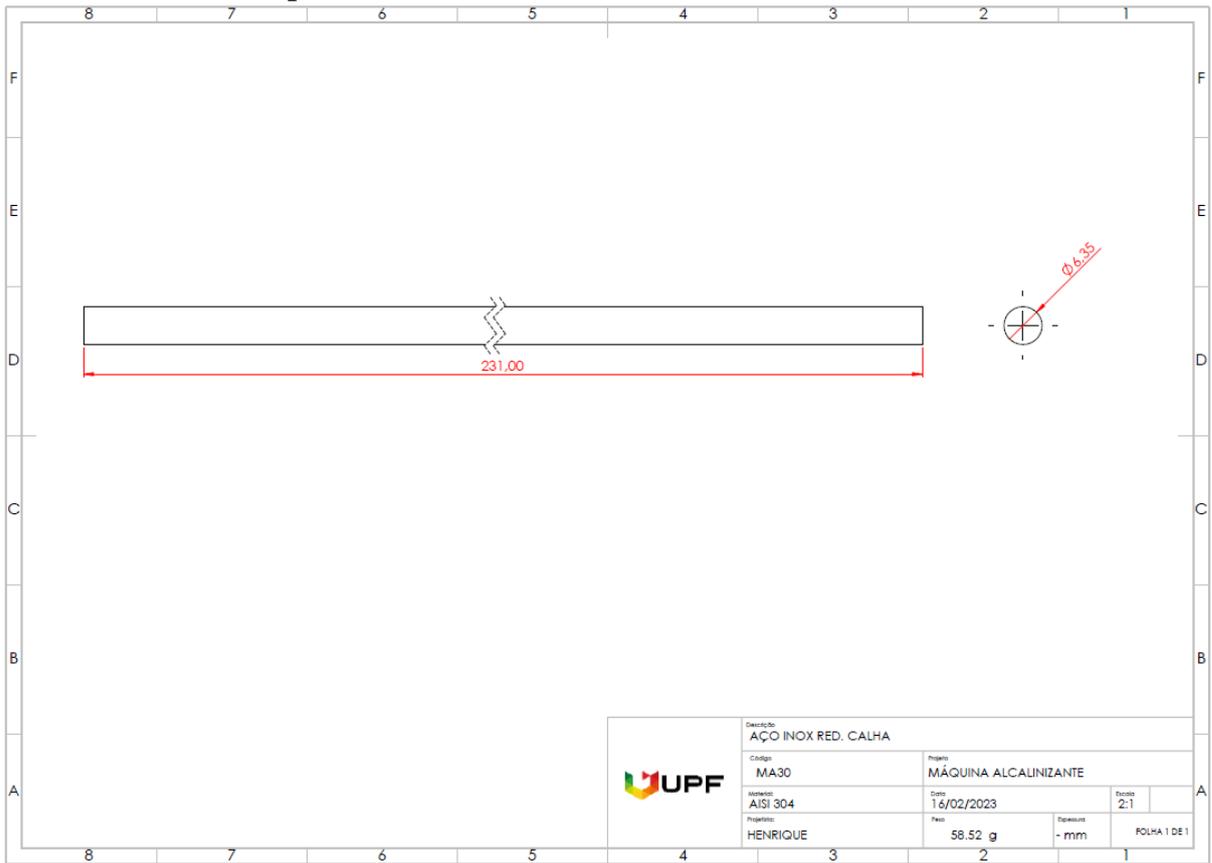


APENDICE U - Suporte de aço do redutor da calha



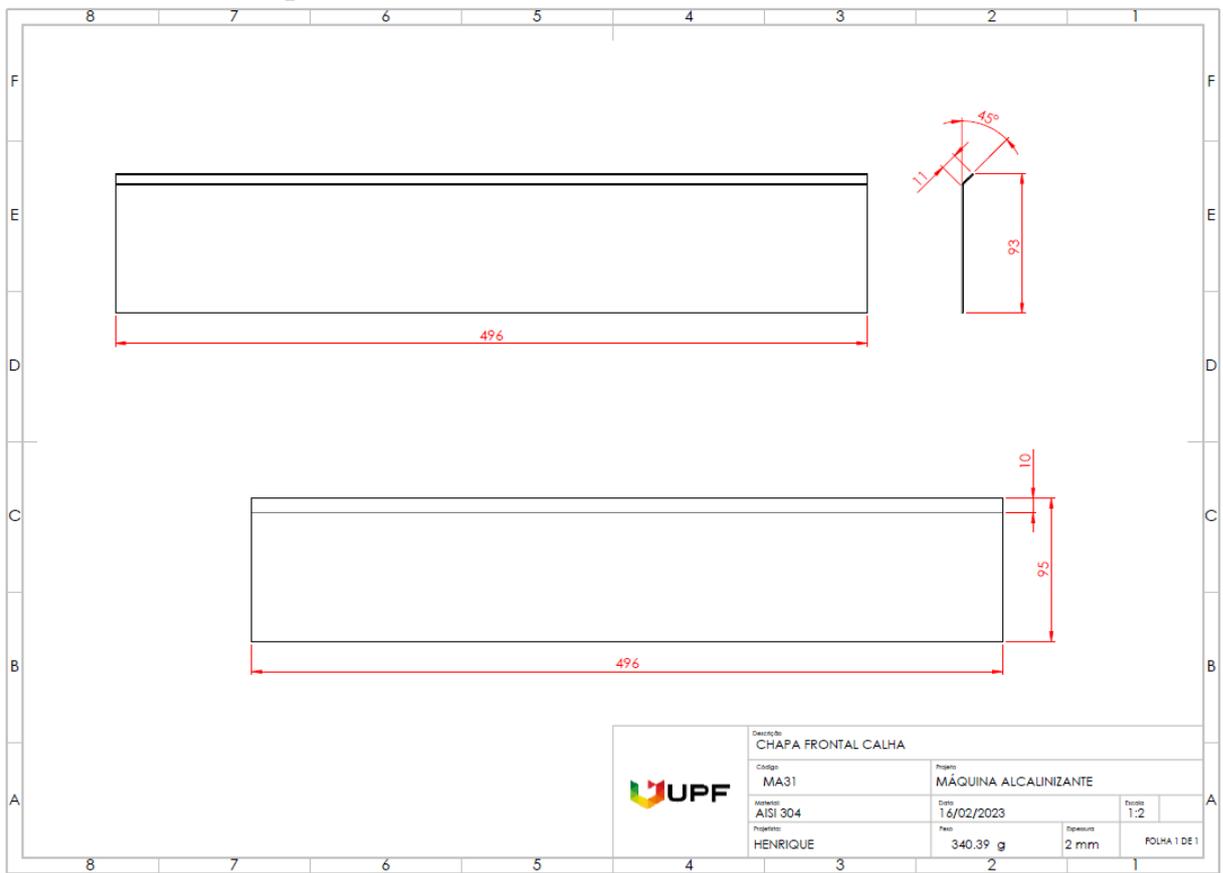
Descrição: SUPORTE AÇO RED.CALHA		Projeto	
Código: MA25	MÁQUINA ALCALINIZANTE		
Materiais: AISI 304	Data: 16/02/2023	Escala: 1:2	
Projeto: HENRIQUE	Peso: 184.16 g	Espessura: 2 mm	FOLHA 1 DE 1

APENDICE V – Chapa redutores da calha

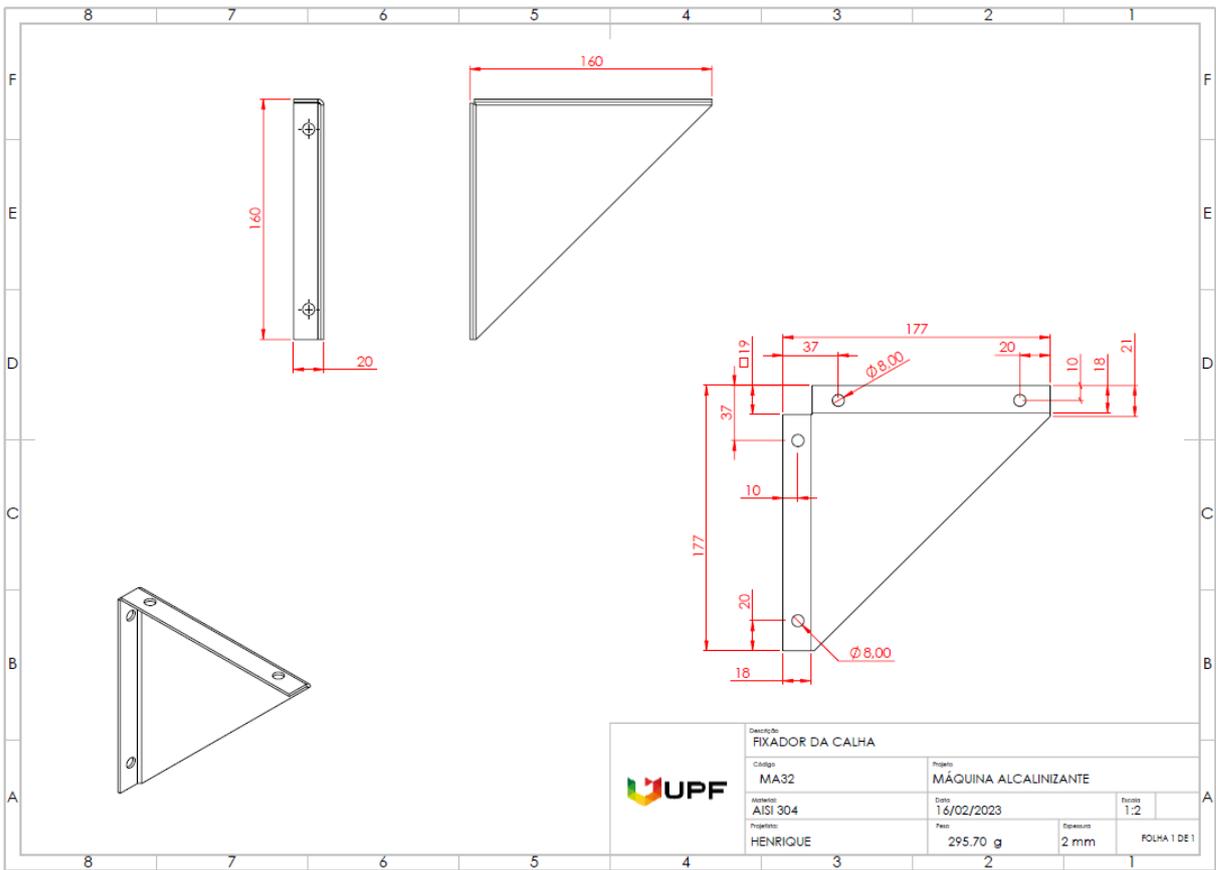


	Descrição: AÇO INOX RED. CALHA			Projeto: MÁQUINA ALCALINIZANTE	
	Código: MA30		Data: 13/02/2023		Escala: 2:1
	Material: AISI 304		Peso: 58.52 g		Espessura: - mm
	Projeto: HENRIQUE		FOLHA 1 DE 1		

APENDICE X - Chapa frontal da calha

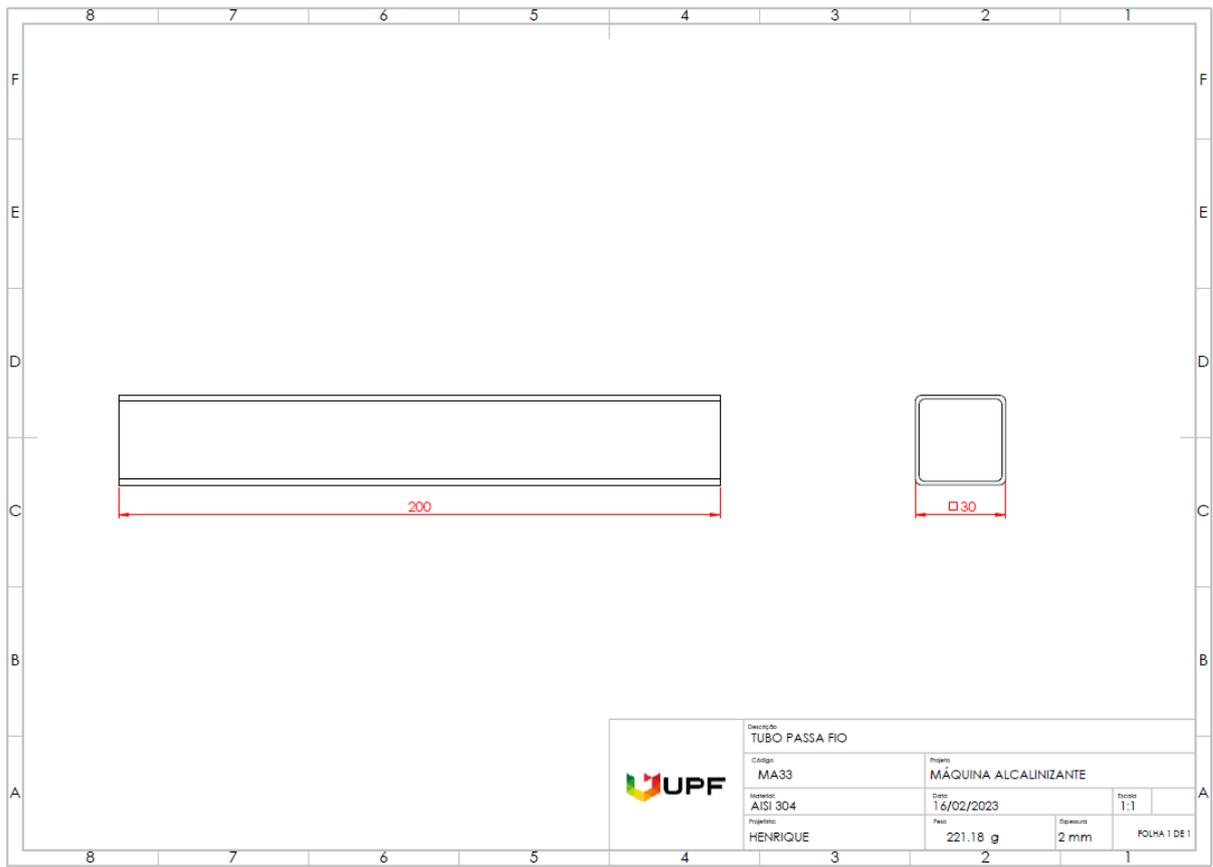


APENDICE Y - Fixador da calha

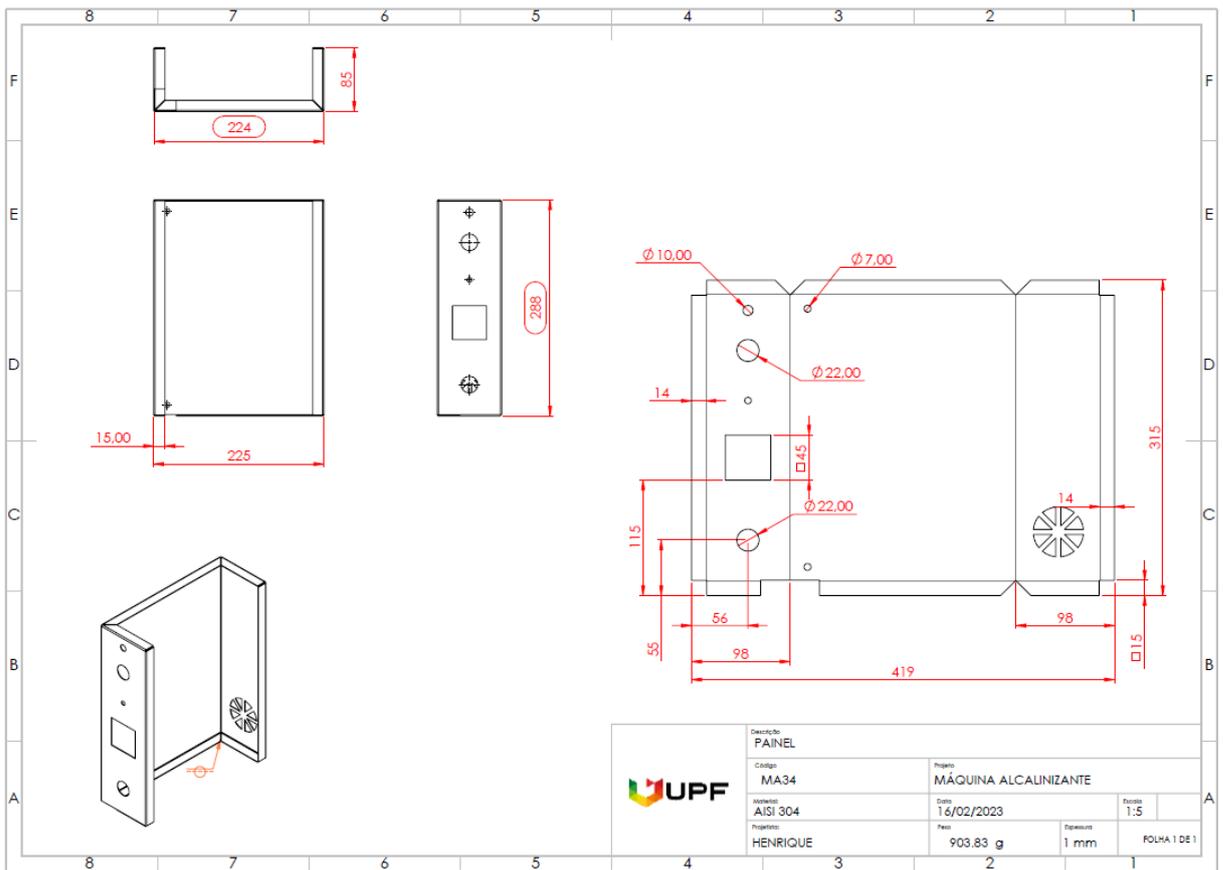


	Descrição: FIXADOR DA CALHA		Projeto: MÁQUINA ALCALIZANTE	
	Código: MA32		Data: 16/02/2023	
	Material: AISI 304		Escala: 1:2	
	Projeto: HENRIQUE		Peso: 295.70 g	
		Espessura: 2 mm		Folha 1 DE 1

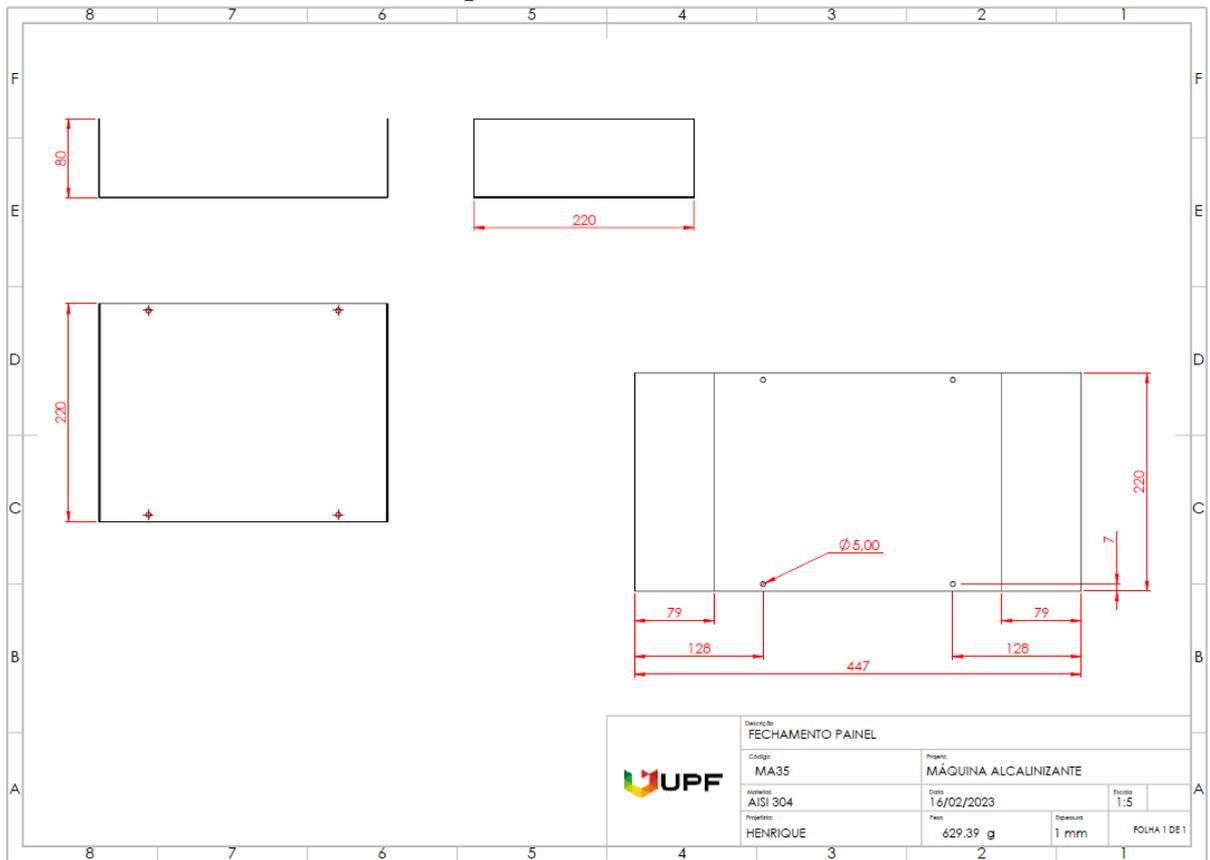
APENDICE Z - Tubo passa fio



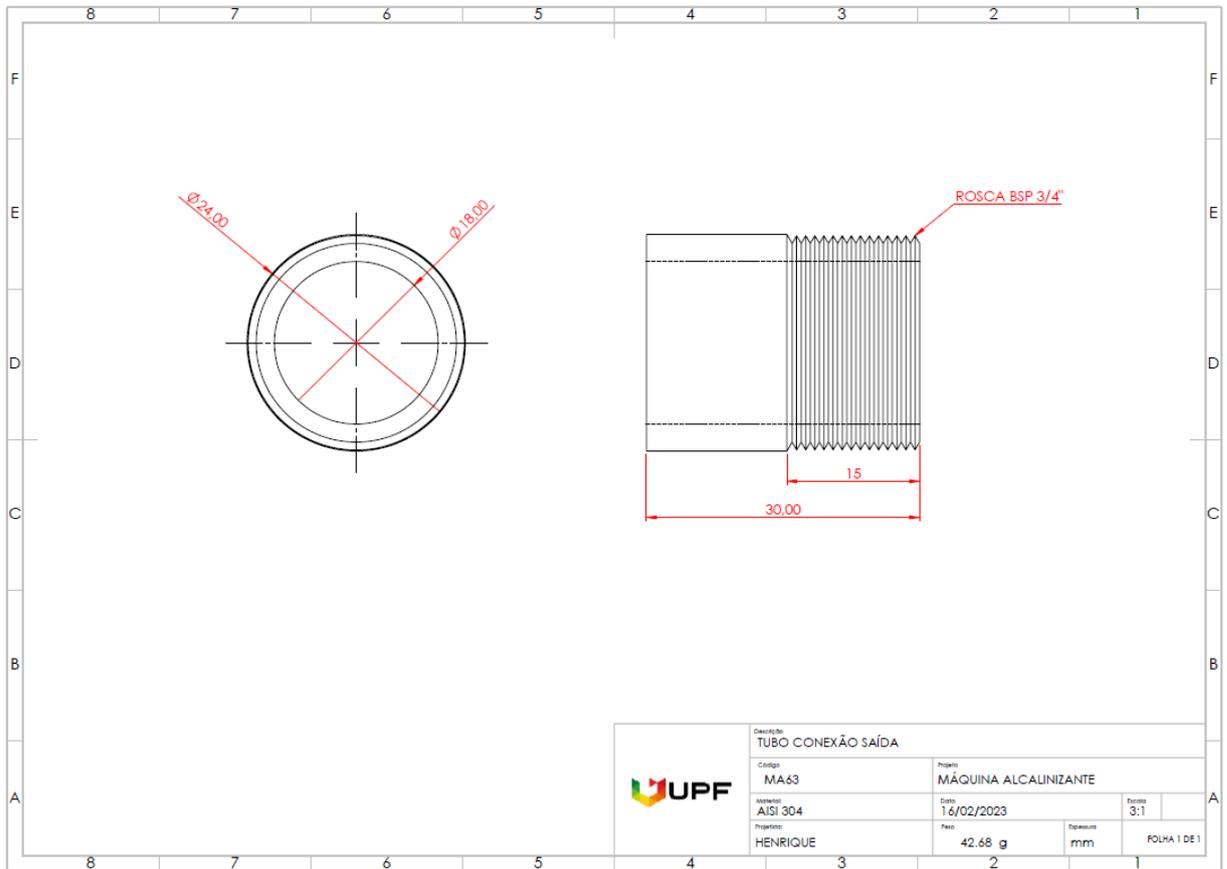
APENDICE AB - Painel



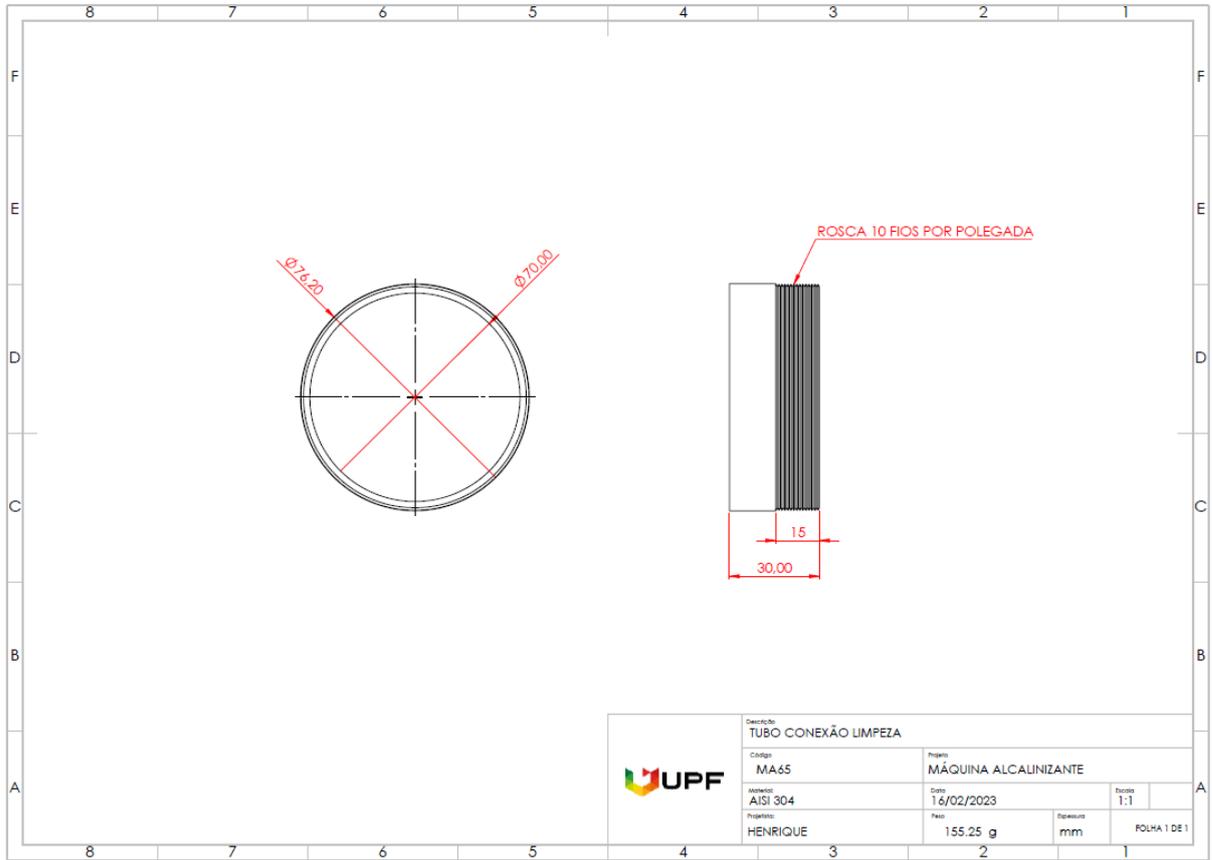
APENDICE AC - Fechamento do painel



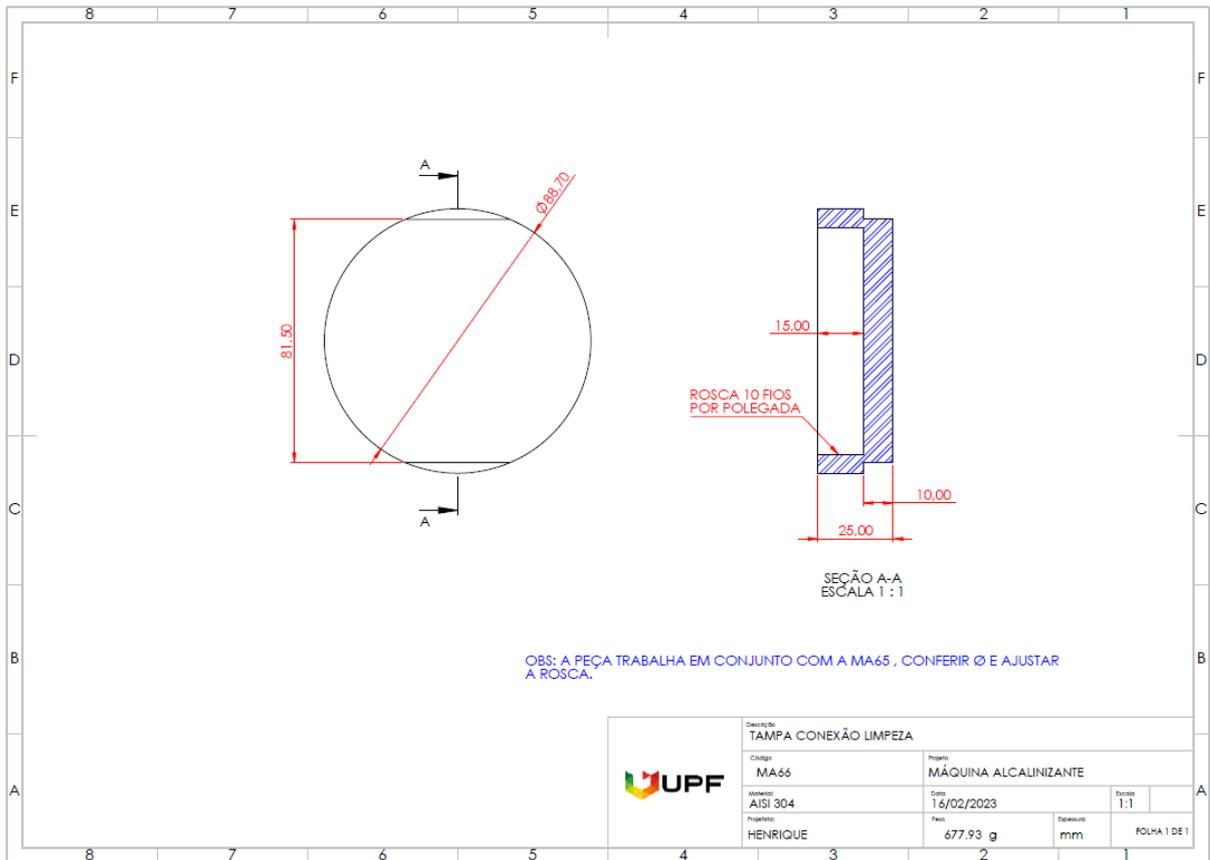
APENDICE AD - Tubo conexão de saída



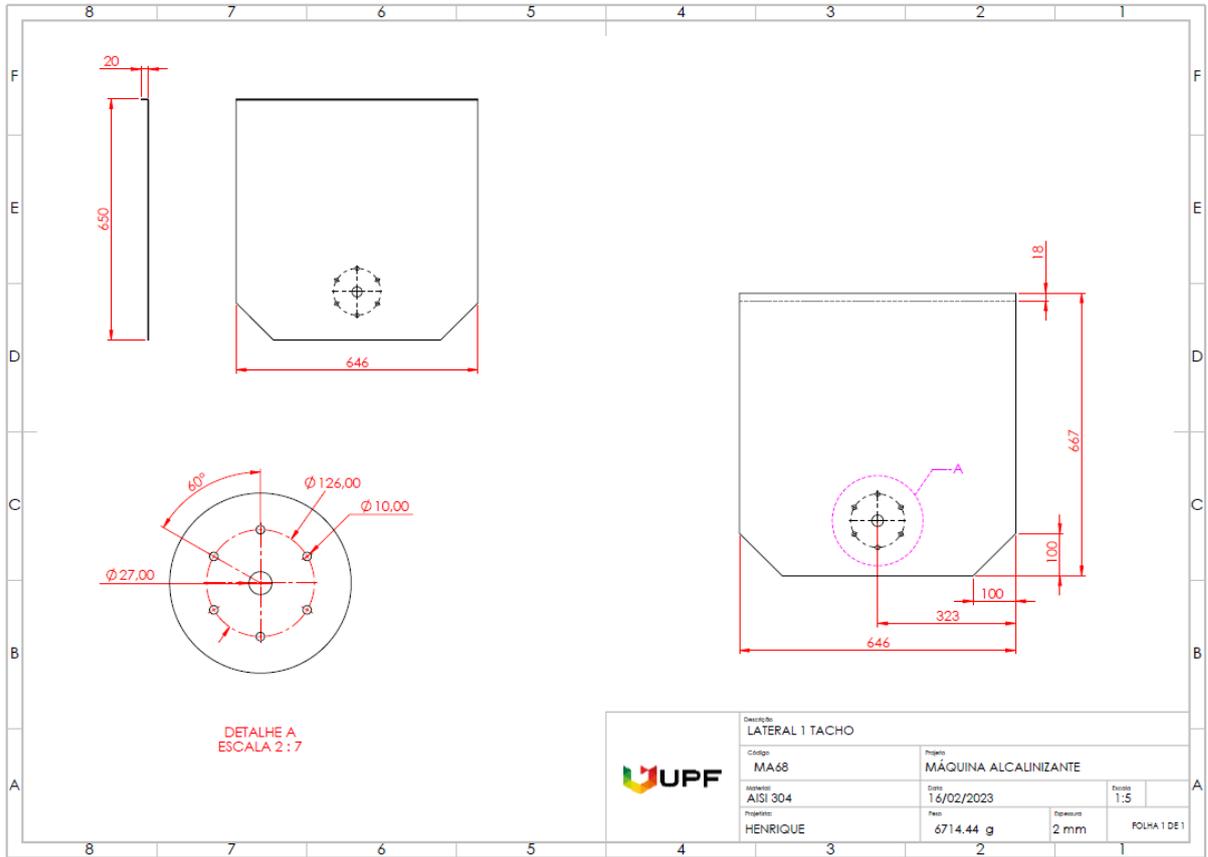
APENDICE AE - Tubo conexão de limpeza



APENDICE AF - Tapa de conexão para tubo da limpeza

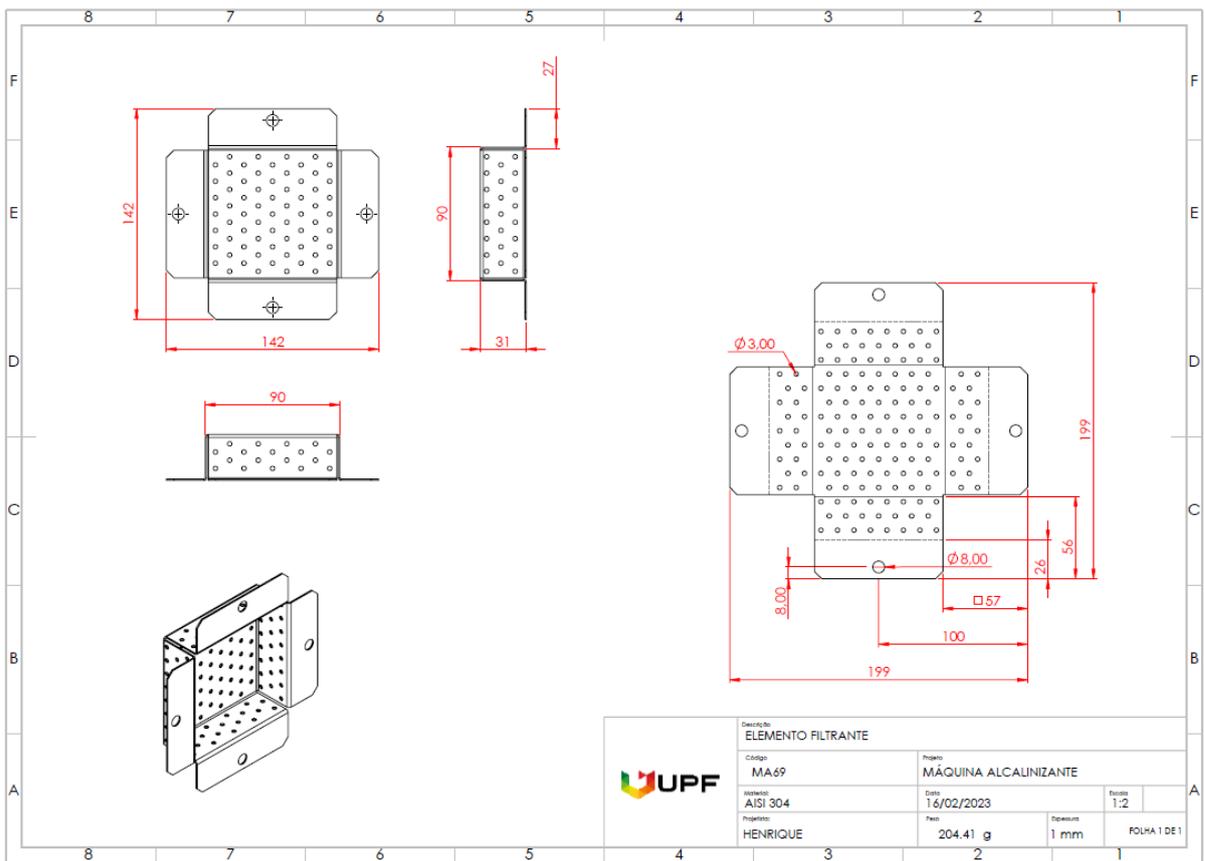


APENDICE AG - Lateral 1 do tacho



		Descrição: LATERAL 1 TACHO	
Código:	MA68	Projeto:	MÁQUINA ALCALINIZANTE
Material:	AISI 304	Data:	15/02/2023
Proprietor:	HENRIQUE	Peso:	6714.44 g
		Espessura:	2 mm
			FOLHA 1 DE 1

APENDICE AH - Elemento filtrante





UPF

UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br