



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AMANDA BATISTA MARANHÃO

**PROJETO ADAPTATIVO DE UM SISTEMA DE COLETA DE CINZAS**

Recife  
2023

AMANDA BATISTA MARANHÃO

**PROJETO ADAPTATIVO DE UM SISTEMA DE COLETA DE CINZAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica.

**Orientador:** Prof. Dr. Jorge Antonio Palma Carrasco

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Maranhão, Amanda Batista.

Projeto adaptativo de um sistema de coleta de cinzas / Amanda Batista  
Maranhão. - Recife, 2023.

57p : il., tab.

Orientador(a): Jorge Antonio Palma Carrasco

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica -  
Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. Projeto adaptativo. 2. Projeto conceitual. 3. Coletor de cinzas. I.  
Carrasco, Jorge Antonio Palma. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

AMANDA BATISTA MARANHÃO

**PROJETO ADAPTATIVO DE UM SISTEMA DE COLETA DE CINZAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica.

Aprovado em: 29/09/2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Jorge Antonio Palma Carrasco (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. José Maria Andrade Barbosa (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Adson Beserra da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

**“Você não pode esperar construir um mundo melhor sem melhorar os indivíduos. Para esse fim, cada um de nós deve trabalhar para o seu próprio aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, compartilhar uma responsabilidade geral por toda a humanidade.”**

*Autora: Marie Curie*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha mãe, Silene Queiroz Maranhão, pelo apoio incondicional, por estar sempre ao meu lado e acreditando em mim, o seu suporte foi essencial durante toda a graduação e elaboração deste trabalho.

Quero realizar também um agradecimento póstumo à minha avó, Terezinha Gomes da Silva, que durante a sua vida foi um exemplo de força e determinação que me inspiram até os dias de hoje.

Agradeço também às minhas tias, tios, madrinha, padrinho, primos e primas pelo incentivo e apoio.

Agradeço ao Professor Jorge Antonio Palma Carrasco pela orientação, paciência e contribuições fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os professores pois contribuíram para a formação do conhecimento e experiências profissionais que tenho hoje.

## RESUMO

Numa indústria cervejeira no estado de Pernambuco as cinzas geradas a partir da combustão de biomassa de uma caldeira flamotubular são depositadas em um recipiente confeccionado de fibra de celulose (papelão). Devido a característica de alta inflamabilidade do material este cenário ocasiona uma condição insegura com risco de incidentes com princípios de incêndio, pois em algumas circunstâncias ocorre a combustão incompleta da biomassa, sendo assim, algumas vezes, o coletor de cinzas entra em contato com o combustível ainda em processo de queima. Neste trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido o projeto conceitual de um coletor de cinzas utilizando um modelo de metodologia de projeto, visando atender requisitos de segurança e custos. Foi proposta a concepção de um modelo adaptativo do coletor, que deverá ser fabricado com um material incombustível, onde foram definidas suas características geométricas, de uso e manutenção, e ainda consideradas as possibilidades de sua utilização em outros processos desenvolvidos na planta.

**Palavras-chave:** Projeto adaptativo; Projeto conceitual; Coletor de cinzas.

## **ABSTRACT**

In a brewery in the state of Pernambuco, the ashes generated from the combustion of biomass in a mixed boiler are deposited in a container made of cellulose fiber (cardboard). Due to the high flammability characteristic of the material, this scenario causes an unsafe condition with a risk of incidents with the onset of fire, since in some circumstances there is incomplete combustion of the biomass, therefore, sometimes the ash collector comes into contact with the fuel still in the process of burning. In this course completion work, the conceptual design of an ash collector was developed using a previously chosen design methodology model, aiming to meet safety and cost requirements. The design of an adaptive model of the collector was proposed, which must be manufactured with a non-combustible material, where its geometric, use and maintenance characteristics were defined, and the possibilities of its use in other processes developed in the plant were considered.

**Keywords:** Adaptive design; Conceptual design; Ash collector.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Modelo de PDP	20
Figura 2 –	Sub etapas do desenvolvimento de produto	20
Figura 3 –	Diagrama de fluxo	29
Figura 4 –	Caldeira flamotubular ICF	30
Figura 5 –	Desenho representativo da fornalha da caldeira	31
Figura 6 –	Representação do coletor de cinzas atual	32
Figura 7 –	Esquema das etapas da coleta e descarte de cinzas	32
Figura 8 –	Mapa das partes interessadas do projeto	34
Figura 9 –	Grade de poder e interesse com as partes interessadas	35
Figura 10 –	Esquema do ciclo de vida do produto	36
Figura 11 –	Classificação dos requisitos dos clientes em atributos	37
Figura 12 –	Diagrama de Mudge	38
Figura 13 –	Diagrama de Pareto dos requisitos dos clientes	39
Figura 14 –	Matriz QFD	40
Figura 15 –	Análise funcional	41
Figura 16 –	Estruturas funcionais alternativas	42
Figura 17 –	Princípios de solução	43
Figura 18 –	Peças do coletor	46
Figura 19 –	Vista lateral do coletor fixado na pá carregadeira	46
Figura 20 -	Detalhe do sistema de fixação acionado	47
Figura 21 –	Proteção de partes móveis	47
Figura 22 –	Dimensões do coletor	48
Figura 23 –	Informações da pá carregadeira	55
Figura 24 –	Ângulo entre coletor no solo e pá carregadeira	55
Figura 25 –	Ângulo de inclinação do coletor retangular	56
Figura 26 -	Ângulo de inclinação do coletor trapezoidal	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Descrição das etapas da coleta e descarte de cinzas	33
Tabela 2 –	Hierarquização dos requisitos do produto	38
Tabela 3 –	Requisitos do Projeto	39
Tabela 4 –	Especificações-meta do projeto	41
Tabela 5 –	Matriz de Pugh	42
Tabela 6 –	Combinações de princípios de solução	44
Tabela 7 -	Estimativa de custo dos componentes	57
Tabela 8 -	Estimativa de custo dos materiais de insumo	57

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
3.1	BIOMASSA	15
3.1.1	<i>Combustão da biomassa e geração de resíduos</i>	16
3.1.2	<i>Disposição final dos resíduos sólidos</i>	17
3.2	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	18
3.2.1	<i>Macro fase de pré-desenvolvimento</i>	21
3.2.2	<i>Macro fase de desenvolvimento</i>	22
3.2.3	<i>Macro fase de pós desenvolvimento</i>	23
3.3	PROJETO INFORMACIONAL	23
3.4	PROJETO CONCEITUAL	25
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>30</b>
5.1	PLANEJAMENTO	30
5.1.1	<i>Identificação da oportunidade</i>	30
5.1.2	<i>Análise inicial do processo</i>	32
5.1.3	<i>Escopo do produto</i>	33
5.1.4	<i>Identificação das partes interessadas do projeto</i>	33
5.1.5	<i>Ciclo de vida do produto</i>	36
5.2	PROJETO INFORMACIONAL	37
5.2.1	<i>Requisitos do Cliente</i>	37
5.2.2	<i>Hierarquização dos requisitos do Cliente</i>	38
5.2.3	<i>Requisitos do projeto</i>	39
5.2.4	<i>Aplicação da Matriz QFD</i>	40
5.2.5	<i>Definição das especificações meta</i>	41
5.3	PROJETO CONCEITUAL	41
5.3.1	<i>Modelagem funcional do produto</i>	41
5.3.2	<i>Princípios de Solução</i>	43

5.3.3	<i>Alternativas de Soluções para o Produto</i>	44
5.3.4	<i>Análise da Solução do Produto</i>	45
6	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS</b>	50
7	<b>CONCLUSÕES</b>	51
	<b>REFERÊNCIAS</b>	52
	<b>APÊNDICE A – GEOMETRIA DO COLETOR</b>	55
	<b>APÊNDICE B – LISTA DE COMPONENTES E ESTIMATIVA DE CUSTO</b>	57

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de vapor são de grande importância em processos industriais que necessitam de uma fonte de energia térmica, recurso que se tornou fundamental desde meados do século XVIII com o surgimento das primeiras máquinas destinadas a geração de vapor (BAZZO, 1995). A matéria no estado gasoso proveniente da vaporização da água é um dos principais meios de transporte de energia térmica em processos industriais, pois a água é uma substância facilmente disponível, é um fluido limpo e inodoro, incombustível, pouco agressiva quimicamente e com grande capacidade de transporte de energia.

Uma caldeira a vapor é um dos principais meios de geração de vapor, é um dispositivo utilizado para mudar o estado físico da água de líquido para gasoso, a fim de ser usado em aquecimento, acionamento de máquinas, em processos industriais, esterilização, e geração de energia elétrica.

Na indústria cervejeira o vapor desempenha um papel fundamental, sem o qual não seria possível a produção. O vapor gerado nas caldeiras é utilizado para cozimento do mosto, nas operações de limpeza das linhas de fabricação, na pasteurização do produto, etc. A vaporização da água por meio de caldeiras necessita de energia oriunda de combustíveis que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos e de outras fontes, a depender do tipo de caldeira e da disponibilidade do combustível, entre outros fatores.

A biomassa é um combustível renovável e de baixo custo quando comparado com outros combustíveis concorrentes, como o gás natural. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), em 2021 foi a segunda maior fonte de oferta interna de energia no Brasil. Com isso, a caldeira de biomassa se torna uma boa alternativa industrial para a transformação de energia com baixo custo.

No entanto, as caldeiras de biomassa geram resíduos sólidos após o processo de combustão, as cinzas. Em média 2,4% da massa de biomassa utilizada na caldeira se transforma em cinzas (CACURO; WALDMAN, 2015), por isso torna-se importante implementar sistemas de armazenamento, transporte e descarte adequados. É bom destacar que as cinzas possuem valor econômico, pois podem ser usadas na construção civil como uma alternativa para a substituição parcial da areia em concretos e argamassas de revestimento, também podem ser utilizadas na agricultura, no tratamento de água e em várias outras aplicações.

Apesar do propósito do processo de combustão atender a princípios que assegurem economia ou eficiência na queima de combustível (BAZZO, 1995), na prática não ocorre o aproveitamento integral da energia disponível no combustível devido à alguns fatores, como: falta de oxigênio (regulagem do soprador de ar), umidade do combustível acima do recomendado, excesso de combustível (regulagem da velocidade das roscas de alimentação da fornalha), tempo insuficiente para a ocorrência da reação de combustão (regulagem da velocidade dos grelhados da fornalha), entre outros (LOPES *et al.*, 2023).

Dentro desse contexto encontra-se o caso de uma planta industrial de produção de cerveja, onde o vapor utilizado é gerado em caldeiras que utilizam biomassa, gás natural ou gás metano como combustível. A casa de caldeiras da planta é considerada uma área classificada, ou seja, é um local sujeito a probabilidade de formação de atmosfera explosiva ou inflamável (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), sendo de extrema importância o monitoramento para prevenir a formação de focos de incêndio. Da mesma forma, o local onde são depositadas as cinzas provenientes da combustão da biomassa é um ponto crítico de segurança, pois existe o risco de que o material depositado ainda esteja em combustão devido a falhas operacionais da caldeira. Por esse motivo, o armazenamento de cinzas provenientes da caldeira de biomassa em um coletor inadequado constitui uma condição de risco com potencial de provocar acidentes e causar lesões graves nos trabalhadores, pois caso haja alguma falha operacional podem ocorrer situações em que as cinzas tenham calor residual suficiente para iniciar um incêndio. Nesse sentido, é essencial adotar medidas adequadas para garantir um ambiente de trabalho seguro.

Portanto, a finalidade deste trabalho é desenvolver o projeto conceitual de um coletor de cinzas que atenda aos requisitos de segurança e que seja de fácil deslocamento e manejo para descarte.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver o projeto adaptativo de um sistema de coleta de cinzas de uma caldeira flamotubular que atenda às necessidades da planta utilizando uma metodologia de projeto de desenvolvimento de produto.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o contexto e as características do setor da planta industrial onde será desenvolvido o trabalho para determinar as características do projeto;
- Escolher um modelo de referência para desenvolver o projeto de adaptação do sistema de coleta de cinzas;
- Elaborar o conjunto de especificações-meta que possibilite o desenvolvimento da concepção do coletor de cinzas modificado;
- Desenvolver e entregar a concepção de um coletor de cinzas modificado que satisfaça os parâmetros do processo e que seja de acordo com as normas e legislações para operações e usuários da área.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 BIOMASSA

A biomassa é uma das fontes mais importantes de energia renovável no mundo e o Brasil a produz numa quantidade expressiva, havendo previsão de que em 2030 a produção chegue perto de 1Gt (MORAES *et al.*, 2017), sendo este um dos fatores que contribuem para que a biomassa no Brasil seja uma opção energética viável. Existem várias formas de utilizar a biomassa, como por exemplo na produção de eletricidade (DAHIYA, 2019), na produção de biogás por meio de processos de digestão anaeróbica (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2010) e na produção de vapor, utilizando-a como combustível em caldeiras, onde a biomassa utilizada pode ser o Bambu, Eucalipto, Algaroba, entre outras, que após a combustão gera cinzas como resíduo.

Nos últimos anos, a biomassa tem ganhado cada vez mais destaque como fonte de energia na matriz nacional. A utilização desse recurso renovável desperta interesse devido à sua capacidade de suprir a demanda energética de forma sustentável, reduzindo os impactos ambientais e impulsionando a criação de empregos, além de promover o desenvolvimento econômico em diversas regiões (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Os processos de aproveitamento energético da biomassa podem ser agrupados em três categorias principais: processos físicos, termoquímicos e biológicos. Os processos físicos envolvem densificação, redução de tamanho e extração de óleos vegetais por meio de prensagem. Os processos termoquímicos são caracterizados por altas temperaturas e incluem combustão direta, gaseificação, pirólise e liquefação. Já os processos de conversão biológica são comumente aplicados em biomassa com alto teor de umidade e envolvem digestão anaeróbia e fermentação alcoólica (NOGUEIRA e LORA, 2003).

De acordo com (BORGES NETO e CARVALHO, 2012), a matéria orgânica, antes de ser empregada para gerar energia, necessita passar por uma verificação, com o intuito de estabelecer sua capacidade de queima. Uma das maneiras mais comuns de efetuar essa avaliação é por meio da análise imediata e da mensuração da capacidade térmica e da compactidade.

A matéria orgânica, seja de origem vegetal ou animal (incluída a espécie humana) é considerada biomassa, pois representa um processo natural de armazenamento de energia solar sob a forma de energia química (MICHAELIDES, 2018). A transformação da biomassa em eletricidade ou calor pode ser realizada por meio de rotas termoquímicas ou bioquímicas. A conversão bioquímica pode envolver a digestão anaeróbica, bem como a fermentação para a produção de álcool. A tecnologia de conversão termoquímica pode abranger a combustão, gaseificação, pirólise e liquefação.

As áreas industriais relacionadas à alimentação, produção de papel, celulose e energia proveniente da cana-de-açúcar, de forma geral, empregam a biomassa em sistemas de cogeração para suprir as necessidades de energia elétrica e térmica. A biomassa apresenta distinções em comparação aos combustíveis não renováveis que são queimados em caldeiras, tais como: teor de matéria orgânica e inorgânica, conteúdo energético e características físicas.

Conforme indicado no relatório da EPE (2021), o setor industrial no Brasil é o principal consumidor de biomassa no país. No ano de 2020, esse setor foi responsável pelo consumo de cerca de 36,7 Mt. Do consumo total, o segmento de alimentos e bebidas se destaca como o maior usuário, representando aproximadamente 55,8%. No mesmo período, a capacidade instalada para geração de eletricidade a partir de biomassa atingiu 43,1 MW, um aumento de 4,4% em comparação ao ano anterior. Dentre as fontes de biomassa utilizadas, a lenha e o bagaço de cana têm desempenhado um papel crucial no suprimento de energia interna, sendo responsáveis pela produção aproximada de 83 Mt e 182 Mt, respectivamente, em 2020.

### *3.1.1 Combustão da Biomassa e Geração de Resíduos*

Os detritos e os restos provenientes da agricultura, em grande parte contendo materiais de origem vegetal, têm uma posição de destaque dentre a biomassa disponível, principalmente devido à sua abundância e natureza renovável. A biomassa de origem vegetal é composta, principalmente, por celulose, hemicelulose e lignina, com proporções que variam entre 40% e 60%, 20% e 40% e 15% e 25%, respectivamente (SOUZA *et al.*, 2012).

A queima da biomassa passa por várias etapas, incluindo aquecimento, secagem e devolatilização (pirólise), que resulta na formação de carvão e voláteis, incluindo alcatrões e gases. Esses voláteis e o carvão são então submetidos à combustão. Embora a biomassa seja considerada uma fonte sustentável, sua queima gera diversas emissões, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), e também resíduos sólidos.

A cinza de caldeira é o resíduo sólido formado a partir da combustão de diversas formas de biomassa. De modo geral, as cinzas provenientes de caldeiras que queimam biomassa consistem em uma combinação de minerais oxidados, areia e carbono orgânico parcialmente queimado. Assim, as cinzas representam a parte inorgânica da biomassa e contêm os elementos que não desempenham um papel relevante nas reações de combustão, como fósforo, potássio e cálcio.

### *3.1.2 Disposição Final dos Resíduos Sólidos*

No contexto da gestão de cinzas de biomassa, existem várias abordagens. Uma delas é a reciclagem das cinzas para usos benéficos. Por exemplo, as cinzas podem ser utilizadas como fertilizantes agrícolas, material inerte na construção civil, adsorvente em substituição ao carvão ativado na retirada de metais e corantes de meios aquosos (CACURO e WALDMAN, 2015).

Estes resíduos podem ser classificados segundo a NBR 10.004/2004. As cinzas podem ser classificadas como Classe II e este resíduo precisa então ser disposto em aterros industriais ou dispostos controladamente no solo, sendo preferida pelos Órgãos Ambientais a primeira forma.

As cinzas oriundas da queima da biomassa podem ter as seguintes alternativas para a sua disposição final:

- Aterro sanitário: Segundo NBR 8.419/2004, aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, utilizando técnicas de engenharia para reduzir o volume e confinar os resíduos, cobrindo-os com camadas de terra após cada etapa de trabalho ou quando necessário. A destinação de cinzas para o aterro sanitário não apresenta vantagens em relação ao aproveitamento do valor químico que a possui, outra desvantagem é a grande área requerida para o seu armazenamento devido ao seu volume produzido continuamente.

- Agricultura: De acordo com Gonçalves e Moro (1995), as cinzas geradas na combustão da biomassa podem ser reaproveitadas para a correção do PH ácido do solo utilizados na agricultura, tendo maior produtividade em culturas que utilizou a correção do solo com cinzas para aumento do PH.
- Compostagem: Segundo Wittmann (2010), a compostagem é um processo em que microrganismos convertem resíduos orgânicos sólidos em um composto orgânico estável por meio de uma reação bioquímica aeróbica. Isso resulta na formação de dióxido de carbono e água como produtos. Uma das vantagens da técnica é a obtenção de insumo agrícola de fácil manipulação e livre de microrganismos patogênicos.
- Indústria cerâmica: Conforme Borlini *et al* (2005), a utilização das cinzas para a para a fabricação de materiais cerâmicos pode facilitar a etapa de secagem devido a elevada área superficial das cinzas, além disso pode reduzir a porosidade de queima.
- Construção civil: De acordo com Bardini (2008) e Vasconcellos *et al.* (2004) as cinzas podem substituir ou agregar alguns componentes na produção de misturas asfálticas e argamassas de cimento mantendo as propriedades mecânicas ou as diminuindo, porém, ficando ainda acima da especificação técnica, conseguindo assim diminuir o custo de fabricação desses materiais.

### 3.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Antes de aprofundar na descrição do processo de desenvolvimento de um produto é importante explicitar o conceito de produto. Segundo Armstrong e Kotler (2007), é algo que pode ser apreciado, adquirido, usado ou consumido satisfazendo um desejo ou necessidade, abrangendo não somente bens tangíveis como também serviços, eventos, pessoas, lugares, organizações, ideias ou objetos físicos. Sendo assim, o processo de desenvolvimento de um produto é a sequência de etapas ou atividades que uma empresa utiliza para conceber, projetar e comercializar um produto (ULRICH; EPPINGER, 2015).

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) é uma atividade fundamental para as empresas, pois permite a criação de novos produtos ou a melhoria de produtos

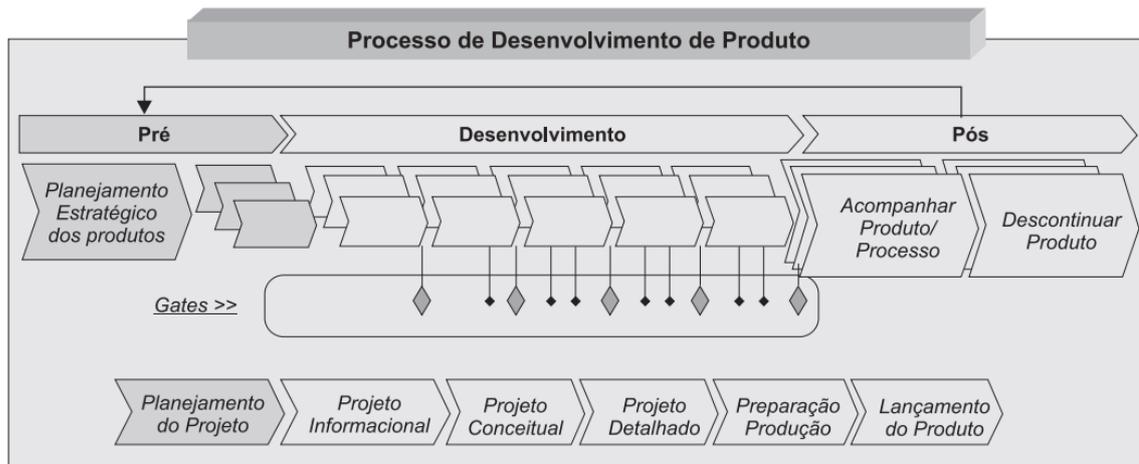
existentes, impulsionando a inovação e a competitividade no mercado. O desenvolvimento de produtos envolve a geração e implementação de ideias, o projeto e a validação do conceito, a definição das especificações técnicas, a construção do protótipo, a realização de testes e a produção em escala. Esse processo é complexo e multidisciplinar, exigindo a participação de equipes multifuncionais, incluindo profissionais de marketing, design, engenharia, produção, entre outros (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Existem muitos modelos para o Processo de Desenvolvimento de Produto proposto por diversos autores:

- Modelo Waterfall (Cascata): O modelo Waterfall é um dos modelos mais antigos e lineares. Ele segue uma sequência de etapas sequenciais, começando com a definição de requisitos, passando pelo design, desenvolvimento, testes e culminando na entrega do produto final. Cada etapa é concluída antes de avançar para a próxima;
- Modelo V: O modelo V é uma evolução do modelo Waterfall. Ele enfatiza a relação entre as fases de desenvolvimento e teste, apresentando uma estrutura em forma de "V". Cada fase de desenvolvimento tem uma fase correspondente de teste, visando garantir a qualidade do produto em cada etapa;
- Modelo Espiral: O modelo Espiral é uma abordagem iterativa e incremental para o PDP. Ele combina elementos do modelo Waterfall com ciclos de prototipagem, análise de risco e feedback contínuo. O processo é dividido em iterações, onde cada iteração passa por uma sequência de planejamento, avaliação de riscos, desenvolvimento e avaliação do produto;
- Modelo *Agile*: O modelo *Agile* é baseado em abordagens ágeis de desenvolvimento de *software*, como Scrum e XP (*Extreme Programming*). Ele enfatiza a flexibilidade, colaboração, entrega incremental e resposta rápida a mudanças. As equipes de desenvolvimento trabalham em sprints curtos, entregando funcionalidades incrementais e recebendo feedback contínuo dos stakeholders.

Rozenfeld *et al.* (2006) propuseram uma abordagem, agora amplamente utilizada no campo do desenvolvimento de produtos, que propõe uma estrutura para o processo de forma sistemática e organizada. De acordo com esse modelo, o PDP pode ser dividido em três macrofases principais: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

Figura 1 – Modelo de PDP



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

A fase inicial do processo de desenvolvimento de produtos, ou macrofase de pré-desenvolvimento, abrange as atividades e o período que se estendem desde a concepção de uma ideia inicial para um novo produto até a tomada de decisão em investir no desenvolvimento do produto, após a aprovação do seu conceito (BRENTANI e REID, 2012).

A macro fase de desenvolvimento do produto inicia com o plano de projeto obtido no pré-desenvolvimento de produto e conclui na etapa de modelagem e prototipagem após várias outras sub etapas como mostra a figura 2 de Ulrich e Eppinger (2015).



Fonte: adaptado de Ulrich e Eppinger (2015)

Finalmente, a Macrofase de pós-desenvolvimento tem como objetivo acompanhar o produto e o processo, além de identificar e compreender o momento adequado para descontinuí-lo no mercado.

### 3.2.1 Macro Fase de Pré-Desenvolvimento

A etapa de pré-desenvolvimento tem como objetivo assegurar que o direcionamento estratégico estabelecido pela empresa, juntamente com as ideias provenientes de todas as partes interna e externas envolvidas aos produtos, assim como as oportunidades e restrições, sejam minuciosamente mapeados e convertidos em projetos bem definidos. Desta forma, o pré-desenvolvimento busca transformar informações estratégicas, ideias e cenários em um conjunto de projetos bem definidos que estarão no foco do desenvolvimento (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Além das considerações iniciais do planejamento estratégico corporativo (PEC), a declaração de escopo do produto é uma das etapas iniciais do pré-desenvolvimento. Conforme Akkari e Carpi (2019), o escopo do produto refere-se às características e funcionalidades que o produto ou serviço final deve possuir. É a descrição detalhada das especificações, requisitos e atributos que o produto ou serviço deve atender para suprir às necessidades e expectativas dos clientes. Por outro lado, o escopo do projeto diz respeito às atividades específicas que devem ser realizadas para concluir a entrega do produto ou serviço conforme solicitado no projeto.

Após a declaração do escopo é necessário realizar o plano do projeto inicial ou planejamento macro do projeto, segundo Madureira (2010), nesta etapa são definidos os objetivos que guiarão o programa de projeto. Isso inclui estabelecer as necessidades, funções e atributos do produto, identificar o mercado-alvo ao qual ele se destina, determinar o prazo para sua implementação, considerar o ciclo de vida esperado, avaliar os recursos necessários para o desenvolvimento, analisar os investimentos requeridos para sua implantação, estimar os custos de fabricação e estabelecer a lucratividade global desejada para o programa de desenvolvimento do produto.

De acordo com Pahl *et al.* (2005), em projetos de desenvolvimento de máquinas específicas e projetos de instalações é típico que as tarefas de desenvolvimento e projetos resultem de pedidos diretos realizados pelo cliente, nestes casos o projetista é mais independente para a realização do planejamento do projeto com menos interferências de outros departamentos e também não é necessário a realização da caracterização do mercado do produto, pois o cliente do produto

personalizado às suas necessidades é previamente conhecido e inicialmente não tem a finalidade da produção padronizada do produto em larga escala.

Finalizado o planejamento macro do projeto é possível determinar a possibilidade da continuação para as próximas etapas de acordo com a apuração da viabilidade analisada durante esta macro fase. Caso o projeto seja considerado viável é iniciado a macro fase seguinte: desenvolvimento.

### 3.2.2 Macro Fase de Desenvolvimento

De acordo com o modelo padrão do PDP de Rozenfeld *et al.* (2006), esta macro fase é subdivida em cinco etapas: Projeto informacional, Projeto conceitual, Projeto detalhado, Preparação produção e Lançamento da produção.

O estágio inicial da macro fase de desenvolvimento do produto, conhecido como projeto informacional, em que as características e requisitos desejados são definidos. Nesta etapa é realizada uma análise das necessidades do cliente, elaboração da lista de requisitos do cliente e do produto e a transformação dos requisitos em especificações-meta do produto (JÚNIOR, 2014).

Segundo Baxter (2000) o propósito do projeto conceitual é estabelecer como o novo produto será desenvolvido para alcançar os benefícios fundamentais. Portanto, para a realização do projeto conceitual, é essencial que os benefícios fundamentais sejam claramente definidos na etapa anterior, além de ser fundamental ter um bom entendimento das necessidades do consumidor e da concorrência existente no mercado de produtos. Durante o projeto conceitual, busca-se criar um conceito sólido e viável do produto, que seja capaz de satisfazer as especificações-meta de forma efetiva.

O projeto detalhado é o prosseguimento do projeto conceitual, esta etapa tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto que após aprovadas serão encaminhadas para a fabricação (REZENFELD *et al.*, 2006), para tanto é criado e detalhado o sistema, subsistemas e componentes (SSCs), desenvolvido fornecedores e parceiros, planejado processo de fabricação e montagem, planejado o fim de vida de produto e monitorar a viabilidade financeira. Sendo assim é possível que algumas sub etapas do projeto conceitual e detalhado ocorram em ciclos, pois a partir da avaliação no projeto detalhado é necessário a

redefinição de alguns tópicos no projeto conceitual e posteriormente é retomado o projeto detalhado.

Nas etapas de preparação e lançamento da produção do produto são obtidos os recursos da fabricação do produto, desenvolvido processo de produção e manutenção, realizado capacitação. Já na etapa de lançamento da produção são realizadas atividades mais direcionadas ao departamento comercial, marketing e de logística promovendo atividades como o desenvolvimento do processo de vendas, distribuição, atendimento ao cliente e assistência técnica.

### 3.2.3. Macro Fase de Pós-Desenvolvimento

Após o cliente ter a posse do produto desenvolvido é iniciada a macro fase de pós desenvolvimento realizado pelo time de desenvolvimento depois da dissolução do time do desenvolvimento do projeto. Este estágio tem como principal objetivo reunir as informações de todos os processos envolvidos com o produto: do monitoramento dos resultados do produto no mercado; da produção e distribuição do produto; do atendimento ao cliente; e da assistência técnica (REZENFELD *et al.*, 2006). Essas informações são processadas e consolidadas por membros do time, que são consultados quando necessário para realizar análises mais elaboradas

## 3.3 PROJETO INFORMACIONAL

O projeto informacional desempenha um papel fundamental na transformação da informação de entrada em especificações de projeto. Esse processo é crucial para orientar as fases subsequentes do desenvolvimento do produto e, portanto, desempenha um papel determinante em sua execução bem-sucedida. Sendo assim, o processo de projeto informacional é dividido em seis etapas, cada uma com sua importância e objetivos específicos (MARX e PAULA, 2011).

A primeira etapa envolve a pesquisa de informações relevantes sobre o tema do projeto. É necessário coletar dados, referências e conhecimentos existentes que sejam pertinentes ao contexto do produto a ser desenvolvido. Essa pesquisa é essencial para embasar e fundamentar as decisões tomadas ao longo do processo de projeto (BACK *et al.*, 2008).

Após a pesquisa, passamos para a etapa de identificação das necessidades dos clientes do projeto. Nesse estágio, é imprescindível compreender as demandas, expectativas e requisitos dos clientes em relação ao produto final. Essa compreensão profunda é fundamental para garantir a satisfação do cliente e o sucesso do projeto (NICKEL *et al.*, 2010).

Com base nas necessidades identificadas, é possível estabelecer os requisitos do projeto. Esses requisitos são as condições que o produto deve atender para atender às expectativas dos clientes e às especificações técnicas. Eles abrangem aspectos como funcionalidade, desempenho, usabilidade, segurança, entre outros (FONSECA, 2000).

Além dos requisitos dos clientes, é necessário estabelecer os requisitos específicos do projeto. Esses requisitos são as características técnicas e funcionais específicas que serão incorporadas ao produto final. Eles podem incluir aspectos como design, materiais utilizados, tecnologias empregadas, entre outros detalhes importantes para a definição do produto (BACK *et al.*, 2008).

Após a definição dos requisitos, é crucial hierarquizar esses requisitos de acordo com sua importância e prioridade. Essa hierarquização auxilia na tomada de decisões ao longo do projeto, permitindo a alocação adequada de recursos e esforços para atender às demandas mais críticas e relevantes (NICKEL *et al.*, 2010).

Por fim, a etapa de estabelecimento das especificações do projeto envolve a definição detalhada de como o produto final deve ser desenvolvido. Isso inclui informações técnicas precisas, como dimensões, características funcionais, interfaces, restrições e requisitos de fabricação. As especificações do projeto servem como um guia detalhado para o desenvolvimento do produto, garantindo a consistência e qualidade na execução (FONSECA, 2000).

Em resumo, o projeto informacional é um processo estruturado e abrangente que transforma informações de entrada em especificações de projeto. Ao seguir as etapas propostas, é possível garantir uma base sólida para o desenvolvimento de produtos, considerando as necessidades dos clientes, os requisitos técnicos e as especificações detalhadas. Esse processo contribui para o sucesso do projeto, orientando o trabalho nas fases futuras e garantindo a qualidade e a satisfação do cliente (MARX e PAULA, 2011).

### 3.4 PROJETO CONCEITUAL

O Projeto Conceitual é uma etapa fundamental do processo de projeto de um produto ou instalação. Ele se trata da validação de uma ideia, onde busca-se confirmar que a melhor solução está sendo proposta para atender a determinados requisitos ou necessidades em da planta industrial (FONSECA, 2000).

Existem cinco fases observadas na elaboração de um Projeto Conceitual. A primeira fase é a Revisão, na qual são reavaliadas as necessidades ou problemas e suas exigências elaboradas no projeto informacional. Nessa fase, é importante compreender os requisitos necessários para a solução, sem se preocupar ainda com a forma de atendê-los (NICKEL *et al.*, 2010).

Em seguida, temos a fase de Concepção, na qual são exploradas e reunidas todas as informações relacionadas ao projeto, dando liberdade às ideias e estimulando a criatividade. É o momento de considerar todas as possíveis formas de atender aos requisitos, por meio de um processo conhecido como "Brainstorming" do projeto (BACK *et al.*, 2008).

Após a fase de Concepção, passamos para a fase de Análise, na qual ocorre uma avaliação crítica e comparativa de cada proposta elaborada na fase anterior. São considerados diversos fatores, como operacionalidade, funcionalidade, impacto ambiental, disponibilidade, custo, prazos, eficiência, espaço físico e restrições de processo. Nessa fase, as vantagens e desvantagens de cada proposta são destacadas, mas nenhuma é descartada (MARX e PAULA, 2011).

Em seguida, temos a fase de Validação, na qual, com base no conhecimento teórico e na análise das vantagens e desvantagens de cada proposta, as opções que mais eficientemente atendem aos requisitos da solução são validadas. É comum encontrar soluções que combinam duas ou mais tecnologias, proporcionando melhores resultados (NICKEL *et al.*, 2010).

Por fim, a fase de Definição consiste na descrição completa da melhor proposta estudada, aquela que traz os melhores resultados para atender aos requisitos da solução. Essa fase envolve uma descrição detalhada da solução escolhida (FONSECA, 2000).

Em suma, o Projeto Conceitual é a etapa na qual são validadas ideias e buscadas soluções para atender aos requisitos e necessidades específicas. Ao passar

pelas fases de Revisão, Concepção, Análise, Validação e Definição, é possível chegar a uma solução eficiente e adequada para o projeto (BACK *et al.*, 2008).

O propósito do projeto conceitual é criar um delineamento inicial da concepção do produto por meio de uma representação estética que considere as limitações associadas ao contexto da empresa, os requisitos de estilo, ergonomia e funcionalidade. Essa fase visa desenvolver uma visão visual preliminar que capture a essência do produto, levando em consideração aspectos como a identidade da empresa, as preferências estéticas, as necessidades ergonômicas dos usuários e as funcionalidades requeridas (NICKEL *et al.*, 2010).

A partir dessas diretrizes, busca-se estabelecer um esboço que sirva como base para a etapa de desenvolvimento posterior, proporcionando uma visão tangível e compreensível do produto em seu estágio inicial. Durante o projeto conceitual, podem ser aplicados métodos de pesquisa, análise de tendências e iterações com os stakeholders, visando aprimorar a concepção do produto e alinhar as expectativas do projeto. Esse processo é fundamental para o sucesso do desenvolvimento do produto, pois permite a definição de um conceito sólido e atraente, que será a base para as etapas subsequentes do projeto detalhado e produção (BACK *et al.*, 2008).

## 4 METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar os objetivos definidos anteriormente, este trabalho procura empregar uma abordagem de desenvolvimento de produtos baseado no modelo de Rozenfeld *et al.* (2006).

Na etapa de planejamento, será iniciado com a identificação e compreensão da oportunidade por meio da observação e acompanhamento da rotina operacional para o entendimento das características dos processos realizados na área na qual será desenvolvido o projeto.

Após a identificação da oportunidade será analisado o processo, que é realizado atualmente, através do estudo de tempos e movimentos utilizando cronômetro para medir a duração das atividades. A partir da análise do processo e entendimento das necessidades será possível estabelecer o escopo do produto.

Com o objetivo de facilitar o direcionamento das atividades e definir os papéis e responsabilidades de cada função no desenvolvimento do projeto, serão identificadas as partes envolvidas e realizada uma análise utilizando uma Grade de Poder e Interesse.

Para finalizar a etapa de planejamento, será estabelecido o ciclo de vida do produto relacionando cada fase do produto com as partes interessadas já identificadas.

A etapa do projeto informacional será iniciada com a identificação das necessidades dos clientes, que são essenciais para compreender as expectativas e requisitos que o produto deve atender. Isso será realizado mediante de reuniões com os clientes utilizando o *brainstorming*. Os requisitos serão classificados de acordo com os atributos segurança, ergonômico, econômico, produção, funcionamento.

Com base nas informações coletadas, os requisitos do cliente serão hierarquizados e priorizados de acordo com a importância de cada um deles através do diagrama de Mudge e será realizado uma análise utilizando o Diagrama de Pareto. Isso permitirá estabelecer os requisitos dos projetos e suas unidades de medidas.

Uma ferramenta valiosa na etapa de projeto informacional é a aplicação da Matriz QFD (*Quality Function Deployment*), que permitirá correlacionar os requisitos do cliente com os requisitos do projeto. Isso ajudará a identificar quais características do produto são mais críticas em relação às expectativas dos clientes e a estabelecer

as metas específicas para cada requisito, as chamadas especificações-meta, que servirão de referência ao longo do desenvolvimento do projeto.

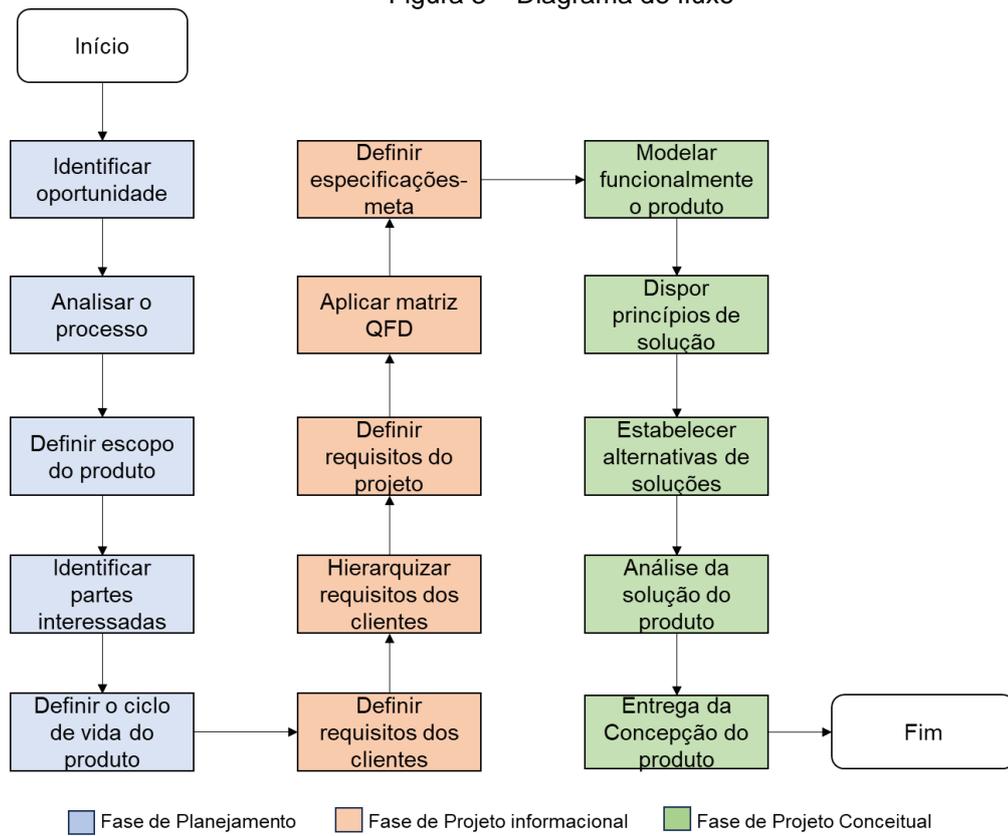
Na etapa de projeto conceitual será iniciado a modelagem funcional do produto. Nesse estágio, serão identificadas as funções gerais do produto, bem como as subfunções que o compõem. Será realizado uma análise de alternativas de modelagem funcional com variações de sequência e subfunções. Com auxílio da Matriz de Pugh será estabelecida a alternativa do modelo funcional que melhor atenda aos requisitos do cliente. Isso possibilitará uma visão mais clara de como o produto deve desempenhar suas funções.

As subfunções serão então analisadas mais detalhadamente, levando à definição dos princípios de solução para cada uma delas. Esses princípios de solução serão a base para a criação de alternativas de solução para o produto. A partir das alternativas de solução geradas, será realizada uma análise criteriosa para determinar qual delas melhor atende aos requisitos do produto.

Com a solução do produto escolhida, será elaborado um projeto conceitual que descreva a estrutura básica e as principais características do produto com o auxílio do *software* CAD SolidWorks. Isso incluirá desenhos conceituais e especificações técnicas preliminares que irão compor a entrega da concepção do produto

O fluxograma da Figura 3 apresenta uma visão geral da metodologia descrita acima.

Figura 3 – Diagrama de fluxo



Fonte: A autora

## 5 RESULTADOS

### 5.1 PLANEJAMENTO

#### 5.1.1 Identificação da oportunidade

Uma das formas descrita por Ulrich *et al.* (2015) para caracterizar uma oportunidade é a de identificar uma necessidade recém sentida. Utilizando essa mesma visão no setor de caldeiras da indústria onde foi desenvolvido este trabalho, foi possível perceber a oportunidade de aprimorar o coletor de cinzas da caldeira flamotubular ICF de biomassa (também conhecida como caldeira mista) mostrada na figura 4.

Figura 4 – Caldeira flamotubular ICF



Fonte: ICAVI (2019)

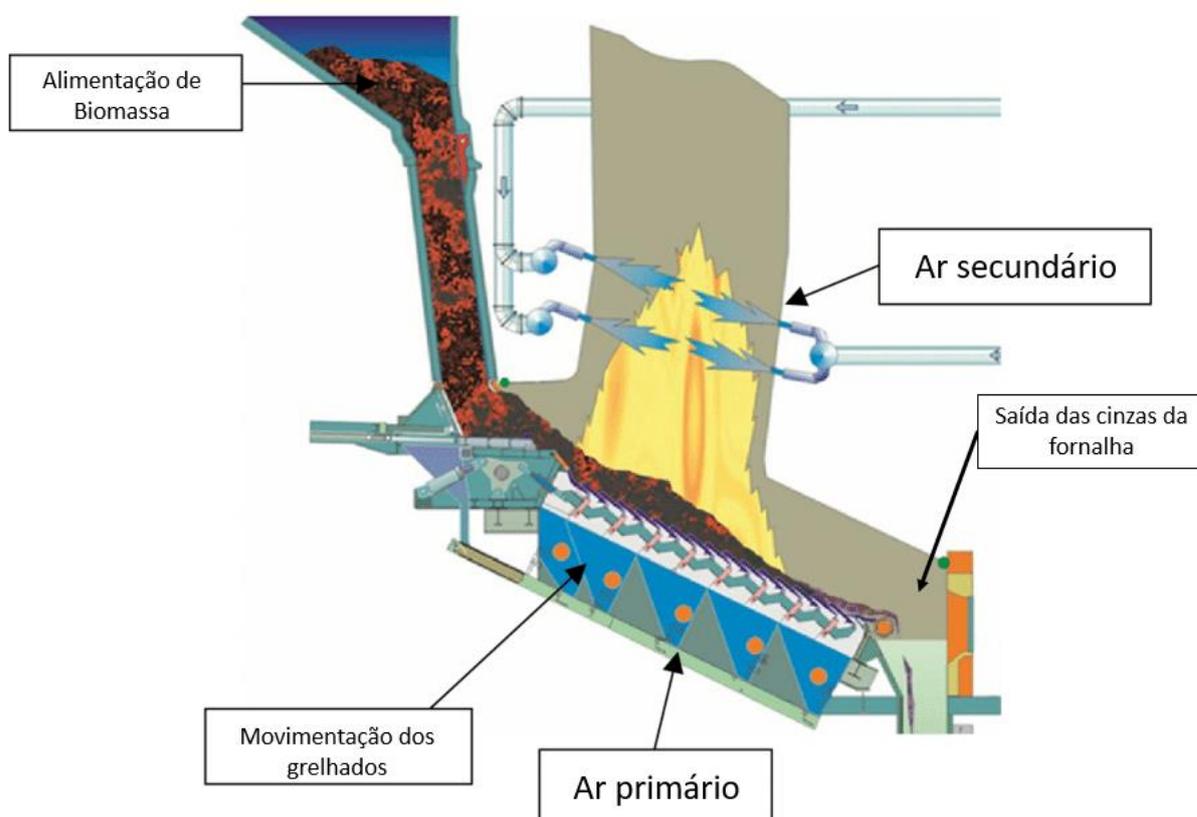
O coletor de cinzas é um equipamento crítico dentro do processo porque existe o risco de que a biomassa na saída da fornalha da caldeira, mostrada no esquema da figura 5, ainda esteja em combustão. Os motivos que ocasionam essa condição geralmente têm origem em falhas operacionais ou falhas de subconjuntos do equipamento. Alguns dos motivos são listados a seguir:

- Umidade do combustível: A umidade pode ser absorvida caso o transporte de alimentação de biomassa da caldeira apresente algum problema na estrutura de proteção em épocas de chuva ou falha no local de

armazenagem tanto na estrutura como na gestão FIFO (*first in, first out*), entre outros motivos;

- Excesso de combustível na fornalha: Geralmente provocada pela desregulagem das roscas de alimentação de biomassa na fornalha;
- Temperatura do ar primário: É possível regular a temperatura do ar primário de acordo com a quantidade de ar que passa anteriormente no pré aquecedor de ar, sendo uma regulagem operacional. Quanto menor a temperatura do ar primário maior o tempo de combustão, contribuindo para a biomassa sair da fornalha ainda em combustão;
- Velocidade dos grelhados: A alta velocidade dos grelhados que transportam a biomassa dentro da fornalha resultam em um baixo tempo para o combustível realizar a combustão completa dentro da fornalha.

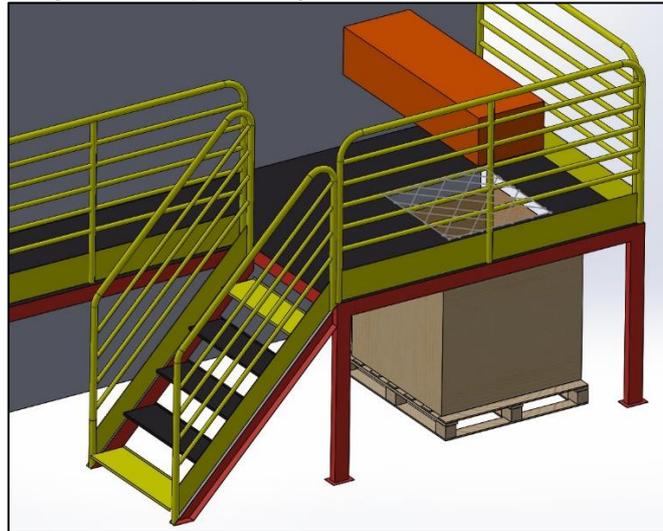
Figura 5 – Desenho representativo da fornalha da caldeira



Fonte: Adaptado de Bourtsalas *et al.* (2020)

As cinzas provenientes da combustão da biomassa no final do grelhado são transportadas por uma corrente perpendicular a direção da movimentação dos grelhados até coletor de cinzas representado na figura 6.

Figura 6 – Representação do coletor de cinzas atual



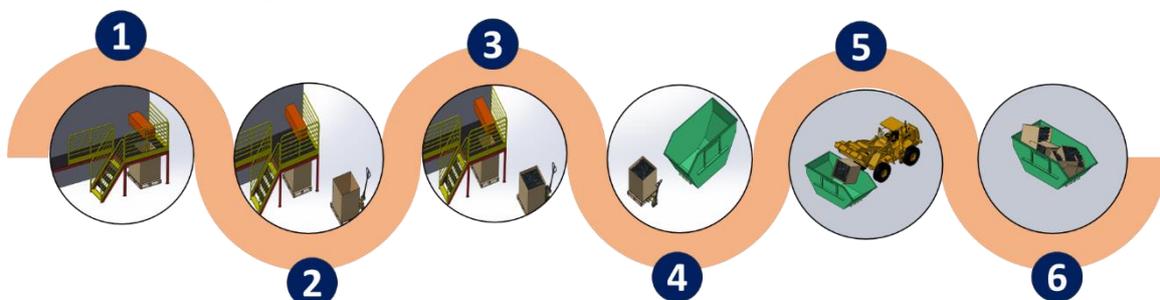
Fonte: A autora

O coletor de cinzas utilizado atualmente é uma caixa de papelão apoiado em um pallet de madeira, materiais combustíveis que não são apropriados para ter contato com cinzas que podem estar ainda em temperaturas elevadas, pois apresenta risco de incêndio e estão em uma área classificada. Sendo assim, foi identificado uma oportunidade de melhorar o coletor de cinzas da caldeira.

### 5.1.2 Análise inicial do processo

A partir da oportunidade observada foi realizada uma análise no processo atual para a coleta e descarte das cinzas da caldeira. As etapas acompanhadas estão representadas no esquema da figura 7 e descritas na tabela 1.

Figura 7 – Esquema das etapas da coleta e descarte de cinzas



Fonte: A autora.

Tabela 1 – Descrição das etapas da coleta e descarte de cinzas

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Responsável</b>	<b>Tempo</b>
Acúmulo de cinzas na caixa	A caixa posicionada abaixo da corrente de extração de cinzas da caldeira é preenchida com cinzas	Acompanhado pelo operador de caldeira	8h
Disponibilizar caixa próximo ao local	Próximo do término da etapa anterior é transportada uma nova caixa por meio de transpaleteira e pallet de madeira para a próxima extração de cinzas	Operador de caldeira	25min
Substituição de caixas	Quando a caixa utilizada para extração de cinzas está preenchida é substituída, retirando-a e colocando a nova no local	Operador de caldeira	5 min
Transporte da caixa com cinzas para o pátio	Com a caixa completamente preenchida de cinzas em cima do pallet e encaixado na transpaleteira, é realizado o transporte da mesma para o pátio no qual a pá carregadeira tem acesso.	Operador de caldeira	5min
Descarte de cinzas na caçamba estacionária	No pátio, a pá carregadeira ergue o a caixa e a descarrega na caçamba estacionária.	Operador de pá carregadeira	10min
Destinação final das cinzas	Após a caçamba estacionária estar carregada uma empresa parceira realiza a coleta para a utilização na correção de solo.	Empresa parceira	-

Fonte: A autora

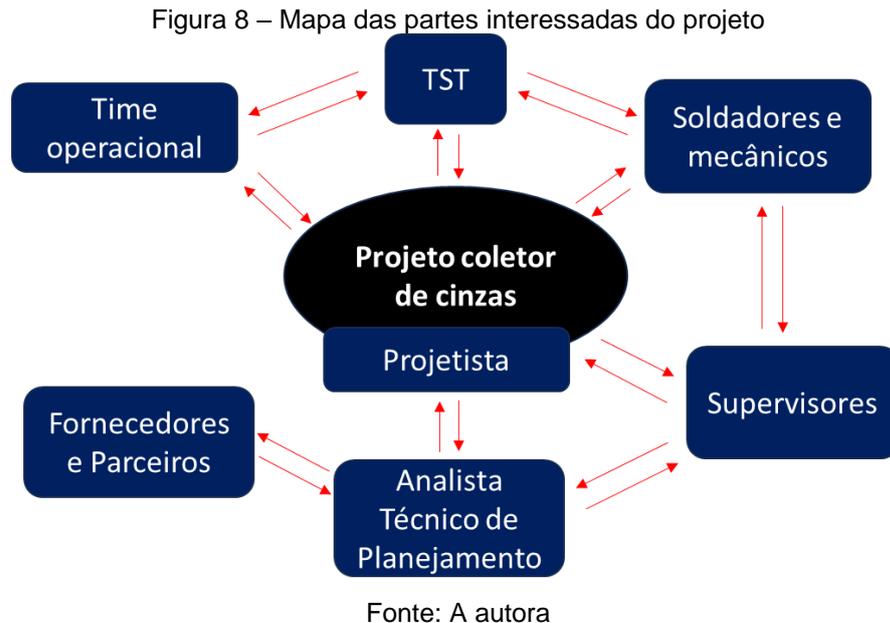
### 5.1.3 Escopo do produto

No escopo do produto deve ser definido com clareza os atributos que definem as características do produto e as funcionalidades do produto. A partir da oportunidade identificada foi definido que o produto deve ser um coletor das cinzas provenientes da combustão da biomassa feito de um material não combustível, resistente a elevadas temperaturas e que possa ser facilmente deslocado de forma rápida e segura.

### 5.1.4 Identificação das partes interessadas do projeto

As partes interessadas do projeto são tanto as pessoas, grupos e organizações diretamente envolvidas, como também aquelas que serão impactadas de alguma

forma pela realização do projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2013). É importante definir os agentes envolvidos e afetados pelo projeto como também seu grau de envolvimento, impacto e/ou responsabilidades, este processo facilita o direcionamento apropriado para cada parte interessada. A figura V mostra a relação das partes interessadas do projeto.



As partes interessadas do projeto e suas atribuições são:

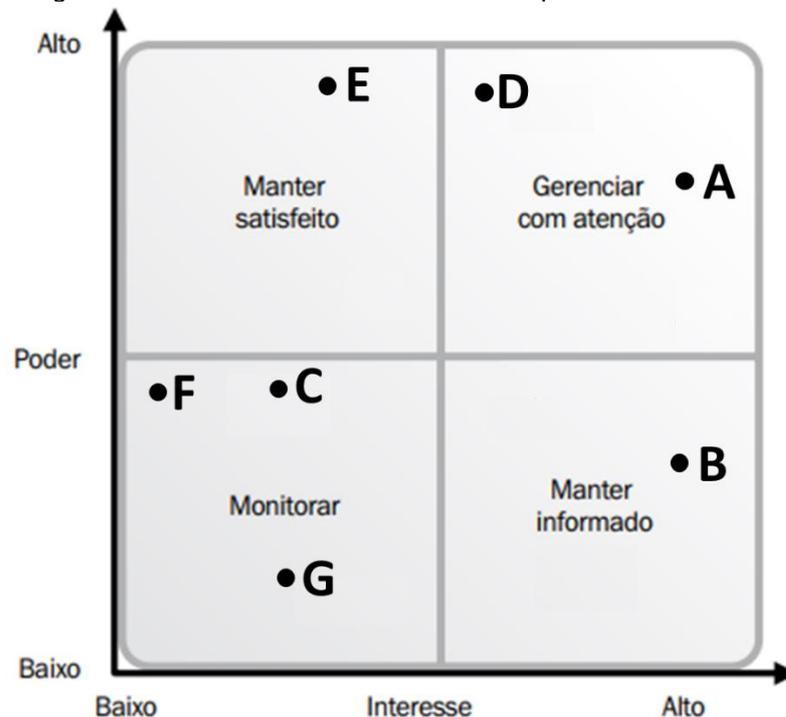
- **Projetista (A):** Responsável principal pelo projeto com a função de planejar, gerenciar e desenvolver o projeto, com isso articula com a maioria das demais partes envolvidas.
- **Time operacional (B):** Um dos principais afetados pela execução do projeto e que possui maior conhecimento e experiência das operações e funcionamento da atividade específica, pois tem a competência da execução da atividade rotineiramente.
- **Soldadores, mecânicos e caldeireiros (C):** Têm a competência de fornecer suporte técnico ao TST e ao projeto. Com a disponibilidade de equipamentos de soldagem, usinagem e conformação mecânica tem a possibilidade de executar o processo de fabricação do projeto.
- **Técnico de segurança do trabalho (D):** Encarregado de adequar a área de acordo com as normas de segurança visando ter o mínimo de acidentes e incidentes. Responsável por fiscalizar se a execução do

projeto está dentro das normas de segurança e para isso se mantêm conectado também com o time operacional, soldadores, mecânicos e caldeireiros para consultas de auxílio no suporte de conhecimento técnico e específico da execução da atividade e do projeto.

- Supervisores (E): Como responsáveis pela área tem o poder de disponibilizar e direcionar suporte de equipamentos e pessoas para o projeto, também tem a incumbência dentre outros fatores de manter a área o mais segura possível.
- Analista Técnico de Planejamento (F): Tem a função de programar e disponibilizar os equipamentos e materiais necessários para a equipe técnica atuar nas atividades, para tal objetivo é atribuído de manter comunicação com fornecedores e parceiros.
- Fornecedores e parceiros (G): Eles articulam com o Analista Técnico de planejamento para apresentar, negociar e fornecer materiais, ferramentas e serviços necessários para o projeto.

Com o objetivo de facilitar o gerenciamento dos envolvidos, o projeto foi qualificado utilizando-se uma Grade de Poder e Interesse das partes envolvidas (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2013), apresentada na figura 9.

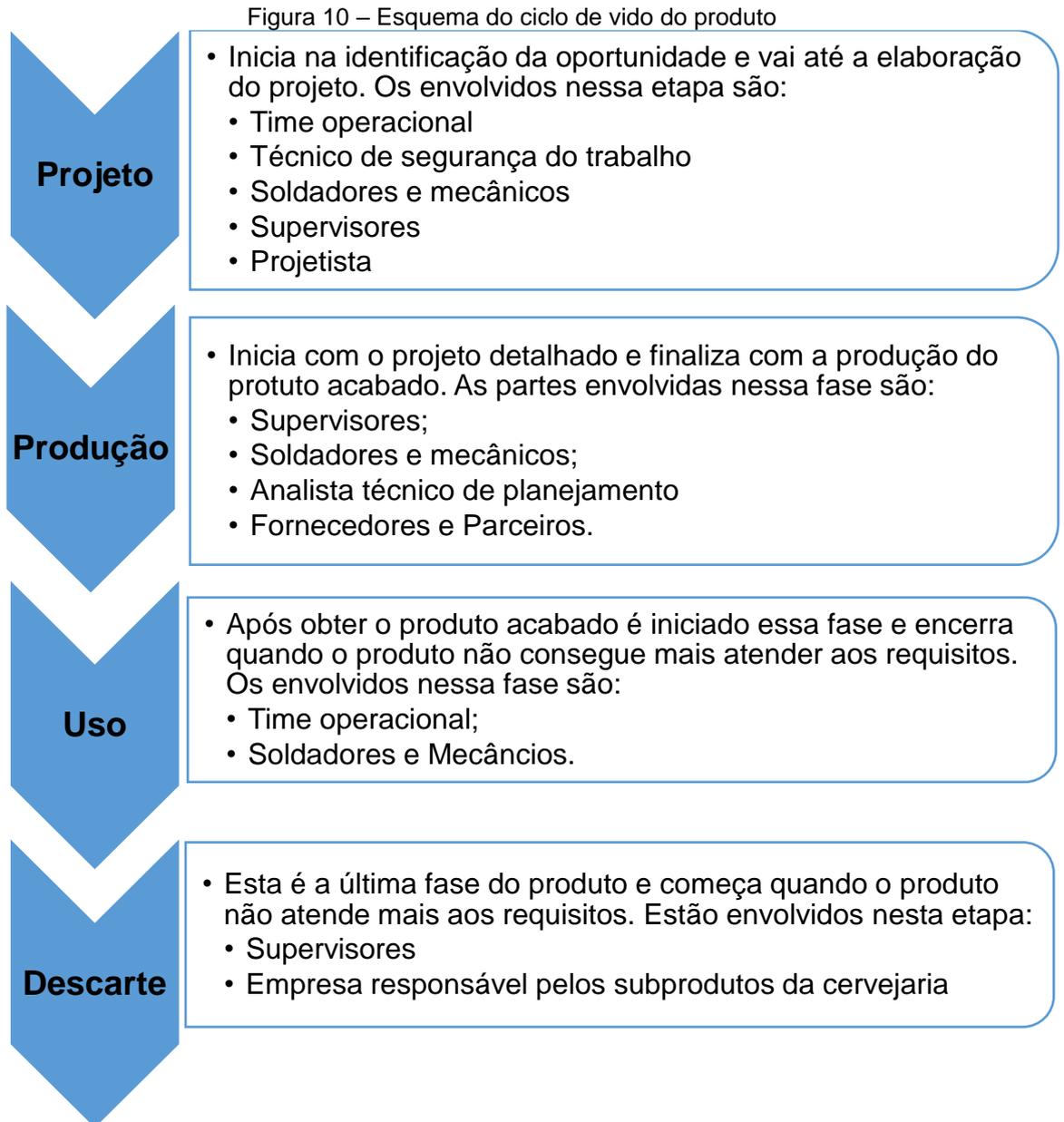
Figura 9 - Grade de Poder e Interesse das partes envolvidas



Fonte: Adaptado de Project Management Institute (2013).

### 5.1.5 Ciclo de vida do produto

Foi definido o ciclo de vida do produto e indicado o envolvimento das partes interessadas em cada uma das fases, como mostrado na figura 10.



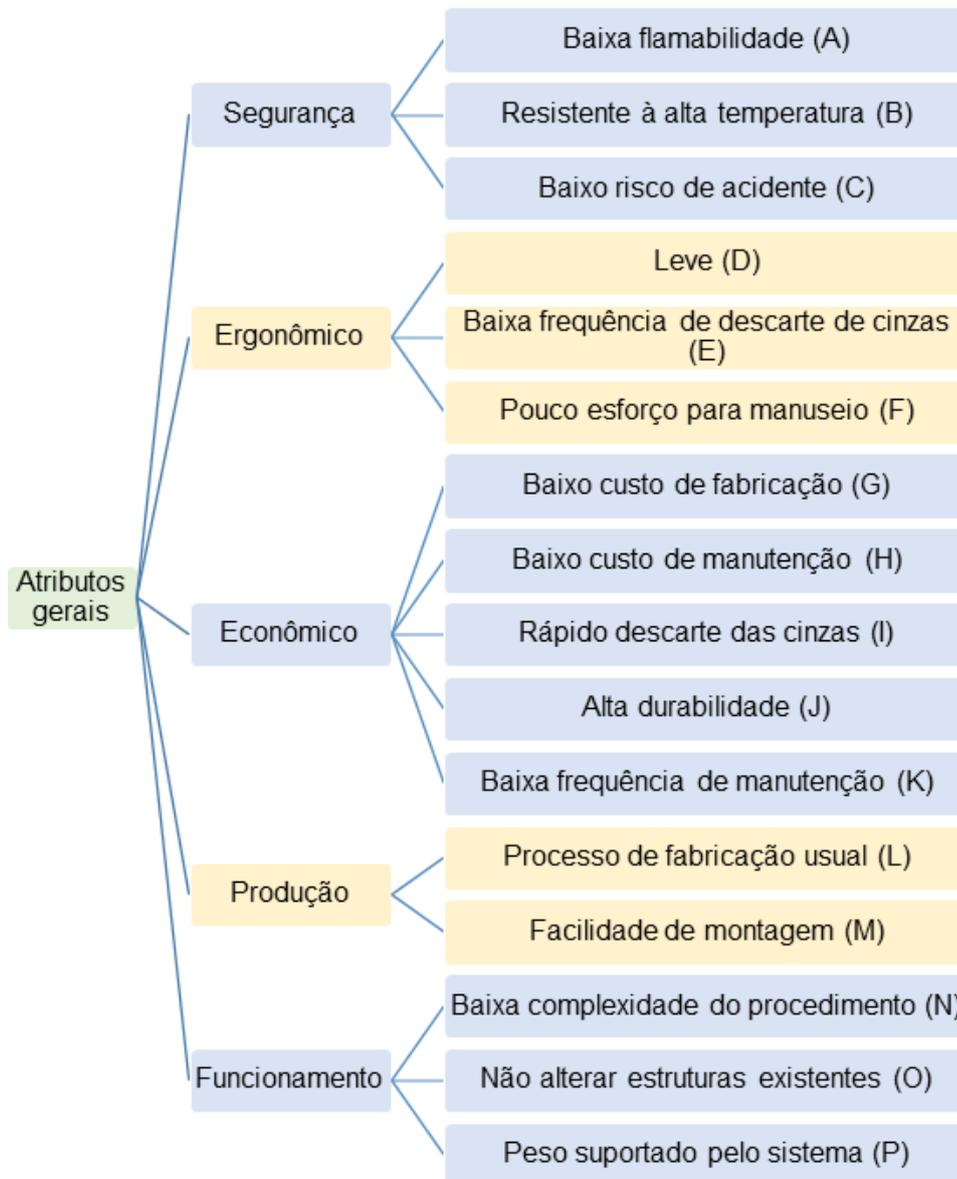
Fonte: A autora

## 5.2 PROJETO INFORMACIONAL

### 5.2.1 Requisitos do Cliente

Por meio de observação direta e consultas por meio de reuniões com as partes envolvidas no projeto foram estabelecidas as necessidades do cliente e organizadas e classificadas de acordo com os atributos segurança, ergonomia, econômico, produção e funcionamento. Sendo assim, foram distribuídos conforme Figura 11.

Figura 11 – Classificação dos requisitos dos clientes em atributos



Fonte: A autora

### 5.2.2 Hierarquização dos Requisitos do Cliente

Uma vez realizado o levantamento dos requisitos dos clientes foi utilizando o diagrama de Mudge para os hierarquizar. O diagrama da figura 12 mostra a pontuação obtida por cada requisito.

Figura 12 – Diagrama de Mudge

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Pontos	%
A	A1	A0	A5	66	17.3%												
B		C1	B5	B3	B3	61	16.0%										
C			C5	66	17.3%												
D				E3	F1	G1	D1	I1	D1	D1	L1	D3	N1	O5	O5	6	1.6%
E					E1	E3	E5	E1	E3	E5	E1	E5	E1	O3	P3	28	7.3%
F						F1	F1	F1	F1	F1	L1	F3	N1	O3	P3	9	2.4%
G							G1	I1	J1	K1	G1	G1	G1	O5	P5	5	1.3%
H								I3	J1	K1	L1	H1	N1	O5	P5	1	0.3%
I									I1	I1	L1	I3	N1	O5	P5	10	2.6%
J										J3	J1	J3	N1	O5	P5	9	2.4%
K											L1	K3	N1	O5	P5	5	1.3%
L												L1	L1	O5	P5	7	1.8%
M													N3	O5	P5	0	0.0%
N														O5	P5	9	2.4%
O															O3	54	14.1%
P																46	12.0%
																<b>382</b>	<b>100%</b>

Fonte: A autora

A hierarquização dos requisitos do produto ordenados é mostrada na tabela 2.

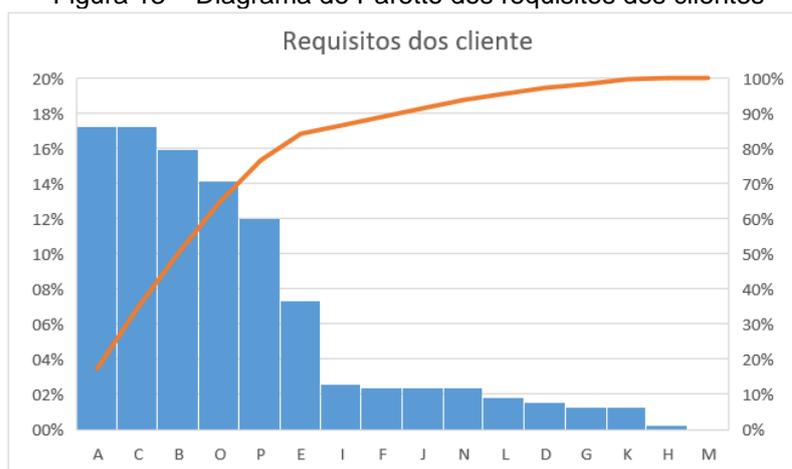
Tabela 2 – Hierarquização dos requisitos do produto

1º	C	Baixo risco de acidente
1º	A	Baixa flamabilidade
2º	B	Resistente à alta temperatura
3º	O	Não alterar estruturas existentes
4º	P	Peso suportado pelo sistema
5º	E	Baixa frequência de descarte de cinzas
6º	I	Rápido descarte das cinzas
7º	F	Pouco esforço para manuseio
7º	J	Alta durabilidade
7º	N	Baixa complexidade do procedimento
8º	L	Processo de fabricação usual
9º	D	Leve
10º	G	Baixo custo de fabricação
10º	K	Baixa frequência de manutenção
11º	H	Baixo custo de manutenção
12º	M	Facilidade de montagem

Fonte: A autora

É possível observar que os requisitos com maior pontuação correspondem a atributos de segurança, uma das principais motivações para a realização do projeto. Essa hierarquia pode ser mais bem visualizada no Diagrama de Pareto mostrado na Figura 13, onde é possível observar que os primeiros seis requisitos são os mais relevantes e que acumulam uma proporção maior que 80% em relação aos outros.

Figura 13 – Diagrama de Pareto dos requisitos dos clientes



Fonte: A autora

### 5.2.3 Requisitos do Projeto

A partir dos requisitos do cliente foram estabelecidos os requisitos do projeto, apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Requisitos do projeto

Requisitos do cliente	Requisitos do Produto	Medição/Unidade
Baixa flamabilidade	Temperatura de alteração de propriedades mecânicas	°C
Resistente à alta temperatura		
Peso suportado pelo sistema	Massa máxima	Kg
Leve		
Não alterar estruturas existentes	Dimensões (CxLxA)	m
Baixo risco de acidente	Segurança	Qualitativo
Baixa frequência de descarte de cinzas	Volume mínimo	m <sup>3</sup>
Rápido descarte das cinzas	Duração do procedimento de descarte	s
Pouco esforço para manuseio	Altura dos elementos de ajustes e de apoio	m
Alta durabilidade	Tempo de vida útil	anos
Baixa complexidade do procedimento	Número de passos do procedimento	n
Processo de fabricação usual	Custo de fabricação	R\$
Baixo custo de fabricação		
Baixa frequência de manutenção	Intervalo entre manutenções	meses
Baixo custo de manutenção	Custo de manutenção	R\$
Facilidade de montagem	Tempo de montagem	h

Fonte: A autora

### 5.2.4 Aplicação da Matriz QFD

Para realizar a priorização dos requisitos do projeto considerando a hierarquização dos requisitos dos clientes foi utilizada a primeira matriz QFD (*Quality Function Deployment*), mostrada na Figura 14. Em concordância com os requisitos dos clientes, é possível notar que o requisito do produto mais prioritário é a segurança do produto.

Figura 14 – Matriz QFD

IMPORTÂNCIA														
	↑	↑	↓	↓	↑	↓	—	↑	↓	↓	↑	↓	↓	
	Segurança	Temperatura de alteração de propriedades mecânicas	Massa máxima	Dimensões (CxLxA)	Volume mínimo	Duração do procedimento de descarte	Altura dos elementos de ajustes e de apoio	Tempo de vida útil	Número de passos do procedimento	Custo de fabricação	Intervalo entre manutenções	Custo de manutenção	Tempo de montagem	
Baixa inflamabilidade	12	5	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	
Baixo risco de acidente	12	5	5	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
Resistente à alta temperatura	11	5	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	
Não alterar estruturas existentes	10	0	0	1	5	3	0	1	0	0	1	0	0	
Peso suportado pela pá carregadeira	9	3	0	5	3	5	0	0	0	0	1	0	0	
Baixa frequência de descarte de cinzas	8	1	0	0	5	5	0	0	1	0	0	1	1	
Rápido descarte das cinzas	7	0	0	3	0	1	5	1	0	5	0	0	0	
Pouco esforço para manuseio	6	3	0	5	1	3	3	5	0	3	0	0	0	
Alta durabilidade	6	0	3	0	0	0	0	0	5	0	3	1	3	
Baixa complexidade do procedimento	6	0	0	0	1	1	3	1	0	5	0	0	0	
Processo de fabricação usual	5	0	1	1	1	1	0	0	0	0	5	0	0	
Leve	4	3	0	5	3	5	1	0	0	0	3	0	0	
Baixo custo de fabricação	3	0	3	3	3	1	0	0	3	0	5	3	1	
Baixa frequência de manutenção	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	5	5	
Baixo custo de manutenção	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	5	
Facilidade de montagem	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	
Importância absoluta	240	207	177	156	187	75	53	165	95	105	48	54	44	
Importância relativa	17.6	15.2	13.0	11.4	13.7	5.5	3.9	12.1	7.0	7.7	3.5	4.0	3.2	
Hierarquia	1	2	4	6	3	9	11	5	8	7	12	10	13	

Fonte: A autora

### 5.2.5 Definição das Especificações-Meta

Após a priorização dos requisitos do projeto, foi estabelecido as metas de cada especificação, conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Especificações-meta do projeto

Prioridade	Especificação	Meta	U. M.
1	Segurança	Alto	Qualitativo
2	Temperatura de alteração de propriedades mecânicas	>200	°C
3	Volume mínimo	1	m3
4	Massa máxima	<300	Kg
5	Tempo de vida útil	>10	Anos
6	Dimensões (CxLxA)	<2x1,5x1,1	metros
7	Custo de fabricação	<15.000	R\$
8	Número de passos do procedimento	<6	n
9	Duração do procedimento de descarte	<15	min
10	Custo de manutenção	<500	R\$/ano
11	Altura dos elementos de ajustes e de apoio	0,8	metros
12	Intervalo entre manutenções	>1	Ano
13	Tempo de montagem	<2	horas

Fonte: A autora.

## 5.3 PROJETO CONCEITUAL

### 5.3.1 Modelagem funcional do produto

Iniciando a fase de projeto conceitual em busca da concepção do produto, foi realizado uma análise funcional mostrada na figura 15.

Figura 15 – Análise funcional



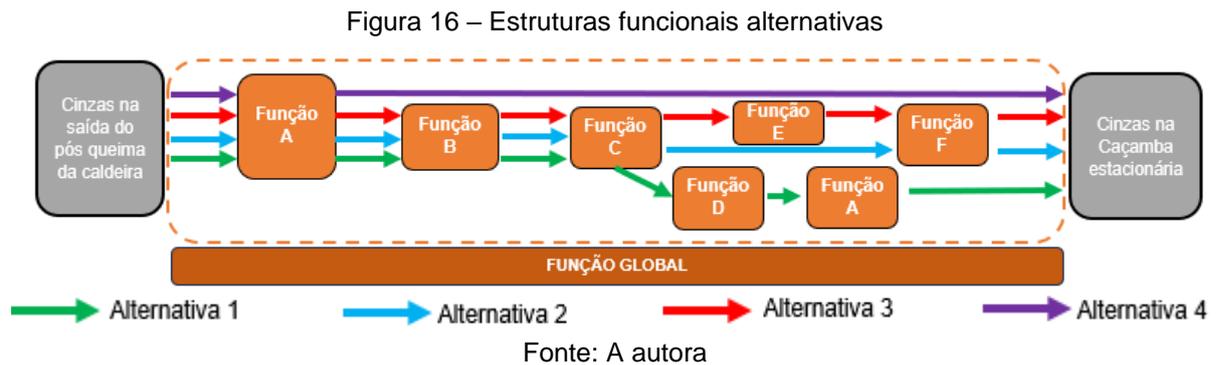
Fonte: A autora

Foi estabelecido como a função global do produto a coleta e transporte de cinzas de forma eficiente e segura para a caçamba estacionária. Para facilitar a elaboração da concepção, a função global foi desdobrada em subfunções:

- Subfunção A: Transporte de cinzas sem o coletor;
- Subfunção B: Coleta;

- Subfunção C: Transporte ao pátio;
- Subfunção D: Despejar as cinzas do coletor;
- Subfunção E: Fixação da pá carregadeira no coletor;
- Subfunção F: Depositar cinzas do coletor na caçamba estacionária.

A figura 16 mostra estruturas funcionais alternativas com as subfunções obtidas.



Para a seleção da alternativa que melhor atenda aos requisitos do cliente foi utilizada a Matriz de Pugh para estabelecer a estrutura alternativa ideal, como mostrado na tabela 5. Como resultado da análise foi escolhida a alternativa 3.

Tabela 5 – Matriz de Pugh

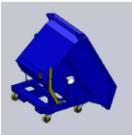
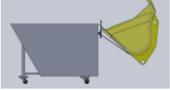
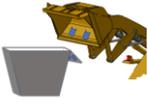
Requisitos do Cliente	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Baixa flamabilidade	12	0	0	0	0
Baixo risco de acidente	12	0	-	-	+
Resistente à alta temperatura	11	0	0	0	0
Não alterar estruturas existentes	10	0	0	0	--
Peso suportado pelo sistema	9	0	0	-	0
Baixa frequência de descarte de cinzas	8	0	0	0	+
Pouco esforço para manuseio	7	0	0	0	+
Rápido descarte das cinzas	6	0	0	0	+
Alta durabilidade	6	0	+	+	-
Baixa complexidade do procedimento	6	0	0	0	+
Processo de fabricação usual	5	0	0	0	0
Leve	4	0	0	0	+
Baixo custo de fabricação	3	0	-	++	--
Baixa Frequência de manutenção	3	0	+	++	--
Baixo custo de manutenção	2	0	+	++	--
Facilidade de montagem	1	0	+	+	--
Soma pontos negativos		0	-15	-21	-38
Soma pontos positivos		0	12	21	37
Total dos pontos		0	-3	2	-1

Fonte: A autora

### 5.3.2 Princípios de Solução

Para cada subfunção estabelecida foram elaborados princípios de solução, mostrados na figura 17.

Figura 17 – Princípios de solução

		1	2	3	4
AI	Transporte de cinzas sem o coletor	 Transportador corrente de arraste	 Correia transportadora	 Rosca helicoidal	 Canaleta inclinada
AII		 Gravidade	 Elevador de canecas		
B	Coleta	 Big Bags com suporte	 Coletor retangular	 Tambor (cilindro)	 Caçamba trapezoidal
CI	Transporte do coletor	 Suspender com gancho e talha	 Coletor com base para transpaleteira	 Rodizio/rodas	 Roldana
CII		 Trilho e puxador fixo			
D	Despejar as cinzas do coletor	 Coletor basculante	 Abertura no fundo	 Inclinar coletor	
EI	Fixação da pá carregadeira no coletor	 Adaptador para transpaleteira	 Adaptador para big bags	 Corrente e gancho	 Mecanismo de trava com engrenagem e cremalheira
EII		 Encaixes fixos na pá e coletor			
F	Despejar cinzas do coletor para caçamba estacionária	 Elevação hidráulica + acionamento basculante	 Elevação e inclinação com pá carregadeira	 Braço robótico	

Fonte: A autora

### 5.3.3 Alternativas de Soluções para o Produto

Considerando a alternativa 3 da modelagem funcional escolhida, foi montado na tabela 6 cinco combinações de princípios de solução a serem analisadas.

Tabela 6 – Combinações de princípios de solução

	Transporte de cinzas sem o coletor	Coleta	Transporte ao pátio	Fixação da pá carregadeira no coletor	Depositar cinzas do coletor na caçamba estacionária
Combinação 1	 AII1	 B4	 CI3	 EI1	 F2
Combinação 2	 AII1	 B1	 CI3	 EI2	 F2
Combinação 3	 AII1	 B4	 CI2	 EI1	 F2
Combinação 4	 AII1	 B4	 CI3	 EI3	 F2
Combinação 5	 AII1	 B4	 CI3	 EI4	 F2

Fonte: A autora

Para a montagem e análise das combinações foram realizadas as seguintes considerações:

- Função A: Para a escolha do transporte de cinzas sem o coletor não foram optadas as soluções AI1, AI2, AI3 e AI2 pois utilizam motores e partes rotativas que propiciam o risco de pensamento de dedos além de poder gerar uma fonte de ignição com o travamento de roletes que impactam no requisito de projeto de maior prioridade (segurança). Outro requisito de projeto impactado é o custo de manutenção e fabricação, pois motores apropriados para áreas classificadas tem um custo maior daqueles que não tem essa especificação. Também não foi escolhido a canaleta inclinada (AI4) pois para ter o declínio a altura do coletor teria que ser menor impactando negativamente no requisito do projeto de volume mínimo.
- Função B: Para o armazenamento não foram consideradas o coletor de corpo cilíndrico (B3) por causa da dificuldade de fixação da pá carregadeira, e também não foi considerado a coletor retangular (B2)

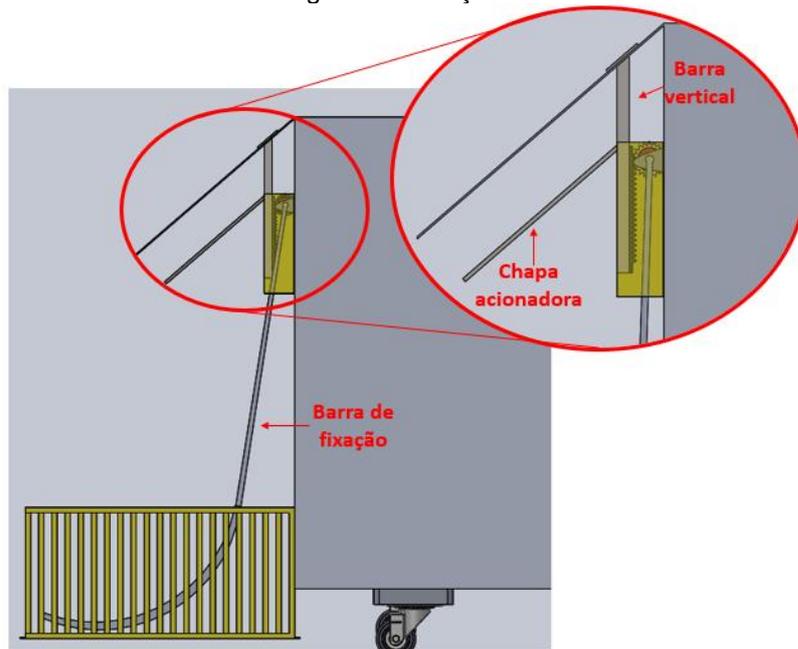
pois o ângulo de inclinação da pá carregadeira é insuficiente para despejar as cinzas na caçamba estacionária (apêndice A), sendo necessário uma inclinação também no coletor portanto não podendo ser um coletor retangular.

- Função C: Para o transporte do coletor não foram consideradas o princípio de solução CI1, CI4 e CII1 pois teria que fazer adaptações ou acréscimo na estrutura na saída do extrator de cinzas até o pátio o que acarretaria o alto custo de fabricação.
- Combinação 1: A utilização de encaixes fixos na pá implicaria numa adaptação permanente na pá carregadeira, que não seria o ideal pois ela é também utilizada em atividades com outras finalidades.
- Combinação 2: A solução com *big bags* demandaria uma maior duração e número de passos para o procedimento de descarte, além do custo contínuo de reposição das *big bags* descartadas.
- Combinação 3 e 4: Essas combinações requer uma etapa a mais para ajuste na pá carregadeira para a fixação do coletor além de permitir uma aproximação do operador com a pá carregadeira em funcionamento, esses fatores impactam negativamente os requisitos de projetos de número de etapas e duração do procedimento e segurança.
- Combinação 5: Esta solução não necessita de elevados custos de aquisição de componentes ou fabricação, além de permitir uma distância segura entre o operador e pá carregadeira, sendo assim a solução escolhida.

#### 5.3.4 Análise da Solução do Produto

A solução do produto escolhida funciona de forma que não é necessário a intervenção do operador para a fixação da pá carregadeira no coletor de cinzas. Para isto, é necessário um sistema de fixação acionado pela própria pá carregadeira. Alguns componentes do coletor foram nomeados conforme figura 18.

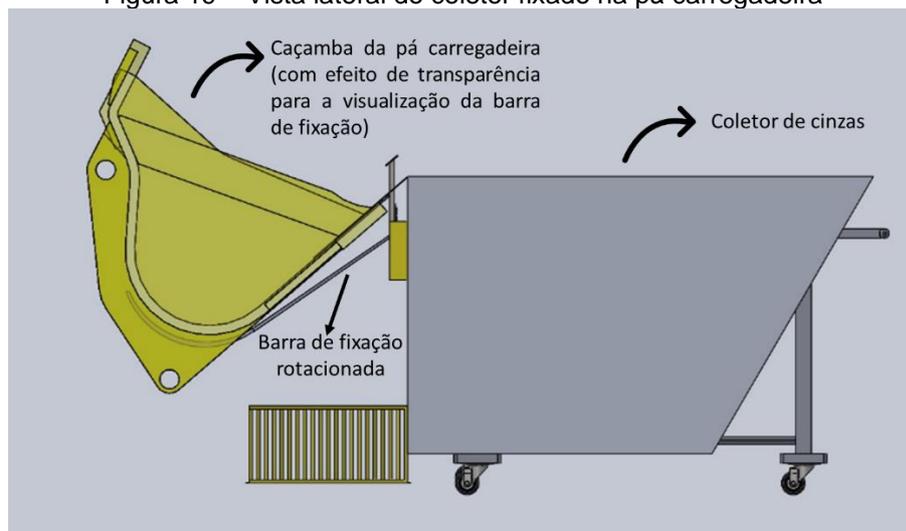
Figura 18 – Peças do coletor



Fonte: A autora

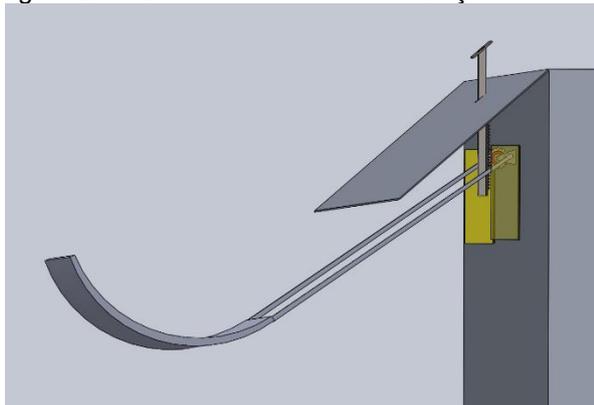
O coletor em repouso tem a barra de fixação na vertical. Após a aproximação da pá carregadeira a chapa acionadora é erguida e através dos elementos de transmissão (engrenagem e cremalheira) é rotacionada a barra de fixação em torno do mesmo eixo da engrenagem, conforme figuras 19 e 20.

Figura 19 – Vista lateral do coletor fixado na pá carregadeira



Fonte: A autora

Figura 20 – Detalhe do sistema de fixação acionado

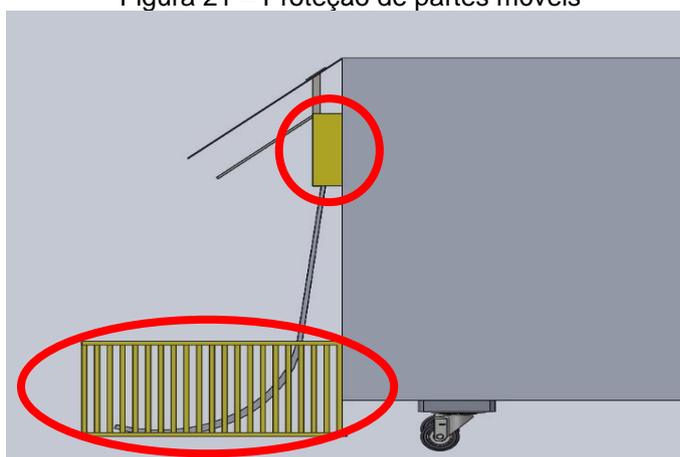


Fonte: A autora

Para a elaboração da concepção do produto com os princípios de solução da combinação 5 foi levado em consideração as especificações-meta.

- **Segurança:** No desenvolvimento da concepção do produto foi colocado proteção nas partes móveis do coletor para evitar riscos de prensamento e esmagamento, como indicado na figura 21. Outro fator importante é que durante a realização do procedimento o operador consegue ficar em uma distância segura da atividade, pois não é necessário a intervenção do operador na fixação do coletor na pá carregadeira.

Figura 21 – Proteção de partes móveis

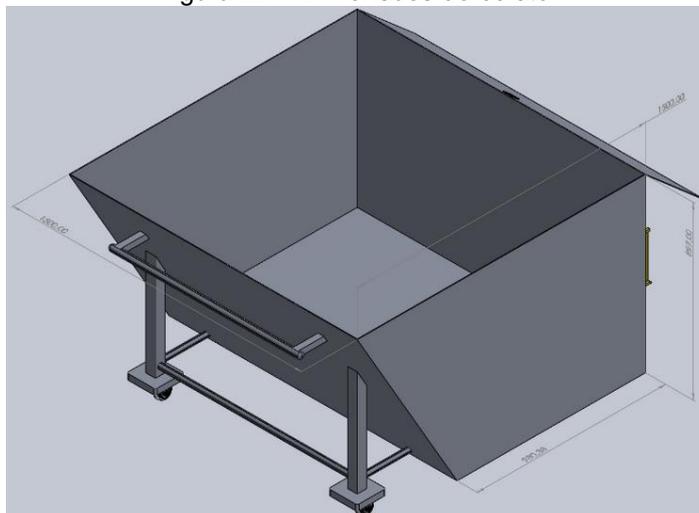


Fonte: A autora

- **Temperatura:** O coletor foi elaborado para a confecção com chapas de Aço, portanto garante maior resistência em relação a temperatura das cinzas.
- **Volume mínimo:** O volume de armazenamento do coletor é de  $1,6\text{m}^3$ . Portanto, o número de descartes de cinzas por dia foi reduzido, sendo

necessário o descarte duas vezes ao dia, reduzindo 1/3 da quantidade anterior. As medidas do coletor são indicadas na figura 22.

Figura 22 – Dimensões do coletor



Fonte: A autora

- Massa máxima: Só poderemos ter precisão em relação a massa do produto quando na etapa do projeto detalhado for realizado o dimensionamento das chapas que serão utilizadas no produto. Porém, estimando uma chapa de 1/8" de SAE1020 a massa da peça seria aproximadamente 170Kg, atendendo a especificação.
- Tempo de vida útil: O material da concepção do produto é aço carbono, que apresenta como característica boa durabilidade quando dimensionado adequadamente para as cargas do projeto. A durabilidade dos elementos de transmissão está atrelada também ao planejamento e execução das atividades de lubrificação.
- Dimensões: As dimensões do coletor atendem a especificação do local da extração de cinzas, não sendo necessária alteração da estrutura atual.
- Custo de fabricação: Durante o desenvolvimento da concepção do produto também foi priorizado a utilização de poucos componentes e material de baixo custo e dimensionamentos de componentes de fabricação comercial, com isso a estimativa de custo (apêndice B) do produto atende a especificação-meta.

- Número de passos do processo: Com a utilização do produto o procedimento de retirada de cinzas continua com 6 etapas, não foi necessário acréscimo de passos.
- Altura dos elementos de ajuste e de apoio: Altura do puxador do coletor de cinzas com altura de 0,8m do solo para melhorar a ergonomia do movimento de transporte do coletor.
- Intervalo entre manutenções: As manutenções presumidas para o coletor são de lubrificação dos componentes de transmissão e inspeção visual da integridade da estrutura mecânica. A periodicidade das manutenções vai variar dependendo do dimensionamento realizado no projeto detalhado, mas espera-se que atenda a especificação-meta de 1 ano.
- Tempo de montagem: De acordo com o baixo número de componentes para montagem, estima-se que o tempo de montagem atenda a especificação-meta.

## 6 DISCUSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste trabalho de conclusão de curso, foi explorada a importância do planejamento no desenvolvimento e gestão de novas soluções. De início, foram identificados os desafios apresentados e feita uma análise minuciosa do processo existente, as partes envolvidas e o planejamento do ciclo de vida do produto, essas análises contribuíram para um planejamento assertivo com as expectativas e necessidades alinhadas com os clientes.

No projeto informacional foi possível apoiar-se na produção desenvolvida no planejamento para a construção de requisitos do cliente e projeto com sua devida ordem de prioridade além da especificação-meta de cada requisito.

Para atingir as metas, requisitos e prioridades estabelecidos foi elaborado no projeto conceitual a modelagem do sistema mais adequado e com os princípios de soluções propor a concepção de produto que melhor atenda às necessidades do cliente.

Como resultado tivemos a concepção de um coletor de cinzas que tem a possibilidade do deslocamento por meio de rodízios e que possui um sistema de fixação na caçamba da pá carregadeira que possibilita o despejo das cinzas na caçamba estacionária. O sistema de fixação não necessita da atuação do operador para realizar o procedimento e permite o reaproveitamento do coletor, garantindo assim maior segurança e viabilidade econômica do projeto.

Nas próximas etapas será necessário construir protótipos e realizar testes para a validação do projeto preliminar e, após aprovação, seguir para o projeto detalhado e fabricação.

Apesar do coletor de cinzas ter sido desenvolvido de acordo com a necessidade de um único cliente, o projeto tem potencial alcance para demais processos que já utilizem de pá carregadeira para transporte e despejo de cargas, sendo uma boa alternativa para evitar a necessidade de comprar equipamentos adicionais como empilhadeira, talha, guincho hidráulico, etc. Alguns possíveis mercados podem ser o setor agropecuário para carregamento de grãos, setor de construção civil para transporte de entulhos, além do já estudado armazenamento e transporte de cinzas de caldeiras de biomassa podendo realizar abrangência para demais resíduos industriais que já envolvam a utilização da pá carregadeira no seu processo.

## 7 CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma análise do contexto e as características da área de Caldeiras na planta industrial onde foi desenvolvido o trabalho, foi abordado também os fatores que influenciam na combustão da biomassa numa caldeira flamotubular ICF.

Foi desenvolvido a concepção da adaptação do sistema de coleta de cinzas a partir de uma oportunidade observada em uma planta fabril, resultado em um coletor de cinzas que tem um sistema de fixação em pá carregadeira. Para tal desenvolvimento foi escolhido um modelo de referência do processo de desenvolvimento de produto adaptado do modelo proposto por ROZENFELD *et al.* O modelo escolhido contribuiu para a elaboração da concepção do produto conduzida a partir das prioridades avaliadas das necessidades do cliente.

Outro fator importante para a realização da concepção do produto foi a elaboração do conjunto de especificações-meta que foi estabelecido a partir das requisições do produto, nesta etapa houve um essencial envolvimento com as partes interessadas do projeto para que as especificações-meta refletissem os aspectos da oportunidade observada.

Por fim, a concepção de produto desenvolvida atendeu os atributos segurança, ergonomia, econômico, produção e funcionamento estabelecidos durante o desenvolvimento do projeto e está alinhado com as expectativas das partes envolvidas.

## REFERÊNCIAS

- AKKARI, A. C. S.; CARPI, J. R. **Desenvolvimento de produto**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.
- ARMSTRONG, G.; KOTLER, P. **Princípios de marketing**. 12. ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 60079-10**: Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas – Parte 10: Classificação de áreas. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 2004.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri: Editora Manole, 2008.
- BARDINI, Vivian Silveira dos Santos. **Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Cinzas da Queima da Casca de Pinus em Obras de Pavimentação Asfáltica**. 2008. Dissertação-(Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2008.
- BAXTER, Mike. **Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2000.
- BAZZO, E. **Geração de vapor**. 2 ed. Florianópolis: UFSC, 1995.
- BEN. **Balanco Energético Nacional 2021 – Ano base 2020**. Ministério de Minas e Energia, Brasil – Governo Federal e Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, 2021.
- BEN. **Balanco Energético Nacional 2022 – Ano base 2021** Ministério de Minas e Energia, Brasil – Governo Federal e Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, 2022.
- BORGES NETO, M. R.; CARVALHO, P. C. M. D. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2012.
- BORLINI, M.C., SALES, H.F., VIEIRA, C.M.F., CONTE, R.A., PINATTI, D.G., MONTEIRO, S.N. Cinza da Lenha para Aplicação em Cerâmica Vermelha – Parte 83 I: Características da Cinza. **Revista Cerâmica 51**. Rio de Janeiro, 2005.
- BOURTSALAS, A.C.; HUANG Q.; ZHANG H.; THEMELIS, N. J. Energy recovery in China from solid wastes by the moving grate and circulating fluidized bed technologies. **Waste Disposal & Sustainable Energy**, 2020.

BRENTANI, U.; REID, S. E. The fuzzy front-end of discontinuous innovation: Insights for research and management. **Journal of Product Innovation Management**, v.29, n.1, p. 70-87. 2012.

CACURO, Thiago A.; WALDMAN, Walter R. Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v. 7, ed. 6, 2015. Disponível em: <https://rvq-sub.sbgq.org.br/index.php/rvq/article/view/990>. Acesso em: 15 maio 2023.

DAHIYA, Anju. **Bioenergy: Biomass to biofuels**. Londres: Academic Press, 2019.

DEUBLEIN, Dieter; STEINHAUSER, Angelika. **Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction**. 3. Ed. Weinheim: Wiley-Vch, 2010.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações do projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – UFSC, Florianópolis, 2000.

ICAVI, **Catálogo de Produtos**. 2019. Disponível em <<https://icavi.ind.br/pt/produtos/>>. Acessado em 05/11/2022.

JOHN DEERE. **Pás-carregadeiras 524K-ii/544K-ii/624K-ii: 142–188 HP (106–141 kW líquido)**. 2017. Disponível em: <https://www.deere.com.br/pt/p%C3%A1s-carregadeiras/524k-ii/>. Acesso em: 14 jun. 2023.

JÚNIOR, W. P. C. **Introdução ao Projeto de Produtos**. 1. Porto Alegre: Bookman Editora, 2014. 217 p.

LOPES, R. P., OLIVEIRA FILHO, D., DONZELES, S. M. L. Controle da combustão em fornalhas a lenha. In: **Encontro de Energia no Meio Rural**, 3, 2000, Campinas. Proceedings online. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022000000200023&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200023&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 23 maio 2023.

MADUREIRA, Omar Moore de. **Metodologia do projeto: planejamento, execução e gerenciamento**. São Paulo: Blucher, 2010.

MARX, A. M.; PAULA, I. C. Proposta de uma sistemática de gestão de requisitos para o processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis. **Produção**, Florianópolis, SC, v. 21, n. 3, 2011.

MICHAELIDES, E. E. **Energy, the environment, and sustainability**. Flórida: CRC Press, 2018.

MORAES, Sandra; MASSOLA, Camila; SACCOCCIO, Eduardo; SILVA, Dafne; GUIMARÃES, Yuri. Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT: Tecnologia e inovação**, v. 1, ed. 4, abr 2017. Disponível em: <https://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/37>. Acesso em: 6 mar. 2023.

MORO, L.; GONÇALVES, J. L. de M. Efeito da cinza de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus Grandis* e avaliação financeira. **IPEF**, Piracicaba, 1995.

NICKEL, E.M. FERREIRA, M. G. G.; FORCELLINI F. A.; SANTOS C. T.; SILVA R. A. A. Modelo multicritério para referência na fase de Projeto Informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos. **Gest. Prod., São Carlos**, v. 17, n. 4, p. 707-720, 2010.

NOGUEIRA, L. A.; LORA, E. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produto: métodos e aplicações**. 6. ed.: Edgard Blücher, 2005. 412 p.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Padrão de gerenciamento de Projetos e Guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)**. 7. ed. 2021.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um Guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)**. 5. ed. 2013.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Capaldo; TOLEDO, José Carlos; SILVA, Sergio Luis da; ALLIPRANDINI, Dário Henrique; SCALICE, Régis Kovacs. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do Processo**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *pinus taeda*. **Floresta**, 2012

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 6. ed. New York: Mc Graw Hill Education, 2015. 432 p.

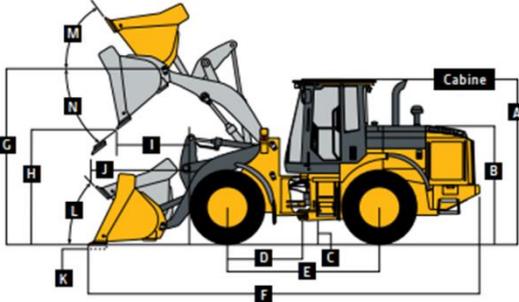
VASCONCELLOS, C.B., LEAL, C.L.D., FRANÇA, M.P., CASTRO, P.F. Aproveitamento da Cinza de Caldeira na Construção Civil. **Vértices**. Vol. 6, nº1. Rio de Janeiro, 2004

WITTMANN, A. L. **Proposta para Tratamento e Destinação dos Resíduos Sólidos Orgânicos do Grupo Santa Maria**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental), Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2010

## APÊNDICE A – GEOMETRIA DO COLETOR

Segundo fabricante, o ângulo de inclinação para trás no nível do solo da pá carregadeira é  $41^\circ$  e o ângulo máximo de despejo é  $51^\circ$ .

Figura 23 - Informações da pá carregadeira



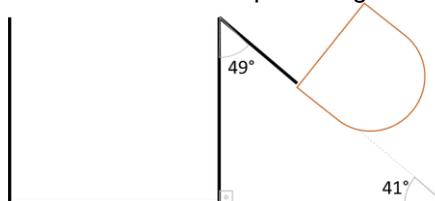
PÁS-CARREGADEIRAS 524K-II COM BARRA "Z", LANÇA LONGA E CAÇAMBA PINADA

	Barra "Z"	Barra "Z"	Lança longa
Dimensão com caçamba	1,9 m <sup>3</sup> de uso geral com borda parafusada	2,1 m <sup>3</sup> de uso geral com borda parafusada	1,9 m <sup>3</sup> de uso geral com borda parafusada
A	3,25 m	3,25 m	3,25 m
B	2,30 m	2,30 m	2,30 m
C	0,40 m	0,40 m	0,40 m
D	1,45 m	1,45 m	1,45 m
E	2,93 m	2,93 m	2,93 m
F	7,25 m	7,34 m	7,58 m
G	3,77 m	3,77 m	4,12 m
H	2,77 m	2,77 m	3,16 m
I	0,81 m	0,98 m	0,90 m
J	1,41 m	1,44 m	1,70 m
K	78 mm	97 mm	160 mm
L	$41^\circ$	$41^\circ$	$41^\circ$
M	$55^\circ$	$55^\circ$	$50^\circ$
N	$51^\circ$	$51^\circ$	$47^\circ$

Fonte: John Deere (2017).

Portanto, o ângulo da chapa de encaixe do coletor na pá carregadeira tem que ser de  $49^\circ$ , seguindo relações trigonométricas, conforme apresentado na figura 24.

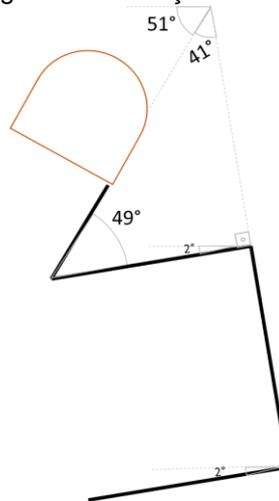
Figura 24 – Ângulos entre coletor no solo e pá carregadeira



Fonte: Autora

Sendo assim, a geometria do coletor não pode ser retangular pois não irá ter ângulo de inclinação suficiente para permitir o deslizamento das cinzas, como apresentado na figura 25.

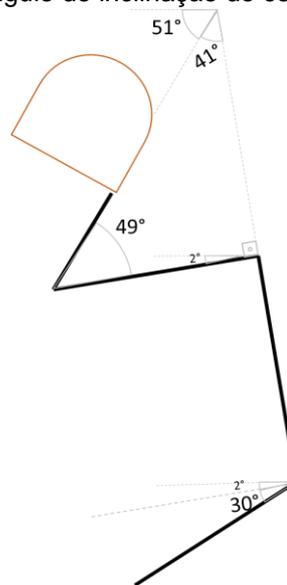
Figura 25 – Ângulo de inclinação do coletor retangular.



Fonte: A autora

Portanto, a geometria mais apropriada para o coletor é a trapezoidal, como mostrado na figura 26.

Figura 26 – Ângulo de inclinação do coletor trapezoidal



Fonte: A autora

## APÊNDICE B – LISTA DE COMPONENTES E ESTIMATIVA DE CUSTO

De acordo com a concepção do produto os componentes utilizados na fabricação do coletor seriam mancais, rolamentos, engrenagem, cremalheira, barra redonda (eixo), barra retangular (estrutura da base), chapas e rodízios. Uma estimativa de preço desses componentes foi listada na tabela 7.

Tabela 7 – Estimativa de custo dos componentes

<b>Componentes</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário estimado</b>	<b>Valor total estimado</b>
Mancais	2 unidades	R\$ 70,00	R\$ 140,00
Rolamentos	2 unidades	R\$ 60,00	R\$ 120,00
Engrenagem	1 unidade	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Cremalheira	1 unidade	R\$ 250,00	R\$ 250,00
Barra redonda	6 metros	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Barra retangular	6 metros	R\$ 350,00	R\$ 350,00
Chapas	7 m2	R\$ 1.500,00	R\$ 10.500,00
Rodízios	4 unidades	R\$ 300,00	R\$ 1.200,00
TOTAL			R\$ 12.760,00

Fonte: A autora

Além dos componentes, outro fator que influência no custo de fabricação são os materiais de insumo, que foram listados conforme tabela 8.

Tabela 8 – Estimativa de custo dos materiais de insumo

<b>Materiais de Insumo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor estimado</b>
Eletrodo	10Kg	R\$ 600,00
Disco de corte	10 unidades	R\$ 270,00
Disco de desbaste	5 unidades	R\$ 75,00
TOTAL		R\$ 940,00

Fonte: A autora

Portanto, o valor total estimado da fabricação do coletor é R\$13.700,00.