

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA**

LUIZ MIGUEL SERGANI COSTA

APLICAÇÃO DE MODELO EM REDES BAYESIANAS PARA APOIO À TOMADA DE
DECISÃO VISANDO SELEÇÃO DE EMBALAGENS SUSTENTÁVEIS

Joinville

2023

LUIZ MIGUEL SERGANI COSTA

APLICAÇÃO DE MODELO EM REDES BAYESIANAS PARA APOIO À TOMADA DE
DECISÃO VISANDO SELEÇÃO DE EMBALAGENS SUSTENTÁVEIS

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia de Transportes e Logística do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Cristiano V. Ferreira.

Coorientador: Dr. André Souza Oliveira

Joinville

2023

LUIZ MIGUEL SERGANI COSTA

APLICAÇÃO DE MODELO EM REDES BAYESIANAS PARA APOIO À TOMADA DE
DECISÃO VISANDO SELEÇÃO DE EMBALAGENS SUSTENTÁVEIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 30 de junho de 2023.

Banca Examinadora:

Dr. Eng. Cristiano V. Ferreira.
Orientador

Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dra. Silvia Taglialenha
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha esposa, família, professores e a Deus, que foram fontes de apoio e inspiração ao longo da minha jornada acadêmica.

RESUMO

Diante das rápidas mudanças tecnológicas e do aumento da concorrência nas últimas décadas, o desenvolvimento de produtos sustentáveis tem sido reconhecido como uma importante fonte de vantagem competitiva. Além disso, o tema da sustentabilidade vem ganhando ainda mais destaque, ano a ano. Contudo, as indústrias ainda enfrentam grande dificuldade em incluir a sustentabilidade a seus produtos e embalagens. Essas decisões complexas, exigem um investimento substancial de recursos com a expectativa de maior satisfação do mercado e dos consumidores. Assim, fica evidente que as decisões no processo de desenvolvimento e seleção de embalagens, apesar de complexas, devem minimizar os riscos e as incertezas desses investimentos. Como uma alternativa aos métodos tradicionais que não consideram a incerteza, este estudo tem como objetivo aplicar um modelo computacional para a seleção e desenvolvimento de embalagens sustentáveis. Seu modelo deve proporcionar uma visão integrada e sistêmica das variáveis, considerando a incerteza e a complexidade do processo de tomada de decisão com o uso de redes bayesianas. Ao término do presente estudo, o modelo em redes bayesianas foi empregado em um estudo de caso pertinente ao desenvolvimento de uma embalagem sustentável para tubos de creme dental. As análises realizadas indicaram que a nova proposta de embalagem demonstrou, em diversos cenários, ser mais sustentável em relação à embalagem atualmente utilizada.

Palavras-chave: Análise Multicritério. Redes Bayesianas. Modelagem Computacional. Desenvolvimento de Embalagem.

ABSTRACT

The rapid technological change and increased competition in recent decades, the development of sustainable products has been recognized as an important source of competitive advantage. In addition, the topic of sustainability has been gaining more prominence year by year. However, industries still face great difficulty in including sustainability into their products and packaging. These complex decisions require a substantial investment of resources with the expectation of greater market and consumer satisfaction. Thus, it is clear that the decisions in the process of packaging development and selection, although complex, must minimize the risks and uncertainties of these investments. As an alternative to traditional methods that do not consider uncertainty, this study aims to apply a computational model for the selection and development of sustainable packaging. Its model should provide an integrated and systemic view of the variables, considering the uncertainty and complexity of the decision-making process with the use of Bayesian networks. At the end of this study, the Bayesian network model was employed in a case study concerning the development of a sustainable packaging for toothpaste tubes. The analyses performed indicated that the new packaging proposal proved, in several scenarios, to be more sustainable than the packaging currently in use.

Keywords: Multicriteria Analysis. Bayesian Networks. Computational Modeling. Packaging Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Histórico da sustentabilidade	15
Figura 2 – Representação lógica convencional e lógica fuzzy	17
Figura 3 – Métodos projetuais agrupados	26
Figura 4 – Métodos de tomada de decisão	40
Figura 5 – Descrição do modelo utilizado	43
Figura 6 – Dimensão custo.....	45
Figura 7 – Dimensão ambiental.....	46
Figura 8 – Dimensão social	48
Figura 9 – Conceito proposto final.....	51
Figura 10 – Resultado da simulação GeNle.....	54
Figura 11 – Gráfico de resultados	55
Figura 12 – Gráfico de resultados cenário custo	56
Figura 13 – Gráfico de resultados cenário impacto social	57
Figura 14 – Gráfico de resultados cenário ambiental	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definição de embalagem sustentável SPA revisada, estratégias e indicadores-chave de desempenho	22
Quadro 2 – Dimensões e variáveis LCE utilizadas	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela padronizada para descrição de variável do modelo	44
Tabela 2 – Função objetivo sustentabilidade no cenário custo	44
Tabela 3 – Variáveis da dimensão custo.....	45
Tabela 4 – Variáveis da dimensão ambiental.....	47
Tabela 5 – Variáveis energia e poluição	47
Tabela 6 – Variáveis medidas para cálculo de energia e poluição.....	48
Tabela 7 – Variáveis sociais.....	49
Tabela 8 – Requisitos de construção da embalagem.....	51
Tabela 9 – Dados de cada embalagem.....	52
Tabela 10 – Variáveis ambientais do modelo em PP	52
Tabela 11 – Variáveis ambientais do modelo em PE	53
Tabela 12 – Variáveis ambientais do modelo atual	53
Tabela 13 – Variável custo dos modelos.....	53
Tabela 14 – Variáveis sociais dos modelos	54
Tabela 15 – Probabilidade de ser sustentável.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP – Analytic Hierarchy Process CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas
DIP – Desenvolvimento Integrado de Produto
ELECTRE – Elimination Et Choice Translation Reality
KPI – Key Performance Indicator
LCA – Life Cycle Assessment
LCC – Life Cycle Costing
LCE – Life Cycle Engineering
LCM – Life Cycle Management
MACBETH– Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAUT – Multi-Attribute Utility Theory
ONU – Organização das Nações Unidas
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PDE – Processo de Desenvolvimento de Embalagem
PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto
PROMÉTHÉE – Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations
RB – Redes Bayesianas
SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SLC – Social Life Cycle
TPN – Tabela probabilística de nós
UE – União Européia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	18
1.2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	18
1.3. ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	189
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1. PROCESSO DE SELEÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS SUSTENTÁVEIS	20
2.2. MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO	33
3. MODELO PROPOSTO EM REDES BAYESIANAS PARA APOIO À TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE EMBALAGENS SUSTENTÁVEIS	41
3.1. DESCRIÇÃO DO MODELO	41
3.2. DETALHAMENTO DAS DIMENSÕES E VARIÁVEIS	43
4. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	50
4.1. CENÁRIO CUSTO	55
4.2. CENÁRIO IMPACTO SOCIAL.....	56
4.3. CENÁRIO AMBIENTAL.....	57
4.4. RESULTADOS GERAIS.....	58
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	62

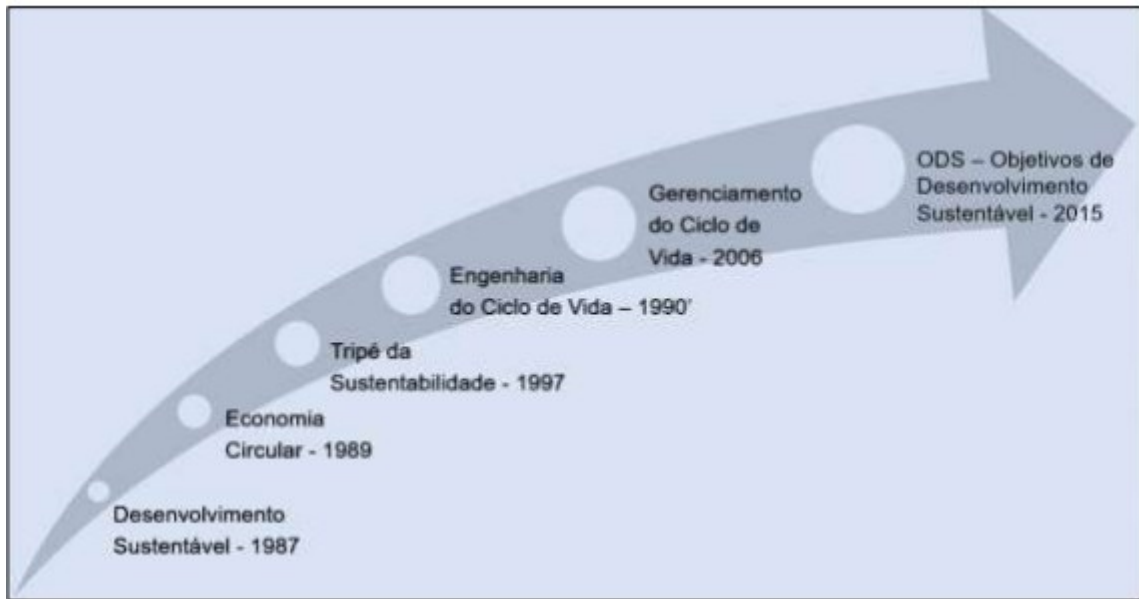
1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, em virtude das rápidas mudanças tecnológicas e aumento da concorrência, o desenvolvimento de produtos sustentáveis vem sendo reconhecido como importante fonte de vantagem competitiva. Semelhante a outros negócios, a indústria de embalagem tem sido centro de debates relacionados à proteção ambiental, inclusão social e outras questões de crescimento econômico que caracterizam os modelos de negócio do século XXI, (BOZ; KORHONEN; SAND, 2020).

Além disso, durante o ano de 2020 o tema sustentabilidade ganhou ainda mais evidência, tendo inclusive a revisão de seu próprio conceito para incluir de forma clara a saúde humana (OLIVEIRA, 2021; HAKOVIRTA; DENUWARA, 2020). O tema é visto por alguns administradores como um dos mais importantes para os próximos anos, já que gerou incertezas e levou a uma reformulação das finanças mundiais, (FINK, 2020).

Apesar da relevância recente, a história do desenvolvimento sustentável começa em 1987 no relatório da Comissão Brundtland liderado pela Organização das Nações Unidas (ONU). Nele, o termo foi definido como: “desenvolvimento que atende as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades” (ONU, 2020).

Figura 1 – Histórico da sustentabilidade



Fonte: Oliveira (2021)

O conceito da sustentabilidade e suas metodologias avançaram a partir dessa data, como mostra a Figura 1. Entretanto, o processo decisório no desenvolvimento e seleção de embalagens sustentáveis é um grande desafio às indústrias devido à sua complexidade (BUCHERT et al., 2015).

Por esse motivo, entre 2000 e 2010, a Aliança de Embalagem Sustentável definiu o conceito e estabeleceu um conjunto de princípios e estratégias para orientar a tomada de decisão. Quatro princípios foram originalmente identificados: eficaz, eficiente, cíclico e seguro. Cada um deles contém indicadores-chaves que podem ser utilizados durante o processo de desenvolvimento de embalagem para tomada de decisão. Além disso, foi criado o Life Cycle Assessment (LCA), uma ferramenta para avaliar o impacto ambiental e o uso de recursos de um produto ao longo de seu ciclo de vida, desde a aquisição de matéria-prima, produção e uso até o gerenciamento de resíduos, (FINNVEDEN et al., 2009).

Como pode ser visto, diversas ações devem ser tomadas para que uma embalagem tenha elementos que a torne mais sustentável. Por exemplo, corporações, incluindo McDonald's, Unilever, Nestlé, Kraft-Heinz, PepsiCo e Coca-Cola estabeleceram metas e planos de ação para melhorar a sustentabilidade de suas embalagens até 2025. Para isso, devem ser levados em consideração a redução da composição de material virgem, redução de emissão de poluentes no abastecimento

da cadeia de suprimentos, redução de peso, design das embalagens para facilitar a sua recuperação etc.

Para que essas mudanças sejam efetivadas, diversos autores vêm desenvolvendo e adaptando seus modelos para considerar as variáveis sustentáveis. Isso pode ser observado desde o método Seragini, criado por Lincoln Seragini em 1978 até os modelos de Sampaio (2009) apresentados na figura 4. O esforço para o desenvolvimento desses métodos pode ser justificado, uma vez que as decisões durante as fases iniciais do desenvolvimento de um produto podem influenciar em até 70% do seu custo final (OLIVEIRA, 2021; SARAVI et al., 2008).

Essas escolhas, incluindo design, seleção de componentes de embalagem e modificações de materiais, exigem um investimento substancial de recursos com a expectativa de maior satisfação do mercado e do consumidor, (BOZ; KORHONEN; SAND, 2020). Por esse motivo, é evidente que as decisões durante o processo de desenvolvimento e seleção dessas embalagens, embora complexas, devam minimizar os riscos e incertezas destes investimentos.

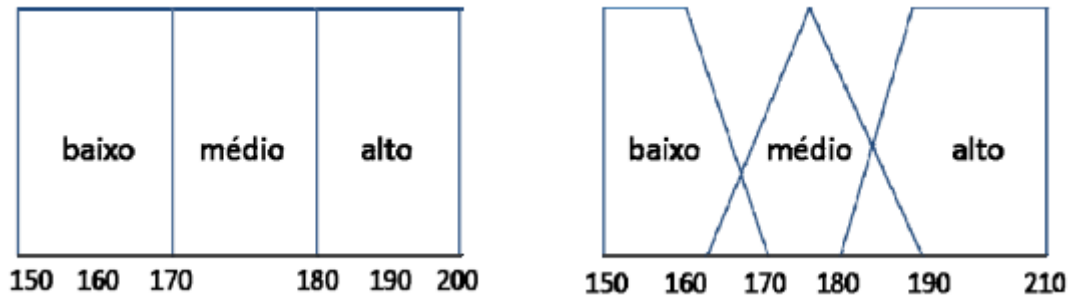
Assim como apontado por Spetzler, Winter e Meyer (2016), a capacidade de tomar boas decisões, pode ser uma tarefa desafiadora, mas é extremamente valiosa tanto nos negócios quanto na vida. Apesar dos estudos recentes, Maria e Schmidt (1995) aponta que a partir dos anos 50 foram realizados os primeiros estudos para aproximar as práticas do processo decisório aos princípios econômicos. Ainda segundo a autora, a aplicação de técnicas de análise econômica foi importante para uma série de decisões empresariais e governamentais.

Já nos anos 70, com a criação da escola europeia e americana era iniciada uma nova fase do processo de tomada de decisão. A primeira, para Oliveira (2021) “utiliza a noção de relação de superação, possuindo duas vertentes principais” e a última “a têm como fundamentação teórica a noção de se agregar todas as informações acerca do problema por meio de uma grande síntese”.

É possível notar avanço na literatura dos métodos multicritérios de apoio a tomada de decisão, entretanto, esses modelos nem sempre são capazes de avaliar de forma integrada as variáveis do problema e seus graus de imprecisão (OLIVEIRA, 2021). Sabendo disso, o autor afirma que se passou a utilizar a lógica fuzzy como alternativa aos métodos tradicionais que não consideram incerteza. Além disso, também pode ser usada para tratar e quantificar variáveis subjetivas (OLIVEIRA, 2021; YADAV et al., 2003). Diferente da lógica clássica que define se um elemento

pertence ou não a um conjunto, a lógica fuzzy permite construir modelos que contenham algum grau de incerteza.

Figura 2 – Representação lógica convencional e lógica fuzzy



Fonte: Adaptado de Marro et al. ([s.d.])

De maneira ilustrativa, consideremos um diagrama apresentado na figura 2, a qual descreve a altura de uma pessoa utilizando três conjuntos: "baixo", "médio" e "alto". No exemplo da figura 2, considerando a lógica convencional, representada no lado esquerdo, dada uma pessoa x qualquer, se $x = 175$ cm, então x pertence ao conjunto médio e não aos demais. Ou seja, um elemento pertence ou não a um conjunto, além disso, ele não pertence a mais de um conjunto. Ao contrário da lógica convencional, segundo Marro et al. ([s.d.]) a lógica fuzzy, representada no lado direito, utiliza a ideia de que todas as coisas admitem graus de pertinências. Para o autor a lógica fuzzy pode ser representada como um conjunto baseado no grau de pertinência dos termos.

Já as redes bayesianas (RB), segundo Oliveira (2021) “são modelos probabilísticos baseados em grafos acíclicos direcionados com capacidade de fazer inferências bidirecionais, capturar a dependência entre variáveis e lidar com incerteza”. As RB consideram a probabilidade de um nó inicial e a probabilidade condicional entre todos os outros, além disso, podem ser caracterizadas por variáveis discretas ou contínuas.

Ao analisar diversas características presentes nos principais métodos multicritérios como: presença de incertezas, avaliação de cenários alternativos, existência de variáveis quantitativas e qualitativas, interdependência entre variáveis, diferentes dimensões, presença de variáveis não determinísticas. Oliveira (2021), concluíram que o desempenho das redes bayesianas e lógica fuzzy tiveram vantagem

nas entradas e saídas de dados em relação aos demais modelos multicritérios. Somado a isto, as RBs possuem maior flexibilidade e um processo de construção da rede mais interativa, incluindo a possibilidade de utilização de variáveis contínuas.

Desta forma, o presente estudo visa aplicar e adaptar o modelo proposto por Oliveira (2021), para a seleção e desenvolvimento de embalagens sustentáveis. Segundo o autor, seu modelo apresenta uma visão integrada entre variáveis e mais sistêmica ao avaliar a incerteza e a complexidade do processo decisório com a utilização de uma ferramenta que dá este suporte teórico.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um modelo de apoio ao processo de tomada de decisão para seleção de embalagens sustentáveis.

E, para isto, constituem objetivos específicos:

- Identificar parâmetros para seleção de embalagens sustentáveis ao longo do processo de desenvolvimento de produtos;
- Aplicar o modelo proposto aos parâmetros de seleção de embalagens sustentáveis;
- Avaliar a opção mais adequada de embalagem baseada nos resultados gerados pelo modelo matemático proposto;
- Avaliar o modelo proposto, apresentando oportunidades de melhoria e sua potencialidade para a seleção de embalagens sustentáveis.

1.2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A sustentabilidade é pauta cada vez mais frequente para o consumidor final, sendo inclusive fator de decisão no momento da compra de um produto, (ESCURSELL; LLORACH-MASSANA; RONCERO, 2021). Entretanto, diversas empresas brasileiras ainda enfrentam grandes desafios, principalmente quanto a aliar sustentabilidade a seus produtos e atender as demandas geradas por seus clientes. Tendo isto em vista, este trabalho busca contribuir no meio acadêmico agregando a obra ao acervo da Universidade, em trabalhos com tema de Sustentabilidade. O presente estudo incorpora conceitos de estatística e confiabilidade.

Em termos acadêmicos, é importante ressaltar que este trabalho contribui com a inserção de incertezas em um modelo probabilístico de apoio ao processo de tomada de decisão, através das redes bayesianas híbridas.

1.3. ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos distintos. O capítulo 1 tem como propósito introduzir o escopo deste estudo, apresentar os objetivos e estabelecer a matriz de problemas, identificando os desafios relacionados à indústria de embalagens, assim como a necessidade de identificar um modelo capaz de avaliar as incertezas análogas ao processo de tomada de decisão.

O capítulo 2 é dedicado à revisão da literatura, oferecendo uma introdução aos métodos utilizados para seleção e desenvolvimento de embalagens sustentáveis, além de fornecer uma base teórica sobre os métodos de tomada de decisão.

O capítulo 3 detalha o modelo proposto em redes bayesianas para a avaliação de embalagens sustentáveis e suas dimensões e variáveis.

O capítulo 4 apresenta a aplicação do modelo proposto em um estudo de caso, os cenários analisados e os resultados gerais obtidos.

No capítulo 5, são apresentadas as considerações finais, incluindo a conclusão dos resultados obtidos e sugestões para futuros trabalhos. Por fim, o capítulo 6 é reservado às referências, onde são listados todos os estudos utilizados para a construção deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é abordada a definição dos temas relevantes ao estudo de caso, acentuado pela fundamentação dos indicadores que compõem a seleção de embalagens sustentáveis, seguido pela revisão da literatura dos métodos de tomada de decisão.

2.1. PROCESSO DE SELEÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS SUSTENTÁVEIS

Uma embalagem pode ser definida como um recipiente responsável por envolver e armazenar um produto. Suas funções, tipos e materiais podem variar conforme a sua aplicação. Contudo, além dos atributos tangíveis, as embalagens também possuem benefícios intangíveis, já que podem ser recursos utilizados para agregar valor ao produto, (ARÊAS et al., 2009).

Segundo Arêas et al (2009), estes valores intangíveis, fizeram com que aspectos antes negligenciados pela indústria tivessem uma relevância maior durante o PDE. Entre estes aspectos, está a sustentabilidade das embalagens. Como apontado por Lewis et al (2007) “a indústria de embalagens, em particular, está sob intensa pressão há décadas para reduzir o desperdício e excesso de embalagens e melhorar a sua reciclabilidade”.

Fica claro que a embalagem deixou de ser vista apenas como um custo de produção e passou a desempenhar um papel importante no desenvolvimento de produto, buscando atender as exigências do consumidor e se adaptando ao cenário econômico e sócio cultural.

No entanto, alcançar tais objetivos muitas vezes implica em um processo de desenvolvimento complexo de embalagens sustentáveis, cujos requisitos essenciais para atender às demandas em matéria de sustentabilidade precisam ser claramente definidos.

Segundo Escursell, Llorach-Massana e Roncero (2021) apesar de o conceito de sustentabilidade ter surgido na década de 80, foi em 1994 com a Diretiva da UE sobre Embalagens e Resíduos (94/62/EU) que foram tomados vários passos para controlar o desperdício de embalagens e fomentar o conceito de reciclagem. A meta era reciclar 25% a 45% de todas as embalagens até 2001. Uma nova revisão da

legislação foi realizada em 2015 pela Comissão Europeia. As medidas deveriam ser adotadas por seus países membros até 2030, com objetivo de reciclar até 75% dos resíduos de embalagens.

Com base em uma pesquisa realizada pela Cone Communications em 2014, 77% dos consumidores estavam sendo mais ambientalmente conscientes e agindo com melhores escolhas ao fazer compras em supermercados. Na verdade, muitos consumidores estavam dispostos a pagar um adicional de 10% sobre o preço normal na compra de um produto sustentável (ESCURSELL; LLORACH-MASSANA; RONCERO, 2021).

Por outro lado, os clientes que realizavam compras online não demonstraram o mesmo comportamento relacionado à sustentabilidade. Em vez disso, priorizaram outras variáveis mais atraentes, como preço e tempo de entrega (ESCURSELL; LLORACH-MASSANA; RONCERO, 2021; MONNOT et al., 2019).

Como pode ser visto, a embalagem deixou suas definições básicas e passou a ter grande valor no desenvolvimento do produto. Apesar da pressão sobre as indústrias e governos, as medidas tomadas pela Comissão Europeia até 2030 desafiam o setor para o cumprimento dessas novas normas. Fica evidente a necessidade de pesquisas e construção de métodos que auxiliem o desenvolvimento de embalagens sustentáveis e reduzam os impactos ambientais gerados.

No entanto, pode ser uma tarefa complexa selecionar quais são os materiais de embalagem mais ambientalmente amigáveis. Já que, eles devem cumprir requisitos técnicos e comparativos para que haja uma escolha objetiva no momento da tomada de decisão durante o processo de desenvolvimento de embalagem.

Por esse motivo, entre 2000 e 2010, a Aliança de Embalagem Sustentável (SPA), realizada na Austrália pela Unidade de Pesquisa de Embalagens e Polímeros da Victoria University of Technology, definiu o conceito e buscou ampliar a utilização de embalagens sustentáveis, estabelecendo conjuntos de princípios e estratégias que podem orientar a tomada de decisão.

Segundo Lewis et al. (2007) primeira tarefa executada pela SPA foi investigar o significado de embalagem sustentável com base em uma revisão da literatura e uma pesquisa com os principais stakeholders. Discussões foram levantadas a fim de alcançar uma definição viável de embalagem sustentável.

Quatro princípios foram originalmente identificados pelo SPA sob os títulos de: eficaz, eficiente, cíclico e seguro. O Quadro 1 apresenta de forma resumida

indicadores-chave e sua relação com cada um dos quatro princípios definidos pela SPA e posteriormente analisados por (LEWIS et al., 2007).

Quadro 1 – Definição de embalagem sustentável SPA revisada, estratégias e indicadores-chave de desempenho

Princípios	Estratégias de design de embalagens, fabricação, logística e marketing	Indicadores chave
Eficácia	<p>Elimine qualquer embalagem que não seja necessário.</p> <p>Certifique-se de que a embalagem cumpre requisitos da cadeia de suprimentos para proteção, contenção, distribuição, varejo e uso.</p> <p>Projetar o sistema de embalagem do produto para minimizar o ciclo de vida total e o impacto ambiental.</p>	Relação produto-embalagem por peso (toneladas de produto divididas por toneladas de embalagens).
	Minimize os custos gerais da cadeia de suprimentos.	Custos da cadeia de suprimentos (\$ por unidade de produtos)
	Fornecer informações aos consumidores sobre atributos ambientais da embalagem.	Específicos, relevantes, precisos e reivindicações ambientais verificáveis consistente com a ISO 14021.
	Aconselhar o consumidor sobre descarte correto da embalagem.	Código de identificação de plásticos usado corretamente em embalagens plásticas (diretrizes PACIA).

O quadro continua na próxima página.

Princípios	Estratégias de design de embalagens, fabricação, logística e marketing	Indicadores chave
Eficiência	Reduza o volume e o peso da embalagem ao mínimo exigido para proteção, segurança, higiene e aceitabilidade para o consumidor.	Relação produto-embalagem por peso (toneladas de produto divididas por toneladas de embalagens).
	Minimize o desperdício de produto.	<p>Porcentagem do produto descartado antes de chegar ao consumidor (por exemplo, está danificado em trânsito).</p> <p>Porcentagem de produto restante em embalagem da unidade de varejo (uma vez consumidor dispensou o produto).</p>
	Maximize a eficiência energética e hídrica durante a fabricação e recuperação sistemas.	<p>Energia consumida ao longo do ciclo de vida da embalagem (MJ por tonelada de embalagem).</p> <p>Água consumida ao longo do ciclo de vida da embalagem (kL por tonelada de embalagem).</p>
	Melhorar a eficiência do transporte, por exemplo, através da utilização máxima do cubo.	Configuração e eficiência do palete - utilização do cubo (%).
Cíclico	Especifique materiais renováveis onde é demonstrado que eles fornecem o menor impacto ambiental.	Porcentagem de material de embalagem que é de fonte renovável.
	Use energia renovável de transporte (por exemplo, biocombustíveis) onde estes são encontrados para têm o menor impacto ambiental.	Porcentagem de energia de transporte que é de fonte renovável.

Princípios	Estratégias de design de embalagens, fabricação, logística e marketing	Indicadores chave
Seguro	Evite ou minimize o uso de aditivos à base de metal (<100 ppm por unidade de embalagem).	Uso de aditivos à base de metais pesados(lista) e concentração (ppm).
	Evite ou minimize o uso de materiais ou aditivos que podem migrar para os alimentos e ser nocivo para a saúde humana, e. certos plastificantes.	Riscos de saúde ou ambientais associado ao pacote.

Fonte: Lewis et al. (2007).

A **eficácia** diz respeito principalmente à funcionalidade da embalagem. Ele sugere que a embalagem ajudará o desenvolvimento sustentável no momento em que agregar real valor à cadeia de suprimentos. Já que, fabricantes, atacadistas, varejistas e todos os consumidores têm interesses e expectativas diferentes em relação à sua funcionalidade.

A **eficiência** reforça que o sistema de embalagem-produto é projetado para usar materiais e energia da forma mais eficiente possível durante todo o ciclo de vida do produto.

O terceiro princípio, **cíclico**, diz que os materiais de embalagem usados no sistema são reciclados continuamente através de sistemas naturais ou industriais, minimizando a degradação do material.

O último princípio, **seguro**, conclui que componentes de embalagem utilizados no sistema, incluindo materiais, acabamentos, tintas, pigmentos e outros aditivos não devem representar riscos para os seres humanos ou ecossistemas.

É notável que fazer um estudo comparativo entre alternativas de embalagens utilizando os princípios e KPIs propostos pela SPA é um grande desafio. Pensando nisso, a organização desenvolveu a Ferramenta de Avaliação Rápida de Impacto de Embalagens (PIQET©) que se utiliza de uma série dos indicadores apresentados no

quadro 1, incluindo os indicadores presentes na Life Cycle Assessment (LCA) para otimizar o desempenho ambiental dos designs de embalagens.

Segundo Finnveden (2009) “LCA é uma ferramenta para avaliar os impactos ambientais e os recursos utilizados ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição da matéria-prima, passando pela produção e uso, até a gestão de resíduos”.

Segundo Lewis et al. (2007) PIQET pode ser usado para demonstrar aos stakeholders da empresa, como clientes, fornecedores, acionistas e governo, uma abordagem de melhoria contínua para melhorar a sustentabilidade na produção de embalagens. Essa análise objetiva auxilia na tomada de decisão, já que o processo de desenvolvimento de embalagens pode envolver muitas etapas e também incertezas sobre seus resultados.

Para uma embalagem ser considerada sustentável diversas ações podem ser tomadas, por meio de alterações no design do produto, seleção de matéria-prima, eficiência de distribuição e reciclagem ou reutilização pós-consumo. Por esse motivo, é preciso detalhar os principais métodos de PDE, para compreender suas etapas, fases, vantagens e desvantagens comparativamente.

O processo de desenvolvimento de embalagem (PDE) possui diversas fases a fim de atender as atribuições designadas ao produto final. Assim como essas funções podem ter objetivos diversos, o PDE também possui uma série de modelos que podem ser aplicados durante a sua concepção. Pereira e Silva (2010) em seu estudo, realizaram uma revisão sistemática sobre os métodos de PDE que levam em consideração a sustentabilidade dentro de seus critérios avaliativos.

A figura 3, apresenta de forma simplificada as etapas de cada um desses modelos projetuais. Caso o método tenha em suas etapas alguma das fases apresentadas na primeira coluna, ele terá esta região colorida. Caso dentro desta fase, o modelo apresente alguma ação relacionada à sustentabilidade ou ecologia, ela será descrita nos campos coloridos.

Figura 3 – Métodos projetuais agrupados

Fases	Métodos Projetuais				
	Brod Jr	Bucci e Forcellini	Sampaio	Merino	Seragini
	2004	2007	2009	2009	1978
Necessidade					
Planejamento	reorientar o design de embalagem com foco ecológico	definir requisitos ambientais			
Problematização	avaliação de descarte	ACV	System Map checklist ambiental		
Coleta de Dados		informações sobre impacto ambiental de material e processos	ACV		check list técnica, ciclo de vida do produto e verificação de reciclagem ou retorno
Análises	avaliação de descarte				
Estratégia	fator ecológico para análise				
Conceito		solução com base em requisitos ambientais	Diretrizes de design sustentável e ACV para seleção e validação	ACV	
Alternativas	fator ecológico para análise				
Estrutura		checklist ACV			
Visual	ecologia gráfica				
Modelos				ACV	
Apresentação					
Protótipo					
Especificação	ecologia gráfica	revisão da ACV			
Implementação		estratégia ambiental para uso e descarte			
Acompanhamento					

Fonte: Adaptado de Pereira e Silva (2010, p. 41)

Junior (2004) propõe um método de PDE mediado por parâmetros ecológicos e estruturado com base em 3 fases do projeto de produtos industriais: projeção, produção e promoção.

A projeção é composta de 3 etapas, sendo elas: doutrinação, desenvolvimento e desenho. A doutrinação trata do planejamento estratégico e avaliação das necessidades do projeto. A desenvolvimento corresponde a um processo informacional, de coleta de dados e análises, a fim de que o designer conheça o produto, a embalagem e seu contexto envolvido no projeto. Junior (2004) considera ainda nessa fase o processo de incubação, destinado ao trabalho inconsciente da mente após a coleta de informações.

O esquema busca por meio da definição do problema, estabelecer os requisitos estruturais, hierarquizar as problemáticas que devem ser sanadas, gerar soluções, analisar e selecionar alternativas. Visualizando a proposta por meio de modelos, comparando as características da alternativa com os requisitos de projeto e selecionando-a com base em critérios como organização, completude, fundamentação, originalidade, relevância e estilo.

A produção e o desenvolvimento de modelos físicos: tridimensionais, a fim de verificar volume, forma, textura, capacidade de empilhamento, resistência, peso, destaque, manipulação, usabilidade e fechamentos e modelos gráficos bidimensionais, para a compreensão da representação visual do produto, formas, cores, informações obrigatórias, ilustrações, marca, logotipo, tipografia, símbolos e código de barras.

A etapa consiste também no desenvolvimento de modelos virtuais, no desenvolvimento de protótipos e na fabricação, com o início da produção propriamente dita, sendo necessário, nesta etapa, contemplar os desenhos técnicos e de comunicação para a fabricação da embalagem.

A promoção é considerada pelo autor como um novo projeto no qual é realizada a definição da identidade visual do produto, as embalagens utilizadas para transporte, controle de qualidade e criação de contratos de garantia. Essa fase é vista como responsável pela ecologia gráfica, que trata da qualificação estrutural da nova embalagem baseada em fatores ecológicos.

Este método utiliza o fator ecológico como determinante de cada etapa, direcionando as decisões de projeto nas fases apresentadas. Contudo, Pereira e Silva

(2010) não evidenciam em seu texto os KPIs ou princípios para a seleção objetiva de uma embalagem sustentável.

Segundo, Pereira e Silva (2010) o método de Bucci e Forcellini (2007) propõe um Modelo para Design de Embalagens Sustentáveis integrando o processo de desenvolvimento de produto Product Development Process (PDP) e o processo de desenvolvimento da embalagem Packaging Development Process (PkDP), associando aspectos ambientais desde o início das fases do projeto. Para tanto, há a integração de estratégias de ecodesign e ferramentas específicas para avaliação do impacto ambiental ao final de cada fase. O modelo proposto é organizado nas fases de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

No pré-desenvolvimento ocorre a entrada de informações a respeito dos objetivos estratégicos da empresa, tecnologia, mercado, além do estabelecimento de objetivos estratégicos e ambientais para produto e embalagem. Para tanto, a organização conta com informações de pesquisa de marketing, análise do ciclo de vida do produto e da embalagem de concorrentes e similares e informações a respeito do impacto ambiental de diferentes materiais e processos (BUCCI e FORCELLINI, 2007; PEREIRA e SILVA, 2010)

A fase de pré-desenvolvimento é composta pelas etapas de planejamento de embalagem e de produto. Estes estágios acontecem em sincronia, neles são executadas as análises, descrição das tarefas, estabelecimento de responsabilidades e cronograma, indicação de custos, recursos necessários e definição de indicadores de desempenho. Há a formação das equipes que trabalharão em paralelo no desenvolvimento do produto e da embalagem.

A fase de desenvolvimento é composta de estágios pelos seguintes estágios: informação, conceito, detalhamento, preparação para produção e testes de funcionalidade. Durante o estágio da informação há a coleta de dados técnicos, econômicas e relativas aos componentes, materiais e fornecedores. Realiza-se também uma análise de similares utilizando informações técnicas e ambientais, buscando encontrar fraquezas e oportunidades de melhoria. As necessidades e requisitos dos clientes são definidos neste estágio, além dos requerimentos ambientais para produto e embalagem (BUCCI e FORCELLINI, 2007).

O estágio seguinte, conceitual, busca a criação de soluções para o sistema produto-embalagem, orientadas pelos requisitos do projeto com foco ambiental, considerando as questões ecológicas durante todo o ciclo de vida. As alternativas para a embalagem

e os conceitos para o produto devem ser analisadas e combinadas, avaliando em conjunto a fim de gerar os conceitos para o sistema (BUCCI e FORCELLINI, 2007). O detalhamento do produto é integrado com o detalhamento da embalagem e nesta fase são tomadas decisões a respeito de materiais, formas, entre outras. Segundo Pereira e Silva (2010) “A maioria das atividades ocorre simultaneamente para produto e embalagem, utilizando ferramentas como o DfE (Design for Environment), estratégias e matrizes de ecodesign, e check lists de análise de ciclo de vida”.

A estágio seguinte diz respeito à preparação da produção do produto e os testes de funcionalidade da embalagem, avaliando-se o sistema produto-embalagem por meio de um lote piloto, a fim de melhorar o detalhamento do projeto, indicar ajustes ou mudanças necessárias.

O pós-desenvolvimento é marcado pelos estágios de lançamento do produto e embalagem, acompanhamento e descontinuidade do produto e revisão da embalagem. O compreendem as atividades de logística e colocação do produto no mercado, envolvendo vendas e distribuição, assistência técnica e campanhas de marketing. Neste momento, devem-se utilizar estratégias que auxiliem a minimizar os impactos ambientais durante o uso e descarte da embalagem e produto, como, por exemplo, a rotulagem ambiental e o fornecimento de coletores para reciclagem nos locais de venda (BUCCI e FORCELLINI, 2007).

A embalagem deve ser revisada após seis meses do lançamento no mercado, avaliando a satisfação do consumidor, funcionalidade e impactos ambientais. O final do ciclo da embalagem é diferente do final do ciclo de vida do produto, que pode ser muito mais duradouro. Neste caso, deve-se pensar no descarte da embalagem, procurando estratégias como o retorno da mesma para reutilização ou a reciclagem dos materiais.

(2009) propõe um modelo de desenvolvimento de embalagem para movimentação de produto entre empresas, a fim de reduzir os impactos ambientais. O modelo utilizado pelo autor, Methodology for Product Service System (MEPSS), é composto de cinco fases: análise estratégica, exploração de oportunidades, desenvolvimento do conceito, desenvolvimento de produto e implementação.

Pereira e Silva (2010) apontam que na análise estratégica, procura-se compreender os requisitos do cliente e o sistema utilizado pela empresa. Durante a fase de exploração de oportunidades, novos materiais, cenários e alternativas são propostas avaliando sempre o cumprimento dos requisitos definidos na primeira fase.

A fase de desenvolvimento do conceito visa sintetizar os dados obtidos anteriormente, a fim de descobrir como as oportunidades detectadas nas análises e cenários podem ser utilizadas. A quarta fase, de desenvolvimento do produto escolhido, seleciona a melhor alternativa entre as possibilidades que surgiram no desenvolvimento conceitual. Por fim, na fase de preparo da implementação, identifica-se quais são os instrumentos condutores do processo de implementação e como controlar o comportamento do sistema proposto.

Estas fases contemplam, ainda, técnicas e procedimentos. Algumas das principais utilizadas por Pereira e Silva (2010):

- O System Map, técnica que consiste na montagem de um esquema visual a partir da coleta de dados que indica os atores e suas atribuições no sistema em questão, além do tipo de interação de cada um;
- Procedimento que consiste na análise qualitativa dos dados ambientais por meio de um check list;
- A Análise do Ciclo de Vida – ACV – que compreende a uma técnica para análise quantitativa dos dados ambientais.

Para a geração de novos conceitos, Sampaio (2009) indica a utilização de diretrizes de design sustentável, como as propostas por Vezzoli (2018) e das ferramentas de criação de novos cenários, como a construção de storyboards e brainstorming. Para a avaliação dos conceitos gerados, o autor retoma as ferramentas de check list para análise qualitativa e da ACV para a análise quantitativa.

Além do método e das ferramentas apresentadas, o autor propõe diretrizes, para desenvolvimento de embalagens retornáveis para movimentação entre empresas, considerando o ciclo de vida da embalagem.

O Núcleo de Gestão de Design da Universidade Federal de Santa Catarina desenvolveu o Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Embalagem (GODE), com base na proposta de integração das áreas envolvidas e na inovação como elementos do processo de gestão do design (PEREIRA e SILVA, 2010; MERINO e CARVALHO, 2009).

O Guia é composto por cinco etapas principais, numeradas de zero à quatro, apresentando as atividades a serem realizadas em cada momento do projeto. Os autores destacam que o GODE possui uma sequência de ações flexível, podendo ser

adaptada de acordo com as necessidades de cada projeto, alterando a ordem das etapas ou repetindo-as conforme o objetivo.

A etapa 0 corresponde à encomenda do trabalho pelo cliente e, posteriormente, a busca dos primeiros dados referentes ao produto e embalagem por parte do designer, a fim de obter informações básicas para a reunião de briefing, (MERINO e CARVALHO, 2009).

Neste momento, há a visita preliminar a campo, o estudo da concorrência, visitas à websites das empresas e o planejamento do cronograma inicial.

Segundo Merino e Carvalho (2009) a etapa 1 compreende o levantamento de dados por meio do briefing e do estudo de campo. No briefing devem constar as informações relevantes para o projeto, definindo o objetivo geral do design. O estudo de campo visa analisar o mercado do produto, verificando os principais concorrentes, posicionamento, preço e linguagem visual da categoria. Pode-se realizar ainda o estudo avançado do ponto de venda, identificando características do produto em outros segmentos que poderão ser consideradas no projeto, além do estudo de campo internacional, verificando a linguagem visual da categoria no mercado exterior.

Ainda segundo Merino e Carvalho (2009) a etapa 2 consiste na análise, interpretação e organização dos dados, definindo os parâmetros do projeto. A realização de check list contendo atributos, características, informações do produto e considerações para o projeto da embalagem é a primeira ação recomendada. Após, é sugerido à aplicação de listas de verificação para a análise do produto quanto ao uso, análise diacrônica, sincrônica, estrutural, funcional e morfológica. A síntese das etapas anteriores culmina com a estratégia de design, estabelecendo as diretrizes do projeto, e compreende a definição do problema, o relatório do estudo de campo, as premissas básicas do design e a estratégia a ser seguida. Por fim, os autores indicam a revisão do cronograma inicial, revendo as estimativas de tempo e custo.

A etapa 3, de criação, compreende desde o conceito inicial, passando pela geração e seleção de alternativas, até o desenvolvimento e refinamento da proposta. Desse modo, está estruturado em oito fases: conceito de design, geração de ideias, elementos de design, definição de parâmetros, criação de alternativas, definição de propostas, escolha da proposta final e refinamento.

Pereira e Silva (2010) aponta a definição do conceito como “busca os parâmetros funcionais para a nova embalagem, utilizando técnicas como a análise da tarefa para visualizar a interação entre embalagem e usuário e a análise do ciclo de

vida, visando à redução de impactos ambientais, bem como parâmetros de estilo visual, valendo-se do uso de painéis semânticos”.

Na geração de ideias Merino e Carvalho (2009), tem a proposição de alternativas para a solução do problema, utilizando técnicas de criatividade. Estas propostas irão auxiliar a definir os elementos visuais a serem contemplados no projeto, bem como o estabelecimento dos parâmetros que irão orientar a geração das alternativas. Após a escolha da proposta final, é recomendado um teste de mercado, a fim de avaliar as impressões dos consumidores a respeito do produto e embalagem e, então, apresentar a solução proposta ao cliente. Mediante a aprovação, conclui-se a etapa com os refinamentos necessários.

A última etapa, a executiva, consiste no planejamento da produção, realizando um exame dos fatores técnicos e de fabricação, revendo os aspectos técnicos da embalagem e especificando as informações necessárias para produção. Deve-se prever ainda uma revisão da embalagem no mercado, para possíveis melhorias e correções de falhas.

O Método Seragini, criado por Lincoln Seragini, especialista em embalagem no Brasil, propõe o “desenvolvimento racional da embalagem”, que é composto por sete fases, (NEGRÃO e CAMARGO, 2008).

A identificação do tipo de desenvolvimento é o ponto inicial, onde serão definidos quais os objetivos a serem alcançados e conceitos que serão desenvolvidos. Os autores dizem que são consideradas cinco possibilidades da embalagem, a funcionalidade, a proteção, o estilo, o custo e a disponibilidade.

Na etapa de planejamento preliminar são reunidas todas as informações sobre o produto, a embalagem e a empresa. Segundo o modelo, é recomendado a utilização de uma lista técnica para verificar informações específicas do produto e da embalagem. Entre os critérios dessa lista estão: reciclabilidade do material, processo de impressão e acabamento, fornecedores avaliados, vantagens e desvantagens, detalhes e especificações do material utilizado entre outros.

Apesar de aparentemente simples, essas variáveis evidenciam uma série de critérios que necessitam de uma avaliação mais detalhada. Por esse motivo, um modelo integrado de tomada de decisão poderia auxiliar os gestores em suas escolhas.

Já o desenvolvimento estrutural, formal e gráfico diz respeito ao desenvolvimento da embalagem como objeto, onde as informações previamente

coletadas serão utilizadas para desenvolver o projeto de embalagem. Camargo e Negrão (2008) dividem essa etapa em duas fases, o desenvolvimento estrutural e o desenvolvimento formal e gráfico.

No desenvolvimento estrutural ocorre o design de produto da embalagem, a fim de salientar quais as possibilidades que o projeto escolhido compreende, como resistência ao calor, umidade, impacto etc. Também é definido nessa fase o tipo de fechamento, abertura, acondicionamento e transporte do produto. O desenvolvimento formal e gráfico estabelece as indicações de uso e a comunicação visual.

As outras fases, implantação, embalagem atuando e avaliação das falhas verificam se na prática a embalagem possui as funcionalidades definidas no planejamento.

Como pode ser visto, os métodos projetuais utilizados para o desenvolvimento sustentável de embalagens apresentam diversas fases. Nas quais, os tomadores de decisão são confrontados com alternativas, e precisam optar por uma ou outra. Pereira e Silva (2010) ao discutir sobre o método Bucci e Forcellini (2007) expressa de forma clara um desses momentos “O Detalhamento do produto é integrado com o Detalhamento da embalagem e nesta fase são tomadas decisões a respeito de materiais, formas, entre outras”.

Essa tomada de decisão pode envolver incertezas e nem sempre é acompanhada de um método objetivo e quantitativo para auxiliar o responsável. Cerda, Thiede e Herrmann (2018) evidenciam como pode ser desafiador o processo de tomada de decisão, principalmente nas fases iniciais do projeto. Além disso, as fases iniciais podem influenciar em até 70% do custo do produto final em seu ciclo de vida (OLIVEIRA, 2021; SARAVI et al., 2008). Fica claro, portanto, a necessidade de avaliar de forma mais detalhada os métodos de tomada de decisão através de suas características, limitações e ferramentas disponíveis.

2.2. MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO

Poucas coisas são tão valiosas nos negócios e na vida quanto a capacidade de tomar boas decisões, Spetzler, Winter e Meyer (2016). É notável que isto pode ser uma tarefa desafiadora a diversos gestores, visto que muitas vezes essas escolhas contêm incertezas e nem sempre é possível avaliar todos os cenários e suas variáveis

de forma conjunta. Por sua importância, o tema já vem sendo alvo de estudos por longos anos.

Para o estudo presente, são observadas as seguintes características do processo decisório:

- presença de incertezas (KLEIN et al., 2007),
- análise de cenários alternativos (HANSEN; ANDREASEN, 2004),
- variáveis qualitativas e quantitativas (HONKALA; HÄMÄLÄINEN; SALONEN, 2007),
- correlação entre variáveis (IONICA; LEBA, 2015), e
- variáveis não determinísticas (PETER; SWILLING, 2014).

Segundo Spetzler, Winter e Meyer (2016) para que haja um processo decisório adequado, são necessários seis elementos principais: problema claro, informações confiáveis, prós e contras sólidos, possíveis alternativas, raciocínio e compromisso com o problema.

Howard (1968) divide o processo de tomada de decisão em três partes. A determinística, tem como objetivo realizar a construção do modelo de decisão probabilística e informacional. A probabilística, é responsável por avaliar as incertezas e riscos, através de distribuições probabilísticas das variáveis. A fase informacional, faz avaliar se ainda é necessário que mais informações sejam obtidas.

Apesar dos estudos recentes apresentados, foi a partir dos anos 50, que muitas pesquisas foram realizadas buscando aproximar as práticas do processo decisório aos princípios econômicos vigentes (MARIA; SCHMIDT, 1995). Ainda segundo a autora, a aplicação de técnicas de análise econômica ajudava a decidir o curso de ação, que melhor encontrasse o critério de desempenho técnico e o uso do capital escasso de maneira prudente. Além disso, o método de análises de alternativas, tornou-se importante para uma série de decisões empresariais e governamentais.

No início dos anos 70, com a organização do primeiro encontro Euro Working Group on Multicriteria Aid for Decision em Bruxelas, iniciava-se uma nova fase do processo de apoio à tomada de decisão. Nasciam paralelamente duas correntes científicas de apoio à tomada de decisão. Entretanto, as duas concordavam, que era necessário considerar outros valores além dos econômicos-financeiros.

Com isso, passou-se a considerar outros aspectos da realidade de natureza qualitativa, adicionando variáveis relacionadas à preservação ambiental, fatores sociais etc. (MARIA; SCHMIDT, 1995). Segundo a autora, até este momento, os modelos e técnicas utilizadas simplificavam as situações reais, considerando-as determinísticas. Desde então, novas técnicas e modelos se fizeram necessários para criar condições de interpretar com mais precisão os problemas do mundo real.

As duas correntes científicas foram classificadas como Escola Americana e Europeia. A primeira tem como base teórica o conceito de agregar as informações sobre o problema em uma grande síntese (RANGEL; GOMES, 2010). Fazem parte dela os métodos *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) e *Analytic Hierarchy Process* (AHP), sendo este último o mais relevante entre os métodos de análise hierárquica.

MAUT é geralmente utilizado quando uma decisão é tipificada por vários objetivos, já que pode ser difícil comparar quantitativamente um com o outro. Segundo Min (1994), para fornecer informações sobre esse problema, uma função de utilidade é avaliada para cada um dos objetivos relevantes. Isso permite a construção de uma função de múltiplos objetivos para identificar trade-offs e compará-los de maneira consistente. MAUT permite realizar uma análise de sensibilidade dos resultados. Além disso, é um dos poucos métodos que permite trabalhar com muitas alternativas simultaneamente (MIN, 1994).

O método MAUT avalia subjetivamente muitos critérios quantitativos e qualitativos, podendo levar em consideração o risco e a incerteza (AYALA; FRANK, 2013). Dessa forma, o método pode tratar um problema complexo através de um completo ranking de alternativas descritas. Além disso, similarmente ao AHP, MAUT apresenta característica compensatória, ou seja, um comportamento muito bom segundo um critério pode compensar um comportamento ruim em outro critério. No entanto, caso se constate a dependência entre qualquer par de atributos recomenda-se que a família de critérios seja repensada e transformada, eventualmente através de agrupamentos ou, mesmo, de redefinições (NEIVA; GOMES, 2007).

A metodologia AHP é o método mais utilizado, considerando-se a escola americana. Sendo capaz de avaliar de forma simples informações objetivas e subjetivas, envolvendo também graus de certeza e incerteza (ALVES; ALVES, 2015). Com estas características, o método adapta-se à utilização em diferentes contextos, como por exemplo no econômico, político, social ou ambiental. O método utiliza a lógica aliada à intuição, com a finalidade de obter julgamentos através de consenso e

interação dos grupos decisores, permitindo resolver problemas com múltiplos critérios ainda que alguns se encontrem em conflito e com informação incompleta (NORRIS; MARSHALL, 1995).

Segundo Jansen, Shimizu e Janses (2004) o método AHP segue quatro passos fundamentalmente: decomposição do problema numa árvore hierárquica, comparação par a par dos elementos em cada nível do sistema, determinação da prioridade relativa de cada elemento e agregação das prioridades relativas para a escolha final. Uma implicação da representação com hierarquias é que se considera que as alternativas e critérios são independentes entre si, (SILVA et al., 2010). Mas, alternativas e critérios totalmente independentes, dificilmente, são encontrados em situações reais. Porém, se as relações de dependência não forem tão determinantes em um processo de tomada de decisão, o modelo pode ser mantido. Caso contrário, o modelo deve ser alterado, por exemplo, com a aglutinação de critérios dependentes.

Uma grande força do AHP é a possibilidade de medição da consistência interna dos julgamentos dos stakeholders (VILAS, 2008). Ainda, a obrigatoriedade de interação entre o analista e o decisor pode-se observar como uma vantagem, já que permite que todos os envolvidos entendam o problema da mesma forma. Por sua vez, a síntese dos resultados permite a comparação das prioridades e importância relativa de cada fator (LIBERATORE; NYDICK, 1997; SALOMON; MONTEVECHI; PAMPLONA, 1999; VILAS, 2008).

A segunda escola, a Europeia, para avaliação de alternativas utiliza a superação através de uma análise par a par. Esta escola possui três métodos principais: Elimination Et Choice Translation Reality (ELECTRE), Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations (PROMÉTHÉE) e o Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH).

O método Elimination Et Choice Translation Reality (ELECTRE), baseado no conceito de classificação, foi desenvolvido por Bernard Roy e seus companheiros de trabalho na SEMA companhia de consultoria em 1968. A ideia do método é comparar par a par todas as alternativas, segundo cada critério examinado, para achar qual alternativa prevalece sobre a outra (MULLER; SPILIOPOULOU; LENZ, 2002). Uma alternativa se considera dominante se supera certo valor fixado de antemão arbitrariamente para cada critério (MOTA; DE ALMEIDA, 2007; MULLER; SPILIOPOULOU; LENZ, 2002).

O método baseia-se na separação e classificação das alternativas, considerando aquelas que são preferidas na maioria dos critérios de avaliação, sem causar um nível de descontentamento inaceitável para qualquer um dos critérios envolvidos, achando uma solução, que mesmo sem ser ótima pode ser considerada satisfatória.

Segundo Ayala e Frank (2013) a metodologia ELECTRE sofreu diversas modificações desde sua criação, totalizando seis variantes do método:

- ELECTRE I e II trabalham com conceito de critérios simples. Enquanto ELECTRE I seleciona a melhor alternativa, ELECTRE II ordena-as;
- ELECTRE III e IV têm como objetivo ordenar as alternativas hierarquicamente. A parte III do método permite expressar graus de certeza e incerteza em suas alternativas. Podendo ser realizada uma análise de sensibilidade em ambas as variantes.
- ELECTRE TRI tem como objetivo classificar as alternativas segundo uma série de categorias pré-estabelecidas e utiliza o conceito fuzzy na entrada de dados;
- ELECTRE SIS é uma atualização do ELECTRE I, conservando de esse a formulação do problema e os conceitos básicos.

O método Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) foi desenvolvido por (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986) numa tentativa de resolver as deficiências que existem no método ELECTRE (MULLER; SPILIOPOULOU; LENZ, 2002). Esse método se adapta bem a problemas onde um número finito de ações alternativas deve ser ranqueado considerando vários, e por vezes antagônicos, critérios (GOUMAS; LYGEROU, 2000). A escolha do decisor entre duas alternativas A e B é feita com a ajuda de uma função de preferência e um vetor de pesos. Isso resulta num ranking de preferência entre todas as alternativas. No entanto, o método não contempla a possibilidade de resolução de problemas que apresentem critérios inteiramente dependentes entre si, embora possibilite a análise de sensibilidade entre seus critérios, (BORGES, 2019).

O PROMETHEE utiliza o conceito de pseudocritério para estabelecer o ranking, construindo-o segundo a pontuação recebida de cada alternativa em relação à outra, somando as forças e diminuindo as debilidades (MULLER; SPILIOPOULOU; LENZ, 2002). Segundo Ayala e Frank (2013), assim como o método ELECTRE, PROMETHEE foi modificado diversas vezes desde sua criação, sendo apresentado

até o momento oito variantes: PROMETHEE I, II, III, IV, V, VI, PROMETHEE – GAIA e F-PROMETHEE, sendo suas principais adições: componentes estocásticos, representação visual dos resultados e a possibilidade de incluir imprecisão nos dados de entrada com o fuzzy (COSTA e TEIXEIRA, 2006; GOUMAS e LYGEROU, 2000).

Existem outros métodos multicritério que, no entanto, não se enquadram exclusivamente dentro de uma dessas duas escolas (MONTEIRO, 2006). Como exemplos de métodos multicritério que contêm elementos técnicos dessas duas escolas, podem-se citar o Método MACBETH (BANA E COSTA; DE CORTE; VANSNICK, 2012).

A metodologia Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH) foi desenvolvida por Carlos António Bana e Costa (IST-UTL), Jean Marie De Corte e Jean-Claude Vansnick, ambos da Universidade de Mons-Hainau Bélgica. É um método interativo, comumente utilizado através de um software desenvolvido pelos mesmos autores, que mede o grau de preferência do tomador de decisão sobre um conjunto de alternativas e ajuda-lhe a quantificar a atratividade relativa de cada uma delas, transformando avaliações qualitativas em quantitativas, (BANA; CHAGAS, 2002).

Embora já tenha sido mencionado que outros métodos também realizam uma avaliação de coerência de julgamentos, a metodologia MACBETH faz uma verificação da coerência teórica e semântica, solucionando os problemas de inconsistência frequentemente apontados no AHP, (JANSEN; SHIMIZU; JANSEN, 2004; MELLO; GOMES; LINS, 2001).

Além disso, a metodologia MACBETH possibilita realizar uma análise de sensibilidade e robustez dos dados, (BANA; CHAGAS, 2002). Fazendo com que problemas anteriormente definidos como complexos possam ser facilmente tratados e aplicados (SCHMIDT, 1995).

Apesar dos métodos das escolas americana e europeia apresentarem a possibilidade de avaliação de incertezas, suas ferramentas e modelos ainda possuíam limitações para a utilização de variáveis não determinísticas e adoção de modelos probabilísticos, (OLIVEIRA, 2021). Para isso, alguns estudos relacionados ao desenvolvimento sustentável, realizaram a aplicação de redes bayesianas e a lógica *fuzzy* como ferramentas de análise multicritério (AFRINALDI; ZHANG, 2014; EGILMEZ et al., 2016; LEE et al., 2016, 2017; MURTHY, 1979; NANJO et al., 2014; ZHU; DESHMUKH, 2003). Diferente da lógica clássica que define se um elemento

pertence ou não a um conjunto, a lógica fuzzy nos permite construir modelos que contenham algum grau de incerteza.

As redes bayesianas (RB) são grafos acíclicos direcionados que conectam variáveis por probabilidades condicionais, onde as saídas do modelo são probabilidades calculadas usando o Teorema de Bayes (MARCOT; PENMAN, 2019). Este teorema, descreve a probabilidade de um evento baseado no acontecimento anterior de outro evento. Os resultados probabilísticos gerados pelas BNs auxiliam a análise e gerenciamento de risco (MARCOT; PENMAN, 2019).

Para o fundamental entendimento e construção das RB é necessário o esclarecimento das relações causais e a independência condicional entre variáveis. No primeiro caso, uma variável somente tem relação causal com outra caso exista uma ligação entre elas. Já no segundo caso, afirma-se que as variáveis A e C são independentes dado B, se $P(A | B) = P(A | B, C)$ (OLIVEIRA, 2021).

As RBs facilitam a representação de forma intuitiva de muitas variáveis, além de permitir a utilização de variáveis discretas e contínuas e analisar cenários probabilísticos que podem ou não apresentar interdependência com outras variáveis (OLIVEIRA, 2021; SANDIFORD, 2012).

Para o contexto do estudo, Oliveir (2021) avaliaram diversas características presentes em cada um dos métodos multicritérios citados. Os pontos avaliados foram: presença de incertezas, avaliação de cenários alternativos, existência de variáveis quantitativas e qualitativas, interdependência entre variáveis, diferentes dimensões, presença de variáveis não determinísticas. A figura 4 mostra a tabela comparativa apresentada.

Figura 4 – Métodos de tomada de decisão

	AHP	Electre	Prométhée	MAUT	Macbeth	ANP	Redes Bayesianas	Lógica Fuzzy
Entrada de dados (Inputs)								
Dados qualitativos e quantitativos	+	+	+	+	+	+	+	+
Critérios dependentes	-	-	-	-	-	+	+	+
Lidar com incerteza	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	+
Variáveis não determinísticas	-	-	-	-	-	-	+	+
Modelos probabilísticos	-	-	-	-	-	-	+	+
Saída de dados (Outputs)								
Ranking de alternativas	+	+	+	+	+	+	+	+
Avaliação de cenários	+	-	-	+	+	+	+	+
Interface do decisor versus método								
Software gratuito	+	+	+	+	+	+	+	+
Publicações científicas	+	+/-	-	+/-	+	+	+	+
Aplicado a futuros estudos	+	-	-	-	-	-	+	+/-

Fonte: Oliveira (2021).

Como é possível observar, o desempenho das redes bayesianas e lógica fuzzy teve vantagem nas entradas e saídas de dados em relação aos demais modelos multicritérios. Somado a isto, as RBs além de atender os requisitos do estudo, também possui maior flexibilidade e um processo de construção da rede mais interativo (OLIVEIRA, 2021)

3. MODELO PROPOSTO EM REDES BAYESIANAS PARA APOIO À TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE EMBALAGENS SUSTENTÁVEIS

Neste capítulo é apresentada a aplicação do modelo em redes bayesianas para a tomada de decisão para seleção de embalagens. Este modelo é a proposta original desenvolvida por Oliveira (2021), o qual apresenta um modelo genérico em redes bayesianas para apoio a tomada de decisão.

Assim, a descrição do modelo de tomada de decisão para seleção de embalagens será realizada, por meio de uma revisão das dimensões, variáveis e componentes utilizados por Oliveira (2021), seguido pelas alterações sugeridas para seleção de embalagens sustentáveis.

3.1. DESCRIÇÃO DO MODELO

Assim como apresentado em tópicos anteriores, é possível notar uma grande diversidade de estudos e métodos aplicados para o desenvolvimento sustentável. Entretanto, assim como apontado por Tao e Yu (2018) e Peças (2016) é necessário que esses modelos sejam mais práticos e menos conceituais. Contudo, a complexidade do processo decisório Buchert et al. (2015) e a falta de dados concretos, principalmente nas fases iniciais do produto, dificultam o desenvolvimento desses modelos (DROGUETT; MOSLEH, 2006).

Avaliando essa necessidade do mercado, Oliveira (2021) propuseram em seu estudo um modelo integrado de apoio à tomada de decisão para o desenvolvimento de produtos e tecnologias sustentáveis. Para isso, o modelo utiliza redes bayesianas, o que permite incorporar a incerteza e a complexidade do processo decisório de forma holística e integrada, tornando-o mais eficiente do que as abordagens atuais.

Para a aplicação do modelo, assim como sugerido por Oliveira (2021) em seu estudo, o software utilizado foi o GeNIe Academic Version 3.0.5703.0, desenvolvido pela Universidade de Pittsburgh (BAYESFUSION, 2020).

Quatro tipos de variáveis foram utilizadas:

- Variáveis booleanas que podem ser representadas como verdadeiro ou falso;
- Variáveis contínuas que utilizam distribuições probabilísticas e médias para avaliar incertezas;
- Variáveis fixas cujos valores são constantes;
- Variáveis rotuladas que podem ter mais de um estado discreto;

As variáveis integram os critérios de avaliação, descritos como dimensões. Para isso, o modelo se baseia nas dimensões ambiental, econômica e social apresentadas na disciplina científica de Life Cycle Engineering (LCE). LCE é uma abordagem de engenharia orientada para a sustentabilidade que considera os amplos impactos técnicos, ambientais e econômicos das decisões sobre o ciclo de vida de um produto, (PEÇAS et al., 2016).

A metodologia utiliza a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para avaliar os impactos ambientais através de variáveis ambientais e ferramentas descritas na ISO14040/44, Custo do Ciclo de Vida (LCC) para os impactos econômicos e o Ciclo de Vida Social (SLC) para os impactos sociais, através de informações sobre saúde e segurança (HAUSCHILD; DREYER; JØRGENSEN, 2008).

Quadro 2 – Dimensões e variáveis LCE utilizadas no modelo

Dimensões	Ferramentas	Exemplo de Variáveis
ACV - Ambiental	ISO14040/44	1. Acidificação do ar; 2. Eutrofização da água; 3. Pegada de carbono; 4. Energia;
LCC - Custo	Fluxo de Caixa	5. Custo unitário;
SLC - Social	Informações de segurança e saúde	6. Acidentes ocupacionais.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

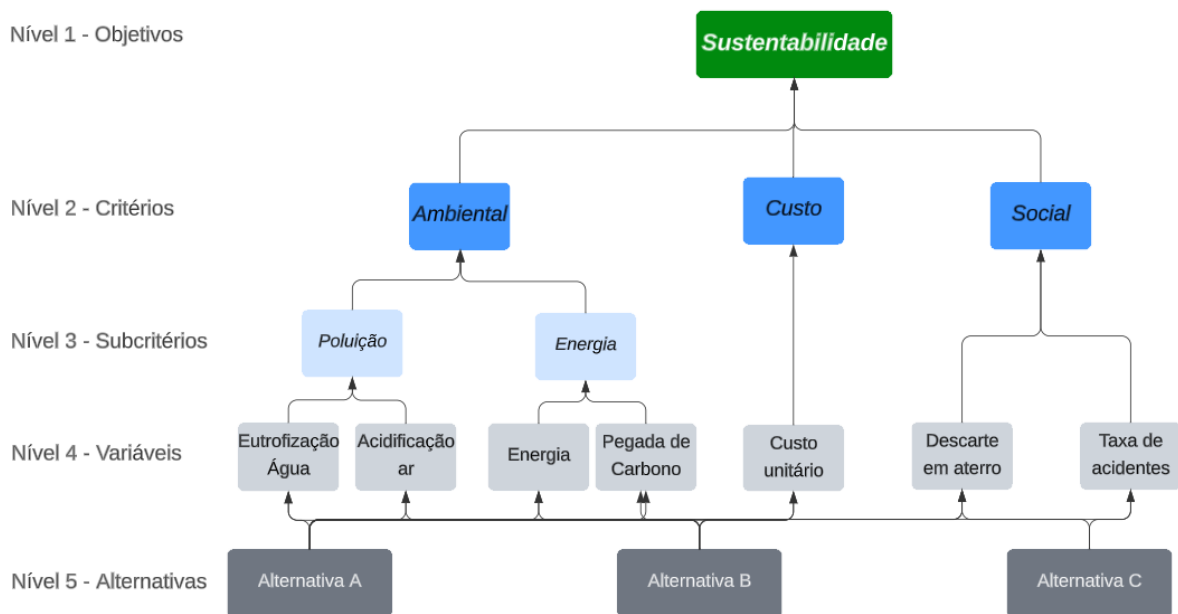
Além disso, foi incorporada à dimensão social da LCE tradicional a variável de reciclabilidade do material apresentada no método Seragini, (NEGRÃO; CAMARGO, 2008). No contexto deste estudo, devido à falta de dados, foi decidido não incorporar

as dimensões de tecnologia e confiabilidade propostas por Oliveira (2021) no modelo analisado.

Um peso foi atribuído para cada dimensão avaliada, de modo que a soma desses pesos seja sempre igual a 100%. Essa escolha permite que cada dimensão tenha uma influência proporcional no resultado, garantindo que nenhum aspecto seja negligenciado.

Ao estabelecer pesos para as dimensões avaliadas, o autor pôde levar em consideração a relevância de cada uma delas em relação ao objetivo do modelo. Além disso, a definição de pesos permite que o modelo seja facilmente adaptável a diferentes cenários, caso seja necessário ajustar a importância relativa de cada dimensão.

Figura 5 – Descrição do modelo utilizado



Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

3.2. DETALHAMENTO DAS DIMENSÕES E VARIÁVEIS

A partir da contextualização das dimensões e software, serão apresentadas as variáveis e pesos que compõem cada uma das dimensões do modelo proposto. As variáveis foram selecionadas com base na revisão da literatura e nas entrevistas com

especialistas do setor. Vale destacar que a escolha dessas variáveis segue a mesma metodologia utilizada por Oliveira (2021), garantindo assim a consistência e a validade do estudo. Para tanto, foi desenvolvida uma tabela padronizada, conforme a Tabela 1. Cada tabela terá o nome da variável, a tabela probabilística de nós (TPN) e a descrição da variável, assim como apresentado por (OLIVEIRA, 2021). Os modelos de distribuição probabilística utilizados para representar a incerteza das variáveis, são os mesmos que os sugeridos por (OLIVEIRA, 2021).

Tabela 1 – Tabela padronizada para descrição de variável do modelo.

	TPN: tabelas probabilísticas de nós que podem ser representadas por tabelas estimadas ou fórmulas.
Variável	
	Descrição: texto referência para detalhar a variável, seu significado e referência, caso seja necessário.

Fonte: Oliveira (2021).

O detalhamento iniciará pela função objetivo, apresentado na tabela 2, que determinará a sustentabilidade das opções e em sequência envolverá as demais dimensões. Como exposto na figura 6, essa função objetivo tem relação direta com as dimensões e seus respectivos pesos de acordo com o cenário analisado: custo unitário, social e ambiental.

Tabela 2 – Tabela probabilística da sustentabilidade no cenário custo.

		Ambiental				Social			
		Sim		Não		Sim		Não	
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
Sustentabilidade	Sim	1	0,8	0,5	0,3	0,7	0,5	0,2	0
	Não	0	0,2	0,5	0,7	0,3	0,5	0,8	1

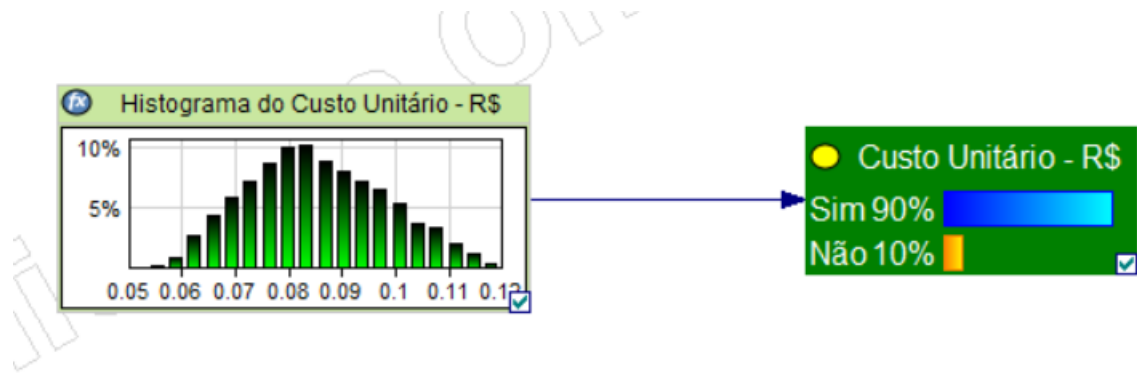
Descrição: variável probabilística que representa a probabilidade de um produto ser sustentável

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

Já a tabela 3, apresenta os critérios probabilísticos para a formação da dimensão custo (LCC). Para fins de aproximação, a fim de lidar com a incerteza dessa

dimensão, principalmente nas fases iniciais do PDP, foi utilizado uma faixa de acurácia de -30% a 50 (OLIVEIRA, 2021; SARAVI et al., 2008).

Figura 6 – Dimensão custo



Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

Tabela 3 – Variáveis da dimensão custo.

	TPN	Baixo	Médio	Alto	Crítico
	Sim	90%	70%	40%	25%
	Não	10%	30%	60%	75%
Custo Unitário - R\$	Descrição: Para análise comparativa entre distintas opções no PDP, o presente estudo adotará uma técnica de discretização de igual largura. Para este estudo, serão utilizados quatro intervalos: Baixo, Médio, Alto e Crítico, os quais serão definidos com base em informações de mercado ou opinião de especialistas.				
	TPN	$Custo = \text{Triangular}((1-30\%)*M1, M1, (1+50\%)* M1)$			
Histograma do Custo Unitário – R\$	Descrição: Uma maneira de garantir que o valor mínimo e máximo sejam incluídos na distribuição de custos ao longo do ciclo de vida é utilizando uma distribuição triangular. Isso permitirá que os valores intermediários sejam gerados de forma probabilística, possibilitando a obtenção de uma média M1 confiável, conforme sugerido por (SARAVI et al., 2008).				

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

A mensuração da dimensão Ambiental no modelo de tomada de decisão adotado é composta pelas variáveis Poluição e Energia. A variável Poluição considera os impactos da Eutrofização Água em kg de PO₄e e da Acidificação ar em kg de SO₂e. Já a variável Energia é composta pelas variáveis Energia em MJ e Pegada de Carbono em kg de CO₂. Por fim, a variável Pegada de Carbono em kg de CO₂ é calculada considerando os Cenários Externos. As variáveis selecionadas foram as mesmas adotadas pelo autor do modelo para garantir a consistência na comparação entre as diferentes opções no processo de desenvolvimento de produto.

Figura 7 – Dimensão ambiental



Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

Com o objetivo de incorporar a incerteza na avaliação dos resultados, o estudo utilizou os parâmetros estabelecidos por (GUO; MURPHY, 2012) em uma análise de

ciclo de vida (LCA) para estimar os valores mínimos e máximos das variáveis. Os valores médios das variáveis Eutrofização Água - kg PO₄e, Acidificação ar - kg SO₂e, Energia – MJ e Carbono – kg CO₂e foram obtidos a partir da ferramenta GaBi. A distribuição probabilística triangular do software GeNie foi adotada para delimitar os extremos, utilizando a fórmula triangular (mínimo, moda, máximo). Para cada uma dessas variáveis, uma pré-discretização de igual largura, com três intervalos (Baixo, Médio, Alto), foi realizada, conforme a metodologia proposta por (CATLETT, 1991).

Tabela 4 – Variáveis da dimensão ambiental.

Ambiental	Energia		Sim		Não	
	Poluição		Sim	Não	Sim	Não
	Sim	Não	95%	55%	40%	5%
		Não	5%	45%	60%	95%

Descrição: variável probabilística ambiental que é afetada a priori pelas variáveis Energia e Poluição.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

Tabela 5 – Variáveis energia e poluição

Energia	Energia - MJ		Baixo			Médio			Alto		
	Pegada de CO ₂ e - kg		Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
	Sim	Não	95%	90%	70%	80%	35%	15%	70%	10%	5%
		Não	5%	10%	30%	20%	65%	85%	30%	90%	95%

Descrição: a probabilidade posterior referente a variável Energia depende das variáveis Pegada de Carbono – kg CO₂e e Energia – MJ

Poluição	Eutrofização		Baixo			Médio			Alto		
	Água - kg		Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
	Acid. ar - kg SO ₂ e		95%	90%	70%	80%	35%	15%	70%	10%	5%
		Não	5%	10%	30%	20%	65%	85%	30%	90%	95%

Descrição: a probabilidade posterior da variável Poluição depende da Acidificação ar - kg SO₂e e Eutrofização Água - kg PO₄e e das suas respectivas discretizações.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

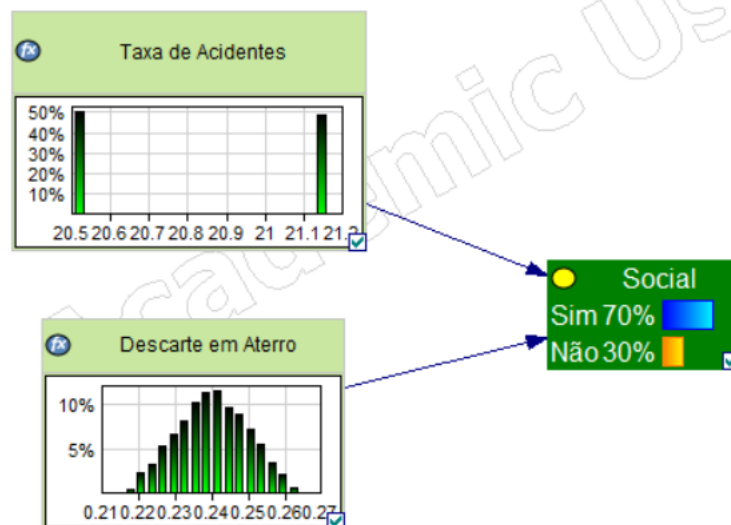
Tabela 6 – Variáveis medidas para cálculo de energia e poluição

Energia - MJ	TPN
	En=Triangular (51% * E, E, 168% * E)
Descrição: variável que representa o consumo energético	
Pegada de Carbono – kg CO2e	TPN
	CO2e= 96%*Triangular (51% * CO2, CO2, 168% * CO2)
Descrição: representa as emissões de CO2	
Acidificação ar - kg SO2e	TPN
	SO2e=Triangular (62%* SO2, SO2,155%* SO2)
Descrição: variável de impacto	
Eutrofização Água - kg PO4e	TPN
	PO4e=Triangular (64%*PO, PO,157%*PO)
Descrição: variável relativa à poluição da água	

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

A dimensão social do LCE requer indicadores e métodos mais sólidos (OLIVEIRA, 2021; FINKBEINER et al., 2010). Nesse sentido, Oliveira (2021) propõe a utilização de uma variável ligada ao número de acidentes de trabalho do setor produtivo para representar quantitativamente essa dimensão no modelo.

Figura 8 – Dimensão social



Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

Para isso, foi utilizada a incidência de incapacidade temporária (por 1.000 vínculos). Segue abaixo, as etapas desenvolvidas para obtenção dos dados:

1. Análise do perfil da empresa responsável pela fabricação do produto e verificação do CNAE correspondente (IBGE, 2023).
2. Levantamento do número incidência de incapacidade temporária (por 1.000 vínculos) de dois anos consecutivos de acordo os dados do CNAE referentes às tecnologias que serão comparadas (FAZENDA, 2021).

Tabela 7 – Variáveis sociais

Social	TPN - Incidência de incapacidade temporária Descarte em aterro	Baixo			Médio			Alto		
		Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
		Sim	90%	70%	60%	80%	60%	50%	70%	50%
Não	10%	30%	40%	20%	40%	50%	30%	50%	90%	

Descrição: são formadas combinações entre as opções possíveis com valores estimados para fins ilustrativos da presente tese.

TPN: $Tx_acidentes = If(Bernoulli(0.5)=0, S01, S02)$

Taxa de acidentes **Descrição:** considera-se que serão obtidos pelo menos os valores relativos aos dois últimos anos, respectivamente S01 e S02. Em seguida pressupõe-se uma distribuição discreta de Bernoulli (LUVALLE; LEFEVRE; KANNAN, 2004)

Descarte em aterro **TPN:** $Descarte = Triangular((1-10\%)*Descarte, Descarte, (1+10\%)* Descarte)$

Descrição: uma maneira de garantir que o valor mínimo e máximo sejam incluídos na distribuição de descarte do ciclo de vida é utilizando uma distribuição triangular. Isso permitirá que os valores intermediários sejam gerados de forma probabilística, possibilitando a obtenção de uma média confiável, conforme sugerido por (SARAVI et al., 2008).

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

4. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

O modelo gerado foi aplicado em um estudo de caso da indústria de higiene bucal, para a seleção e desenvolvimento de tubos de pasta de dente com base no artigo de (MALEA et al., 2021). O objetivo de Malea et al. (2021) foi investigar as desvantagens da embalagem de pasta de dentes e propor uma nova solução que elimine o impacto ambiental que os tubos tradicionais causam, além de ser amigável ao usuário. Para isso, Malea et al. (2021) apresentou a proposta alternativa aos tubos de creme dental convencionais e seus respectivos dados de LCE apresentados na tabela 9. Entretanto, o autor não utilizou um modelo multicritério capaz de analisar objetivamente as propostas abordadas no estudo.

Segundo Malea et al. (2021), em 2012 na Europa essa indústria já era avaliada em cinco bilhões de dólares além projetar altas no mercado asiático de 4% ao ano. Apesar deste fato, o modelo dos tubos tradicionais encontrados nos supermercados foi desenvolvido em 1892, e desde então permanece sendo a embalagem dominante.

Embora pequenas inovações tenham sido criadas no setor, a transição de tubos de alumínio para laminados de plástico e alumínio apresentou benefícios de desempenho, mas trouxe dificuldades na reciclagem devido à combinação desses materiais, além da contribuição para danos ambientais devido a extração da bauxita para a produção do alumínio, (MALEA et al., 2021). A reciclagem eficiente desses tubos ainda não é amplamente viável, resultando em desperdício de recursos valiosos. Além disso, a presença de resíduos de pasta de dente nos tubos dificulta ainda mais o processo de reciclagem.

Portanto, o desafio de Malea et al. (2021) foi de repensar o design dessas embalagens e buscar reduzir seu impacto ambiental, considerando a separação eficiente de materiais e a extensão do uso dos produtos após a coleta e reciclagem.

Para isso, foram elencados alguns requisitos para construção desta nova embalagem, levando em consideração quatro tópicos: funcionalidade, ergonomia, sustentabilidade e estética.

Tabela 8 – Requisitos de construção da embalagem

Funcionalidade	Conservar o produto, possibilidade de controlar a dosagem, trava de segurança, portabilidade para viagem, modularidade para armazenamento e tampa “abre e fecha”.
Ergonomia	Reduzir força necessária para acionamento, possibilidade de usar com somente uma mão, facilidade de abertura, uso intuitivo, indicador de quantidade residual e pegada ergonômica.
Sustentabilidade	Evitar excesso de embalagem, uso de materiais sustentáveis, reciclabilidade, reusabilidade, reduzir desperdício de produto e facilidade de montagem e desmontagem.
Estética	Harmonia com ambiente, diferenciação de competidores, estética moderna e gerar sensação de pureza e refrescância.

Fonte: Adaptado de Malea et al. (2021).

Embora Malea et al. (2021) tenha apresentado em seu estudo quatro modelos diferentes, apenas um foi selecionado como proposta final.

Figura 9 – Conceito proposto final



Fonte: Malea et al. (2021).

Todos os conceitos propostos são compostos por 4 elementos básicos. A tampa, o recipiente interno que contém a pasta de dentes, o invólucro exterior que protege o produto e o botão deslizante que força a pasta de dentes a sair do recipiente interior. Estas partes são removíveis de modo a facilitar o processo de reciclagem, (MALEA et al., 2021).

Todas as peças individuais dos conceitos propostos foram concebidas a partir de materiais plásticos. Entre os principais materiais selecionados para fabricação das peças estão o polipropileno (PP) e polietileno (PE). Para estimar os parâmetros da dimensão ambiental, Malea et al. (2021) realizou uma análise de sustentabilidade no software SolidWorks, particularmente na aplicação SolidWorks Sustainability. O custo unitário também e taxa de destinação para aterro também foram estimados por (MALEA et al., 2021). Já as incidências de incapacidade foram calculadas seguindo o passo a passo proposto por (OLIVEIRA, 2021). Os parâmetros para cada alternativa proposta estão resumidos na tabela 9.

Tabela 9 – Dados de cada embalagem

Material	Ambiental				Custo	Social		
	Acidificação do ar - kg SO ₂ e	Pegada de Carbono – kg CO ₂ e	Eutrofização do Água - kg PO ₄ e	Energia - MJ	Custo Unitário - USD	Incidência de Incapacidade Temporária (2021)	Incidência de Incapacidade Temporária (2020)	Destinação para aterro
PP	0,000318	0,1	0,00004	2,568	0,07	20,52	21,15	51%
PE	0,000412	0,137	0,00007	2,648	0,08	20,52	21,15	24%
Atual	0,003449	0,189	0,002	2,3	0,254	13,57	14,03	84%

Fonte: Adaptado de Malea et al. (2021)

Tabela 10 – Variáveis ambientais do modelo em PP

Variável	Valor	Fórmula
Energia - MJ	2,568	En=Triangular (51% * 2,568 , 2,568 , 168% * 2,568)
Pegada de Carbono – kg CO ₂ e	0,1	CO ₂ e= 96%*Triangular (51% * 0,1 , 0,1 , 168% * 0,1)
Acidificação do ar - kg SO ₂ e	0,000318	SO ₂ e=Triangular (62%* 0,000318 , 0,000318 , 155%* 0,000318)
Eutrofização do Água - kg PO ₄ e	0,00004	PO ₄ e=Triangular (64% * 0,00004 , 0,00004 , 157% * 0,00004)

Fonte: Autor (2023).

Tabela 11 – Variáveis ambientais do modelo em PE

Variável	Valor	Fórmula
Energia - MJ	2,648	En=Triangular (51% * 2,648 , 2,648 , 168% * 2,648)
Pegada de Carbono – kg CO2e	0,137	CO2e= 96%*Triangular (51% * 0,137 , 0,137 , 168% * 0,137)
Acidificação ar - kg SO2e	0,000412	SO2e=Triangular (62%* 0,000412 , 0,000412 ,155%* 0,000412)
Eutrofização Água - kg PO4e	0,00007	PO4e=Triangular (64% * 0,00007 , 0,00007 ,157% * 0,00007)

Fonte: Autor (2023).

Tabela 12 – Variáveis ambientais do modelo atual

Variável	Valor	Fórmula
Energia - MJ	2,3	En=Triangular (51% * 2,3 , 2,3 , 168% * 2,3)
Pegada de Carbono – kg CO2e	0,189	CO2e= 96%*Triangular (51% * 0,189 , 0,189 , 168% * 0,189)
Acidificação ar - kg SO2e	0,0003449	SO2e=Triangular (62%* 0,0003449 , 0,0003449 ,155%* 0,0003449)
Eutrofização Água - kg PO4e	0,002	PO4e=Triangular (64% * 0,002 , 0,002 ,157% * 0,002)

Fonte: Autor (2023).

Tabela 13 – Variável custo dos modelos

Modelo	Variável	Valor	Fórmula
PP	Histograma do Custo	0.07	Custo= Triangular(((1-30%)* 0,07 , 0,07 , (1+50%)* 0,07)
PE	Histograma do Custo	0.08	Custo= Triangular(((1-30%)* 0,08 , 0,08 , (1+50%)* 0,08)
Atual	Histograma do Custo	0.254	Custo= Triangular(((1-30%)* 0,254 , 0,254 , (1+50%)* 0,254)

Fonte: Autor (2023).

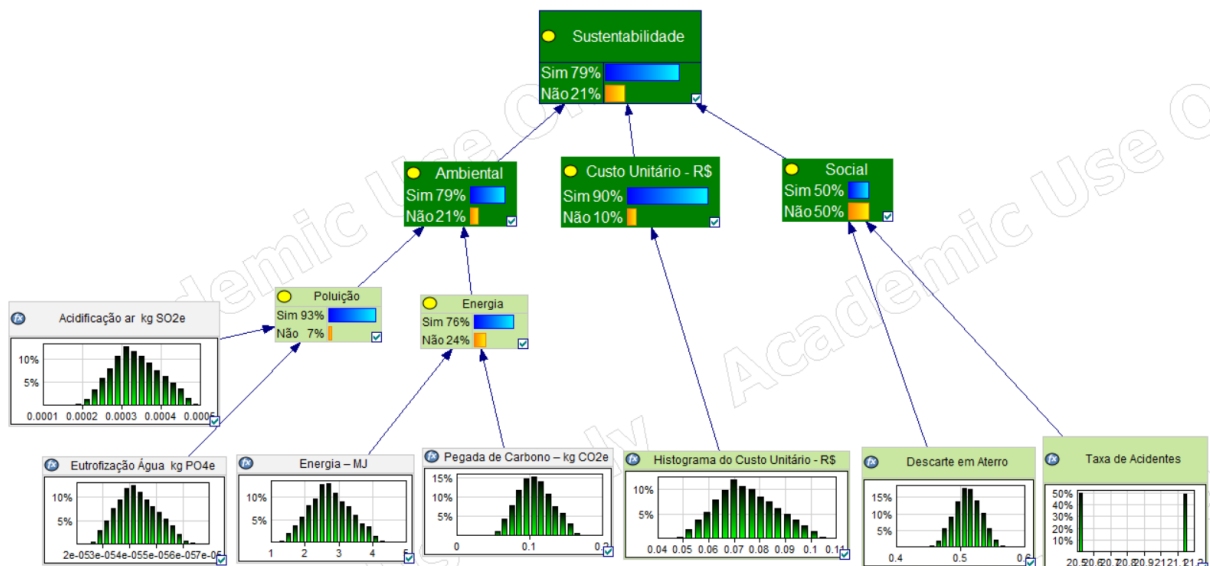
Tabela 14 – Variáveis sociais dos modelos

Modelo	Variável	Valor	Fórmula
PP	Índice de acidentes	20.52 e 21.15	$Tx_acidentes=If(Bernoulli(0.5)=0, 20.52, 21.15)$
	Destinação para aterro	51%	$Descarte= Triangular((1-10\%)*51\%, 51\%,(1+10\%)* 51\%)$
PE	Índice de acidentes	20.52 e 21.15	$Tx_acidentes=If(Bernoulli(0.5)=0, 20.52, 21.15)$
	Destinação para aterro	24%	$Descarte= Triangular((1-10\%)*24\%, 24\%,(1+10\%)* 24\%)$
Atual	Índice de acidentes	13.57 e 14.03	$Tx_acidentes=If(Bernoulli(0.5)=0, 13.57, 14.03)$
	Destinação para aterro	84%	$Descarte= Triangular((1-10\%)*84\%, 84\%,(1+10\%)* 84\%)$

Fonte: Autor (2023).

Após realizar a análise das simulações a partir das estimativas das variáveis apresentadas anteriormente, procedeu-se à entrada de dados no software GeNIe com o intuito de avaliar as opções disponíveis: modelo convencional de tubos (atual), nova proposta em polipropileno (PP) e nova proposta em polietileno (PE). O resultado da simulação no software GeNIe está apresentada na figura 11. Nela podemos verificar como os grafos acíclicos direcionados da rede bayesiana fazem inferências sobre suas dimensões e resultado geral de sustentabilidade de cada alternativa.

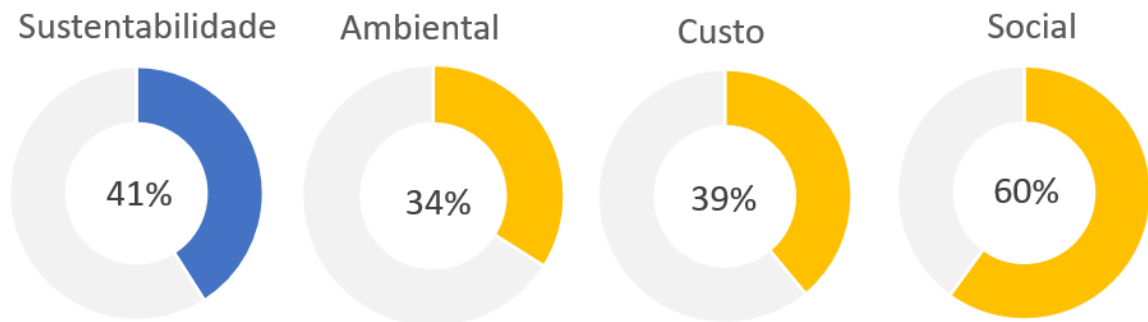
Figura 10 – Resultado da simulação GeNIe



Fonte: Autor (2023).

Em seguida, os dados foram compilados no Microsoft, e usados para desenvolver gráficos representados na figura 12.

Figura 11 – Gráfico de resultados



Fonte: Autor (2023).

Os cenários simulados foram: custo, impacto social e preservação ambiental. Assim, a distribuição de pesos diferentes em cada cenário pode apresentar a opção mais viável ao gestor de acordo com sua necessidade do projeto.

4.1 CENÁRIO CUSTO

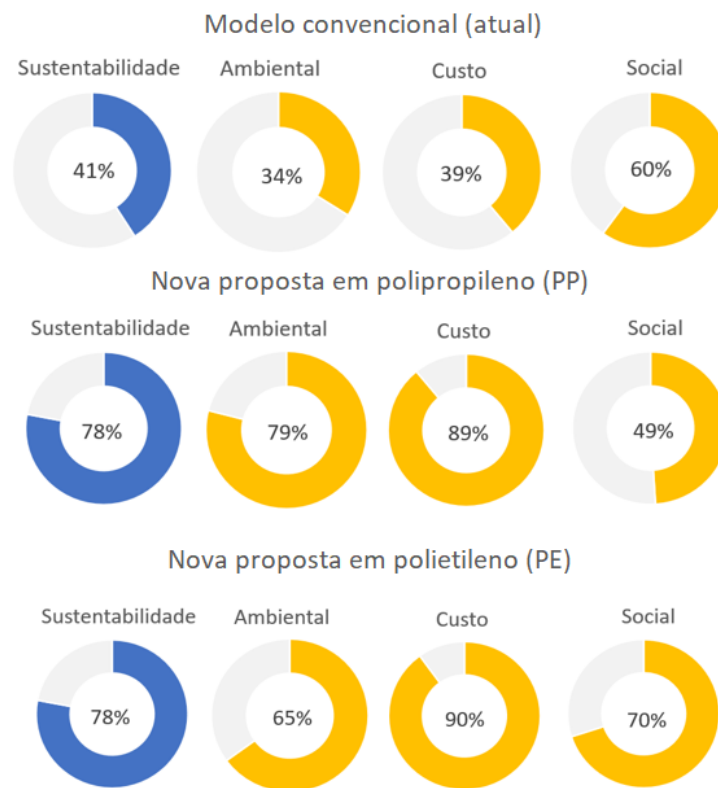
Nesta simulação é considerada uma influência maior da dimensão custo para a tomada de decisão, sendo custo (50%), em seguida a ambiental (30%) e, baixa importância a dimensão social (20%). Para as variáveis foram considerados os valores fornecidos por Malea et al. (2021) em seu estudo de caso. Os pesos aplicados a cada dimensão são arbitrários e devem ser definidos pelos tomadores de decisão relacionados ao desenvolvimento do produto.

Com base na análise da figura 13, observa-se que tanto as opções em PP quanto em PE demonstram uma avaliação geral de sustentabilidade superior em comparação com o modelo atual. No entanto, é especialmente notável ao examinarmos a dimensão ambiental e o custo do modelo em PP, sugerindo que essa opção pode oferecer uma vantagem competitiva significativa nesse aspecto. Por outro lado, devido à grande quantidade desse material destinada a aterros sanitários, a

dimensão social apresenta o pior resultado em comparação com os outros dois modelos.

Com base na análise dos dados e considerando a perspectiva do tomador de decisões, pode-se afirmar que, para esse cenário específico, a melhor opção seria a nova proposta em PE, pois ela se destaca na dimensão custo e apresenta resultados equilibrados quando consideradas as dimensões social e ambiental em conjunto.

Figura 12 – Gráfico de resultados cenário custo



Fonte: Autor (2023).

4.2 CENÁRIO IMPACTO SOCIAL

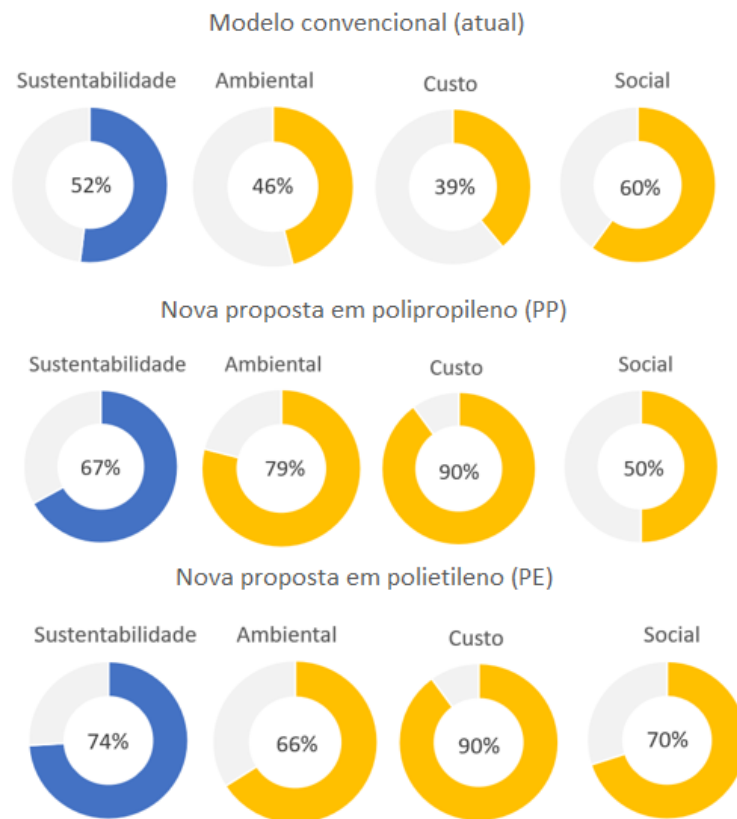
Nesta simulação é considerada uma influência maior da dimensão social para a tomada de decisão, sendo social (50%), em seguida a custo (30%) e, baixa importância a dimensão ambiental (20%). Para as variáveis foram considerados os valores fornecidos por Malea et al. (2021) em seu estudo de caso.

Com base na análise da figura 14, observa-se que diferente do cenário anterior, a opção em PE tem grande destaque na avaliação geral de sustentabilidade em

comparação com as outras opções. No entanto, é notável ao examinarmos a dimensão ambiental que a opção em PE possui desvantagens quando comparadas com o PP.

Com base na análise dos dados e considerando a perspectiva do tomador de decisões, pode-se afirmar que, para esse cenário específico, a melhor opção seria a nova proposta em PE, assim como no cenário anterior, pois ela se destaca na dimensão social e custo que possuem maior peso no modelo.

Figura 13 – Gráfico de resultados cenário impacto social



Fonte: Autor (2023).

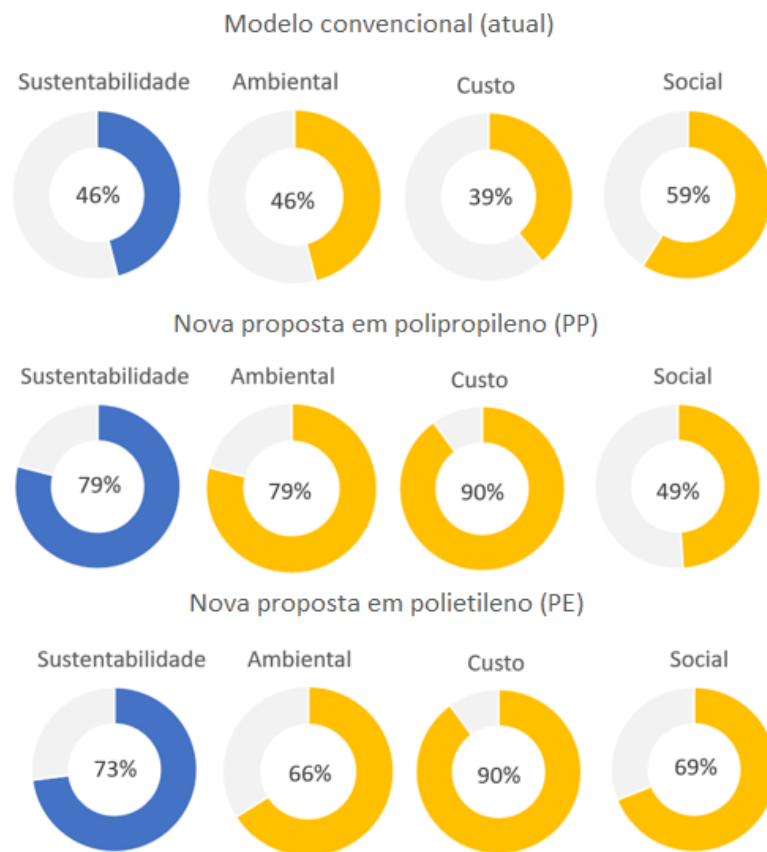
4.3 CENÁRIO AMBIENTAL

Nesta simulação é considerada uma influência maior da dimensão ambiental para a tomada de decisão, sendo ambiental (60%), em seguida a custo (30%) e, baixa importância a dimensão social (10%). Para as variáveis foram considerados os valores fornecidos por Malea et al. (2021) em seu estudo de caso.

Com base na análise da figura 15, observa-se que diferente do cenário em que o impacto social tem maior peso, a opção em PP tem grande destaque na avaliação geral de sustentabilidade em comparação com as outras opções. É notável que este resultado só foi possível devido ao peso atribuído na dimensão ambiental.

Com base na análise dos dados e considerando a perspectiva do tomador de decisões, pode-se afirmar que, para esse cenário específico, a melhor opção seria a nova proposta em PP, pois ela se destaca na dimensão ambiental

Figura 14 – Gráfico de resultados cenário ambiental



Fonte: Autor (2023).

4.4 RESULTADOS GERAIS

A tabela 15 resume os dados da variável Sustentabilidade do modelo aplicados para todos os cenários tanto para a opção PP, PE, quanto para a modelo convencional atual. Desta forma, é possível observar que tanto o PE quanto o PP apresentam o mesmo resultado no cenário custo e se diferenciam no cenário social e ambiental.

Dessa forma, a escolha de um dos dois modelos deve levar em consideração qual critério de maior relevância para o tomador de decisão. Caso este critério seja direcionado para ações sociais, a opção em PE é mais adequada. Caso o critério ambiental tenha maior relevância, a opção em PP é a que deve ser escolhida para continuidade do projeto.

Tabela 15 – Probabilidade de ser sustentável

Simulação	PP	PE	Atual
Cenário custo	78%	78%	41%
Cenário social	67%	74%	52%
Cenário ambiental	79%	73%	46%

Fonte: Elaboração própria (2023).

A tabela 15 oferece uma síntese e o suporte necessário, juntamente com os quadros anteriores e as simulações realizadas, para sustentar a continuidade do projeto de desenvolvimento de novos modelos de tubos de creme dental.

Contudo, essa decisão deve ser seguida de um plano de ação para avaliar o impacto no dia a dia do consumidor durante a utilização dessa nova proposta. Já que existem variáveis como a usabilidade do usuário, percepção de valor e outras características que não estão inclusas no modelo utilizado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, exploramos os desafios enfrentados no processo de desenvolvimento de embalagens, destacando a sua evolução de um mero custo de produção para desempenhar um papel essencial no desenvolvimento de produtos. Tornou-se evidente que as embalagens têm se tornado um critério importante na decisão de compra, especialmente quando se trata de embalagens sustentáveis.

A revisão da literatura deixou evidente que atender a esses requisitos do consumidor final geralmente demandam um processo extenso e complexo. Além disso, a ausência de modelos qualitativos que sustentem a tomada de decisão também contribui para que isso represente um desafio significativo para os gestores. Uma vez que as decisões envolvem incertezas, múltiplos cenários e variáveis inter-relacionadas.

Dentro deste contexto e baseado no estudo proposto por Oliveira (2021), uma aplicação do modelo em redes bayesianas foi realizada com as devidas adaptações a um estudo de caso para avaliar a sustentabilidade de uma nova proposta de tubo de creme dental. Permitindo a inferência de probabilidades condicionais e cenários contendo incertezas. Foram incorporadas ao modelo em redes bayesianas as variáveis e dimensões presentes na LCE, a variável “descarte em aterro” na dimensão social e os pesos atribuídos a cada dimensão a partir do cenário analisado.

Desta forma, o modelo possibilitou analisar de forma objetiva propostas de novos modelos de embalagens que anteriormente seguiriam somente o critério do tomador de decisão, sem a viabilidade de análise de diversos cenários. Outra característica relevante, está vinculada à incorporação de incertezas no processo decisório por meio da utilização da teoria probabilística (OLIVEIRA, 2021). O modelo também pode ser facilmente adaptado utilizando o software GeNie, permitindo a inclusão ou modificação de variáveis de acordo com o contexto dos estudos.

A aplicação do modelo em um projeto real demonstrou sua facilidade de aplicação e adaptação, tanto em ambiente acadêmico quanto empresarial. Porém, devido a limitações do software utilizado, é sugerido que para criar uma visualização mais clara e objetiva dos dados, o responsável se utilize de outras plataformas como Microsoft Power BI ou Microsoft Excel para a construção de indicadores visuais.

Além disso, para o modelo, algumas melhorias podem ser priorizadas, como: buscar o auxílio de especialistas para revisão das tabelas probabilísticas de nós, acrescentar variáveis apresentadas durante a revisão de literatura como às do método Seragini, acréscimo das dimensões confiabilidade e tecnologia utilizadas por Oliveira (2021), validação do modelo junto à um especialista em desenvolvimento de embalagens e produtos e revisão das distribuições probabilísticas utilizadas para construção de variáveis.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. R. X.; ALVES, J. M. Selection of best location for industrial installation using analytic hierarchy process (AHP). **Producao**, v. 25, n. 1, p. 13–26, 2015.
- ARÊAS, M. et al. Embalagem: uma visão além dos aspectos tangíveis. **XXIX encontro nacional de engenharia de produção**, 2009.
- AYALA, N. F.; FRANK, A. G. Métodos de análise multicritério : uma revisão das forças e fraquezas. p. 1–11, 2013.
- BANA, C. A.; CHAGAS, M. P. A career choice problem An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative.pdf. **Working Paper LSEOR**, n. 0, p. 1–16, 2002.
- BANA E COSTA, C. A.; DE CORTE, J. ; VANSNICK, J. C. MACBETH. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 11, 2012.
- BORGES, L. Modelo Multicritério para Alocação de Recursos no Setor Elétrico com base no PROMETHEE V. 2019.
- BOZ, Z.; KORHONEN, V.; SAND, C. K. Consumer Considerations for the Implementation of Sustainable Packaging: A Review. **Sustainability**, v. 12, n. 6, p. 2192, 12 mar. 2020.
- BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The Promethee method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 228–238, 1986.
- BUCCI, D. Z.; FORCELLINI, F. A. Sustainable packaging design model. **Complex Systems Concurrent Engineering: Collaboration, Technology Innovation and Sustainability**, p. 363–370, 2007.
- BUCHERT, T. et al. Multi-criteria Decision Making as a Tool for Sustainable Product Development – Benefits and Obstacles. **Procedia CIRP**, v. 26, p. 70–75, 1 jan. 2015.
- CERDAS, F.; THIEDE, S.; HERRMANN, C. Integrated Computational Life Cycle Engineering — Application to the case of electric vehicles. **CIRP Annals**, v. 67, n. 1, p. 25–28, 1 jan. 2018.
- DROGUETT, E. L.; MOSLEH, A. Análise bayesiana da confiabilidade de produtos em desenvolvimento. **Gestão & Produção**, v. 13, n. jan-abri 2006, p. 57–69, 2006.
- ESCURSELL, S.; LLORACH-MASSANA, P.; RONCERO, M. B. Sustainability in e-commerce packaging: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124314, jan. 2021.
- FINK, L. **Larry Fink’s Letter to CEOs**. Disponível em: <<https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/larry-fink-ceo-letter>>. Acesso em: 5 dez. 2022.

FINKBEINER, M. et al. Towards Life Cycle Sustainability Assessment. **Sustainability** **2010**, Vol. 2, Pages 3309-3322, v. 2, n. 10, p. 3309–3322, 22 out. 2010.

FINNVEDEN, G. et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 1, p. 1–21, 1 out. 2009.

BAYESFUSION. **GeNle Modeler – BayesFusion**. , 2020. Disponível em: <<https://www.bayesfusion.com/genie/>>. Acesso em: 14 nov. 2022

GOUMAS, M.; LYGEROU, V. An Extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects. **European Journal of Operational Research**, v. 123, n. 3, p. 606–613, 16 jun. 2000.

GUO, M.; MURPHY, R. J. LCA data quality: sensitivity and uncertainty analysis. **The Science of the total environment**, v. 435–436, p. 230–243, 1 out. 2012.

HAKOVIRTA, M.; DENUWARA, N. How COVID-19 Redefines the Concept of Sustainability. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3727, 4 maio 2020.

HANSEN, C. T.; ANDREASEN, M. M. A mapping of design decision-making. **DS 32: Proceedings of DESIGN 2004, the 8th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia**, p. 1409–1410, 2004.

HAUSCHILD, M. Z.; DREYER, L. C.; JØRGENSEN, A. Assessing social impacts in a life cycle perspective-Lessons learned. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 57, n. 1, p. 21–24, 2008.

HONKALA, S.; HÄMÄLÄINEN, M.; SALONEN, M. Comparison of Four Existing Concept Selection Methods. **DS 42: Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France, 28.-31.07.2007**, p. 125- 126 (exec. Summ.), full paper no. DS42_P_317, 2007.

HOWARD, R. A. The Foundations of Decision Analysis. **IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics**, v. 4, n. 3, p. 211–219, set. 1968.

IONICA, A. C.; LEBA, M. QFD Integrated in New Product Development - Biometric Identification System Case Study. **Procedia Economics and Finance**, v. 23, p. 986–991, 1 jan. 2015.

JANSEN, L. K. C.; SHIMIZU, T.; JANSEN, J. U. Uma análise de investimentos considerando fatores intangíveis. **Revista Produção Online**, v. 4, n. 4, 10 ago. 2004.
JUNIOR, M. **Desenho de embalagem: projeto mediado por parâmetros ecológicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)—Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

KLEIN, J. S. M. et al. Product Modelling for Design Alternatives Selection Using Optimisation and Robustness Analysis. **International Conference on Engineering Design**, v. 16, 2007.

LEWIS, H. et al. Sustainable Packaging Redefined. 2007.

LIBERATORE, M. J.; NYDICK, R. L. Group decision making in higher education using the analytic hierarchy process. **Research in Higher Education**, v. 38, n. 5, p. 593–614, 1997.

MONTEIRO, L. **Teoria Da Decisão**. 1. ed. [s.l.] Cengage Learning, 2006. v. 1
MALEA, A. et al. Innovative and sustainable toothpaste packaging design. **Journal of Graphic Engineering and Design**, v. 11, n. 2, p. 19–29, 2021.

MARCOT, B. G.; PENMAN, T. D. Advances in Bayesian network modelling: Integration of modelling technologies. **Environmental Modelling & Software**, v. 111, p. 386–393, 1 jan. 2019.

MARIA, A.; SCHMIDT, A. **Processo De Apoio a Tomada De Decisão Abordagens: AHP E MACBETH**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, dez. 1995.

MARRO, A. A. et al. **Lógica Fuzzy: Conceitos e aplicações**. Natal: [s.n.]. Disponível em: <<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48225225>>. Acesso em: 10 nov. 2022.
MELLO, J.; GOMES, E.; LINS, M. Análise multicritério da presença da Universidade Federal Fluminense com o uso do método Macbeth. **Production**, v. 11, n. 2, p. 53–67, 2001.

MERINO, E.; CARVALHO, L. Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Embalagens: uma proposta de sistematização orientativa. **Revista D (Uniritter)**, p. 1–4, 2009.

MIN, H. International Supplier Selection: A Multi-attribute Utility Approach. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 24, n. 5, p. 24–33, 1 jun. 1994.

MONNOT, E. et al. “Thinking Outside the Packaging Box”: Should Brands Consider Store Shelf Context When Eliminating Overpackaging? **Journal of Business Ethics**, v. 154, n. 2, p. 355–370, 16 jan. 2019.

MOTA, C. M. D. M.; DE ALMEIDA, A. T. Método multicritério ELECTRE IV-H para priorização de atividades em projetos. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 247–269, 2007.

MULLER, R. M.; SPILIOPOULOU, M.; LENZ, H.-J. Electronic Marketplaces of Knowledge: Characteristics and Sharing of Knowledge Assets. **Proceedings of the International Conference on Advances in Infrastructure for e-Business, e-Education and e-Medicine on the Internet**, n. July 2013, p. 1–12, 2002.

NEGRÃO, C.; CAMARGO, E. **Design de Embalagem - do marketing à produção**. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2008. v. 1

NEIVA, S. B.; GOMES, L. F. A. M. A aplicação da teoria da utilidade multiatributo à escolha de um software de e-procurement. **Revista Tecnologia**, v. 28, n. 2, p. 160–171, 2007.

NORRIS, G. A.; MARSHALL, H. E. Multiattribute Decision Analysis Method for Evaluating Buildings and Building Systems. **NIST Office of Applied Economics**, p. 1–82, 1995.

OLIVEIRA, A. S. **Proposta de modelo em redes bayesianas para apoio à tomada de decisão visando produtos sustentáveis**. Salvador: Centro Universitário SENAI CIMATEC, 5 mar. 2021.

ONU. **A ONU e o meio ambiente | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 23 jul. 2022.

PEÇAS, P. et al. Life Cycle Engineering - Taxonomy and State-of-the-Art. **Procedia CIRP**, v. 48, p. 73–78, 2016.

PEREIRA, P. Z.; SILVA, R. P. Design de Embalagem e Sustentabilidade: uma análise sobre os métodos projetuais. **Design & Tecnologia, ISSN-e 2178-1974, Vol. 1, Nº. 2, 2010, págs. 29-43**, v. 1, n. 2, p. 29–43, 2010.

PETER, C.; SWILLING, M. Linking complexity and sustainability theories: Implications for modeling sustainability transitions. **Sustainability (Switzerland)**, v. 6, n. 3, p. 1594–1622, 2014.

RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M. Multicriteria Decision Aid in the evaluation of candidates. **Production**, v. 20, n. 1, p. 92–101, 2010.

SALOMON, V.; MONTEVECHI, J.; PAMPLONA, E. **Justificativa para aplicação do método de análise hierárquica**. Rio de Janeiro: XIX ENEGEP, out. 1999. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0034.PDF>

SAMPAIO, C. **Diretrizes para o design de embalagens em papelão ondulado movimentadas entre empresas com base em sistemas produto-serviço**. Dissertação (Mestrado em Design)—Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008.

SANDIFORD, J. G. **Efficient and scalable exact inference algorithms for Bayesian networks**. Dissertação (Doutorado em Computação)—Londres: Imperial College London, jun. 2012.

SARAVI, M. et al. Estimating cost at the conceptual design stage to optimize design in terms of performance and cost. **Collaborative Product and Service Life Cycle Management for a Sustainable World - Proceedings of the 15th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, CE 2008**, p. 123–130, 2008.

SILVA, A. C. S. et al. Aplicação do método analytic network process (ANP) com abordagem BOCR no contexto militar. **Simpósio De Pesquisa Operacional E Logística Da Marinha**, p. 11, 2010.

SPETZLER, C.; WINTER, H.; MEYER, J. **Decision Quality Value Creation from Better Business Decisions**. [s.l.] John Wiley & Sons, Inc., 2016.

TAO, J.; YU, S. Product Life Cycle Design for Sustainable Value Creation: Methods of Sustainable Product Development in the Context of High Value Engineering. **Procedia CIRP**, v. 69, p. 25–30, 2018.

VEZZOLI, C. **Design for environmental sustainability: Life cycle design of products: Second edition**. Londres: Springer, 2018.

VILAS, C. **Análise da Aplicação de Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD) na Gestão de Recursos Hídricos**. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/An%0Aalise da Aplicacao de Metodos Multicriterios de Apoio a Decisao na %0AGestao de Recursos Hidricos.pdf](http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/An%0Aalise%20da%20Aplicacao%20de%20Metodos%20Multicriterios%20de%20Apoio%20a%20Decisao%20na%20Gestao%20de%20Recursos%20Hidricos.pdf). >. Acesso em: 2 ago. 2008.

WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K. B. **Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality**. New York: The Free Press, 1992.

YADAV, O. P. et al. A fuzzy logic based approach to reliability improvement estimation during product development. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 80, n. 1, p. 63–74, 1 abr. 2003.