

LEVANTAMENTO DAS PRÁTICAS E FERRAMENTAS DE ECODESIGN NA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS SUSTENTÁVEIS

SILVIA MARIA MORALES PEREIRA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

MURIEL DE OLIVEIRA GAVIRA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

Agradecimento à órgão de fomento:

Agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

LEVANTAMENTO DAS PRÁTICAS E FERRAMENTAS DE ECODESIGN NA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS SUSTENTÁVEIS

1 INTRODUÇÃO

No ano de 1992, a Declaração das Nações Unidas na Conferência do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento promoveu uma ampla conscientização sobre a questão ambiental em escala global, integrando-a de maneira iminente ao contexto econômico e empresarial (Venegas et al., 2023). Essa abordagem fortaleceu, consideravelmente, o conceito de desenvolvimento sustentável, cujas bases foram estabelecidas no Relatório Brundtland, datado de 1987 (Venegas et al., 2023).

A ONU (2015) estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 2030. Estes objetivos são um chamamento global à ação para dizimar com a pobreza, defender o meio ambiente e o clima e assegurar o bem-estar e a prosperidade a todas as pessoas, em qualquer lugar do mundo. Terama e colaboradores (2015) acreditam que esses objetivos são esperados para orientar as decisões políticas e financeiras para o desenvolvimento sustentável nos próximos anos, influenciar a política Internacional e o financiamento disponível para o desenvolvimento sustentável, e moldar os esforços políticos futuros e a dinâmica do capital natural. O objetivo 12 dos ODS's – Consumo e Produção Responsável – recomenda a adoção de práticas de consumo e produção responsáveis, respeitando os limites ambientais considerados seguros para a utilização dos recursos naturais (Shaikh et al., 2024).

Nesse cenário, o ecodesign é fundamental, pois de acordo com Almeida et al. (2010), o ecodesign é uma vertente adotada por designers e fabricantes para abordar a influência ambiental desde a fase inicial de criação de produtos. No entanto, há uma clara demanda por ferramentas que facilitem a incorporação e avaliação desses aspectos ambientais, ao longo do processo de desenvolvimento.

O propósito é desenvolver abordagens sustentáveis que atendam às demandas e aspirações humanas (Karlsson e Luttrupp, 2006). Venegas et al., (2023) relatam que os materiais provenientes dos resíduos de recipientes e embalagens, representam 50% ou mais do impacto ambiental total gerado no Chile e, por este motivo, são considerados pela Lei nº 20.920 de 2016, como produtos prioritários, na busca para reduzir os impactos ambientais de seus componentes.

Neste contexto, para Kunamaneni et al. (2019) as ações que poderiam apoiar ações de minimizar os impactos ambientais, como a reutilização e o reabastecimento enfrentam desafios, para se tornarem práticas comuns pois, os hábitos de consumo já arraigados são difíceis de mudar. Para esses autores, as pessoas preferem um produto que funcione, sem exigir esforço extra, exceto por aqueles consumidores que são altamente conscientes do meio ambiente. Por exemplo, abrir um pacote de recarga concentrada para um limpador de cozinha, colocá-lo em uma garrafa reutilizável, diluir com água e, por fim, encaixar a tampa do spray pode parecer um esforço excessivo para a maioria dos consumidores.

A respeito da utilização de novos materiais biológicos para a produção de embalagens, de acordo com Butu e colaboradores (2019), os materiais de origem biológica desafiarão os processos tradicionais em diversos setores industriais, facilitando uma transição bem-sucedida de um modelo econômico linear para uma bioeconomia sustentável, isto é, biocompósitos, biopolímeros e compósitos de fibras naturais apresentam o potencial de substituir os plásticos derivados de combustíveis fósseis e outros materiais não sustentáveis.

Porém, para Müller-Carneiro e colaboradores (2023) existem ainda muitos desafios técnicos importantes, para que os novos filmes de amido se tornem competitivos, em relação ao uso de polímeros comerciais na aplicação de embalagens. Apesar disso, os autores

apresentam alguns insights sobre como aprimorar o desempenho desses filmes biológicos, explorando, inclusive, uma aplicação alternativa para o material. Ainda sobre essa empreitada, o desafio persistente é a falta de informações sobre os limites mínimos de propriedades para as aplicações dos materiais, o que dificulta o processo de determinar a quantidade de material necessária para uma aplicação específica (Müller-Carneiro et al, 2023).

Isto posto, o problema da pesquisa é: quais são as práticas e as ferramentas de ecodesign utilizadas na produção de embalagens sustentáveis? Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi apresentar um levantamento das práticas e das ferramentas de ecodesign na produção de embalagens sustentáveis.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção visa definir o termo ecodesign, destacar a sua importância e apresentar os aspectos para a sua implementação. Na sequência, é abordada a subseção impacto ambiental das embalagens e, em seguida, é apresentada a subseção referente às embalagens sustentáveis que versa sobre os elementos de reciclagem e reutilização de materiais.

2.1. Ecodesign

De acordo com Karlsson e Luttrupp (2006), ecodesign enfoca a incorporação de aspectos ambientais no processo de desenvolvimento de produtos, abrangendo o meio ambiente e a economia. Avaliações ambientais realizadas por uma visão externa podem, por exemplo, estabelecer prioridades e implementar normas através de legislações. Ainda para esses autores, tanto o ecodesign quanto o entendimento ambiental são relevantes no contexto empresarial interno, servindo como guias e estratégias para a criação de soluções de sistemas de produtos mais eficientes e inteligentes.

Para Pinheiro et al. (2018), para que a adoção do ecodesign seja bem-sucedida, é importante privilegiar os aspectos organizacionais, isso inclui a integração com os stakeholders, a formação de uma equipe multidisciplinar e a nomeação de um gestor ou especialista ambiental. Os autores afirmam, também que, estudos anteriores categorizaram as ferramentas de ecodesign em dois conjuntos amplos: um de caráter qualitativo, como as diretrizes, estratégias, princípios e listas de materiais proibidos ou não recomendados; e outro com aspecto quantitativo ou semiquantitativo, tendo como exemplos a matriz Materiais, Energia e Toxicidade (MET) e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do produto. Mencionam, ainda, sobre outros métodos muito conhecidos pela literatura de ecodesign, tais como: ambiental-implantação da função de qualidade (EQFD), análise de Efeitos do Modo de Falha Ambiental (E-FMEA) e lista de verificação de ecodesign.

Finnveden et al. (2009) esclarecem que uma das especificidades da ACV é o seu foco nos produtos ao longo de todo o ciclo de vida. O escopo amplo da ACV é valioso porque ajuda a evitar a transferência de problemas de uma fase do ciclo de vida para outra, de uma área geográfica para outra, ou de um tipo de problema ambiental para outro.

2.2. Impacto ambiental das embalagens

Segundo Otazu e colaboradores (2022), a ACV é empregada para mensurar o impacto ambiental gerado por um produto, processo ou sistema durante todas as etapas de sua vida útil. Esse método consiste na coleta e análise detalhada das entradas e saídas desse sistema, visando obter resultados que evidenciem seus possíveis efeitos no meio ambiente. Esta ferramenta encontrou ampla aplicação na avaliação de produtos industriais e também tem sido empregada na formulação ecológica de novos produtos e processos (Sampaio et al, 2023).

Na Avaliação do Ciclo de Vida, os efeitos ambientais são examinados de forma abrangente, desde a extração de recursos até a disposição final, passando pela produção, distribuição e fim da vida. Essa abordagem permite a identificação e avaliação dos impactos ambientais de diferentes alternativas, visando aprimorar o desempenho ambiental das embalagens, em apoio ao ecodesign. O ecodesign, quando baseado na ACV, tem o potencial de oferecer insights embasados em dados verificáveis e detalhados, resultando em informações sólidas e confiáveis (Bassani et al., 2022).

Su et al. (2020) afirmam que, escolher embalagens maiores pode ser uma solução eficaz para mitigar os efeitos ambientais, já que necessitam de menos plástico para a sua produção, diminuindo, dessa forma, os impactos relacionados às matérias-primas, ao processo de produção e à presença de resíduos não biodegradáveis. Otazu e colaboradores (2022) validam essa afirmação, por meio de uma análise dos impactos ambientais de um limpador embalado em recipientes de diferentes tamanhos, de 0,75 ml e 10 litros. Eles observaram uma diminuição significativa, em todas as categorias de impacto investigadas, destacando reduções notáveis na eutrofização e no Potencial de Aquecimento Global (PAG), com quedas de 38% e 25%, respectivamente.

A adoção de sistemas de recarga também pode apresentar oportunidades promissoras no mercado, considerando o crescente interesse dos consumidores na redução do desperdício de plástico (Otazu e colaboradores, 2022). De acordo com Kunamaneni e colaboradores (2019), os modelos de negócios que enfatizam a recarga e reutilização, são considerados mais vantajosos do ponto de vista ambiental, em comparação com a reciclagem e, ainda fecham o ciclo dos materiais e da energia de maneira mais eficiente. Esse sistema pode explorar novas oportunidades de mercado, considerando a crescente demanda dos consumidores por redução de resíduos plásticos (Otazu et al., 2022).

Otazu et al. (2022) investigaram, também, se o uso de polietileno reciclado poderia resultar em uma redução dos impactos ambientais. Neste estudo, a fabricação das embalagens de polietileno foi simulada utilizando moldagem por sopro, substituindo o polietileno virgem pelo reciclado. Observou-se que, essa abordagem teve pouco efeito na redução do impacto ambiental do produto, resultando em diminuições de apenas 1% nas emissões de gases de efeito estufa (GWP) e 5% no potencial de formação de ozônio troposférico. No entanto, essa estratégia apresenta um potencial significativo para gerar benefícios econômicos, pois permite à empresa diferenciar-se dos concorrentes ao demonstrar seu compromisso com a proteção ambiental.

A reciclagem de plástico também é uma prática essencial na economia circular, pois transforma resíduos em matérias-primas, prolongando o tempo de utilização dos materiais. Interessantemente, o polietileno pode passar por até 10 ciclos de reciclagem sem comprometer suas características físicas e mecânicas, enquanto materiais de embalagem comuns, como o tereftalato de polietileno (PET), geralmente suportam apenas duas ou no máximo três reciclagens (Otazu et al., 2022). O impacto ambiental também pode ser minimizado por meio da seleção dos modos de transporte e o local onde as embalagens são produzidas, além de otimizar o espaço de carga (Bassani et al., 2022).

2.3. Embalagens sustentáveis

Segundo Vázquez et al. (2023), o aumento da população e, conseqüentemente, do consumo estão resultando em um crescimento exponencial e contínuo de resíduos sólidos urbanos (RSU) em escala global. Nestes resíduos, são encontradas várias fontes, como: sacos, filmes, garrafas e recipientes para bebidas, produtos de higiene pessoal e cosméticos, entre outros (Idumah e Nwuzor, 2019). Sendo assim, é imprescindível estudos sobre o uso e aplicação de embalagens sustentáveis.

Em relação ao destino desses resíduos, se nota a existência de dois elementos: a reciclagem e a reutilização. A prática da reciclagem se tornou uma norma estabelecida e um hábito enraizado de descarte, o que dificulta a adoção de outros comportamentos pró-ambientais, como a redução ou reutilização (Thomas e Sharp, 2013).

Bassani et al (2022) destacam a importância de se realizar uma comparação entre diferentes tipos de embalagens, uma vez que a escolha ideal pode variar de acordo com o tamanho e os materiais empregados na embalagem. Vázquez et al. (2023) dizem que é necessário que se faça uma mudança de paradigma, passando de uma abordagem focada na estética para uma abordagem focada para a sustentabilidade. Sobre esta análise, os autores defendem que essa maneira de pensar precisa ser reavaliada e substituída por uma abordagem que priorize a sustentabilidade. Isso implica na ideia de que os designers e fabricantes devem não apenas se preocupar com a beleza do produto, mas também considerar o impacto que ele tem no meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida, desde a obtenção das matérias-primas até o seu descarte final (Vázquez et al., 2023).

Diante disso, o desafio maior é a criação de produtos que sejam ambientalmente, socialmente e economicamente responsáveis e que estejam de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável (Vázquez et al., 2023).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Quanto à finalidade da pesquisa, este estudo se caracteriza como exploratória. Já a abordagem de análise de dados foi qualitativa. De acordo com Gil (2022), as pesquisas exploratórias visam aumentar a compreensão do problema, tornando-o mais claro. Seu planejamento é altamente adaptável, já que busca abordar uma ampla gama de aspectos relacionados ao evento ou fenômeno em análise.

No que se refere ao procedimento, este artigo tem caráter bibliográfico. De acordo com Marconi e Lakatos (2021), a pesquisa bibliográfica é um tipo de pesquisa acadêmica que se fundamenta em textos como livros, artigos científicos, ensaios críticos, dicionários, enciclopédias, jornais, revistas, resenhas e resumos. Atualmente, há uma forte ênfase nos artigos científicos como a principal fonte de pesquisa para os pesquisadores, visto que esses documentos oferecem conhecimento científico atualizado.

A revisão de literatura foi elaborada por meio da plataforma Web of Science, por meio de buscas no campo do título com a palavra-chave: “ecodesign”, utilizando o operador booleano “and”. A seguir, foi utilizada a opção todos os campos e, em seguida, foi introduzida a segunda palavra-chave: “packaging”. Deste modo, a revisão de literatura foi feita com 10 artigos, sendo importante destacar que não foi elaborado nenhum recorte temporal na referida busca.

O período de publicação destes artigos foi entre 2010 e 2023. O Quadro 1 revela outras informações sobre os estudos revisados, como: título, autores, país foco do estudo e segmento estudado.

Quadro 1. Título, autores, ano, país e segmento dos artigos analisados

Título	Autores	Ano	País	Segmento
Emergency as a tool for ecodesign: evaluating materials selection for beverage packages in Brazil	Almeida, Rodrigues, Bonilla e Giannetti	2010	Brasil	Bebidas

Application of fuzzy logic for the integration of environmental criteria in ecodesign	Herva, Franco-Uría, Carrasco e Roca	2012	Espanha	Bebidas
Mycelium-based materials for the ecodesign of bioeconomy	Butu, Rodino, Miu e Butu	2020	Romênia	Diversos
Theoretical study for redesign of an agricultural package applying ecodesign strategies and CAD/CAE tools	Pérez-Ortega, González-Yebra, Oliva e Álvarez	2021	Espanha	Agroalimentar
Ecodesign approach for pharmaceutical packaging based on Life Cycle Assessment	Bassani, Rodrigues, Marques e Freire	2022	Portugal	Farmacêutico
Ecodesign coupled with Life Cycle Assessment to reduce the environmental impacts of an industrial enzymatic cleaner	Otazu, Akizu-Gardoki, Ulibarri, Iturrondobeitia, Minguez e Lizundia	2022	Espanha	Limpeza
Ecodesign approach for plastic minimization in shampoo bottles	Vázquez, Dutari, Castillo e Barbosa	2023	Argentina	Cosméticos
Design of containers and packaging. An abbreviated ecodesign proposal under the normative requirements of the EPR law in Chile	Venegas, Martínez Torán, e Dazarola	2023	Chile	Cosmético e alimentício
Ecodesign of bio-based films for food packaging: Challenges and recommendations	Sampaio, Müller-Carneiro, Pereira, Rosa, Mattos, Azeredo, Freire e Figueiredo	2023	Brasil	Alimentício
A multi-criteria framework for the ecodesign of bio-based materials at early development stages	Müller-Carneiro, Rodrigues, Dias, Antunes, Mattos e Freire	2023	Brasil	Alimentício

Fonte: elaborado pelos autores (2014)

4. DISCUSSÃO

Por meio do Quadro 2 é possível visualizar o título do artigo, autores, ano, metodologia e propósito do estudo, além dos resultados ou recomendações extraídas dos artigos revisados.

Quadro 2. Caracterização dos estudos referenciados

Nº	Título do trabalho	Autores	Ano	Metodologia e propósito da pesquisa	Resultados e Recomendações
1.	Emergy as a tool for ecodesign: evaluating materials selection for beverage packages in Brazil	Almeida, Rodrigues, Bonilla e Giannetti	2010	Estudo de caso Principais ferramentas: contabilidade emergética e ACV	As garrafas PET-R causam menos danos ao meio ambiente que as latas de alumínio e, porém, a carga ambiental da produção de garrafas PET-R ainda é muito elevada, indicando que este processo contribui para a redução da capacidade de suporte da Terra para além de um limite aceitável
2.	Application of fuzzy logic for the integration of environmental criteria in ecodesign	Herva, Franco-Uría, Carrasco e Roca	2012	Estudo de caso Fuzzy Ferramentas: Pegada Ecológica, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e a Avaliação de Risco Ambiental Identificar a opção mais ecológica para uma garrafa de bebida, analisando os diferentes materiais de embalagens.	A garrafa PET foi considerada a melhor opção do ponto de vista ambiental.
3.	Mycelium-based materials for the ecodesign of bioeconomy	Butu, Rodino, Miu e Butu	2020	Pesquisa na Web of Science e Scopus Busca por materiais à base de micélio para o ecodesign da bioeconomia	As bioestruturas baseadas em micélio resultam do crescimento de fungos filamentosos em materiais orgânicos, como fluxos de resíduos agrícolas. Esses biocompósitos têm

					sido explorados para produzir novos materiais para embalagens
4.	Theoretical study for redesign of an agricultural package applying ecodesign strategies and CAD/CAE tools	Pérez-Ortega, González-Yebra, Oliva e Álvarez	2021	Estudo de caso e ACV Ferramentas CAD/CAE Proposição de um redesenho de um recipiente para distribuição de frutas e verduras Análise comparativa entre a embalagem existente (comercial) e a proposta de redesenho	As propriedades mecânicas do polietileno de alta densidade (PEAD) virgem misturado com uma elevada percentagem de PEAD reciclado (entre 30% e 70%) ou outros polímeros são muito semelhantes
5.	Ecodesign approach for pharmaceutical packaging based on Life Cycle Assessment	Bassani, Rodrigues, Marques e Freire	2022	Estudo de caso. Concepção ecológica, baseada na ACV para embalagens farmacêuticas	As recomendações de ecodesign destacam o uso de tamanhos menores embalagem, evitando elementos supérfluos e espaços vazios, o que reduz custos e os impactos de transporte
6.	Ecodesign coupled with Life Cycle Assessment to reduce the environmental impacts of an industrial enzymatic cleaner	Otazu, Akizu-Gardoki, Ulibarri, Iturrondo Miniguez e Lizundia	2022	Estudo de caso e ACV Ferramentas CAD/CAE Reduzir os impactos ambientais de um limpador enzimático industrial	Embalagens de maior volume e utilização de embalagens recicladas
7.	Ecodesign approach for plastic minimization in shampoo bottles	Vázquez, Dutari, Castillo e Barbosa	2023	Estudo de caso Ecodesign em frascos de shampoo	Foi alcançada a redução da quantidade de plástico em pelo menos 30%. Além disso, descobriu-se que o formato da garrafa é crucial para o seu desempenho

					mecânico, sendo a garrafa mais simples a mais resistente, quando comparada a garrafas da mesma capacidade e espessura
8.	Design of containers and packaging. An abbreviated ecodesign proposal under the normative requirements of the EPR law in Chile	Venegas, Martínez Torán, e Dazarola	2023	<p>Estudo de caso e ACV</p> <p>Diretrizes estabelecidas pela Lei de Reciclagem e Responsabilidade Ampliada do Produtor do Chile</p> <p>Propostas de ecodesign para três produtos:</p> <p>Caso 1. Recipiente de maquiagem</p> <p>Caso 2. Embalagens flexíveis para macarrão</p> <p>Caso 3. Embalagens flexíveis para biscoitos</p>	<p>Redução de peso, por meio de aligeiramento de embalagens, devido à melhoria tecnológica de materiais ou processo de embalagens</p> <p>Aumento de unidades por embalagem primária para cada embalagem secundária</p> <p>Aumento da quantidade de produto contido, sem modificar as características da embalagem</p>
9.	Ecodesign of bio-based films for food packaging: Challenges and recommendations	Sampaio, Müller-Carneiro, Pereira, Rosa, Mattos, Azeredo, Freire e Figueiredo	2023	<p>ACV</p> <p>Identificar os principais materiais, técnicas de produção e propriedades de filmes de base biológica para embalagens de alimentos</p>	<p>Utilizar análise de decisão multicritério para integração de indicadores. Modelar cenários simplificados de fim de vida, considerando a combinação de países como caso base, investigando opções de circularidade</p> <p>Aplicar cenários para incluir perda e desperdício de alimentos (PDA), por exemplo, com base em probabilidade de perda de alimentos (FLP) de sistemas</p>

					similares de embalagem de alimentos, especialmente quando comparar materiais com propriedades ativas (antimicrobianas e/ou antioxidantes)
10	A multi-criteria framework for the ecodesign of bio-based materials at early development stages	Müller-Carneiro, Rodrigues, Dias, Antunes, Mattos e Freire	2023	Integração da ACV e da Análise de Decisão Multicritério (MCDA) Ecodesign de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) Julgamento de valor de três especialistas em P&D Avaliar novos materiais de base biológica em pesquisa e desenvolvimento e compará-los com alternativas comerciais, considerando o impacto ambiental, o custo e as propriedades técnicas	De maneira geral, os resultados apontaram que os materiais comerciais superam os novos filmes Os resultados mais favoráveis para os filmes de amido são alcançados para rigidez equivalente, sugerindo assim, uma investigação mais aprofundada para aplicações rígidas.

Fonte: elaborado pelos autores (2014)

Os artigos estudados revelam que a sustentabilidade na produção de embalagens abrange diversos elementos que vão além do simples uso de materiais recicláveis ou biodegradáveis. A análise deve considerar o ciclo de vida completo dos produtos, desde a extração de matérias-primas até o descarte ou reciclagem final. Isso inclui a avaliação dos impactos ambientais, como: emissões de gases de efeito estufa, redução do uso de água e de energia; e econômicos, como: custos e viabilidade de mercado.

A revisão identificou, também, que a avaliação da sustentabilidade não pode ser feita de forma isolada. É essencial utilizar metodologias integradas que combinem diferentes abordagens e ferramentas. Por exemplo, a ACV fornece uma visão abrangente dos impactos ambientais de um produto, enquanto a Pegada Ecológica mede a demanda humana sobre os recursos naturais. A integração dessas metodologias com outras, como a Avaliação de Risco Ambiental e raciocínios lógicos Fuzzy, permite uma análise mais robusta e precisa.

Do mesmo modo, a multidisciplinaridade também é importante neste processo, pois a participação de engenheiros, cientistas, economistas, designers e outros especialistas, garante que todas as dimensões da sustentabilidade sejam consideradas. Essa abordagem holística é necessária para desenvolver soluções inovadoras e eficazes.

Os estudos destacam o potencial significativo dos materiais alternativos e reciclados, para reduzir os impactos ambientais das embalagens. Materiais como o tereftalato de polietileno reciclado (PET-R), polietileno de alta densidade reciclado (PEAD), e biocompósitos de micélio, são exemplos de como opções aos materiais tradicionais podem ser vantajosas. Estes materiais não apenas reduzem a dependência de recursos fósseis, mas, também, promovem a reutilização de resíduos, contribuindo para a economia circular.

Notou-se, também, que cada estudo contribui para o avanço do ecodesign, fornecendo insights e soluções específicas para diferentes desafios de sustentabilidade. O ecodesign implica em incorporar princípios de sustentabilidade desde as etapas iniciais de desenvolvimento de produtos. Isso inclui considerar a escolha de materiais, processos de fabricação, logística e descarte. As pesquisas analisadas oferecem uma base sólida para desenvolver práticas de ecodesign que são ao mesmo tempo inovadoras e práticas.

Outro ponto a ser destacado é o importante papel destes estudos na transição para uma economia circular e para a bioeconomia. A economia circular proporciona a reutilização, reciclagem e redução de resíduos, enquanto a bioeconomia possibilita o uso de recursos biológicos renováveis. A transição para esses modelos econômicos requer mudanças significativas nas práticas industriais, políticas públicas e comportamentos dos consumidores.

A seguir, são apresentadas as especificidades de cada estudo analisado.

O primeiro estudo analisado, de Almeida et al. (2010) utilizou a ferramenta contabilidade emergética, por meio do cálculo da energia específica, da energia por unidade funcional e do índice de carga ambiental, na produção de garrafas PET (tereftalato de polietileno) e latas de alumínio com e sem etapa de reciclagem. A pesquisa se justificou devido à necessidade urgente de aplicação de uma ferramenta que proporcionasse a integração e avaliação das exigências ambientais e econômicas nos processos de planejamento e desenvolvimento de produtos, a fim de facilitar a seleção de materiais e processos. O estudo visou fornecer indicadores quantitativos, baseados em uma unidade comum (joules de energia solar) e revelou que a opção pelo PET-R é mais vantajosa em termos de ELR e produtividade global em comparação com as latas de alumínio, e que ainda há espaço para aumentar a taxa de reciclagem do PET.

Na sequência, Herva et al (2012), analisaram o mesmo segmento da pesquisa anterior, porém, usando o material Policloreto de Vinila (PVC) e PET. Outra diferenciação, foi em relação ao método utilizado, sendo que este estudo construiu uma ferramenta que integra os critérios fornecidos pelas metodologias de ACV, Pegada Ecológica e a Avaliação de Risco Ambiental, com base no raciocínio lógico Fuzzy. A pesquisa ofereceu um indicador chamado Índice Fuzzi EcoDesign e o aplicou em estudo de caso - garrafa de bebida - a fim de identificar a opção mais ecológica. À semelhança do estudo anterior, a garrafa PET também foi a melhor opção sob a perspectiva ambiental.

Já o estudo de Butu et al. (2020), abordou a bioeconomia, tema que vem ganhando destaque nas pesquisas e nos processos industriais. A pesquisa focou na busca por materiais à base de micélio para o ecodesign no contexto da bioeconomia. Nota-se que esta pesquisa não se concentrou somente em embalagens. Porém, sobre este aspecto, o estudo revelou que as bioestruturas baseadas em micélio, resultam do crescimento de fungos filamentosos em materiais orgânicos, como fluxo de resíduos agrícolas. Esses biocompósitos são utilizados para desenvolver novos materiais destinados a embalagens.

Pérez-Ortega e colaboradores (2021) propuseram um redesenho de um recipiente agrícola, por meio de uma análise comparativa entre uma embalagem comercial existente e a

proposta de redesenho, a partir do polietileno de alta densidade (PEAD) reciclado. A pesquisa sugere que o PEAD reciclado, pode ser uma alternativa viável e deve facilitar a transição para um modelo de economia circular.

Já a pesquisa de Bassani et al. (2022) focou no segmento farmacêutico, por meio da abordagem de ecodesign baseada na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), analisando as embalagens de medicamentos, como o blister, frasco e o sachê, de diferentes tamanhos, materiais e pesos. A pesquisa apontou para a redução de peso e/ou volume e tipos alternativos de embalagens, além de analisar diferentes locais para a produção de embalagens.

Otazu e colaboradores (2022) sugeriram que, para reduzir os impactos ambientais das embalagens, ao longo de todo o seu ciclo de vida - no caso de um limpador enzimático - a ampliação do volume das embalagens pode ser uma estratégia eficaz que pode levar a uma redução significativa nos impactos ambientais.

A pesquisa feita por Vázquez et al. (2023) visou determinar o quanto é possível reduzir a espessura de frascos de shampoo, mantendo sua funcionalidade e desempenho, por meio de simulações de testes mecânicos. Os resultados sugeriram que a redução de plástico de garrafas de shampoo pode ser adquirida por meio da minimização na fonte e pela utilização de material único em frascos, tampas e rótulos.

Venegas et al. (2023) desenvolveram estudo de casos múltiplos com recipiente de maquiagem, embalagem flexível de macarrão e embalagem flexível de biscoito. As principais recomendações da pesquisa foram: reduzir ou eliminar superfícies impressas nas embalagens (tintas, vernizes, entre outros), utilizar materiais provenientes de processos de reciclagem, utilizar materiais que promovam a reciclagem, usar componentes de fácil separação e melhorar as embalagens para promover a redução de volume durante a coleta.

Assim como o artigo de Butu et al. (2020), o estudo de Sampaio et al. (2023) também focou na bioeconomia, por meio do processo de substituição de filmes de base petroquímica para filmes de base biológica. No entanto, os autores alertam que, para fornecer novos filmes de base biológica com impactos ambientais reduzidos, em comparação com filmes de base fóssil é necessário a aplicação do ecodesign nas etapas iniciais de pesquisa, desenvolvimento e inovação de produtos. A pesquisa recomendou as seguintes ações: formar equipe multidisciplinar, utilizar análise de cenário para avaliar o efeito de múltiplas unidades funcionais nos resultados de impacto, identificar as principais aplicações para a modelação de diferentes cenários, para as fases de utilização e de fim de vida, aplicar abordagens híbridas, combinando ACV e outros indicadores de avaliação de risco, a fim de contabilizar os possíveis efeitos de toxicidade devido à liberação de nanomateriais no meio ambiente.

Ainda sobre o tema de bioeconomia, Müller-Carneiro et al. (2023) investigaram a integração da ACV e da análise de decisão multicritério, para avaliar novos materiais de base biológica para embalagens de alimento. Os resultados apontaram que os materiais comerciais superam os novos filmes, principalmente devido às diferenças nas propriedades dos materiais, principalmente, na barreira à umidade. No entanto, dois novos materiais de amido (baseados em caroço de manga e amido de milho) podem funcionar bem para aplicações que exigem rigidez, mas não propriedades de barreira. O material com pior desempenho é o único baseado em resíduos (grão de manga), mesmo considerando as cargas evitadas de tratamento de resíduos. Contudo, este foi o único baseado em dados de inventário ampliados, que tem limitações (por exemplo, não há recuperação de energia e materiais).

De forma geral, nota-se que a maioria dos estudos analisados se concentraram na ferramenta ACV (Bassani et al, 2022; Otazu et a., 2022; Pérez-Ortega et al., 2021; Almeida et. SI, 2010; Venegas et al., 2023; Sampaio et al., 2023 e Herva etl. Al, 2012), certamente, por conta do objetivo de se avaliar o impacto ambiental.

Em relação aos segmentos abordados nestes estudos, nota-se: embalagens farmacêuticas (Bassani et al, 2022); cosméticos (Vázquez, 2023); limpeza (Otazu et al, 2022); agroalimentar

(Pérez-Ortega, 2021); bebidas (Almeida et al., 2010 e Herva et al., 2012); cosmético e alimentício (Venegas et al., 2023); e alimentício (Sampaio et al, 2023 e Müller-Carneiro, 2023).

5. CONCLUSÃO/CONTRIBUIÇÃO

O objetivo desta pesquisa foi apresentar um levantamento das práticas e das ferramentas de ecodesign na produção de embalagens sustentáveis. Foi possível observar que, a maioria dos estudos revisados se concentrou na aplicação da ferramenta ACV, porém outras ferramentas foram encontradas, como a avaliação de risco ambiental, contabilidade emergética, pegada ecológica e outras. As principais contribuições identificadas nos artigos revisados foram a aplicação de simulações para a redução de plástico de produtos de cosméticos, propostas de utilização de matérias-primas que priorizam a sustentabilidade, avaliação de materiais de base biológica para embalagens de alimentos, usar componentes de fácil separação e melhorar as embalagens para promover a redução de volume durante a coleta. Já a principal contribuição prática deste estudo é a de propiciar informações sobre as ações e ferramentas de ecodesign, auxiliando os gestores nas decisões que promovam a sustentabilidade.

Como limitação de pesquisa, se destaca o foco somente em uma base de dados e a não aplicação de uma pesquisa quantitativa, como, por exemplo, a utilização de método de levantamento, do tipo survey aos gestores de indústrias. Para estudos futuros, uma pesquisa quantitativa, a ser aplicada em um segmento específico, poderá contribuir com a investigação do tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C. M. V. B., Rodrigues, A. J. M., Bonilla, S. H., & Giannetti, B. F. (2010). Emergy as a tool for Ecodesign: evaluating materials selection for beverage packages in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 18(1), 32–43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.03.019>
- Bassani, F., Rodrigues, C., Marques, P., & Freire, F. (2022). Ecodesign approach for pharmaceutical packaging based on Life Cycle Assessment. *Science of the Total Environment*, 816. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151565>
- Butu, A.; Rodino, S., Miu, B., & Butu, M. (2020). Mycelium-based materials for the ecodesign of bioeconomy. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 15(4), 129-1140
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., & Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- Gil, A. C. (2022). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. Recuperado de <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559771653/>
- Herva, M., Franco-Uría, A., Carrasco, E. F., & Roca, E. (2012). Application of fuzzy logic for the integration of environmental criteria in ecodesign. *Expert Systems with Applications*, 39(4), 4427–4431. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.09.148>

- Idumah, C.I., & Nwuzor, I.C. (2019). Novel trends in plastic waste management. *SN Applied Sciences*, 1(11),1-15. doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1468-2>
- Karlsson, R., & Luttrupp, C. (2006). EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue. *Journal of Cleaner Production*, 14, 1291-1298.
- Kunamaneni, S., Jassi, S., & Hoang, D. (2019) Promoting reuse behaviour: Challenges and strategies for repeat purchase, low-involvement products. *Sustainable Production and Consumption*, 20, 253–272.
- Otazu, R. L., Akizu-Gardoki, O., de Ulibarri, B., Iturrondobeitia, M., Minguéz, R., & Lizundia, E. (2022). Ecodesign coupled with Life Cycle Assessment to reduce the environmental impacts of an industrial enzymatic cleaner. *Sustainable Production and Consumption*, 29, 718–729. doi:<<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.016>
- Marconi, M & Lakatos, E. (2021). *Fundamentos de Metodologia Científica*. Recuperado de <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597026580/>
- Müller-Carneiro, J., Rodrigues, C., Dias, L. C., Henggeler Antunes, C., Mattos, A. L. A., & Freire, F. (2023). A multi-criteria framework for the ecodesign of bio-based materials at early development stages. *Journal of Cleaner Production*, 427. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139268>
- Organização das Nações Unidas. (2015). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)*. Recuperado de <https://sdgs.un.org/goals>
- Pérez-Ortega, S., González-Yebra, Ó., Oliva, R. M., & Álvarez, A. J. (2021). Theoretical study for redesign of an agricultural package applying ecodesign strategies and cad-cae tools. *Dyna (Spain)*, 96(4), 435–440. doi: <https://doi.org/10.6036/9979>
- Pinheiro, M. A. P., Jugend, D., Demattê Filho, L.C., & Armellini, F. (2018). Framework proposal for ecodesign integration on product portfolio management. *Journal of Cleaner Production*, n. 185, 176-186.
- Sampaio, A. P. C., Müller-Carneiro, J., Pereira, A. L. S., Rosa, M. de F., Mattos, A. L. A., Azeredo, H. M. C. de, Freire, F., & Figueirêdo, M. C. B. de. (2023). Ecodesign of bio-based films for food packaging: Challenges and recommendations. *Environmental Development*, 48, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100926>
- Su, Y., Duan, H., Wang, Z., Song, G., Kang, P., & Chen, D. (2020). Characterizing the environmental impact of packaging materials for express delivery via life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 274 (20), 1-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122961>
- Terama, E., Milligan, B., Jimenez-Aybar, R., Mace, G.M., Ekins, P. (2015). Accounting for the environment as an economic asset: global progress and realizing the 2030. *Agenda for Sustainable Development. Sustain. Sci.* 1(6). doi: <https://doi.org/10.1007/s11625-015-0350-4>

- Vazquez, Y. V., Dutari, T., Castillo, L. A., & Barbosa, S. E. (2023). Ecodesign approach for plastic minimization in shampoo bottles. *Packaging Technology and Science*, 36(10), 823–831. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/pts.2760>>. Acesso em: 30 maio 2024.
- Venegas, M. M., Martínez Torán, M., & Dazarola, J. R. (2023). Design de recipientes e embalagens. Uma proposta abreviada de ecodesign sob os requisitos regulamentares da lei REP no Chile. *Revista 180*, (51), 123-137. doi: <http://dx.doi.org/10.32995/rev180>
- Shaikh, M.A., Hadjikakou, M., Geyik, O., & Bryan, B.A. (2024). Assessing global agri-food system exceedance of national cropland limits for linking responsible consumption and production under SDG 12. *Ecological Economics* v. 215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107993>