



Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção - PPGE



LAURA LIMA DA ROCHA

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO SEGUINDO OS PRECEITOS DA ECONOMIA
CIRCULAR**

MANAUS

2025

Laura Lima da Rocha

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO SEGUINDO OS PRECEITOS DA
ECONOMIA CIRCULAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

Área de Concentração: Gestão da Produção e Operações.

Linha de Pesquisa: Modelagem, Simulação e Otimização de Processos.

Orientador: Marcelo Albuquerque de Oliveira, Ph.D.

MANAUS

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

- R672d Rocha, Laura Lima da
Desenvolvimento de produto seguindo os preceitos da economia circular
/ Laura Lima da Rocha. - 2025.
58 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Marcelo Albuquerque de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Manaus, 2025.
1. Desenvolvimento de Produto. 2. Economia Circular. 3. Reciclagem. 4.
Sustentabilidade. 5. Resíduos Industriais. I. Oliveira, Marcelo Albuquerque
de. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção. III. Título
-

Laura Lima da Rocha

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO SEGUINDO OS PRECEITOS DA
ECONOMIA CIRCULAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

Área de Concentração: Gestão da Produção e Operações.

Linha de Pesquisa: Modelagem, Simulação e Otimização de Processos.

Orientador: Marcelo Albuquerque de Oliveira, Ph.D.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Albuquerque de Oliveira
Faculdade de Tecnologia - Universidade Federal do Amazonas
Orientador e Presidente

Prof. Dr. Josemar Gurgel da Costa
Faculdade de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Amazonas
Membro Interno

Prof. Dr. Mateus C. Gerolamo
Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo
Membro Externo

Manaus, 30 de abril de 2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela sabedoria e saúde que me permitiu que eu encontrasse esse caminho e, além disso, agradeço as condições concedidas a mim que me ajudaram enfrentar essa jornada e a subir mais um degrau na minha vida.

Agradeço imensamente ao PhD. Marcelo Albuquerque de Oliveira, o educador responsável por me mostrar o caminho da pesquisa científica e que me ajudou a me encontrar profissionalmente. Um exemplo de professor, que valoriza fortemente a educação e o seu trabalho, que tem como compromisso impactar positivamente a vida de muitas pessoas que passam pela universidade.

Agradeço aos meus pais, Heloisa Helena e Antonio Carlos, à minha irmã, Livia Renata, à minha cachorra, Zoe, pelo amor, apoio e parceria que tive durante toda a minha trajetória. Sem o conforto do lar de vocês, as dificuldades seriam muito mais árduas.

Agradeço também aos amigos que apareceram ao longo da minha vida que, porventura, dirigiram palavras motivadoras em momentos certos e, assim sendo, deram-me combustível para fazer o meu melhor.

RESUMO

Com o avanço da sustentabilidade nas últimas décadas, tem crescido o interesse de empresas e pesquisadores em incorporar os princípios da economia circular aos processos produtivos. A reciclagem, impulsionada pelo desenvolvimento tecnológico, tem viabilizado o reaproveitamento de materiais já processados, reduzindo o desperdício e possibilitando a criação de novos produtos. No entanto, ainda persiste entre os consumidores a percepção de que produtos feitos com materiais reciclados possuem qualidade inferior. Diante desse cenário, esta pesquisa investigou a viabilidade do desenvolvimento de um protótipo funcional de tamborete, utilizando resíduos de lápis de cor — que, segundo a indústria fornecedora do material, já é um material reciclado — para a fabricação do assento. O segundo componente do protótipo, correspondente às pernas do tamborete, foi produzido a partir de madeira reciclada proveniente de paletes descartados por indústrias. Todas as decisões de projeto priorizaram o máximo de escolhas circulares possíveis, reforçando o modelo de ciclo fechado da economia circular. Com a aplicação de metodologias de planejamento e desenvolvimento de produto, foi possível fabricar um protótipo funcional, demonstrando que é viável utilizar resíduos industriais recicláveis como matéria-prima, sem comprometer a funcionalidade do produto e promovendo práticas sustentáveis.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Produto, Economia Circular, Reciclagem, Sustentabilidade, Resíduos Industriais.

ABSTRACT

With the advancement of sustainability in recent decades, there has been a growing interest among companies and researchers in incorporating the principles of the circular economy into production processes. Recycling, driven by technological development, has made it possible to reuse previously processed materials, reducing waste and enabling the creation of new products. However, the perception that products made from recycled materials are of lower quality still persists among consumers. In this context, this research investigated the feasibility of developing a functional prototype of a stool, using colored pencil waste — which, according to the material supplier, is already a recycled material — for the manufacturing of the seat component. The second component of the prototype, corresponding to the stool legs, was produced using recycled wood from pallets discarded by industries. All design decisions prioritized the highest possible number of circular choices, reinforcing the closed-loop model of the circular economy. Through the application of product planning and development methodologies, it was possible to manufacture a functional prototype, demonstrating the feasibility of using recyclable industrial waste as raw material without compromising product functionality, while promoting sustainable practices.

Keywords: Product Development, Circular Economy, Recycling, Sustainability, Industrial Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de desenvolvimento de produto.....	18
Figura 2 - Entregas das macrofases de pré-desenvolvimento e desenvolvimento.	19
Figura 3 - Representação do fluxo linear.....	23
Figura 4 - Representação do fluxo circular.	24
Figura 5 - Componentes de um produto circular.....	27
Figura 6 - Análise do problema da dissertação.....	29
Figura 7 - Porta objetos.	30
Figura 8 - Prancheta.....	30
Figura 9 - Armazenador de objetos.	31
Figura 10 - Tamborete.	31
Figura 11 - Cadeira.	32
Figura 12 - Estrutura analítica do projeto.....	33
Figura 13 - Modelagem 3D dos componentes do tamborete.....	37
Figura 14 - Prensa hidráulica disponibilizada para a confecção do protótipo.....	39
Figura 15 - Especificações da prensa hidráulica	39
Figura 16 - Ferramental confeccionado para a fabricação do protótipo funcional.....	40
Figura 17 - Diagrama de precedência.....	42
Figura 18 - Depósito de material no molde de madeira para a distribuição igualitária de massa.	43
Figura 19 - Massa distribuída uniformemente no molde de ferro.	43
Figura 20 - Protótipo do assento com a configuração 1) dos parâmetros.....	44
Figura 21 - Protótipo do assento com a configuração 2) dos parâmetros.....	44
Figura 22 - Versão final do assento do protótipo funcional do tamborete.	45
Figura 23 - Protótipo do tamborete.	47
Figura 24 - Protótipo da prancheta.	48
Figura 25 - Protótipo da cadeira.	49
Figura 26 - Caneta.	56
Figura 27 - Régua.	56
Figura 28 - Armazenador De Objetos.	57
Figura 29 - Suporte De Tablet.	57
Figura 30 - Armazenador De Canetas.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelo genérico de desenvolvimento de produto.	17
Tabela 2 - Parâmetros controláveis do processo produtivo do assento.	41
Tabela 3 - Legenda dos códigos do diagrama de precedência.	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1.2	OBJETO DE ESTUDO	12
1.3	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	12
1.4	JUSTIFICATIVA.....	12
1.5	QUESTÕES DA PESQUISA	14
1.6	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS	14
1.7	ESTRUTURA DA PESQUISA	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	16
2.2	ECONOMIA CIRCULAR	22
2.2.1	PRODUTO CIRCULAR	26
2.3	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	28
2	PRÉ-DESENVOLVIMENTO.....	28
3.1	PLANEJAMENTO DO PROJETO	29
3.1.1	ESCOPO DO PRODUTO.....	30
3.1.2	ESCOPO DO PROJETO	32
4	DESENVOLVIMENTO.....	34
4.1	PROJETO INFORMACIONAL.....	34
4.1.1	REQUISITOS DOS CLIENTES DO PRODUTO.....	34
4.1.2	REQUISITOS DO PRODUTO	35
4.1.3	ESPECIFICAÇÕES-META DO PRODUTO.....	36
4.2	PROJETO CONCEITUAL.....	36
4.2.1	MODELAGEM FUNCIONAL DO PRODUTO	36
4.2	PROJETO DETALHADO	38
4.2.1	DECIDIR FAZER OU COMPRAR SSCs	38
4.2.2	PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	38
4.2.3	PROTOTIPAÇÃO DO PRODUTO	42
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5.1	CONTRIBUIÇÕES	45
5.2	TRABALHOS FUTUROS	47
	REFERÊNCIAS	52
	ANEXOS	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O processo de desenvolvimento de produtos está na interface entre a empresa e o mercado, cabendo a ele identificar e prever as necessidades do mercado e propor soluções. A atividade de desenvolver um produto engloba as necessidades do mercado, as restrições tecnológicas, o estabelecimento das especificações de um produto e do seu processo produtivo, considerando os recursos da linha de produção, para verificar se ela é capaz de fabricar o produto desejado (ROZENFELD; AMARAL, 2006). Um produto que reutiliza vários itens, mas apresenta algumas inovações como de matéria-prima, pode ser vendido como um produto inovador. Para a empresa, não é tão inovador assim. Mas, dessa forma, consegue-se oferecer um produto novo, sem muitos riscos (ROZENFELD; AMARAL, 2006).

As leis, regulamentações e, principalmente, a demanda do mercado participam dos requisitos que regem a qualidade que cada produto deve possuir. Para atender a esses requisitos, é necessário que as indústrias garantam uma boa confiabilidade pois, dessa forma, tem-se um produto seguro e a reputação do negócio é mantida (AMIN; KHAN; ZUO, 2019). Em determinados produtos, a impossibilidade de garantir confiabilidade e segurança pode resultar em perdas financeiras significativas e, em alguns casos, até comprometer a saúde do consumidor (ZIO *et al.*, 2019).

Diante de diversos problemas que a sociedade possui, um deles é o atual cenário de degradação ambiental. Qualquer iniciativa que reduza a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários ou corpos d'água já representa um impacto positivo significativo. Então, desenvolver produtos que contribuam para essa minimização, não apenas impulsiona a inovação ao buscar soluções tecnológicas viáveis, mas também promove a sustentabilidade em suas diversas vertentes.

Um dos materiais mais discutidos quando se trata de poluição são os plásticos. De acordo com Gubanova *et al.* (2019), uma parcela significativa do lixo descartado no meio ambiente é composta por resíduos poliméricos. Diante dessa realidade, esforços crescentes têm sido feitos para reverter esse cenário e a Economia Circular (EC) vem sendo apontada como uma solução promissora para essa problemática, visto que esse modelo visa a manutenibilidade dos materiais dentro da economia, gerando valor (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

Considerando o fato de que o uso de plástico aumentou 20 vezes durante a metade do século passado e está previsto para que esse valor dobre nos próximos 20 anos e que, em 2050,

haverá mais plásticos do que peixes no oceano (AGENDA, 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020), este estudo tem como sua premissa inicial a utilização de resíduos de poliestireno advindos de um processo de manufatura de lápis de cor cedidos por uma indústria do Polo Industrial de Manaus. Ressalta-se que, de acordo com a indústria, o material já é reciclado, fator que colabora positivamente com a circularidade. Além disso, por ser termoplástico e resíduo industrial, há altas probabilidades de que o material seja reintroduzido no meio produtivo de forma satisfatória.

1.2 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo desta pesquisa é o desenvolvimento de um produto sustentável a partir de resíduos poliméricos pertencentes a uma indústria do Polo Industrial de Manaus. Como se trata de um material com propriedades não totalmente conhecidas, o processo de desenvolvimento se torna essencial para avaliar sua viabilidade técnica e funcionalidade, garantindo a concepção de um novo produto alinhado às diretrizes de sustentabilidade e promovendo, especialmente, à Economia Circular.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um produto com fundamentos de circularidade seguindo um modelo de referência, aplicando todas as suas fases até a obtenção de um protótipo funcional. Para garantir um design alinhado à sustentabilidade, foram incorporados princípios da Economia Circular no planejamento e desenvolvimento do produto. No entanto, a execução de testes robustos com o protótipo e lançamento do produto do mercado não fará parte do escopo desta pesquisa devido a limitação de recursos.

1.4 JUSTIFICATIVA

A criação de um Produto Circular é uma das estratégias que surgiram devido aos crescentes impactos negativos que os costumes humanos causam ao meio ambiente como, por exemplo, a escassez de recursos naturais que é apontada como a principal causa da perda global da biodiversidade e está aliada ao crescente desenvolvimento econômico (LOS RIOS, DE; CHARNLEY, 2017).

Schögggl *et al.* (2024) afirmam que há diversas ferramentas e métodos disponíveis no meio científico para a criação de um produto circular e sustentável, todavia, a aplicação dessas soluções ainda não foi totalmente difusa. Diante desse cenário, ainda pode haver barreiras desconhecidas que podem surgir durante a implementação da circularidade e os autores

reforçam que é importante o entendimento dessas barreiras. Projetar um produto para ser circular e sustentável é a chave para redução dos seus impactos negativos socioeconômicos.

Rajput e Singh (2019) apontam que a falta de análise tecnológica para adaptar os produtos para o modelo circular é uma das causas que impede a otimização da sustentabilidade e questionam se as atuais tecnologias podem oferecer soluções apropriadas para a manufatura desses produtos.

Diaz e Baumgartner (2024) sustentam que, atualmente, muitas organizações ainda falham quando se trata de implementar estratégias de retenção de valor, que é um dos objetivos do desenvolvimento sustentável que está relacionado a Economia Circular, durante o planejamento de um produto. Os autores afirmam que diferentes fatores podem habilitar a economia circular durante os estágios do planejamento e processo de desenvolvimento de um produto.

O trabalho de Fu *et al.* (2023) evidencia que o mercado estará mais preparado para consumir produtos circulares caso haja incentivo governamental, de modo que seja propagado o conhecimento acerca dos benefícios de um produto circular e a os consumidores guiados a adotarem práticas sustentáveis. Wang, Burke e Zhang (2022) complementam ressaltando que uma das barreiras da EC são as preocupações da sociedade acerca da performance, qualidade e segurança dos produtos e serviços derivados desse modelo. Adicionalmente, os autores apresentam contramedidas para reverter esse cenário, os quais são: ter uma responsabilidade compartilhada pelos consumidores dentro do sistema circular, desenvolvimento das preferências dos consumidores por produtos e serviços da EC e, por fim, incentivar a EC nos consumidores, visto que os problemas ambientais não são tão abordados e tratados de forma adequada.

Como exemplo, Govindan (2023) demonstra que há uma dificuldade do mercado em consumir produtos remanufaturados por conta de que há a crença de que esses produtos são produtos que já estão no final de sua vida funcional. Esse pensamento faz com o que o mercado duvide da qualidade e tenha uma resistência maior ao comprar. O autor afirma que há diversas ferramentas de qualidade que são aplicadas em contextos em que a matéria prima utilizada é virgem, todavia, essas ferramentas podem ser limitadas quando aplicadas no contexto da remanufatura, onde os materiais são derivados de produtos usados. Diante disso, evidencia-se a necessidade de identificar quais ferramentas podem ser aplicadas no cenário circular.

Diante do supracitado, percebe-se que para desenvolver um produto circular ainda há uma certa complexidade, além de que há dificuldades de aceitação por parte da sociedade a respeito desses tipos de produto. Ademais, alguns autores ainda abordam a questão da crença

de que produtos circulares estão no final de sua vida funcional. Com isso, há a necessidade de aplicar técnicas que avaliem a vida desses produtos em prol de que seja comprovado que esses produtos podem ser confiáveis e, conseqüentemente, atendem as necessidades dos consumidores.

1.5 QUESTÕES DA PESQUISA

QP1: É possível desenvolver um produto a partir dos resíduos de lápis de cor?

Para responder a esta questão, este estudo se baseia nos princípios da circularidade, que incluem reciclagem, reutilização e remanufatura, conforme apontado na seção 1.1. Considerando que resíduos de lápis de cor podem gerar impactos ambientais adversos por serem plásticos, este trabalho propõe desenvolver um produto a partir desses resíduos. Para tanto, serão aplicadas as etapas de planejamento e desenvolvimento de produto, com o objetivo de avaliar sua viabilidade técnica e funcional.

QP2: O produto desenvolvido atende aos requisitos mínimos de mercado?

Para responder à questão de pesquisa, será realizada uma análise qualitativa para verificar se o produto desenvolvido atende aos requisitos mínimos de mercado. Essa análise se justifica pelo fato de que, conforme discutido na seção 1.4, a aceitação de produtos sustentáveis enfrenta desafios devido à falta de comprovação científica sobre seu desempenho competitivo em relação a produtos convencionais. Dessa forma, a avaliação buscará identificar se o produto cumpre critérios essenciais, como funcionalidade e viabilidade comercial.

1.6 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um produto até a obtenção de um protótipo funcional, no qual os princípios e fundamentos da Economia Circular sejam aplicados de forma integrada em cada uma das fases do processo de desenvolvimento. A proposta inclui a demonstração da viabilidade técnica da valorização de resíduos, com foco na reutilização de um resíduo polimérico para a fabricação de um componente do produto a ser escolhido. Considerando-se as limitações impostas pelos recursos financeiros e tecnológicos, o modelo circular foi adaptado, buscando-se alternativas viáveis que possibilitem a adoção progressiva de estratégias sustentáveis no design e na produção, mesmo em contextos restritivos.

Dessa forma, os objetivos específicos são:

- Investigar os princípios da Economia Circular aplicáveis ao desenvolvimento de produtos;
- Planejar um produto;
- Desenvolver um produto até a obtenção de um protótipo funcional;

1.7 ESTRUTURA DA PESQUISA

Esta dissertação foi organizada em sete capítulos.

O Capítulo 1 introduz a pesquisa, apresentando informações que contextualizam o tema e justificam sua relevância. Também são definidas as questões de pesquisa e os objetivos a serem alcançados por meio de suas respostas.

O Capítulo 2 apresenta o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento da pesquisa. Foram realizadas revisões na área de Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e, adicionalmente, foram explorados os conceitos relacionados à Economia Circular, com ênfase em produtos alinhados a esse modelo.

O Capítulo 3 aborda a macrofase de pré-desenvolvimento do produto, apresentando as definições iniciais do ciclo de vida do projeto. São descritas as etapas desde a da formulação inicial do portfólio de produtos circulares até a seleção do produto, contemplando a identificação de oportunidades, levantamento preliminar de requisitos, definição do escopo do produto e do projeto, análise exploratória de materiais e tecnologias.

O Capítulo 4 trata da macrofase de desenvolvimento do produto, abrangendo desde o projeto informacional até o projeto detalhado. São descritas as etapas de identificação e estruturação dos requisitos do cliente e do produto, definição das especificações-meta, desenvolvimento de conceitos e funcionalidades, modelagem tridimensional, definição dos processos de fabricação, elaboração de desenhos técnicos e confecção de ferramental, produção de protótipos funcionais e validações qualitativas. As atividades descritas neste capítulo compõem o núcleo do processo de desenvolvimento do produto.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões da pesquisa, destacando as principais contribuições obtidas. Além disso, são indicadas sugestões para pesquisas futuras que podem dar continuidade ou aprofundar os resultados alcançados.

Posteriormente ao Capítulo 5, serão exibidas as referências utilizadas ao longo deste trabalho, organizadas de acordo com as normas da ABNT. Por fim, os anexos, que ilustram os demais produtos que integraram o portfólio de produtos circulares formulados nesta pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo contempla um conjunto de conhecimentos coletados em obras literárias de referência e produções científicas gerais que contribuirão para a sustentação e desenvolvimento da pesquisa. Posto isso, a dissertação iniciará abordando a respeito do processo de desenvolvimento de produto, apresentando conceitos gerais modelos de referência, em seguida, o conteúdo se aprofundará no tópico de Economia Circular, evidenciado especialmente as características que envolvem um produto circular, visto que o objeto de estudo é o desenvolvimento de um produto circular.

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

No momento de criar um produto, é importante que durante o processo de desenvolvimento os interesses do mercado estejam bem claros e aplicados, pois esse fator molda a funcionalidade do produto e a do arranjo operacional no sistema produtivo (RINCON-GUEVARA; SAMAYOA; DESHMUKH, 2020). Segundo Ulrich e Eppinger (2012), para ter um desenvolvimento de produto de sucesso, quatro parâmetros devem ser avaliados para entender o resultado dos esforços realizados:

- Qualidade do produto: o produto atende as expectativas do consumidor? Possui uma boa confiabilidade?
- Custo do produto: o custo de produção do produto está alto ou baixo?
- Tempo de desenvolvimento: o quão rápido foi finalizado o desenvolvimento do produto?
- Custo do desenvolvimento: quanto foi desembolsado para desenvolver o produto?

Há, ainda, três funções centrais que envolvem o desenvolvimento de um produto (ULRICH; EPPINGER, 2012):

- Marketing: tem a função de intermedia as interações entre o negócio e o consumidor
- Design: tem a função de definir a forma física do produto que atenderá da melhor forma as necessidades do consumidor
- Manufatura: tem a função de coordenar o sistema

Para Relich e Pawlewski (2018), o processo de desenvolvimento de um produto envolve estágios de identificação das necessidades do consumidor, definição de objetivos, geração de conceitos de produtos, avaliação e seleção dos conceitos mais promissores, projetar e testar os protótipos e lançar os produtos no mercado. A seleção do conceito deve ser tomada com base

em indicadores como, por exemplo, o custo e o tempo de um projeto ou o lucro potencial de um produto.

Rozenfeld e Amaral (2006) afirmam que as atividades de desenvolver um novo produto é algo que necessita de tempo e seguem um ciclo iterativo de: projetar-construir-testar-otimizar. As definições principais do produto partem da sua fase inicial. Nesse momento, são determinados, por exemplo, os materiais e tecnologias a serem utilizadas, o processo de fabricação, e a sua forma construtiva. Sendo assim, definindo o direcionamento do produto. Abordando o contexto da interdependência do produto com processo, todo projeto será adaptado a um processo produtivo existente, onde cada particularidade e complexidade de um produto modificará as operações que serão executadas, as ferramentas que serão aplicadas e entre várias outras variáveis que fazem parte de uma linha produtiva.

Thompson, Juel Jespersen e Kjærgaard (2018) mostraram um modelo de desenvolvimento com sete fases, as quais são: ideia, pré-estudo, conceito, desenvolvimento, preparação, início da produção e vendas. As primeiras cinco fases estão relacionadas ao design, implementação do conceito e testagem do produto e, as fases restantes, estão relacionadas ao planejamento da cadeia de suprimentos e da manufatura.

Ulrich e Eppinger (2012) propuseram um modelo genérico de desenvolvimento de um produto no qual acata todas as atividades essenciais utilizadas no processo de desenvolvimento de um produto e, nesse modelo, há seis fases:

Tabela 1 - Modelo genérico de desenvolvimento de produto.

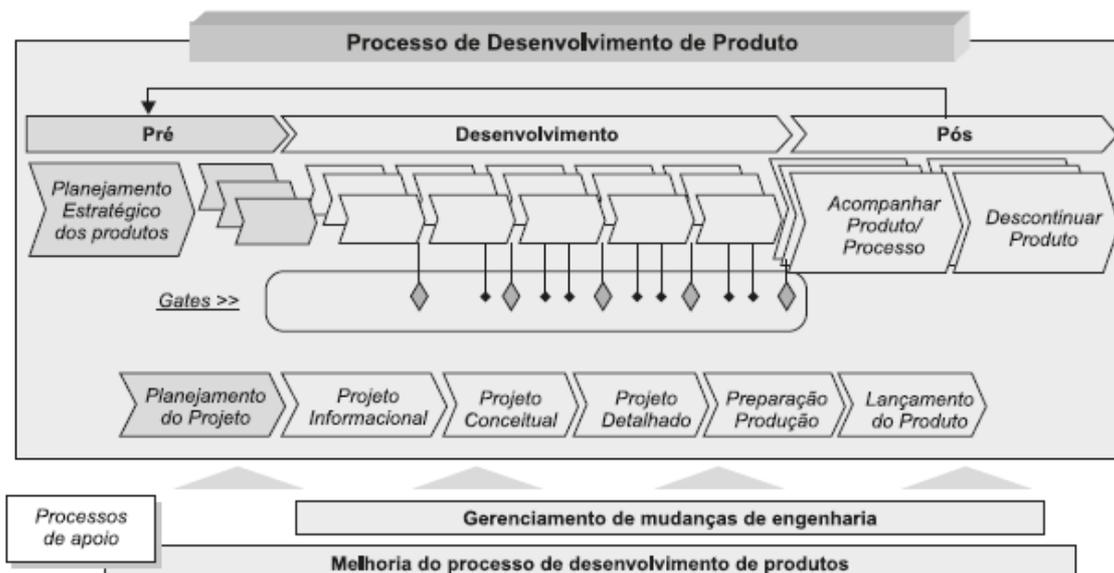
Planejamento	É referida como a fase zero, pois precede da aprovação do projeto. Essa fase se inicia através da identificação de oportunidade no mercado.
Projeto Conceitual	Nessa fase, as exatas necessidades do mercado são levadas para a elaboração do conceito de um produto que, posteriormente, são selecionadas para serem desenvolvidas e testadas. Uma variedade de dados é processada como, por exemplo, as informações acerca da demanda e da satisfação dos clientes (Tao et al., 2018).
Projeto do Sistema	Refere-se a arquitetura do produto, a decomposição do produto em subsistemas e componentes e suas respectivas funções.
Detalhamento do Projeto	Inclui a especificação da geometria, materiais, tolerâncias e suas respectivas funções.
Testes	Envolve a construção e avaliação de múltiplas versões do produto (protótipos) para analisar se satisfará a expectativa do consumidor.

Produção	O produto é criado com base em um sistema de produção existente. A matéria prima ou componentes são processados ou montados em produtos para então serem inspecionados pela testagem da qualidade e os atributos, performance, e parâmetros relacionados aos produtos e processos são monitorados em tempo real (Tao et al., 2018). Nessa fase, é realizado o treinamento da mão de obra e resolver os problemas que podem surgir nos processos produtivos.
-----------------	---

O modelo de referência apresentado por Rozenfeld e Amaral (2006) propõe três macrofases que podem ser adaptadas ao contexto de aplicação, as quais são:

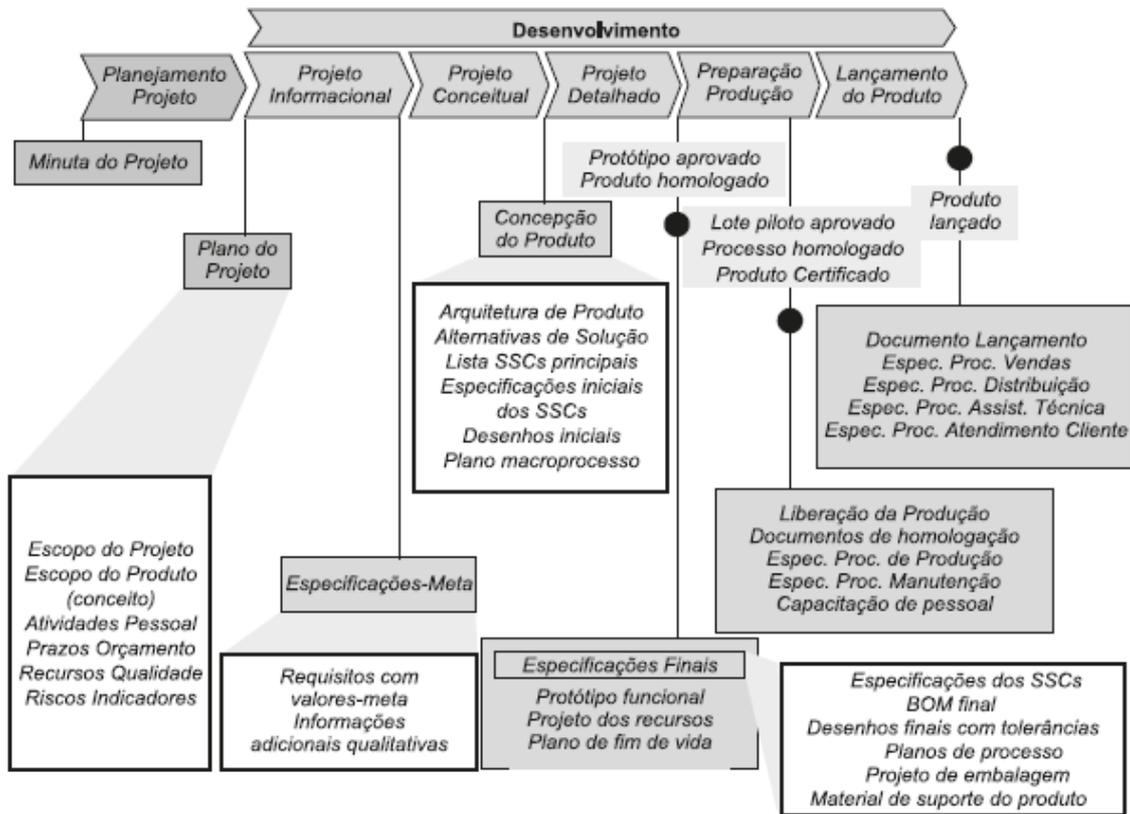
1. Pré-desenvolvimento: é uma fase genérica e mais simples no qual é elaborado o planejamento do produto
2. Desenvolvimento: esta fase enfatiza os aspectos tecnológicos correspondentes à definição do produto, suas características e forma de produção
3. Pós-desenvolvimento: esta fase é genérica e contempla as atividades de acompanhamento do produto e processo produtivo, além do estudo da descontinuidade do produto

Figura 1 - Processo de desenvolvimento de produto.



Fonte: (ROZENFELD; AMARAL, 2006).

Figura 2 - Entregas das macrofases de pré-desenvolvimento e desenvolvimento.



Fonte: (ROZENFELD; AMARAL, 2006).

Nesse guia, o que determina o encerramento de uma fase é a entrega de um conjunto de resultados.

A principal entrega do pré-desenvolvimento é a entrega do planejamento do projeto. Essa macrofase tem como objetivo definir a parte estratégica do projeto, considerando os atores externos e internos envolvidos com os produtos, as oportunidades e limitações existentes. Neste primeiro momento, é declarado o escopo do projeto e, no final do planejamento, é decidido se o produto pode seguir para a macrofase de desenvolvimento. EM suma, esta fase busca responder um conjunto de questões: onde estamos?; para onde vamos; como chegaremos lá; Temos capacidade para realizar isso?; como sabemos se estamos chegando lá?. O primeiro passo é o desdobramento do resultado em um portfólio de projetos e finaliza com a Declaração de Escopo e o Plano de Projeto de um dos produtos previstos no portfólio

Após o pré-desenvolvimento, inicia-se a macrofase de desenvolvimento. Essa macrofase é, também, denominada de desenvolvimento de produto. Observa-se que o Desenvolvimento é composto por várias entregas, onde cada uma, após finalizada é congelada para então seguir para a próxima entrega. Em razão da incerteza existente no início de um projeto, ocorrem diversas modificações nas fases pertencentes ao desenvolvimento devido ao

aumento da disponibilidade de informações que ajudam a compreender com mais detalhes do que trata o produto. Conforme as fases apresentadas Figura 2, as informações geradas por essas são informações técnicas detalhadas acerca do produto e de sua produção, recursos utilizados para a sua produção, e produtos fabricados e homologados.

A fase de planejamento do projeto finaliza a macrofase de pré-desenvolvimento. Rozenfeld e Amaral (2006), com base no Guia PMBOK, definiram as principais etapas da fase de planejamento, as quais são:

- Declaração do escopo do projeto e do produto: o documento de escopo do produto é composto por uma lista de características e funções que o produto deverá apresentar, sendo assim, define-se metas que o produto deverá atender quando pronto. Ressalta-se que o escopo do projeto aborda questões como o método de realização, os interessados, e prazos do projeto. Dessa forma, o produto é o resultado final do projeto;
- Definição de atividades, sequência e suas respectivas durações: o objetivo desta etapa é planejar todas as ações que precisam ser executadas e verificar a ordem de precedência
- Definição das partes interessadas: esta atividade trata-se de estabelecer os membros da equipe, o gerente de projeto, organização executora e financiadora, fornecedores diversos. A determinação das responsabilidades e nível de dedicação de cada participante seja interno ou externo é feita no planejamento organizacional
- Elaboração de cronograma;
- Preparação do orçamento;
- Planejamento e preparação das aquisições ou recursos;
- Análise de riscos referente ao escopo, atividades do projeto, orçamento e aquisições;
- Definição de indicadores de desempenho.

A primeira etapa da macrofase de desenvolvimento é o Projeto Informacional. A partir da definição do problema, deve-se mapear o ciclo de vida do produto e definir, para cada fase desse ciclo, os clientes envolvidos tanto no produto como no projeto. Feito isso, parte-se para a identificação das necessidades dos clientes. As necessidades, ou também, requisitos são tipicamente subjetivos como, por exemplo, um requisito é que o produto deva ser leve. Esses requisitos podem ser mensuráveis ou não. Além disso, esta etapa visa revisar e atualizar o escopo do produto, de modo que é feita: uma avaliação mais aprofundada a respeito das

tecnologias disponíveis e necessárias; métodos de fabricação disponíveis; pesquisa de normas, padrões, patentes e legislação; pesquisa de produtos concorrentes e similares.

Após a aquisição e transformação de informações da fase de Projeto Informacional, chegou o momento de buscar soluções para o problema do projeto. Inicialmente, os esforços são dedicados a modelagem e descrição do produto de modo abstrato, em termo de sua função global e derivados. Propõe-se soluções para satisfazer cada uma dessas funções e, fazendo a combinação de várias propostas, surgem alternativas de solução que são desdobradas em sistemas, subsistemas e componentes. Para cada uma dessas alternativas geradas, define-se uma arquitetura que contém a estrutura do produto em termos de componentes e conexões.

Projeto Detalhado

A informação de entrada da fase de projeto detalhado é a concepção do produto. atividade central dessa fase é a criação e detalhamento dos Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSCs), pois, nela, acontece o ciclo de detalhamento e, a partir dela, são acionadas as atividades do ciclo de aquisição (decidir fazer ou comprar SSCs e desenvolver fornecedores) e do ciclo de otimização (avaliar SSCs, configurar e documentar o produto e o processo, otimizando-os quando necessário. Paralelamente à realização dos ciclos mencionados, ocorre a atividade de planejamento do processo de fabricação e montagem e o respectivo projeto de recursos, que pode envolver desde o projeto de uma ferramenta ou dispositivo específico até o projeto de uma nova fábrica.

Na homologação, a participação do cliente ou órgãos reguladores e de homologação é comum. A certificação final do produto só ocorre na fase de preparação da produção, após a produção do lote piloto.

Sobre os SSCs, ainda são identificados no projeto conceitual e, muitas vezes, criados durante aquela fase. Todavia, a continuidade da sua criação ocorre durante a fase de projeto detalhado e ainda de modo cíclico, pois nem todas as SSCs são criadas de uma única vez. Assim sendo, cada SSC depois de desenvolvida, obterá a documentação final e detalhada, que compreendem os desenhos dos SSCs com cotas e tolerâncias finais e a configuração final do produto. Dessa forma, a BOM do produto também é finalizada.

Ainda nessa fase é elaborado o plano macro inicial. Esse documento contempla a sequência de operações, especificação de máquinas e equipamentos e, tempo, que será utilizado pelo time de Planejamento e Controle da Produção para planejar a programação da linha de produção. Como resultado desse plano, é gerado o detalhamento de operação, no qual é prevista folha de instruções, plano de inspeção, montagem de ferramental, projeto de dispositivo,

ilustração de operação e entre outras informações que permitam com que as operações sejam executadas com repetibilidade e qualidade

Outra atividade que é importante de executar é a projeção de recursos de fabricação. Isto é, deve-se prever máquinas, equipamentos, ferramental e instalações que viabilizem a produção. Esses recursos podem ser universais ou especiais. Quando são universais, significa que podem ser adquiridos no mercado enquanto os especiais devem ser projetados.

Após as definições anteriores, torna-se possível fazer a avaliação experimental dos protótipos. Sendo assim, é feito o planejamento dos testes (produto e processo), fabricação dos protótipos e avaliação dos resultados.

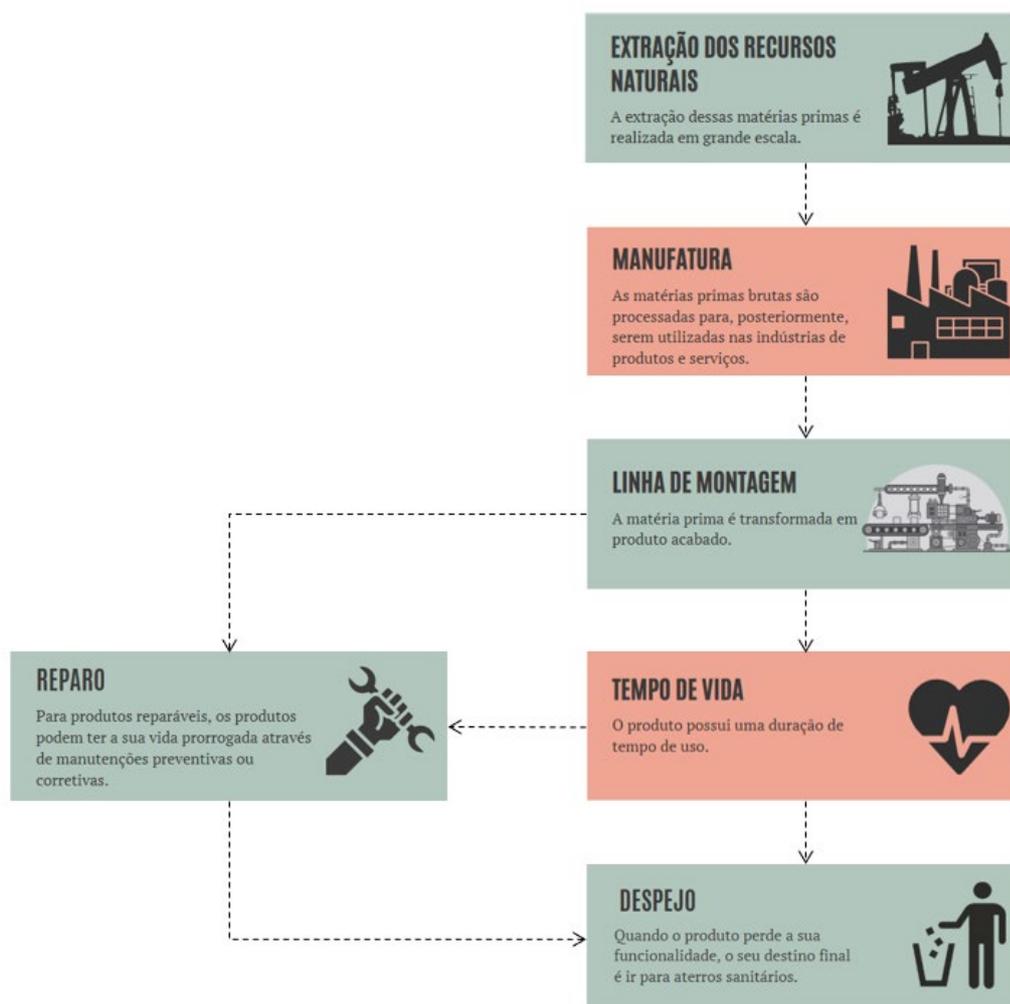
Por fim, ao final da macrofase de desenvolvimento, são desenvolvidas o material de suporte do produto, o seu projeto de embalagem, planejamento de fim de vida, testes e homologação do produto.

2.2 ECONOMIA CIRCULAR

A Economia Circular surgiu como uma solução para contribuir com o desenvolvimento sustentável. Para entender esse modelo circular, precisa-se entender, primeiramente, o atual modelo que é linear, pois, fora a partir da compreensão das falhas e perigos da linearidade que as ideias circulares foram emergindo.

O ciclo de funcionamento da economia linear se configura conforme a Figura 3. A fase inicial consiste na coleta de recursos, majoritariamente, não renováveis e então segue para a fase de produção e montagem do produto, que chega no mercado consumidor com serviços apenas de garantia da qualidade (reparação ou substituição do produto) em um período determinado pela indústria. Quando o produto chega no fim de sua vida, o produto é, usualmente, despejado no lixo (ANASTASIADES *et al.*, 2020).

Figura 3 - Representação do fluxo linear.



Fonte: Adaptado de (ANASTASIADES et al., 2020).

Moraga *et al.* (2019) apud Bocken *et al.* (2016) comentam que a EC pode ser diferenciada da Economia Linear a partir das suas características de *loops*. O primeiro tipo de loop é o denominado *slowing loop* que ocorre quando os bens são projetados para serem duráveis e possuem extensão de vida. O segundo é tipo é o *closing loop*, onde os rejeitos do fluxo linear são transformados em recursos.

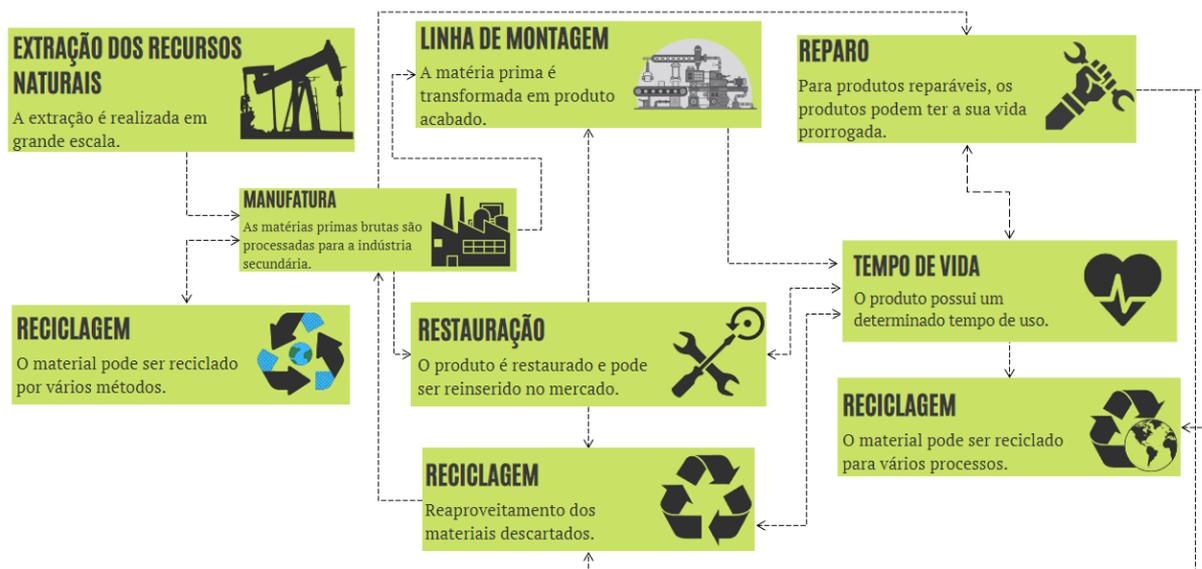
O ciclo circular ainda não possui um conceito extremamente definido, entretanto, o pensamento de diversos autores acerca do tema é similar (HARTLEY; SANTEN, VAN; KIRCHHERR, 2020). De acordo com Andrews (2015), EC é um exemplo de biomimetismo, pois é baseado nas leis que regem a natureza. E a lei que esse modelo segue é a do ciclo natural da vida orgânica, onde o material morto acaba se tornando recurso (nutriente) para as próximas gerações de organismos. Trazendo essa abordagem para o cenário econômico de negócio, a nova lei que regerá sobre os “produtos mortos” (que são os rejeitos como, por exemplo, emissão de gases resultantes de processos produtivos) será o de inserir novamente na cadeia produtiva.

A EC tem como objetivo reverter o cenário atual da linearidade do ciclo de vida do produto (extrair, processar, consumir e despejar), transformando-o em um loop cíclico fechado. Isso significa que é objetivado manter o produto ou material sempre disponível para ser aproveitado, ao invés de despejá-los, de forma que o consumo de recursos e energia sejam minimizados, além de que os processos logísticos de distribuição e embalagem sejam repensados de forma sustentáveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019; RITZÉN; SANDSTRÖM, 2017).

Anastasiades *et al.* (2020) explicam que a EC visa substituir a alta demanda de recursos da natureza, e tem a perspectiva de usar recursos bio-baseados, ou seja, usar recursos renováveis para que o uso de materiais perigosos seja evitado e, também, evitar a produção de produtos que se tornem rejeitos. Se um material é do tipo não renovável, então o ciclo de vida do produto deve ser fechado (*closed-loop*) após um longo período de uso e, também, deve-se maximizar a taxa de reciclagem de cada material.

Anastasiades *et al.* (2020) resumem o ciclo circular da seguinte forma: a fase inicial na economia circular consiste na mineração de recursos, no qual pode ser de materiais reciclados, recursos (que, na verdade, são rejeitos de um processo) e, talvez, pode haver uma demanda da natureza que deve sempre ser minimizada ou idealmente não existente. Depois tem a fase de produção e montagem, seguido com o serviço de garantia de vida do produto finalizado. Esse produto pode ser reparado e renovado para prolongar a sua durabilidade e manter o máximo de valor pelo máximo de tempo possível. Eventualmente, o produto irá chegar no final do seu ciclo de vida que é quando o produto não poderá mais ser reutilizado e, então, ações de reaproveitamento das partes do produto (*Design for Disassembly*) para reciclagem. Esta última fase fecha o ciclo, pois o que é reciclado retorna a manufatura. O fluxo circular proposto pelos autores se encontra na Figura 4.

Figura 4 - Representação do fluxo circular.



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

De acordo com Levoso *et al.* (2020) e Yaduvanshi, Myana e Krishnamurthy (2016), a circularidade pode recriar os padrões produção, processos, reciclagem e consumo para causar impactos positivos ao meio ambiente e estimular globalmente o desenvolvimento sustentável. Além disso, Peiró *et al.* (2020) salientam que há três objetivos políticos a serem seguidos, os quais são: redução dos impactos adversos ambientais, ampliação do ciclo de vida e redução de rejeitos. A sinergia entre políticas ambientais pode incentivar mudanças nos sistemas lineares de produção.

Em suma, a EC envolve cinco fases: a entrada de material, o projeto, a produção, o consumo e a gestão dos recursos no “final de vida” que, por sua vez, esse sistema econômico substitui o modelo linear para que os produtos e processos sejam projetados para não se tornarem rejeitos rapidamente e, quando se tem rejeitos, é convencionalizado que devem ser reutilizados para extrair o máximo do seu valor e que retornem para o ciclo de produção ou, então, retornem a biosfera de forma segura (ELIA; GNONI; TORNESE, 2017; HARTLEY; SANTEN, VAN; KIRCHHERR, 2020). Além disso, deve-se usar energias renováveis, eliminar o uso de substâncias tóxicas e eliminar o que pode vir a se tornar rejeito no material, design do produto e sistemas (MICHELINI *et al.*, 2017).

Ellen Macarthur Foundation (2013) acentua que *cradle-to-cradle* é uma filosofia gerenciadora do fluxo dos materiais e transforma todos os materiais envolvidos no âmbito comercial e industrial em nutrientes. Essa filosofia tem ênfase na precisão molecular da composição dos materiais, pois, somente assim, possibilita o sistema de reciclagem de alta qualidade dos materiais, todavia, essa estrutura não se restringe apenas aos materiais, mas

também as entradas de energia e água que são outros recursos importantes da natureza (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

O *cradle-to-cradle* foca em causar impactos positivos no fluxo de um produto. Para tanto, há duas formas de gerenciamento do fluxo dos materiais. Para nutrientes biológicos, que compreende todos os materiais orgânicos e biodegradáveis, a sua decomposição pode ser natural ou controlada (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015; JOENSUU; EDELMAN; SAARI, 2020). Esses materiais são projetados para serem reinseridos na biosfera com segurança e reconstituir a natureza. Govindan e Hasanagic (2018) complementam que o cascadeamento é o processo que designa o ciclo de retornada de materiais bio-nutrientes para a biosfera. Ellen Macarthur Foundation (2015) explica que o uso do cascadeamento é nada mais do que a diversificação do reuso de um material em toda a sua cadeia de valor. Ademais, uma avaliação qualitativa dos fluxos de materiais após o ciclo de vida do produto deve ser realizada para que suas alternativas de utilização técnica e econômica possam ser mais bem compreendidas e, conseqüentemente, obter a essência do valor do material para usá-los em outras aplicações. Já os nutrientes técnicos abrangem os materiais inorgânicos ou não degradáveis como metais e plásticos (JOENSUU; EDELMAN; SAARI, 2020). Esses materiais devem ser projetados continuamente para circular com valor na indústria, ou seja, sem entrar na biosfera (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2009). Ou seja, são projetados para serem recuperados e atualizados e, por isso, envolve a gestão dos estoques de materiais finitos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

2.2.1 Produto Circular

A Economia Circular está presente em todo o ciclo de vida de um produto em prol de obter a maximização do valor do produto ao mesmo tempo em que é almejado a minimização de emissões de gases e rejeitos, a partir da adição de tecnologias limpas (MARTINS-RODRIGUES *et al.*, 2020; RODRÍGUEZ-CHUECA *et al.*, 2020). Além de que é almejado a melhoria de energia renováveis como a do tipo solar, eólica, biomassa e, principalmente, o uso de energia derivada de rejeitos por meio da cadeia de valor do produto e do ciclo de vida *cradle-to-cradle* (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018).

Ellen Macarthur Foundation (2013) afirma que uma forma de continuar criando valor para os materiais é deixá-los por mais tempo dentro de um *loop* circular. Isso pode ser atingido em designs de produtos que podem ser facilmente reparados e atualizáveis enquanto estiverem em uso. Korhonen, Honkasalo e Seppälä (2018) explanam que os materiais devem, primeiramente, serem reutilizados, renovados e reparados para então inseri-los na manufatura

como matéria prima. Esse ciclo demanda menos recursos e energia e são mais econômicos do que a reciclagem de materiais.

Para facilitar a projeção de um produto ou sistema circular, os métodos de *ecodesign* auxiliam o produto para reusar, reformar e reciclar. O que rege nesta metodologia é a importância de manter a eficiência dos recursos e que possua as atribuições de ser durável, reparável, atualizável (que seja possível realizar alterações funcionais ou paramétricas em um produto e que seja reciclável) (CENTOBELLI *et al.*, 2020; ELIA; GNONI; TORNESE, 2017; HARTLEY; SANTEN, VAN; KIRCHHERR, 2020).

De acordo com Lewandowski (2016), deve-se criar combinações de recursos e componentes de materiais para deixá-los 100% reutilizáveis. Ademais, o autor apresenta alguns componentes de um produto circular (Figura 5).

Figura 5 - Componentes de um produto circular.



Fonte: Adaptado de Lewandowski (2016).

Um dos maiores desafios técnicos é para implantar os conceitos de reparabilidade, durabilidade, adaptabilidade e reciclabilidade. Esses conceitos estão, de forma geral, ligados ao *Design for Disassembly*, pois esse método aplica princípios de design focados na separação de partes do produto de forma não destrutiva. Ellen Macarthur Foundation (2015) exemplifica que

é possível reparar e manter um produto como um automóvel para preservar o seu valor, contudo, caso isso deixe de ser possível, os componentes poderão ser reutilizados ou remanufaturados. Isto preserva mais valor do que simplesmente reciclar materiais.

Para Wang, Burke e Zhang (2022), um dos requisitos para um projeto de um produto circular é que os materiais possuam atributos que facilite a reutilização, duração e, também, a confiabilidade. O autor acrescenta que o uso de materiais reutilizáveis reduz a durabilidade dos produtos. Diante disso, a pesquisa salienta que é importante o investimento em materiais inovadores para produtos circulares.

Ellen MacArthur Foundation (2013) ressalta que, em alguns casos, a durabilidade não é a estratégia ideal em alguns produtos bens de consumo. Alguns materiais podem estar abaixo da qualidade exigida dos padrões de consumo ou, também, pode haver a dificuldade de recuperá-lo devido a contaminação, por exemplo. Em tais casos, é preferível projetar os produtos de forma que a pureza do material seja mantida, tornando mais fácil regenerá-los e devolvê-los à terra.

2.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Diante do anteposto, a economia circular surge como uma alternativa essencial ao modelo linear de produção e consumo, promovendo a reutilização, reciclagem e revalorização de materiais para minimizar desperdícios e impactos ambientais. A economia circular propõe uma abordagem sustentável para a produção e o consumo, priorizando a reutilização, reciclagem e redução de resíduos. No desenvolvimento de produtos, a circularidade pode ser aplicada desde a escolha de materiais até o design pensado para desmontagem e reaproveitamento, garantindo maior eficiência e menor impacto ambiental. Ao integrar esses princípios, as indústrias não apenas reduzem desperdícios, mas também inovam em processos mais sustentáveis, contribuindo para um modelo econômico mais resiliente e responsável.

Outro ponto a ser ressaltado é que o modelo de referência apresentado por Rozenfeld será seguido e adaptado às finalidades desta pesquisa.

2 PRÉ-DESENVOLVIMENTO

As principais definições do produto partem desta fase. Sendo assim, neste primeiro momento, será definido o produto a ser desenvolvido diante um portfólio e sua forma construtiva. Salienta-se que, conforme apresentado no capítulo introdutório, o material a ser

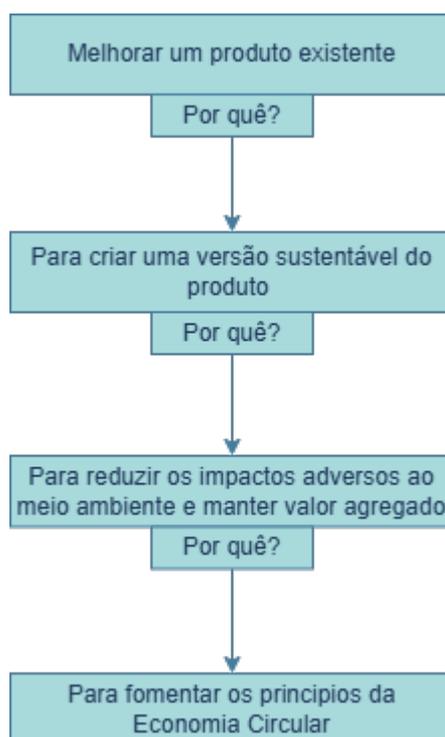
utilizado será os rejeitos industriais de lápis de cor e esta pesquisa fará adaptações ao modelo de referência apresentado por Rozenfeld e Amaral (2006).

3.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO

Diante do objetivo desta pesquisa, a principal preocupação acerca do desenvolvimento do produto é que seja circular. Portanto, é essencial que os requisitos propostos pela Economia Circular sejam atendidos ao máximo e, para isto, soluções devem ser aplicadas desde o seu conceito até a manufaturabilidade do produto.

Como esta fase é puramente estratégica, definiu-se as oportunidades e limitações existentes para a prossecução do projeto a ser desenvolvido na macrofase seguinte. A figura a seguir apresenta uma análise do problema da dissertação.

Figura 6 - Análise do problema da dissertação.



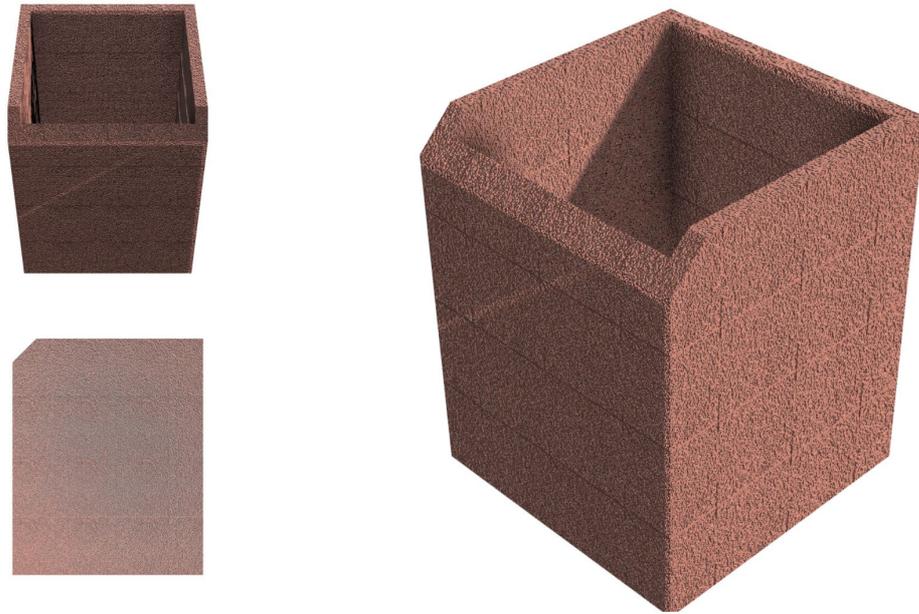
Fonte: Autoria própria (2025).

As respostas dos questionamentos presentes na Figura 6 auxiliam na dedução de quais são os interessados no projeto. Esses agentes são as indústrias fabricantes de lápis de cores, bem como a parcela do mercado consumidor que é conservacionista e faz escolhas sustentáveis.

3.1.1 Escopo do produto

Um portfólio de produtos foi elaborado com o conceito *open-loop* ou de cascateamento, no sentido de que o material reciclado é convertido em um produto diferente do original. Os produtos foram desenhados no software Autodesk Fusion 360.

Figura 7 - Porta objetos.



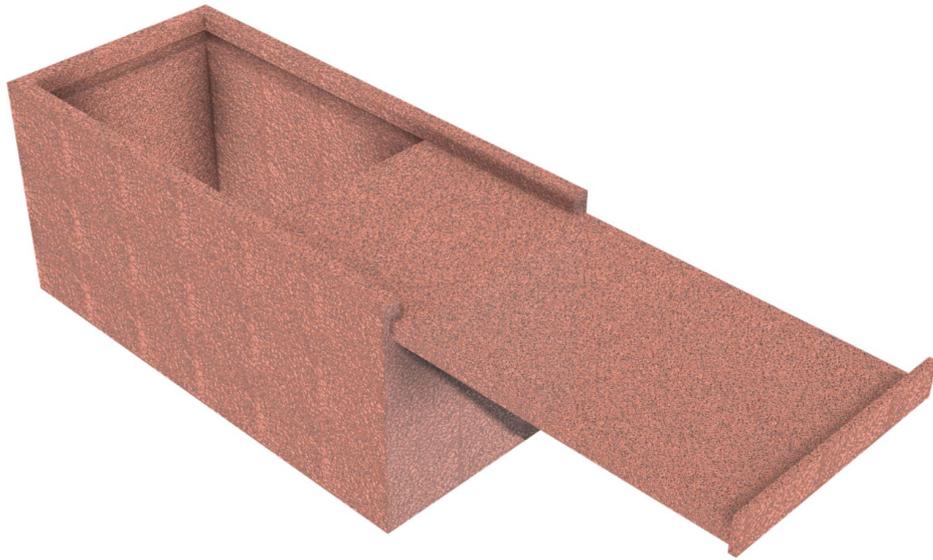
Fonte: Imagens capturadas no Fusion 360 (2023).

Figura 8 - Prancheta.



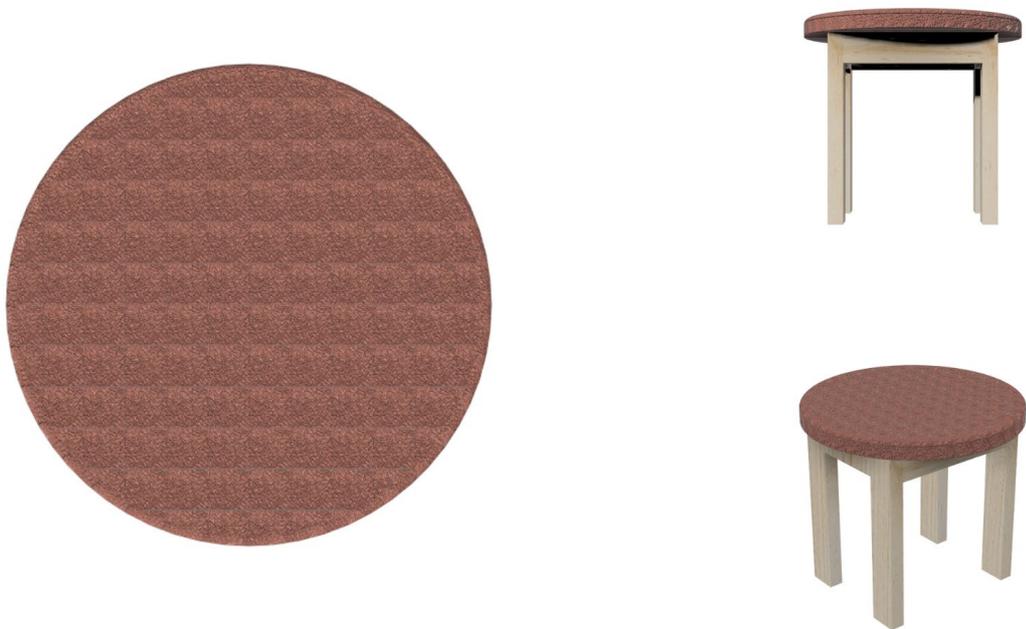
Fonte: Imagem capturada no Fusion 360 (2023).

Figura 9 - Armazenador de objetos.



Fonte: Imagem capturada no Fusion 360 (2023).

Figura 10 - Tamborete.



Fonte: Imagens capturadas no Fusion 360 (2023).

Figura 11 - Cadeira.



Fonte: Imagem capturada no Fusion 360 (2023).

Diante da limitação de recursos, o produto escolhido para ser desenvolvido foi o tamborete (Figura 10). O assento, devido a sua geometria ser tecnicamente viável com os recursos de fabricação disponibilizados à esta pesquisa, será desenvolvido a partir dos resíduos poliméricos. Dessa forma, a dimensão estabelecida para o produto foi de 30 cm de diâmetro com 2,5 cm de espessura.

Em relação às pernas do tamborete, deverão ser feitas de madeira reciclada e a sua altura será de 45cm.

3.1.2 Escopo do projeto

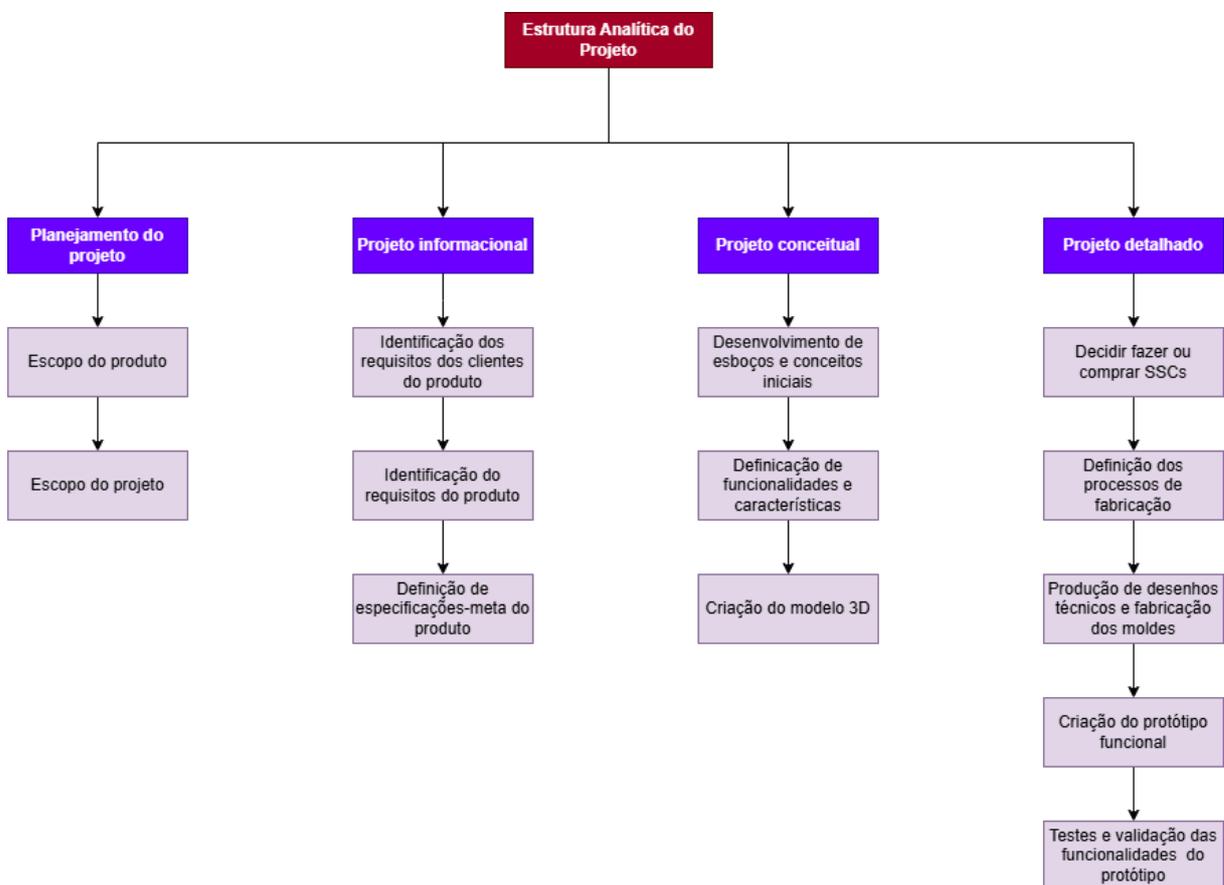
O desenvolvimento de produtos sustentáveis tem se tornado uma necessidade crescente diante dos desafios ambientais e econômicos da atualidade. Nesse contexto, a Economia Circular surge como um modelo que visa minimizar desperdícios, promover o reaproveitamento de materiais e aumentar a eficiência dos processos produtivos. O presente projeto busca alinhar-se a esses princípios ao desenvolver um produto seguindo as diretrizes da

Economia Circular, garantindo que cada etapa do seu ciclo de vida seja planejada para reduzir impactos ambientais e maximizar o valor dos recursos empregados.

Para garantir um processo estruturado e eficiente, este estudo seguirá e adaptará as fases do modelo de referência de Rozenfeld que são representadas na estrutura analítica do projeto apresentada na Figura 12.

O escopo do projeto abrange quatro grandes etapas: Planejamento do Projeto, Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado, cada uma desempenhando um papel fundamental na definição e concretização do produto sustentável.

Figura 12 - Estrutura analítica do projeto.



Fonte: Autoria própria (2025).

A fase de Planejamento do Projeto é o ponto de partida, onde serão estabelecidos o escopo do produto e o escopo do projeto. Essa etapa é essencial para alinhar as expectativas e garantir que todas as decisões técnicas e estratégicas sejam tomadas com base nos princípios da Economia Circular.

No Projeto Informacional, será realizado um detalhamento do ciclo de vida do produto, analisando como seus componentes podem ser reutilizados, reciclados ou reintegrados ao

sistema produtivo. Além disso, será feita a identificação dos requisitos dos clientes e do próprio produto, garantindo que ele atenda às demandas do mercado sem comprometer a sustentabilidade. A definição de especificações-meta complementa essa fase, orientando as escolhas de materiais e processos produtivos.

A etapa de Projeto Conceitual será dedicada à criação de soluções inovadoras para o design do produto. O desenvolvimento de esboços e conceitos iniciais levará em consideração a durabilidade, a facilidade de desmontagem e o reaproveitamento de materiais. A definição de funcionalidades e características será feita de forma a maximizar a eficiência do produto dentro dos princípios circulares. Como resultado dessa fase, será criado um modelo 3D inicial, permitindo a visualização e ajustes antes da prototipagem.

Por fim, no Projeto Detalhado, o modelo 3D será aperfeiçoado, e os processos de fabricação serão definidos de modo a reduzir desperdícios e otimizar o uso de recursos. Serão elaborados desenhos técnicos e moldes para produção, seguidos pela criação do protótipo funcional. Testes de coleta de feedbacks e validação de funcionalidades serão conduzidos para garantir que o produto atenda aos critérios estabelecidos nas fases anteriores.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 PROJETO INFORMACIONAL

4.1.1 Requisitos dos clientes do produto

Os requisitos dos clientes podem ser classificados em requisitos funcionais, ergonômicos, estéticos, ambientais e econômicos. Os requisitos funcionais referem-se à principal utilidade do tamborete, que é proporcionar um assento seguro e confortável. Para isso, aspectos como estabilidade, resistência estrutural e distribuição de carga devem ser considerados para evitar riscos de tombamento ou quebra do produto.

Os requisitos ergonômicos envolvem o conforto do usuário durante o uso do tamborete. A altura do assento, a curvatura da superfície de apoio e a presença de suportes adicionais, como encosto ou apoio para os pés, são fatores que influenciam a experiência do usuário e devem ser projetados para garantir conforto em diferentes contextos de uso. Para tanto, o padrão dimensional do mercado de assento de tamborete foi tomado como base para definir os requisitos do assento proposto por esta pesquisa.

Os requisitos estéticos dizem respeito à aparência do tamborete, que deve estar alinhada às preferências dos consumidores e às tendências de mercado. Como a matéria prima desta

pesquisa é composto por lápis de cores, o produto terá uma aparência chamativa e inovadora. Dessa forma, servirá a diversos ambientes, especialmente, aos ambientes lúdicos e educacionais. O acabamento do assento deverá ser analisado para que não cause algum tipo de dano à saúde do usuário.

Os requisitos ambientais estão relacionados à sustentabilidade do produto, englobando a seleção de materiais recicláveis, o impacto da fabricação e a viabilidade de reutilização ou descarte adequado ao fim da vida útil do produto. Como já fora citado anteriormente, o produto tem como premissa a circularidade, onde é visada a manutenção dos recursos dentro da economia e as alternativas sustentáveis são sempre preferenciais.

Para a fabricação das pernas do tamborete, dar-se-á preferência a marcenaria sustentáveis que já existem no mercado local. Ressalta-se que devido a limitação de recursos, não foi possível dar preferência a maquinários com tecnologia limpa para a fabricação do assento. Apesar disso, a produção deste produto já agrega valor tanto ao material que previamente seria despejado na natureza quanto aos consumidores que priorizam práticas sustentáveis.

Por fim, os requisitos econômicos refletem a acessibilidade do tamborete ao público-alvo. O custo de produção, a relação custo-benefício e a percepção de valor são fatores determinantes na decisão de compra. Como a matéria-prima tanto do assento quanto da perna eram resíduos que seriam descartados no meio ambiente, essa reutilização já reduz significativamente os custos variáveis relacionados aos insumos produtivos.

4.1.2 Requisitos do produto

Os requisitos do produto podem ser divididos em várias categorias, incluindo requisitos funcionais, estruturais, ergonômicos, estéticos, ambientais e econômicos. Os requisitos funcionais definem a principal finalidade do tamborete, que é fornecer um assento estável e seguro para o usuário. Para isso, o produto deve suportar cargas específicas sem comprometer sua integridade estrutural, garantindo resistência a impactos e durabilidade ao longo do tempo.

Os requisitos estruturais envolvem a escolha dos materiais e o formato do tamborete, influenciando diretamente sua resistência e estabilidade. Assim, para o assento, o material selecionado foi o resíduo polimérico e a sua geometria será cilíndrica, conforme o padrão de mercado. A respeito do componente pernas do produto, as suas dimensões e disposições serão conforme o padrão de mercado.

Os requisitos ergonômicos são fundamentais para proporcionar conforto ao usuário durante o uso do tamborete. Para isso, um fator essencial a ser considerado é o acabamento do assento, garantindo que não haja rebarbas que possam comprometer a segurança e o bem-estar do usuário. Além disso, foi considerada a massa do assento, que não deverá ultrapassar 2,5 kg, a fim de não dificultar o transporte e o armazenamento do produto.

Os requisitos ambientais estão relacionados à sustentabilidade do produto ao longo de seu ciclo de vida. Portanto, foram consideradas alternativas de materiais sustentáveis, bem como a possibilidade de desmontagem para reaproveitamento de peças, ambos fatores que contribuem para a redução do impacto ecológico.

4.1.3 Especificações-meta do produto

Na fase de projeto informacional do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), a definição das especificações meta do produto é essencial para traduzir os requisitos identificados em parâmetros mensuráveis e objetivos. No caso do assento de tamborete, essas especificações orientam o desenvolvimento técnico do produto, garantindo que ele atenda às expectativas dos consumidores e aos critérios de desempenho estabelecidos.

As especificações-meta podem ser divididas em diversas categorias, incluindo dimensões, materiais, resistência estrutural, estética, sustentabilidade.

A resistência estrutural é um fator crítico para garantir a segurança do usuário. O tamborete deve ser capaz de suportar uma carga mínima de 120 kg sem comprometer sua integridade.

O conforto do usuário está diretamente ligado à ergonomia do assento. A superfície não deverá ter rebarbas. Além disso, o produto não poderá ser muito pesado para não ocasionar desconforto ao ser transportado, dito isso, espera-se que o produto seja pese menos do que 5 kg.

Por fim, o custo do tamborete deve ser compatível com seu mercado-alvo. Considerando o fato que a matéria-prima não precisará ser adquirida, o custo de produção variável é reduzido.

4.2 PROJETO CONCEITUAL

4.2.1 Modelagem funcional do produto

Inicialmente, a função principal do tamborete é oferecer um suporte seguro para que uma pessoa possa se sentar. A partir dessa função primária, derivam-se subfunções que garantem que essa atividade ocorra de maneira eficiente e segura. Uma dessas subfunções é a

distribuição de carga, que permite que o peso do usuário seja suportado sem risco de colapso estrutural. Essa função exige a definição de materiais adequados e um design que favoreça a resistência mecânica.

Outra função relevante é a estabilidade, que impede que o tamborete tombe durante o uso. Para atender a essa necessidade, é preciso considerar a base de apoio, a disposição das pernas e o centro de gravidade do assento.

Além disso, a ergonomia e o conforto do usuário são fatores cruciais na modelagem funcional do tamborete. O assento deve ter dimensões adequadas para diferentes tipos de usuários. Diante disso, na fase de planejamento já foi definida a sua dimensão.

A facilidade de transporte e armazenamento também é uma função que pode ser considerada, especialmente se o tamborete for projetado para ambientes que exigem mobilidade, como eventos ou bares. Assim, o design pode incluir aspectos como leveza, empilhamento ou mecanismos retráteis. Um dos desempenhos desejados é que não seja excessivamente pesado para não causar desconforto aos usuários.

Por fim, a estética e a adequação ao ambiente são funções complementares, mas importantes para a aceitação do produto pelo mercado. O design deve considerar tendências de estilo e acabamentos que harmonizem com diferentes espaços.

Figura 13 - Modelagem 3D dos componentes do tamborete.



Fonte: Imagem capturada no Fusion 360 (2023).

4.2 PROJETO DETALHADO

4.2.1 Decidir fazer ou comprar SSCs

Nesta etapa do projeto detalhado, a decisão entre fabricar ou adquirir os componentes estruturais do produto desempenha um papel fundamental na definição de sua viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Esta pesquisa teve como foco o desenvolvimento do assento de tamborete a partir da reinserção de resíduos industriais no processo produtivo.

No caso da confecção das pernas do produto, optou-se pela utilização de madeira reciclada para a fabricação, reforçando os princípios da economia circular. A escolha desse material se justifica pela disponibilidade de uma marcenaria sustentável local. A madeira reciclada por essa marcenaria provém de descartes industriais, mais especificadamente, de paletes. Dessa maneira, seu reaproveitamento reduz a demanda por madeira virgem, minimizando o desmatamento e os impactos ambientais associados à extração de matéria-prima.

Do ponto de vista estrutural, a madeira reciclada apresenta propriedades mecânicas adequadas para suportar as cargas exigidas pelo uso cotidiano do tamborete. Mediante um processo de seleção e tratamento adequado, é possível garantir resistência, estabilidade e durabilidade ao produto final.

4.2.2 Planejamento do processo de fabricação

Como esta pesquisa decidiu fabricar o assento, deve-se fazer o planejamento do processo de fabricação para que o componente atenda aos requisitos técnicos, funcionais e econômicos definidos nas etapas anteriores. No caso específico de um assento fabricado a partir de plástico, a escolha do processo de prensagem a quente se destaca como uma solução viável para a obtenção de um produto resistente, leve e com boa qualidade superficial.

O processo de prensagem a quente consiste na aplicação de calor e pressão sobre o material polimérico em um molde específico, permitindo que ele tome a forma desejada enquanto adquire suas propriedades finais. Esse método é amplamente utilizado na fabricação de componentes estruturais em polímeros reforçados, pois proporciona uniformidade dimensional, alta resistência mecânica e um acabamento superficial de qualidade. A Figura 14 e Figura 15 mostra a prensa hidráulica cedida pelo laboratório de materiais da UFAM para que o produto fosse fabricado.

Salienta-se que devido a limitações tecnológicas e de recursos, não foi possível a adoção de tecnologias limpas para o maquinário.

Figura 14 - Prensa hidráulica disponibilizada para a confecção do protótipo.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

Figura 15 - Especificações da prensa hidráulica

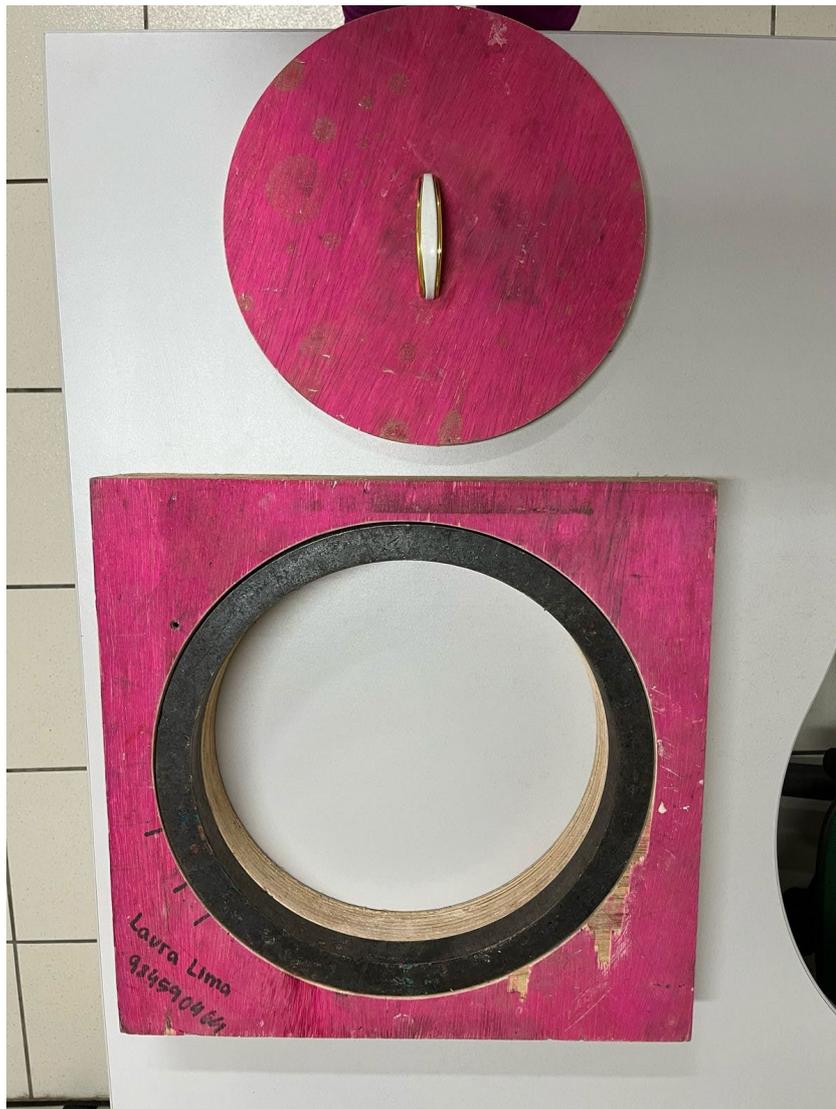


Fonte: Captura de imagem própria (2024).

A etapa seguinte envolve o desenvolvimento do molde de ferro para a prensagem a quente, que foi projetado para garantir precisão dimensional e um fluxo uniforme do material durante o processo. Além disso, foi confeccionado um molde de madeira para depositar e distribuir igualmente o material dentro do molde de ferro (Figura 16).

A respeito do ferramental de madeira, foi possível adotar uma escolha sustentável ao reaproveitar resíduos de compensado de uma marcenaria para fabricar o molde.

Figura 16 - Ferramental confeccionado para a fabricação do protótipo funcional.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

Durante a fabricação, o material polimérico é colocado no molde entre chapas de ferro aquecidas e submetido a uma combinação de temperatura e pressão controladas. Após o tempo de prensagem a quente ser atingido, o assento passa por um processo de resfriamento a temperatura ambiente, todavia, ainda com a pressão das chapas de ferro sobre o molde.

O controle dos parâmetros do processo de fabricação é essencial para evitar defeitos, como bolhas, porosidade ou falhas estruturais. Para tanto, foi realizado experimentos para testar a qualidade do produto considerando determinados parâmetros (Tabela 2) e, a partir do conhecimento de polímeros, a temperatura e o tempo de prensagem foram definidos de forma a testar quais parâmetros mostraram resultados mais promissores, avaliando qualitativamente a rigidez e a resistência da peça.

Tabela 2 - Parâmetros controláveis do processo produtivo do assento.

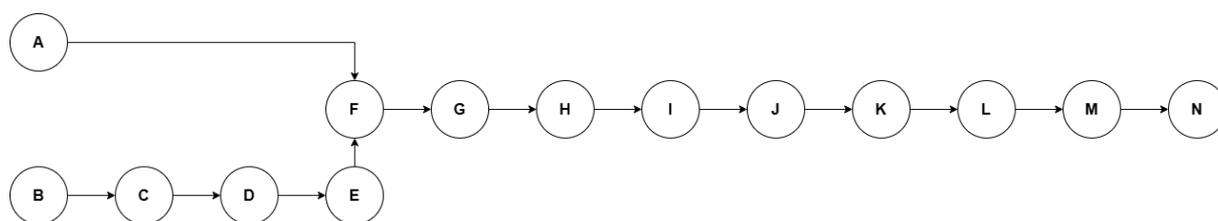
Processo de fabricação - Conformação			
Configuração	Massa (Kg)	Temperatura (C°)	Tempo (Min)
1	1,3	150	20
2	1,5	150	20
3	1,7	150	20
4	1,7	200	20

No contexto do PDP, o diagrama de precedência foi aplicado na fase de planejamento do processo produtivo, permitindo a visualização clara das etapas da fabricação do produto. Ao identificar as relações de dependência entre atividades como seleção de materiais, conformação, montagem e inspeção de qualidade, o diagrama facilita a tomada de decisões e o gerenciamento eficiente do tempo de produção

A principal função do diagrama de precedência é organizar as atividades de um projeto ou processo produtivo de maneira estruturada, estabelecendo relações de dependência entre as tarefas. Ele auxilia na identificação de gargalos, no balanceamento de cargas de trabalho e na otimização do tempo de execução, contribuindo para uma melhor alocação de recursos.

A construção do diagrama de precedência envolve a definição das atividades, a identificação das interdependências e a representação gráfica das relações entre elas. Normalmente, utiliza-se uma notação que inclui nós (representando as atividades) e setas (indicando as relações de precedência). Dessa maneira, a Figura 17 e Tabela 3 detalham o diagrama de precedência para a fabricação do assento considerando os recursos fabris disponibilizados para esta pesquisa.

Figura 17 - Diagrama de precedência.



Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 3 - Legenda dos códigos do diagrama de precedência.

Código	Atividades	Predecessores
A	Coletar a quantidade correta de matéria prima	-
B	Colocar as chapas de ferro em cima da bancada	-
C	Aplicar desmoldante nas chapas de ferro	B
D	Colocar molde de ferro em cima de uma chapa	C
E	Encaixar molde de madeira no molde de ferro	D
F	Depositar matéria prima dentro do molde	A, E
G	Distribuir material dentro do molde pressionando-o com a tampa	F
H	Remover o molde de madeira	G
I	Colocar outra chapa de ferro em cima do molde	H
J	Colocar o conjunto na prensa hidráulica	I
K	Acionar a prensa hidráulica	J
L	Remover conjunto da prensa hidráulica	K
M	Remover a chapa de ferro superior	L
N	Remover o produto do molde de ferro	M

4.2.3 Prototipação do produto

As etapas planejadas para o processo de fabricação foram seguidas com êxito. A Figura 18 representa o resultado após a realização da atividade G e a Figura 19 representa o resultado após a finalização da atividade H.

Figura 18 - Deposito de material no molde de madeira para a distribuição igualitária de massa.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

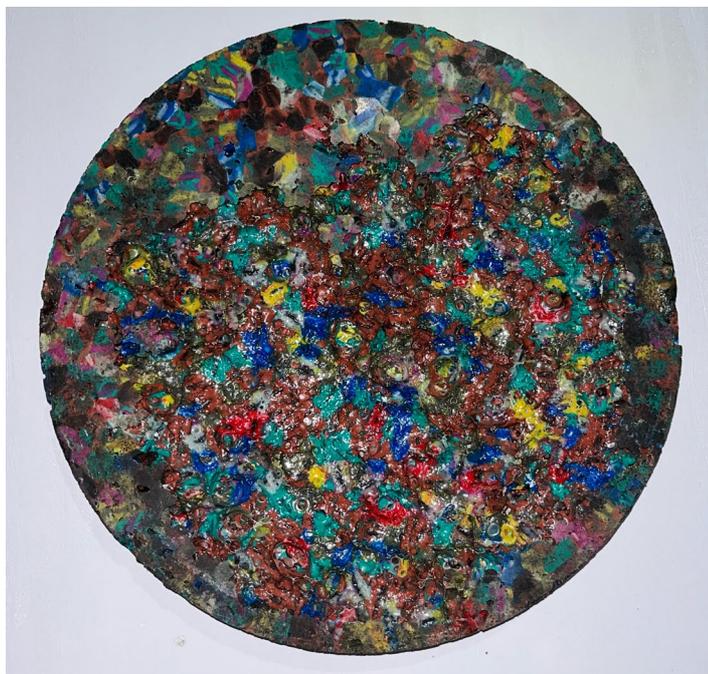
Figura 19 - Massa distribuída uniformemente no molde de ferro.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

Primeiramente, foi experimentado a configuração 1) e, posteriormente, a 2) dos parâmetros que podem ser controlados. Em ambos os casos, observou-se a falta de matéria-prima no produto e, conseqüentemente, a apresentação de diversas falhas estruturais.

Figura 20 - Protótipo do assento com a configuração 1) dos parâmetros.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

Figura 21 - Protótipo do assento com a configuração 2) dos parâmetros.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

Por fim, foi testada a configuração 3. Foram fabricados 15 protótipos com a configuração 3 e todos atenderam aos requisitos definidos anteriormente no projeto informacional e conceitual (Figura 22). Estruturalmente o produto é robusto e capaz de suportar a carga esperada em condições de uso sem comprometer a sua integridade.

Figura 22 - Versão final do assento do protótipo funcional do tamborete.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta última seção finaliza a dissertação e será disposta da seguinte forma: a seção 5.1 traz as principais contribuições obtidas e a seção 5.2 discute as oportunidades para trabalhos futuros.

5.1 CONTRIBUIÇÕES

Nos últimos anos, a crescente preocupação com o descarte inadequado de resíduos plásticos tem impulsionado o desenvolvimento de soluções inovadoras no campo do design e da sustentabilidade. Um exemplo significativo é a fabricação de um assento de tamborete, desenvolvido a partir de resíduos poliméricos de lápis de cor — um material que, geralmente, é descartado sem qualquer reaproveitamento. Esse projeto contribui para a retirada desses

resíduos do meio ambiente e demonstra a viabilidade da utilização de materiais reciclados em produtos do cotidiano, promovendo benefícios ambientais e sociais.

O desenvolvimento dos protótipos trouxe inovações significativas em termos de funcionalidade e estética. Os assentos apresentaram desempenho satisfatório quanto à resistência e durabilidade, e o uso dos lápis de cor reciclados conferiu ao produto uma aparência única e colorida. O fato de o material já ter passado por um processo de reciclagem reforça o conceito de loop cíclico fechado da economia circular, ao manter os recursos em uso por mais tempo e evitar seu descarte precoce.

A principal contribuição deste estudo é a promoção da economia circular por meio da valorização de resíduos que seriam descartados de forma inadequada. A transformação desses resíduos em componentes reutilizáveis representa uma estratégia prática para reduzir a dependência de matérias-primas virgens e minimizar a geração de resíduos. Essa abordagem demonstra o potencial do design como ferramenta estratégica na preservação ambiental e na construção de modelos produtivos mais sustentáveis.

Outro aspecto relevante foi a viabilidade técnica demonstrada pelo projeto. Os resíduos poliméricos de lápis de cor puderam ser processados com eficiência para compor um assento funcional, com as propriedades mecânicas adequadas para segurança e conforto. Isso comprova que a utilização de materiais reciclados pode atender às exigências de qualidade e desempenho, fator essencial para a aceitação de soluções sustentáveis no mercado.

No entanto, a aplicação plena dos princípios da economia circular foi limitada por restrições tecnológicas no processo produtivo. A ausência de maquinários especializados e de tecnologias limpas mais avançadas dificultou a ampliação do reaproveitamento e a eficiência do processo de fabricação. Dessa forma, ressalta-se que a transição para a circularidade deve ser acompanhada de investimentos em tecnologia e inovação industrial, especialmente em equipamentos que favoreçam o reaproveitamento de materiais com menor impacto ambiental. O avanço das tecnologias limpas é, portanto, fundamental para viabilizar a adoção plena e escalável da economia circular em diferentes setores produtivos.

Por fim, esse projeto abre novas perspectivas para o uso de materiais alternativos no design de mobiliário e outros produtos, mostrando que resíduos que, tradicionalmente, seriam considerados lixo podem ser transformados em itens funcionais e inovadores. A partir da parceria realizada com uma mercenária sustentável da região, fora possível confeccionar todos os componentes do produto tamborete, conforme a Figura 23.

Figura 23 - Protótipo do tamborete.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Este projeto abre uma série de possibilidades para trabalhos futuros, com foco na ampliação da aplicação dessa tecnologia e otimização dos processos envolvidos. A seguir, são apresentadas algumas direções potenciais para o avanço dessa pesquisa e desenvolvimento, que podem não apenas fortalecer o impacto ambiental positivo do projeto, mas também consolidá-lo como uma solução prática e acessível para o mercado.

- **Expansão para Outras Aplicações**

Com a validação dos protótipos de tamboretos, uma possível linha de pesquisa seria a expansão para outros tipos de produtos feitos a partir desse material. A utilização de resíduos de lápis de cor como matéria-prima para outros produtos, como cadeiras, mesas e estantes, representa um campo promissor. Estudos sobre como adaptar os processos de fabricação para diferentes tipos de móveis, mantendo a funcionalidade e o apelo estético, pode abrir novas

frentes de mercado e ampliar o impacto ambiental positivo do projeto. Essa diversificação de produtos pode transformar o projeto de assentos de tamborete em uma linha completa de móveis ecológicos e acessíveis.

Outros produtos com geometrias simples puderam ser fabricados e, também, apresentaram resultados promissores conforme apresentados na Figura 24 e Figura 25.

Figura 24 - Protótipo da prancheta.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

Figura 25 - Protótipo da cadeira.



Fonte: Captura de imagem própria (2024).

- **Melhoria dos Processos de Produção e Escalabilidade**

O processo de produção dos protótipos de tamborete pode ser aprimorado para aumentar a eficiência e reduzir os custos. Em muitos casos, a reciclagem de materiais plásticos envolve etapas complexas e tecnologias caras. Desenvolver métodos mais simples e acessíveis de produção pode viabilizar a escalabilidade do projeto, tornando-o mais acessível para pequenos produtores e empresas de design sustentável. A pesquisa em novos processos de moldagem, como a injeção de plásticos reciclados, pode otimizar o uso dos resíduos e possibilitar a produção em larga escala.

- **Avaliação do Impacto Ambiental e da Aceitação no Mercado**

Para garantir a continuidade e a adoção de produtos sustentáveis, é fundamental realizar estudos de avaliação de ciclo de vida (LCA, na sigla em inglês) que investiguem o impacto

ambiental dos produtos. Esses estudos podem fornecer dados valiosos sobre o desempenho ambiental do tamborete e outros produtos reciclados, além de oferecer informações cruciais para aprimorar ainda mais o processo de fabricação. Paralelamente, realizar pesquisas de mercado para avaliar a aceitação do público-alvo e as preferências dos consumidores em relação a produtos reciclados pode ajudar a ajustar a oferta para torná-la mais atraente e comercialmente viável.

- **Parcerias com Iniciativas de Economia Circular e Inovação Social**

Estabelecer parcerias com empresas e organizações voltadas para a economia circular pode expandir as possibilidades de aplicação e distribuição dos produtos desenvolvidos. Além disso, projetos voltados para a inclusão social, como a capacitação de comunidades em situação de vulnerabilidade para a produção e venda desses móveis sustentáveis, podem transformar o projeto em uma solução não apenas ecológica, mas também socialmente inclusiva. A criação de modelos de negócios que promovam tanto a sustentabilidade ambiental quanto o desenvolvimento social pode gerar um impacto positivo em diversas esferas.

- **Educação e Conscientização Ambiental**

Por fim, uma importante linha de trabalho futuro envolve a educação e a conscientização sobre o potencial dos resíduos plásticos como matéria-prima. Promover workshops, cursos e materiais educativos sobre o reaproveitamento de resíduos para a fabricação de produtos sustentáveis pode despertar o interesse de designers, arquitetos e até o público geral, incentivando novas soluções e a adoção de práticas mais responsáveis com o meio ambiente. A disseminação dessas ideias pode contribuir para um movimento mais amplo de transformação na indústria do design e na sociedade como um todo.

- **Estudo da confiabilidade do produto**

Diante da crescente difusão da Economia Circular entre os acadêmicos e profissionais, muito já se trata sobre a transição para esse modelo, pois já é visto como uma solução economicamente viável para transpor os danos sociais e ambientais da Economia Linear (COURTENS *et al.*, 2023). Desse modo, isso implica na aplicação da circularidade nos serviços, especialmente, nos produtos visto que, no final de sua vida, tornam-se resíduos que contaminam a biosfera. Apesar disso, o estudo de (PRETNER *et al.*, 2021) evidencia que os

consumidores têm uma tendência menor a adquirir produtos com princípios circulares devido a questões de qualidade. Entende-se que para um produto ser circular, deve-se priorizar a reciclagem, remanufatura, reparo, reutilização e entre outros fatores regenerativos, entretanto, o consumidor ainda possui uma percepção negativa acerca disso (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013; PRETNER *et al.*, 2021). Em prol de avaliar quantitativamente a qualidade do produto, pode-se utilizar a técnica de Teste de Vida Acelerado para estimar o seu valor de confiabilidade de uma forma prática e rápida.

REFERÊNCIAS

- AGENDA, I. The new plastics economy rethinking the future of plastics. [S.l.]: [s.n.], 2016. V. 36.
- AMIN, M. T.; KHAN, F.; ZUO, M. J. A bibliometric analysis of process system failure and reliability literature. **Engineering Failure Analysis**, 2019. v. 106, p. 104152.
- ANASTASIADIS, K. *et al.* Translating the circular economy to bridge construction: Lessons learnt from a critical literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2020. v. 117, n. November 2019, p. 109522. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109522>>.
- ANDREWS, D. The circular economy, design thinking and education for sustainability. **Local economy**, 2015. v. 30, n. 3, p. 305–315.
- BOCKEN, N. M. P. *et al.* Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of industrial and production engineering**, 2016. v. 33, n. 5, p. 308–320.
- BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Cradle to cradle**. [S.l.]: Random House, 2009.
- CENTOBELLI, P. *et al.* Designing business models in circular economy: A systematic literature review and research agenda. **Business Strategy and the Environment**, 2020. v. 29, n. 4, p. 1734–1749.
- COURTENS, F. M. *et al.* Accelerating the circular economy transition process for gateway ports: the case of the Port of Zeebrugge. **Maritime Transport Research**, 2023. v. 4, p. 100088.
- DIAZ, A.; BAUMGARTNER, R. J. A managerial approach to product planning for a circular economy: Strategy implementation and evaluation support. **Journal of Cleaner Production**, jan. 2024. p. 140829. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652624002762>>.
- ELIA, V.; GNONI, M. G.; TORNESE, F. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of cleaner production**, 2017. v. 142, p. 2741–2751.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy Vol. 2: opportunities for the consumer goods sector**. [S.l.]: [s.n.], 2013. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-2-opportunities-for-the-consumer-goods>>.
- _____. **Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition**. [S.l.]: Ellen MacArthur Foundation, 2015.

- _____. **Reuse: Rethinking Packaging**. [S.l.]: Ellen MacArthur Foundation, 2019.
- _____. **The Circular Economy Solution to Plastic Pollution**. [S.l.]: Ellen MacArthur Foundation, 2020. Disponível em: <<https://plastics.ellenmacarthurfoundation.org/breaking-the-plastic-wave-perspective>>.
- FU, H. *et al.* Understanding consumers' willingness to pay for circular products: A multiple model-comparison approach. **Sustainable Production and Consumption**, mar. 2023.
- GOVINDAN, K. Unlocking the potential of quality as a core marketing strategy in remanufactured circular products: A machine learning enabled multi-theoretical perspective. **International Journal of Production Economics**, mar. 2023. p. 109123.
- _____; HASANAGIC, M. A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. **International Journal of Production Research**, 2018. v. 56, n. 1–2, p. 278–311. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402141>>.
- GUBANOVA, E. *et al.* Recycling of polymer waste in the context of developing circular economy. **Architecture, Civil Engineering, Environment.(Web of Science)**, 2019. v. 12, n. 4, p. 99–108.
- HARTLEY, K.; SANTEN, R. VAN; KIRCHHERR, J. Policies for transitioning towards a circular economy: Expectations from the European Union (EU). **Resources, Conservation and Recycling**, 2020. v. 155. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104634>>.
- JOENSUU, T.; EDELMAN, H.; SAARI, A. Circular economy practices in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, 10 dez. 2020. v. 276.
- KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**, 2018. v. 143, p. 37–46. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>>.
- LEVOSO, A. S. *et al.* Methodological framework for the implementation of circular economy in urban systems. **Journal of Cleaner Production**, 2020. v. 248, p. 119227.
- LEWANDOWSKI, M. Designing the business models for circular economy—Towards the conceptual framework. **Sustainability**, 2016. v. 8, n. 1, p. 43.
- LOS RIOS, I. C. DE; CHARNLEY, F. J. S. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. **Journal of Cleaner Production**, 2017. v. 160, p. 109–122. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.130>>.
- MARTINS-RODRIGUES, M. C. *et al.* Recent Research Topics in Circular Economy. **International Journal of Economics and Management Systems**, 2020. v. 5.

- MICHELINI, G. *et al.* From linear to circular economy: PSS conducting the transition. **Procedia Cirp**, 2017. v. 64, p. 2–6.
- MORAGA, G. *et al.* Circular economy indicators: What do they measure? **Resources, Conservation and Recycling**, 2019. v. 146, p. 452–461.
- PEIRÓ, L. T. *et al.* Advances towards circular economy policies in the EU: The new Ecodesign regulation of enterprise servers. **Resources, Conservation and Recycling**, 2020. v. 154, p. 104426.
- PRETNER, G. *et al.* Are consumers willing to pay for circular products? The role of recycled and second-hand attributes, messaging, and third-party certification. **Resources, Conservation and Recycling**, 2021. v. 175, p. 105888.
- RAJPUT, S.; SINGH, S. P. Industry 4.0 – challenges to implement circular economy. **Benchmarking**, 2019.
- RELICH, M.; PAWLEWSKI, P. A case-based reasoning approach to cost estimation of new product development. **Neurocomputing**, 2018. v. 272, p. 40–45.
- RINCON-GUEVARA, O.; SAMAYOA, J.; DESHMUKH, A. Product design and manufacturing system operations: An integrated approach for product customization. **Procedia Manufacturing**, 2020. v. 48, p. 54–63.
- RITZÉN, S.; SANDSTRÖM, G. Ö. Barriers to the Circular Economy–integration of perspectives and domains. **Procedia Cirp**, 2017. v. 64, p. 7–12.
- RODRÍGUEZ-CHUECA, J. *et al.* Understanding sustainability and the circular economy through flipped classroom and challenge-based learning: An innovative experience in engineering education in Spain. **Environmental Education Research**, 2020. v. 26, n. 2, p. 238–252.
- ROZENFELD, H.; AMARAL, D. C. Gestão de projetos em desenvolvimento de produtos. **São Paulo: Saraiva**, 2006.
- SCHÖGGL, J.-P. *et al.* Barriers to sustainable and circular product design – A theoretical and empirical prioritisation in the European automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, jan. 2024. v. 434, p. 140250.
- THOMPSON, M. K.; JUEL JESPERSEN, I. K.; KJÆRGAARD, T. Design for manufacturing and assembly key performance indicators to support high-speed product development. **Procedia CIRP**, 2018. v. 70, p. 114–119. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.005>>.
- ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. [S.l.]: McGraw-Hill/Irwin, 2012.

WANG, J. X.; BURKE, H.; ZHANG, A. Overcoming barriers to circular product design.

International Journal of Production Economics, 2022. v. 243, p. 108346.

YADUVANSHI, N. R.; MYANA, R.; KRISHNAMURTHY, S. Circular economy for sustainable development in India. **Indian Journal of Science and Technology**, 2016. v. 9, n. 46, p. 1–9.

ZIO, E. *et al.* Application of reliability technologies in civil aviation: Lessons learnt and perspectives. **Chinese Journal of Aeronautics**, 2019. v. 32, n. 1, p. 143–158. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cja.2018.05.014>>.

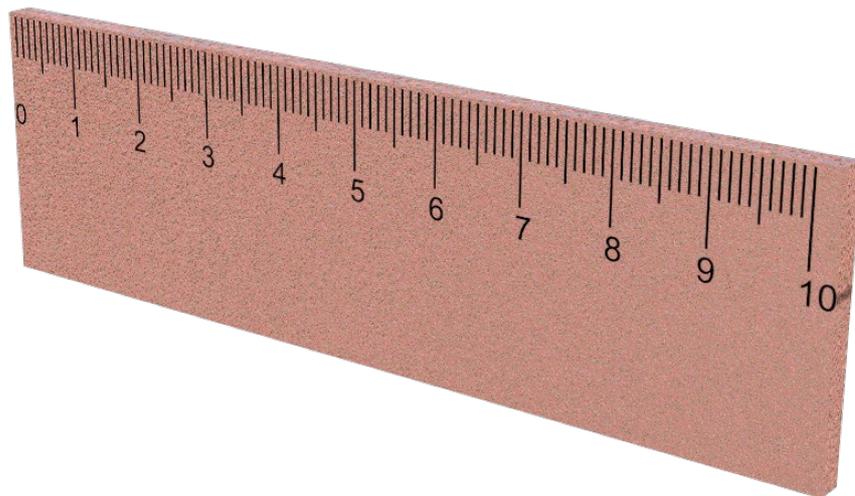
ANEXOS

Figura 26 - Caneta.



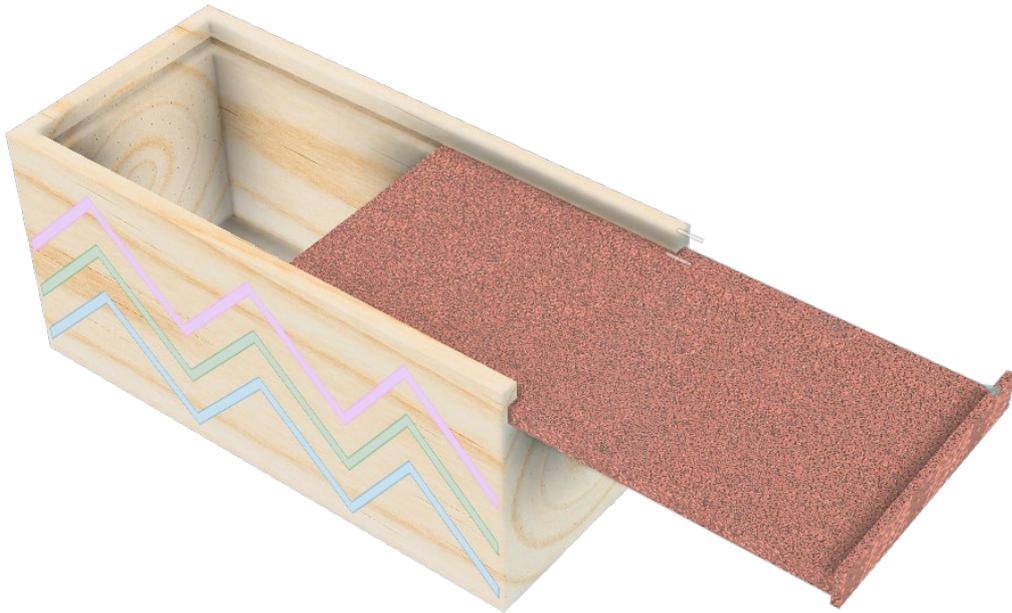
Fonte: Imagem capturada no Fusion 360 (2023).

Figura 27 - Régua.



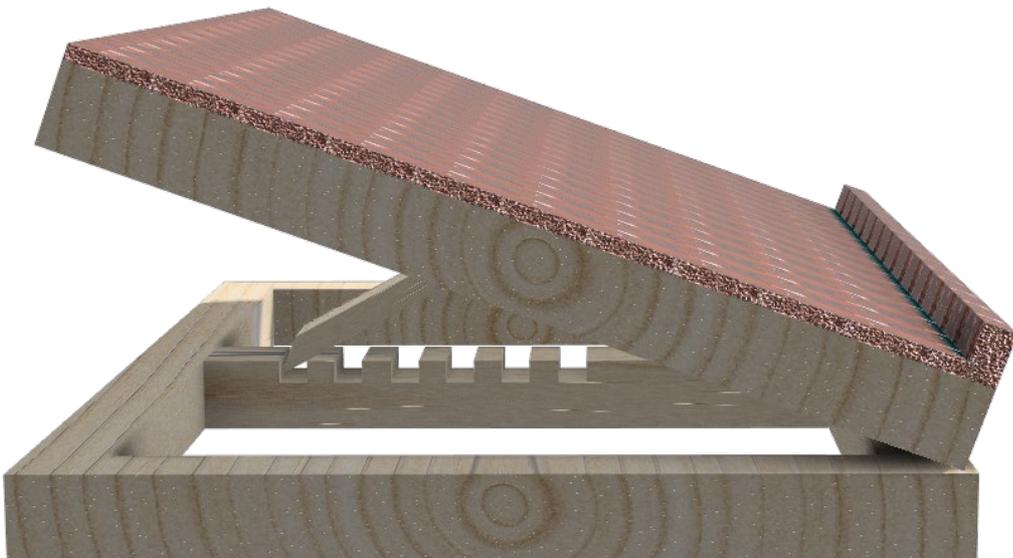
Fonte: Imagem capturada no Fusion 360 (2023).

Figura 28 - Armazenador De Objetos.



Fonte: Imagem capturada no Fusion 360 (2023).

Figura 29 - Suporte De Tablet.



Fonte: Imagem capturada no Fusion 360 (2023).

Figura 30 - Armazenador De Canetas.



Fonte: Imagem capturada no Fusion 360 (2023).