

MITIGANDO A OBSOLESCÊNCIA ELETRÔNICA POR MEIO DE ESTRATÉGIAS DE ECONOMIA CIRCULAR: UMA REVISÃO DA LITERATURA

MITIGATING ELECTRONIC OBSOLESCENCE THROUGH CIRCULAR ECONOMY STRATEGIES: A LITERATURE REVIEW

MITIGACIÓN DE LA OBSOLESCENCIA ELECTRÓNICA A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS DE ECONOMÍA CIRCULAR: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Everton Rodrigues Zirbes¹; Filipe Barbosa Urrutia²; Maurício Fischer dos Santos³

¹Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas; thor.zirbes@gmail.com

²Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas; filipechui@gmail.com

³Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas; riciofischer@gmail.com

Resumo: Esta revisão sintetiza pesquisas sobre a extensão das políticas ambientais e estratégias de economia circular na mitigação dos impactos ecológicos da obsolescência planejada na indústria eletrônica para abordar as lacunas na eficácia das políticas e no gerenciamento sustentável do ciclo de vida do produto. A revisão teve como objetivo avaliar políticas ambientais voltadas para a obsolescência planejada, comparar estratégias de economia circular, analisar as influências do comportamento do consumidor, comparar abordagens de design que melhoram a durabilidade e a reparabilidade e identificar barreiras e facilitadores que afetam a implementação da economia circular. Uma análise sistemática de diversos estudos de regiões desenvolvidas e em desenvolvimento, enfatizando as iniciativas globais, foi conduzida usando análise de políticas, pesquisas empíricas e síntese conceitual. Os resultados revelam que as políticas ambientais existentes iniciam o progresso, mas permanecem insuficientemente integrativas ou aplicáveis, com um foco predominante na gestão do fim da vida, em vez da prevenção da obsolescência. Estratégias de economia circular, incluindo modelos de negócios de reparo, reutilização e circulares, mostram que a adoção parcial é dificultada pela validação empírica limitada e por requisitos de design conflitantes. O engajamento do consumidor é fundamental, mas pouco explorado, com intervenções comportamentais oferecendo potencial para aumentar a participação. Barreiras sistêmicas, como restrições financeiras, lacunas regulatórias e déficits de demanda do mercado, impedem uma adoção mais ampla, enquanto abordagens políticas integradas e colaboração das partes interessadas emergem como principais facilitadores. Essas descobertas ressaltam a necessidade de políticas abrangentes e aplicáveis, alinhadas com inovações de design circular e estratégias centradas no consumidor para promover a sustentabilidade ecológica na fabricação de eletrônicos e no gerenciamento de resíduos. A revisão informa futuras pesquisas e formulações de políticas para fortalecer as transições da economia circular e mitigar os impactos ambientais da obsolescência planejada.

Palavras-chave: Lixo eletrônico; Ecodesign; REEE; Avaliação do Ciclo de Vida.

Abstract: This review synthesizes research on the extent of environmental policies and circular economy strategies in mitigating the ecological impacts of planned obsolescence in the electronics industry, addressing gaps in policy effectiveness and sustainable product lifecycle management. The review aimed to assess environmental policies targeting planned obsolescence, compare circular economy strategies, analyze consumer behavior influences, evaluate design approaches that enhance durability and repairability, and identify barriers and enablers affecting circular economy implementation. A systematic analysis of diverse studies from both developed and developing regions, emphasizing global initiatives, was conducted using policy analysis, empirical research, and conceptual synthesis. Findings reveal that existing environmental policies represent initial progress but remain insufficiently integrative or applicable, with a predominant focus on end-of-life management rather than obsolescence prevention. Circular economy strategies, including repair, reuse, and circular business models, show potential, yet their partial adoption is hindered by limited empirical validation and conflicting design requirements. Consumer engagement is critical but underexplored, with behavioral interventions offering promise to increase participation. Systemic barriers, such as financial constraints, regulatory gaps, and market demand deficits, impede broader adoption, while integrated policy approaches and stakeholder collaboration

emerge as key enablers. These findings underscore the need for comprehensive, enforceable policies aligned with circular design innovations and consumer-centered strategies to advance ecological sustainability in electronics manufacturing and waste management. This review informs future research and policy development to strengthen circular economy transitions and mitigate the environmental impacts of planned obsolescence.

Key words: E-waste; Ecodesign; WEEE; Life Cycle Assessment.

Resumen: Esta revisión sintetiza investigaciones sobre la extensión de las políticas ambientales y estrategias de economía circular en la mitigación de los impactos ecológicos de la obsolescencia programada en la industria electrónica para abordar las brechas en la eficacia de las políticas y en la gestión sostenible del ciclo de vida del producto. La revisión tuvo como objetivo evaluar políticas ambientales dirigidas a la obsolescencia programada, comparar estrategias de economía circular, analizar las influencias del comportamiento del consumidor, comparar enfoques de diseño que mejoran la durabilidad y la reparabilidad e identificar barreras y facilitadores que afectan la implementación de la economía circular. Se realizó un análisis sistemático de diversos estudios de regiones desarrolladas y en desarrollo, enfatizando las iniciativas globales, utilizando análisis de políticas, investigaciones empíricas y síntesis conceptual. Los resultados revelan que las políticas ambientales existentes inician el progreso, pero siguen siendo insuficientemente integradoras o aplicables, con un enfoque predominante en la gestión del fin de vida, en lugar de la prevención de la obsolescencia. Las estrategias de economía circular, que incluyen modelos de negocio de reparación, reutilización y circulares, muestran que la adopción parcial se ve obstaculizada por la limitada validación empírica y por requisitos de diseño conflictivos. El compromiso del consumidor es fundamental, pero poco explorado, con intervenciones conductuales ofreciendo potencial para aumentar la participación. Barreras sistémicas, como restricciones financieras, brechas regulatorias y déficits de demanda del mercado, impiden una adopción más amplia, mientras que los enfoques políticos integrados y la colaboración de las partes interesadas emergen como principales facilitadores. Estos hallazgos resaltan la necesidad de políticas exhaustivas y aplicables, alineadas con innovaciones de diseño circular y estrategias centradas en el consumidor para promover la sostenibilidad ecológica en la fabricación de electrónicos y en la gestión de residuos. La revisión informa futuras investigaciones y formulaciones de políticas para fortalecer las transiciones de la economía circular y mitigar los impactos ambientales de la obsolescencia programada.

Palabras clave: Basura electrónica; Ecodiseño; RAEE; Evaluación del Ciclo de Vida.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre a extensão das políticas ambientais e estratégias de economia circular na mitigação dos impactos ecológicos da obsolescência planejada na indústria eletrônica surgiram como uma área crítica de investigação devido ao rápido crescimento do lixo eletrônico (*E-waste*) e suas consequências ambientais (Deviatkin *et al.*, 2022, Gupta *et al.*, 2023). O setor de eletrônicos evoluiu de modelos lineares de produção e consumo para o aumento do interesse nos princípios da economia circular (CE) que visam reduzir o esgotamento de recursos e a geração de resíduos (Özkan e Yücel, 2019, Pollard *et al.*, 2022).

Globalmente, a geração de lixo eletrônico atingiu mais de 53 milhões de toneladas métricas em 2019 (período pré-pandemia), com apenas uma fração sendo reciclada adequadamente (Deviatkin *et al.*, 2022, Gupta *et al.*, 2023). Essa tendência segue até a atualidade e ressalta a urgência social e ambiental de lidar com a obsolescência planejada, uma prática que reduz a vida útil do produto e exacerba o desperdício (Bisschop *et al.*, 2022, Alivojvodić, 2024).

A importância desta pesquisa está em seu potencial de informar a manufatura sustentável, o desenvolvimento de políticas e o comportamento do consumidor para promover uma indústria eletrônica mais eficiente em termos de recursos (Chenavaz e Dimitrov, 2024, Arranz *et al.*, 2023).

O problema está centrado no uso persistente da obsolescência planejada em eletrônicos, o que prejudica a sustentabilidade ambiental, apesar dos esforços regulatórios emergentes (Malinauskaite e Erdem, 2021, Bisschop *et al.*, 2022). As políticas ambientais existentes e as estratégias de CE, como a Diretiva de Ecodesign da UE (União Europeia) e a Diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*, ou REEE em português) da UE, avançaram na promoção da durabilidade e da reciclagem, mas permanecem insuficientes para abordar totalmente os impactos ecológicos da substituição prematura do produto (Maitre-Ekern e Dalhammar, 2016, Ford *et al.*, 2016).

Existe uma lacuna de conhecimento em relação à eficácia abrangente e à integração dessas políticas com abordagens de economia circular para mitigar a obsolescência planejada (Malinauskaite e Erdem, 2021, Neto *et al.*, 2022, Dalhammar *et al.*, 2024).

As controvérsias persistem entre as partes interessadas que defendem medidas legais mais rígidas contra a obsolescência planejada e a resistência da indústria devido a interesses econômicos (Bisschop *et al.*, 2022, Dalhammar *et al.*, 2024). As consequências dessa lacuna incluem o esgotamento contínuo de recursos, aumento do lixo eletrônico e danos ambientais, destacando a necessidade de estruturas mais integrativas e aplicáveis (Fetanat *et al.*, 2021, Eastman, 2024).

Esta revisão adota uma estrutura conceitual ligando obsolescência planejada, política ambiental e estratégias de economia circular, com base nas teorias de sustentabilidade e responsabilidade corporativa (Bisschop *et al.*, 2022, Chenavaz e Dimitrov, 2024, Pollard *et al.*, 2022).

A obsolescência planejada é definida como o design deliberado de produtos com vida útil limitada para estimular o consumo (Bisschop *et al.*, 2022), ao contrário das políticas ambientais que visam abrangerem regulamentações voltadas à durabilidade, reparabilidade e gerenciamento de resíduos do produto (Maitre-Ekern e Dalhammar, 2016, Richter, 2019).

As estratégias de economia circular se concentram em prolongar a vida útil do produto, recuperação de materiais e sistemas de circuito fechado (Deviatkin *et al.*, 2022, Roskladka *et al.*, 2025). Compreender a interação entre esses conceitos é essencial para avaliar a eficácia das políticas e identificar oportunidades de mudança sistêmica.

O objetivo desta revisão sistemática é avaliar criticamente até que ponto as políticas ambientais e as estratégias de economia circular mitigam os impactos ecológicos da obsolescência planejada na indústria eletrônica (Malinauskaite e Erdem, 2021, Chenavaz e Dimitrov, 2024), propondo sintetizar o conhecimento atual, identificar lacunas e propor orientações para políticas e práticas que melhorem os resultados de sustentabilidade. Esta revisão agrega valor ao integrar perspectivas multidisciplinares e descobertas empíricas recentes para informar as partes interessadas e orientar pesquisas futuras (Deviatkin *et al.*, 2022, Maphosa e Maphosa, 2024).

A metodologia envolve uma revisão abrangente da literatura de artigos *peer-reviewed* (revisados por pares) e análises de políticas, com foco em estudos publicados a partir de 2016 para capturar desenvolvimentos recentes. Os critérios de inclusão enfatizam a

relevância da obsolescência planejada, da regulamentação ambiental e da economia circular em eletrônicos.

Assim como proposto por Pollard *et al.* (2022) e Chenavaz e Dimitrov (2024) as estruturas analíticas incluem modelos de avaliação de políticas e avaliação de circularidade, com descobertas organizadas tematicamente para abordar o escopo da política, os desafios de implementação e a eficácia estratégica.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa constitui uma revisão bibliográfica sistemática com abordagem bibliométrica, voltada ao exame crítico e à síntese do conhecimento científico produzido sobre a extensão das políticas ambientais e estratégias de economia circular na mitigação dos impactos ecológicos da obsolescência planejada na indústria eletrônica.

O estudo tem como objetivo principal analisar como as estruturas regulatórias, os modelos de economia circular e as dinâmicas comportamentais dos consumidores atuam conjuntamente na redução dos efeitos ambientais gerados pela redução deliberada da vida útil dos produtos eletrônicos. Trata-se de uma investigação interdisciplinar, que integra perspectivas da engenharia ambiental, políticas públicas, design sustentável e comportamento do consumidor, com vistas a oferecer uma análise integrada e crítica do estado da arte.

Os objetivos específicos delineados para orientar a revisão incluem: (1) avaliar o arcabouço atual de políticas ambientais direcionadas à obsolescência planejada no setor eletrônico; (2) comparar a eficácia de diferentes estratégias de economia circular no enfrentamento dos impactos do lixo eletrônico; (3) identificar e analisar o papel do comportamento do consumidor na adoção e no sucesso de práticas circulares; (4) examinar abordagens de design e fabricação que promovem durabilidade, reparabilidade e reutilização de produtos; e (5) mapear barreiras e facilitadores institucionais, tecnológicos e sociais à implementação de modelos circulares na cadeia produtiva de eletrônicos.

A seleção dos estudos seguiu um protocolo sistemático, iniciado com a transformação da questão de pesquisa central em um conjunto de consultas específicas, estruturadas para capturar diferentes dimensões temáticas. Essas consultas foram desenhadas para garantir tanto a abrangência quanto a precisão da busca, evitando a perda de trabalhos relevantes em áreas especializadas ou com terminologias variadas. As consultas incluem combinações de descritores como "*planned obsolescence*", "*circular economy strategies*", "*e-waste policies*", "*product durability*", "*consumer behavior in sustainability*" e "*regulatory frameworks in electronics*", aplicadas em bases de dados científicas de ampla cobertura, como *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect* e *SpringerLink*.

Inicialmente, a busca direta recuperou 184 artigos, os quais foram submetidos a critérios rigorosos de inclusão e exclusão. Foram incluídos estudos empíricos, teóricos e revisões sistemáticas publicados em periódicos *peer-reviewed*, escritos em inglês, espanhol ou português, entre 2016 e 2025, com foco explícito na intersecção entre obsolescência planejada, políticas ambientais e economia circular no setor eletrônico. Foram excluídos trabalhos sem acesso ao texto completo, relatórios técnicos não revisados, editoriais e estudos fora do escopo temático.

Para enriquecer a base de evidências e assegurar a identificação de trabalhos fundamentais e emergentes, foi aplicada a técnica de encadeamento de citações em duas direções. O encadeamento retroativo permitiu rastrear os estudos de fundação citados pelos artigos principais, enquanto o encadeamento avançado possibilitou identificar pesquisas mais recentes que os citaram, revelando evoluções conceituais, debates atuais e inovações metodológicas. Esse processo adicionou 89 artigos ao conjunto inicial, resultando em um *corpus* total de 273 documentos candidatos.

Em seguida, todos os trabalhos foram submetidos a uma avaliação de relevância temática e metodológica, conduzida por meio de leitura analítica dos resumos e, posteriormente, dos textos completos. Após essa triagem, 167 artigos foram considerados pertinentes ao escopo da revisão, dos quais 50 foram classificados como altamente relevantes devido à sua contribuição conceitual, solidez empírica e alinhamento direto com os objetivos da pesquisa.

A análise dos dados foi realizada com base em uma codificação temática estruturada, utilizando categorias derivadas dos objetivos específicos. Os achados foram integrados de forma crítica, buscando identificar padrões, contradições, lacunas de conhecimento e convergências entre diferentes linhas de pesquisa. A síntese evitou listagens descritivas, privilegiando a construção de narrativas coerentes e interconectadas, que refletem a complexidade do fenômeno estudado. A diversidade de fontes foi assegurada por meio de uma distribuição equilibrada de citações, evitando a centralização excessiva em autores ou estudos individuais, e promovendo uma representação plural do campo.

A presente metodologia assegura rigor acadêmico, transparência e reprodutibilidade, fundamentais para o posicionamento desta revisão como contribuição científica robusta. Ao articular critérios explícitos de busca, seleção e análise, o estudo oferece uma base confiável para futuras pesquisas e para a formulação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade no setor de tecnologia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Descrição dos estudos

A partir do mapeamento do cenário de pesquisa da literatura sobre a extensão das políticas ambientais e estratégias de economia circular na mitigação dos impactos ecológicos da obsolescência planejada na indústria eletrônica, com foco em estruturas regulatórias, implementações de economia circular, papéis do consumidor, design de produto e barreiras sistêmicas, foi possível identificar que os estudos abrangem diversas metodologias, incluindo revisões de literatura, análises de políticas, pesquisas empíricas e estruturas conceituais, com forte ênfase nas políticas da UE e nas iniciativas globais de sustentabilidade, abrangendo regiões desenvolvidas e em desenvolvimento, destacando os avanços políticos e os desafios de implementação. Essa análise comparativa é relevante para as questões de pesquisa, pois sintetiza evidências sobre eficácia de políticas, estratégias circulares, engajamento do consumidor, inovações de design e facilitadores ou obstáculos na transição do setor eletrônico em direção à sustentabilidade.

3.2 Revisão Temática da Literatura

A literatura sobre a mitigação dos impactos ecológicos da obsolescência planejada na indústria eletrônica revela vários temas importantes centrados em políticas ambientais, estratégias de economia circular e inovações de design de produtos. Uma extensa pesquisa enfatiza o papel das estruturas regulatórias e dos instrumentos políticos na promoção da durabilidade, reparabilidade e eficiência de recursos.

As práticas de economia circular, incluindo reutilização, reforma e reciclagem, são amplamente estudadas como estratégias eficazes para prolongar a vida útil dos produtos e reduzir o lixo eletrônico. Além disso, o comportamento do consumidor e as barreiras sistêmicas à implementação são cada vez mais reconhecidas como fatores críticos que influenciam o sucesso dessas iniciativas. Estudos emergentes também destacam a evolução dos modelos de negócios e a integração de novas métricas para avaliar o desempenho da circularidade em eletrônicos.

Os estudos se concentram na eficácia e nas limitações das políticas ambientais, como a Diretiva de Design Ecológico da UE, as Diretivas de WEEE e Baterias, a responsabilidade estendida do produtor e novas regulamentações que visam durabilidade e reparabilidade. Essas políticas visam reduzir a obsolescência planejada e promover a circularidade, mas muitas vezes enfrentam desafios relacionados à aplicação, escopo e alinhamento com os princípios da economia circular (Maitre-Ekern e Dalhammar, 2016, Ford *et al.*, 2016, Richter, 2019, Dalhammar *et al.*, 2024, Cociña, 2024, Chenavaz e Dimitrov, 2024).

A literatura exige estruturas mais integrativas baseadas no ciclo de vida e combinações de políticas integradas para melhor abordar os impactos ambientais da eletrônica. Estratégias de economia circular em eletrônicos. Abordagens de economia circular, como reforma, remanufatura, reciclagem e modelos de produto como serviço, são amplamente exploradas para mitigar os impactos ecológicos (Modekwe *et al.*, 2023).

Nesse sentido, diversas pesquisas destacam a importância de fechar ciclos de materiais, melhorar a eficiência de recursos e promover modelos de negócios orientados por serviços para prolongar a vida útil dos produtos. No entanto, as lacunas de implementação permanecem, particularmente em relação à tecnologia, incentivos econômicos e facilitadores sistêmicos (Fetanat *et al.*, 2021, Deviatkin *et al.*, 2022, Pinheiro *et al.*, 2023, Swathi *et al.*, 2024, Roskladka *et al.*, 2025).

As estratégias circulares também estão ligadas a benefícios ambientais, como redução de resíduos e mitigação de emissões. Design de produto para durabilidade, reparabilidade e circularidade. O design do produto é identificado como um ponto crítico de alavancagem, com estudos enfatizando o design para reparo, reciclabilidade e modularidade para combater a obsolescência planejada. As diretrizes e estruturas de design buscam incorporar princípios de circularidade no início do desenvolvimento do produto, mas os desafios persistem devido às prioridades de design conflitantes e à adoção insuficiente da indústria (Berwald *et al.*, 2021, Stevels, 2023, Vennila e Karthikeyan, 2024, Dolderen *et al.*, 2024, Köpman e Majava, 2024, Roskladka *et al.*, 2025).

Os avanços também incluem o desenvolvimento de métricas e indicadores de circularidade para avaliar e orientar as decisões de design. Comportamento e engajamento do consumidor em práticas circulares. Isso, devido ao comportamento do consumidor influenciar fortemente o sucesso das iniciativas de economia circular, com pesquisas

examinando a conscientização, as práticas de reparo e as decisões de compra relacionadas à longevidade e à sustentabilidade. Estudos revelam uma capacidade de resposta mista do consumidor às informações de durabilidade e reparo, destacando a necessidade de intervenções comportamentais direcionadas e educação para promover o consumo responsável (Dalhammar *et al.*, 2024, Hunger *et al.*, 2023, Parajuly *et al.*, 2023a, 2023b).

O papel do consumidor é visto como fundamental, mas muitas vezes sub-representado nas estratégias de políticas e negócios. Barreiras e facilitadores para a implementação da economia circular. A pesquisa identifica barreiras multifacetadas, incluindo viabilidade econômica, demanda de mercado, restrições tecnológicas e lacunas políticas que impedem a adoção da economia circular na fabricação de eletrônicos e no gerenciamento de resíduos. Facilitadores como estruturas políticas integradas, colaboração de partes interessadas e inovação em modelos de negócios são propostos para superar esses obstáculos (Benešová *et al.*, 2024, Mahanth *et al.*, 2023, Arranz *et al.*, 2023, Ampe, 2024). Sendo assim, ao compreender as relações causais entre as barreiras, os gestores e formuladores de políticas podem direcionar melhor seus esforços e decisões.

Alguns estudos investigam modelos de negócios circulares emergentes, como serviço prestado sendo considerado um produto, remanufatura e passaportes digitais de produtos, que facilitam sua longevidade e reutilização de materiais. Porém, esses modelos enfrentam desafios sistêmicos devido a cadeias de valor lineares e considerações financeiras, mas se mostram promissores em alinhar incentivos econômicos com metas de sustentabilidade (Williams e Shittu, 2022, Neramballi *et al.*, 2024, Ko *et al.*, 2024). A literatura enfatiza a necessidade de apoio político para liberar seu potencial.

O desenvolvimento de indicadores de circularidade específicos e multidimensionais adaptados à eletrônica permite uma melhor avaliação do desempenho ambiental em todos os ciclos de vida do produto. Os desafios incluem padronização, coleta de dados e captura de dimensões sociais e funcionais além dos estágios de fim de vida (Dieterle *et al.*, 2021, Pollard *et al.*, 2022, Stevels, 2023). Essas ferramentas são essenciais para orientar as decisões de design, produção e política em direção a objetivos circulares, com perspectivas de responsabilidade jurídica e corporativa sobre a obsolescência planejada.

A obsolescência planejada também é analisada criticamente como um crime ambiental corporativo com implicações éticas e legais. Estudos defendem regulamentações e estruturas legais mais rígidas para proibir práticas deliberadas de redução da vida útil do produto e alinhar o comportamento corporativo aos princípios da economia circular (Malinauskaite e Erdem, 2021, Bisschop *et al.*, 2022, Indrawati *et al.*, 2024). Essa perspectiva ressalta bloqueios sistêmicos e considerações morais.

Os estudos de avaliação do ciclo de vida (*Life Cycle Assessment* - LCA) se concentram em vias formais de reciclagem de lixo eletrônico, destacando pontos críticos ambientais e compensações nos métodos de reciclagem. A pesquisa, em geral, exige estruturas aprimoradas de LCA para apoiar a gestão ambientalmente correta do lixo eletrônico, consistente com as metas da economia circular (Richter, 2019, Dieterle *et al.*, 2021, Gupta *et al.*, 2023, Kumar *et al.*, 2023), pois essas análises auxiliam na formulação de políticas e na inovação tecnológica.

Trabalhos recentes exploram avanços em materiais eletrônicos verdes, reutilização de circuitos integrados e componentes de produtos sustentáveis que suportam a circularidade e reduzem os danos ambientais (Santato, 2022, Pinheiro *et al.*, 2023, Stoddard *et al.*, 2024).

Essas inovações contribuem para prolongar a vida útil do produto e facilitar a reciclagem, mas exigem maior desenvolvimento e adoção pela indústria

3.3 Concordância e divergência entre os estudos

A literatura revisada apresenta um consenso considerável sobre o papel crítico das políticas ambientais e das estratégias de economia circular na mitigação dos impactos ecológicos da obsolescência planejada na indústria eletrônica. A maioria dos estudos concorda com a necessidade de aumentar a durabilidade, a reparabilidade e a reciclabilidade do produto, apoiada por estruturas regulatórias robustas e pelo engajamento do consumidor. No entanto, surgem divergências em relação à eficácia das políticas atuais, aos níveis de mudança comportamental do consumidor e à implementação prática de estratégias circulares, muitas vezes influenciadas por contextos geográficos, econômicos ou industriais, além de diferenças nas abordagens metodológicas, ambientes políticos e perspectivas das partes interessadas que explicam em grande parte dessas conclusões variadas.

Há consenso de que os regulamentos internacionais existentes como, por exemplo, a Diretiva de Design Ecológico e a Diretiva WEEE da UE, tem influenciado positivamente o design de produto para durabilidade e reciclabilidade (Maitre-Ekern e Dalhammar, 2016, Ford *et al.*, 2016, Richter, 2019, Dalhammar *et al.*, 2024).

Existe reconhecimento de que políticas têm potencial de reduzir os danos ambientais e incentivam práticas circulares (Richter, 2019, Chenavaz e Dimitrov, 2024). Além disso, alguns estudos argumentam que, atualmente, as políticas são insuficientes para lidar totalmente com a obsolescência planejada, exigindo medidas mais integrativas e rigorosas, incluindo a proibição explícita da obsolescência planejada praticada por grandes corporações (Malinauskaite e Erdem, 2021, Bisschop *et al.*, 2022).

Existe amplo acordo sobre a eficácia das estratégias de economia circular, como reparo, reutilização, reforma e reciclagem, na extensão da vida útil do produto e na redução do desperdício (Deviatkin *et al.*, 2022, Gaur *et al.*, 2023, Swathi *et al.*, 2024, Ko *et al.*, 2024, Roskladka *et al.*, 2025). Não obstante, existem diversos desafios na integração de modelos de negócios circulares avançados, como serviços sendo produtos, devido a barreiras sistêmicas (Neramballi *et al.*, 2024).

Embora haja reconhecimento do design de métodos de circularidade e modelos de negócios como principais facilitadores (Suppipat e Hu, 2021, Berwald *et al.*, 2021, Köpman e Majava, 2024, Roskladka *et al.*, 2025), alguns setores e empresas relatam baixas taxas de adoção de estratégias circulares, apesar da conscientização (Deviatkin *et al.*, 2022, Benešová *et al.*, 2024).

Todavia, o consenso geral é de que o comportamento do consumidor influencia significativamente o sucesso das iniciativas de economia circular e os consumidores tendem a responder às informações de durabilidade, especialmente para produtos de alto valor (Hunger *et al.* 2023, Parajuly *et al.*, 2023a, 2023b, Dalhammar *et al.*, 2024, Indrawati *et al.*, 2024).

Observada a importância da conscientização do consumidor e da mudança de comportamento para promover o reparo e a reutilização (Parajuly *et al.*, 2023b, Swathi *et al.*, 2024), existem muitas visões contrastantes sobre o grau de mudança comportamental alcançável. Nesse sentido, alguns estudos relatam baixa capacidade de resposta do consumidor às informações de reparabilidade e participação limitada em práticas circulares

para produtos mais baratos (Tischner, 2023, Dalhammar *et al.*, 2024, Ampe, 2024). Outros evidenciam ações concretas de consumo pouco pesquisadas na cadeia de valor circular. Isso devido a variabilidade na motivação do consumidor, restrições econômicas e fatores culturais; diferenças no foco do estudo (perspectiva do consumidor vs. política ou do produtor); falta de métricas comportamentais padronizadas, entre outras (Hunger *et al.*, 2023).

Existe forte consenso sobre a necessidade de incorporar recursos de durabilidade, reparabilidade e reciclabilidade em eletrônicos para combater a obsolescência planejada e apoiar a circularidade (Maitre-Ekern e Dalhammar, 2016, Berwald *et al.*, 2021, Köpman e Majava, 2024, Roskladka *et al.*, 2025). Dá-se muita ênfase nas diretrizes e métricas de design para avaliar a circularidade (Pollard *et al.*, 2022, Stevels, 2023, Roskladka *et al.*, 2025).

Em contrapartida, há pouco debate sobre compensações nas prioridades de design, como equilibrar durabilidade com rápida inovação tecnológica e desafios de reciclabilidade (Richter, 2019, Köpman e Majava, 2024), pois alguns projetos ainda priorizam períodos de vida curtos ou o uso complexo de materiais que dificultam a circularidade (Bisschop *et al.*, 2022, Dolderen *et al.*, 2024).

Há o consenso unânime de que os custos financeiros, a falta de demanda e tecnologia do mercado e as lacunas regulatórias são as principais barreiras à adoção da economia circular (Fetanat *et al.*, 2021, Mahanth *et al.*, 2023, Benešová *et al.*, 2024, Dalhammar *et al.*, 2024). Os facilitadores incluem políticas integradas, responsabilidade estendida do produtor e engajamento colaborativo das partes interessadas (Fetanat *et al.*, 2021, Chenavaz e Dimitrov, 2024, Roskladka *et al.*, 2025).

Também há diferentes ênfases em fatores culturais e políticos, onde alguns destacam desafios políticos e discursivos em economias de reparo, enquanto outros concentram-se mais em barreiras econômicas e infraestruturais. Além de grande variação na prontidão das partes interessadas e na aplicação de políticas entre diferentes regiões (Mahanth *et al.*, 2023, Ampe, 2024, Eastman, 2024).

3.4 Implicações teóricas e práticas

A síntese da literatura revela que as políticas ambientais atuais que abordam a obsolescência planejada em eletrônicos são frequentemente insuficientes, destacando uma lacuna teórica na integração de estruturas legais com princípios de economia circular para mitigar efetivamente os impactos ecológicos. Isso desafia as abordagens regulatórias tradicionais que se concentram estritamente no gerenciamento do fim da vida útil, em vez de considerações multidisciplinares sobre o ciclo de vida dos produtos (Maitre-Ekern e Dalhammar, 2016, Malinauskaite e Erdem, 2021, Chenavaz e Dimitrov, 2024).

As estratégias de economia circular em eletrônica são teoricamente apoiadas por princípios de design que enfatizam durabilidade, reparabilidade e reciclabilidade; no entanto, requisitos de design conflitantes e a falta de métodos validados de design para reciclagem indicam a necessidade de modelos teóricos refinados que reconciliem essas tensões (Dolderen *et al.*, 2024, Köpman e Majava, 2024, Roskladka *et al.*, 2025).

As teorias do comportamento do consumidor relacionadas à obsolescência planejada e à adoção da economia circular permanecem subdesenvolvidas, com pesquisas indicando um “ponto cego da cadeia de valor circular”, onde as ações do consumidor são menos estudadas em comparação com atores corporativos e políticos (Hunger *et al.*, 2023, Parajuly *et al.*, 2023b,

Indrawati *et al.*, 2024). Isso sugere uma oportunidade teórica de integrar a ciência comportamental mais profundamente às estruturas da economia circular.

Modelos teóricos de práticas comerciais circulares, como produto como serviço (*Platform as a Service* - PaaS), enfrentam barreiras sistêmicas enraizadas em cadeias de valor lineares e estruturas organizacionais, indicando que as teorias de economia circular existentes devem se expandir para incorporar facilitadores sistêmicos e de nível político para a inovação do modelo de negócios (Arranz *et al.*, 2023, Neramballi *et al.*, 2024).

A LCA e a análise de lacunas do ciclo de vida (LCGA) fornecem ferramentas teóricas para quantificar os impactos ambientais e o potencial de circularidade, mas as descobertas mostram lacunas significativas no ciclo de vida em eletrônicos de consumo, ressaltando a necessidade de avanços teóricos na integração de métricas de circularidade com design de produto e avaliação de políticas (Dieterle *et al.*, 2021, Pollard *et al.*, 2022).

O papel da criticidade do material e da pressão de recursos no design circular de produtos introduz uma dimensão teórica ligando os limites globais de sustentabilidade ao consumo de recursos no nível do produto, avançando na conceituação da economia circular além dos fluxos de materiais até os limites planetários (Desing, 2023, Stevels, 2023).

3.5 Implicações práticas

Os formuladores de políticas devem priorizar o desenvolvimento de regulamentações abrangentes e orientadas para o ciclo de vida que proíbam a obsolescência planejada e incentivem o design circular, a durabilidade e a reparabilidade, já que as medidas legais fragmentadas atuais têm eficácia limitada (Maitre-Ekern e Dalhammar, 2016, Malinauskaite e Erdem, 2021, Chenavaz e Dimitrov, 2024).

Os profissionais do setor são incentivados a adotar e operacionalizar atributos circulares de produtos e estruturas de design para reparo para estender a vida útil do produto e facilitar a recuperação no final da vida útil, apoiados por diretrizes e métricas emergentes adaptadas à eletrônica (Berwald *et al.*, 2021, Ko *et al.*, 2024, Roskladka *et al.*, 2025).

As estratégias de engajamento do consumidor devem ser aprimoradas por meio de intervenções comportamentais direcionadas e informações transparentes (por exemplo, passaportes digitais de produtos e divulgações de garantia) para superar as barreiras no reparo e na reutilização, reconhecendo que a resposta do consumidor varia de acordo com o tipo e o preço do produto (Parajuly *et al.*, 2023a, 2023b, Dalhammar *et al.*, 2024).

O setor de fabricação de eletrônicos deve integrar estratégias de economia circular de forma mais sistemática, incluindo o uso de insumos reciclados, projetos de material único e melhor reciclabilidade, ao mesmo tempo em que aborda as barreiras financeiras e tecnológicas identificadas em pesquisas do setor (Deviatkin *et al.*, 2022, Benešová *et al.*, 2024).

Outro ponto importante são as políticas de gerenciamento de resíduos que precisam evoluir de “soluções de fim de tubulação” para facilitadores sistêmicos da circularidade, incorporando avaliações de sustentabilidade multicritério e promovendo a colaboração entre as partes interessadas para melhorar a coleta, reciclagem e recuperação de recursos de lixo eletrônico (Fetanat *et al.*, 2021, Gaur *et al.*, 2023, Eastman, 2024).

O alinhamento de incentivos econômicos, estruturas regulatórias e inovação tecnológica é fundamental para superar as barreiras sistêmicas na adoção de modelos

circulares de negócios, particularmente para modelos de produto como serviço e a reutilização de componentes de alto impacto, como circuitos integrados (Mahanth *et al.*, 2023, Neramballi *et al.*, 2024, Stoddard *et al.*, 2024).

4. DISCUSSÃO

4.1 Limitações da literatura

Muitos estudos concentram-se predominantemente em contextos europeus ou países desenvolvidos, limitando a validade externa dos resultados para aplicabilidade global. Essa concentração geográfica restringe a compreensão da eficácia das políticas e das estratégias de economia circular em diversos ambientes socioeconômicos e regulatórios.

O comportamento do consumidor geralmente é pouco explorado ou abordado de forma restrita, enfraquecendo os insights sobre como as ações do consumidor influenciam o sucesso da economia circular. Essa lacuna reduz a capacidade de projetar intervenções eficazes que se alinhem às motivações e barreiras reais do consumidor.

Várias revisões e estudos empíricos se baseiam em amostras pequenas, entrevistas qualitativas ou estudos de caso limitados, que restringem a generalização e a robustez das conclusões. Essa limitação metodológica afeta a confiabilidade e a replicabilidade das descobertas em todo o setor de eletrônicos.

A ênfase predominante na reciclagem e no gerenciamento do fim da vida útil negligencia as fases iniciais de projeto e produção, limitando a compreensão abrangente da circularidade. Esse foco estreito prejudica o desenvolvimento de estratégias multidisciplinares que integram o design, o uso e o descarte de produtos.

A literatura existente geralmente carece de uma avaliação rigorosa da eficácia da política, especialmente em relação à fiscalização e aos impactos no mundo real. Essa lacuna prejudica a capacidade de avaliar quais medidas regulatórias realmente mitigam a obsolescência planejada e promovem os princípios da economia circular.

A pesquisa em design para reparo (*Design for Repair* - DfR) é fragmentada e subdesenvolvida, particularmente no que diz respeito à prevenção da obsolescência relativa. Essa fragmentação limita a operacionalização de estratégias de reparo como ferramentas eficazes de economia circular e enfraquece a orientação de políticas e design.

Há uma falta de indicadores e métricas de circularidade padronizados e específicos do setor, especialmente abrangendo as dimensões sociais e a funcionalidade do produto. Essa deficiência dificulta a medição e a avaliação comparativa consistentes do desempenho da economia circular, afetando a comparabilidade e a formulação de políticas.

As restrições financeiras e as incertezas da demanda do mercado são frequentemente citadas como barreiras, mas não são suficientemente quantificadas ou abordadas em estudos empíricos. Essa limitação reduz a aplicabilidade prática das estratégias de economia circular propostas e das recomendações de políticas.

A literatura geralmente prioriza soluções tecnológicas para reciclagem em vez de medidas preventivas, como longevidade do produto e inovação em design. Esse desequilíbrio pode levar a resultados de sustentabilidade abaixo do ideal ao negligenciar as oportunidades iniciais da economia circular.

4.2 Análise crítica e síntese

A literatura sobre políticas ambientais e estratégias de economia circular que abordam a obsolescência planejada na indústria eletrônica revela um cenário multifacetado de esforços regulatórios, inovações de design e considerações sobre o comportamento do consumidor.

Embora haja um reconhecimento crescente da necessidade de estruturas políticas integradas e modelos de negócios circulares, muitos estudos destacam lacunas significativas na implementação, fiscalização e engajamento do consumidor.

A pesquisa ressalta coletivamente a importância do design do produto, das medidas legislativas e das barreiras sistêmicas, mas muitas vezes sofre de abordagens fragmentadas e validação empírica limitada. Essa síntese avalia criticamente essas dimensões, enfatizando os pontos fortes e fracos que moldam a compreensão atual e as direções futuras.

4.3 Lacunas e direções para futuras pesquisas

A análise revela diversas lacunas críticas que ainda limitam o avanço efetivo da economia circular no setor de eletrônicos. Uma das principais deficiências reside na ausência de estruturas políticas multidisciplinares capazes de abordar a obsolescência planejada de forma preventiva, com ênfase em mecanismos como responsabilidade estendida do produtor, durabilidade obrigatória e incentivos econômicos, em vez de focar apenas na gestão de resíduos. Paralelamente, estratégias de design circular, embora promissoras, carecem de validação empírica robusta em ambientes de produção e reciclagem reais, o que dificulta sua adoção em larga escala.

Outra limitação significativa é a escassa compreensão do comportamento do consumidor em práticas circulares além da reciclagem, especialmente no que diz respeito ao reparo e à reutilização, configurando um ponto cego nas cadeias de valor. Adicionalmente, o design de produtos enfrenta desafios estruturais devido a requisitos conflitantes entre reutilização, reparo e reciclagem, exigindo abordagens multicritério para otimização.

Em contextos de economias emergentes, barreiras políticas, infraestruturais e socioeconômicas acentuam as dificuldades de implementação de práticas circulares, demandando soluções adaptadas às especificidades locais. Embora ferramentas digitais como passaportes de identificação dos produtos apresentem potencial para aumentar a transparência e a rastreabilidade, sua integração ainda é incipiente e carece de padronização e avaliação sistemática.

A falta de métricas de circularidade padronizadas, especialmente aquelas que considerem dimensões sociais e fases do ciclo de vida do produto além do fim da vida útil, dificulta a avaliação consistente de políticas e iniciativas. Além disso, há escassa atenção ao design voltado à prevenção da obsolescência relativa, como atualizações modulares e interoperabilidade, o que limita a extensão real da vida útil dos produtos.

O alinhamento entre políticas públicas e capacidades industriais permanece fragmentado, exigindo mecanismos colaborativos para integração mais eficaz. Por fim, as dimensões sociais, culturais e de poder que influenciam a aceitação e a eficácia das práticas circulares são ainda subexploradas, evidenciando a necessidade de pesquisas qualitativas e

interdisciplinares que incorporem essas variáveis nas estratégias de transição para a circularidade.

5. CONCLUSÃO

A literatura acumulada revela que, embora as políticas ambientais, particularmente na UE, tenham iniciado um progresso significativo no sentido de mitigar os impactos ecológicos da obsolescência planejada na indústria eletrônica, esses esforços permanecem insuficientes e aplicados de forma desigual no restante do mundo.

Os marcos legais existentes promovem a durabilidade e a reparabilidade do produto, principalmente por meio de diretivas focadas no gerenciamento do fim da vida útil e na recuperação de materiais. No entanto, uma ênfase predominante no tratamento reativo de resíduos, em vez da prevenção proativa da obsolescência prematura, limita a eficácia da política.

A integração da responsabilidade estendida do produtor, das regulamentações de design ecológico e dos incentivos econômicos é reconhecida como vital, mas persistem lacunas significativas, especialmente nas economias emergentes, onde deficiências infraestruturais e legislativas impedem o impacto das políticas.

As estratégias de economia circular se mostram promissoras como uma abordagem multidisciplinar para estender a vida útil dos produtos e melhorar a eficiência dos recursos. Ademais, a adoção parcial de práticas de reparo, reutilização, reforma e reciclagem evidencia a conscientização do setor, juntamente com modelos de negócios circulares emergentes, como o produto como serviço. No entanto, a implementação no mundo real é desafiada por restrições financeiras, limitações tecnológicas e dinâmicas complexas da cadeia de valor.

Inovações de design que melhoram a durabilidade, a reparabilidade e a reciclabilidade são fatores essenciais, mas muitas vezes enfrentam requisitos conflitantes e carecem de diretrizes robustas e validadas, adaptadas à eletrônica. Além do mais, as considerações sobre o fim da vida útil e a integração sustentável de materiais permanecem subdesenvolvidas, deixando oportunidades de melhoria em todo o ciclo de vida do produto.

O comportamento do consumidor surge como um fator fundamental, mas pouco explorado, que influencia o sucesso das iniciativas de economia circular. Evidências sugerem que os consumidores respondem de forma variável às informações sobre durabilidade e reparabilidade, particularmente favorecendo produtos de maior valor, enquanto eletrônicos de baixo custo sofrem menos mudanças comportamentais.

Intervenções comportamentais e programas educacionais oferecem potencial para aumentar o engajamento do consumidor, mas pesquisas revelam um notável “ponto cego circular da cadeia de valor”, com atenção insuficiente às estratégias centradas no consumidor além da reciclagem. Consequentemente, alinhar a consciência do consumidor com as metas da indústria e das políticas é essencial para promover padrões de consumo sustentáveis.

Barreiras sistêmicas, incluindo desafios de lucratividade econômica, insuficiências na demanda do mercado, lacunas regulatórias e interesses corporativos arraigados, impedem persistentemente a escalabilidade de estratégias circulares e a adoção de políticas.

Facilitadores como combinações de políticas integradas e abrangentes, colaboração das partes interessadas, métricas padronizadas e inovações tecnológicas são reconhecidos,

mas exigem maior operacionalização, onde o alinhamento entre os objetivos políticos e as capacidades do setor permanece fragmentado, complicando ainda mais as transições efetivas da economia circular.

Em suma, a literatura indica que o avanço da sustentabilidade ecológica no setor de eletrônicos exige uma abordagem multifacetada: fortalecer políticas multidisciplinares e aplicáveis que priorizem a prevenção da obsolescência planejada; promover estratégias de economia circular ancoradas em princípios de design validados e modelos de negócios viáveis; e intensificar pesquisas e intervenções voltadas para o comportamento do consumidor. Unir essas dimensões, apoiado por métricas robustas e engajamento inclusivo das partes interessadas, será fundamental para superar barreiras e permitir uma mudança sistêmica em direção à circularidade e resiliência ambiental na fabricação de eletrônicos e no gerenciamento de resíduos.

REFERÊNCIAS

ALIVOJVODIĆ, V. Beyond disposable design: challenging planned obsolescence through circular economy practices. *Ekonomika Poljoprivrede* (1979), v. 71, n. 3, p. 1071–1083, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.59267/ekopolj24031071a>

AMPE, K. Whose circular repair economy counts? Four competing discourses of electronics repair. *Resources Conservation and Recycling*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107611>

ARRANZ, C. A.; KWONG, C.; SENA, V. The effect of consumption and production policies on circular economy business models: A machine learning approach. *Journal of Industrial Ecology*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13397>

BENEŠOVÁ, A. *et al.* Towards Sustainable Electronics: Unveiling the Nexus of Circular Economy, Global Policies and Industry Impacts, *IEEE*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/isse61612.2024.10604016>

BERWALD, A. *et al.* Design for circularity guidelines for the eee sector. 2021. *Sustainability*, v. 13, n. 7. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/SU13073923>

BISSCHOP, L.; HENDLIN, Y. H.; JASPERS, J. Designed to break: planned obsolescence as corporate environmental crime. *Crime Law and Social Change*, v. 78, n. 3, p. 271–293, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10611-022-10023-4>

CHENAVAZ, R.; DIMITROV, S. From waste to wealth: Policies to promote the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141086>

COCIÑA, B. P. Gestión y prevención de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): una propuesta para promover la economía circular. *Actualidad Jurídica Ambiental*, n. 84, p. 6–36, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.56398/ajacieda.00125>

COCIÑA, B. P. Los nuevos reglamentos de diseño ecológico: ¿hacia productos más circulares? *Revista galega de economía*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.15304/rge.33.2.9513>

DALHAMMAR, C.; LUTH RICHTER, J.; MONTENEGRO, P. Drivers and Barriers for “Circular” Consumer Electronics in the European Union. *Electronics Goes Green*, p. 1–10, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.23919/egg62010.2024.10631178>

DESING, H. Connecting Global Sustainability with Circular Product Design. *Springer Nature*, 2023. p. 43–56. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-99-7532-7_3

DEVIATKIN, I. *et al.* Implementation of Circular Economy Strategies within the Electronics Sector: Insights from Finnish Companies. *Sustainability*, v. 14, n. 6, p. 3268, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14063268>

DIETERLE, M. *et al.* Circularity of consumer electronics within Life Cycle Gap Analysis. *E3S web of conferences*, v. 349, p. 09002, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234909002>

DOLDEREN, D. C. V. *et al.* Design for Recycling of Electronics: The Urgent Need for Better Methods. *Electronics Goes Green*, p. 1–6, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.23919/egg62010.2024.10631173>

FETANAT, A.; TAYEBI, M.; SHAFIPOUR, G. Management of waste electrical and electronic equipment based on circular economy strategies: navigating a sustainability transition toward waste management sector. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 23, n. 2, p. 343–369, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S10098-020-02006-7>

FORD, P. *et al.* Utilizing Economic Value, Resource Availability, and Environmental Impact Metrics to Improve the WEEE and Battery Directives and Promote Alignment with the European Commission Circular Economy Strategy. *Springer International Publishing*, 2016. p. 289–295. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-48768-7_45

GAUR, T. S. *et al.* A systematic review on sustainable E-waste management: challenges, circular economy practices, and a conceptual framework. *Management of Environmental Quality*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/meq-05-2023-0139>

GUPTA, V. K. *et al.* Driving sustainable circular economy in electronics: A comprehensive review on environmental life cycle assessment of e-waste recycling. *Environmental Pollution*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123081>

HUNGER, T.; ARNOLD, M. G.; ULBER, M. Circular value chain blind spot – A scoping review of the 9R framework in consumption. *Journal of Cleaner Production*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140853>

INDRAWATI, I. *et al.* Towards a Unified Model of Planned Obsolescence and Innovation Adoption in Consumer Behavior: A Literature Review and Conceptual Proposition using the Stimulus-Organism-Response Framework. *Management and Production Engineering Review*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24425/mper.2024.151128>

IROEGBU, M. C. *et al.* Management Policy for Laboratory Electronic Waste from Grave to Cradle. **Climate Emergency - Springer**, p. 461–474, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-79450-7_34

KO, J. *et al.* Transitioning Towards Circular Consumer Electronics Products. **The American Society of Mechanical Engineers**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/detc2024-147949>

KÖPMAN, J.; MAJAVA, J. The role of product design in advancing the circular economy of electric and electronic equipment. **Resources, conservation; recycling advances**, p. 200207, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200207>

KUMAR, S.; SINGLA, B.; SHARMA, S. E-Waste Management Transition Towards Circular Economy. **IGI Global**, 2023. p. 80–85. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8117-2.ch006>

MAHANTH, T. *et al.* Modelling the Barriers to Circular Economy Practices in the Indian State of Tamil Nadu in Managing E-Wastes to Achieve Green Environment. **Sustainability**, v. 15, n. 5, p. 4224, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15054224>

MAITRE-EKERN, E.; DALHAMMAR, C. Regulating Planned Obsolescence: A Review of Legal Approaches to Increase Product Durability and Reparability in Europe. **Review of European, Comparative and International Environmental Law**, v. 25, n. 3, p. 378–394, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/REEL.12182>

MALINAUSKAITE, J.; ERDEM, F. B. Planned Obsolescence in the Context of a Holistic Legal Sphere and the Circular Economy. **Oxford Journal of Legal Studies**, v. 41, n. 3, p. 719–749, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/OJLS/GQAA061>

MAPHOSA, M.; MAPHOSA, V. Using the Circular Economy to Mitigate the Global Electronic Waste Challenge: A Systematic Literature Review Approach. **EJSICE**. 2024, , Disponível em: <https://doi.org/10.13135/2704-9906/10799>

MODEKWE, H. U. *et al.* Electronic Waste Management Strategy in a Circular/Control Economy Electronic Waste Management Strategy in a Circular/Control Economy. **Electronic Waste Management: Policies, Processes, Technologies, and Impact**, p. 52–65, 2023. DOI: 10.1002/9781119891543.ch5.

NERAMBALLI, A. *et al.* Toward a policy landscape to support the product-as-a-service design process for a circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13535>

NETO, J. F. O. *et al.* Waste of electrical and electronic equipment management from the perspective of a circular economy: A Review. **Waste Management; Research**, v. 41, p. 760–780, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X221135341>

ÖZKAN, P.; YÜCEL, E. K. Linear Economy to Circular Economy: Planned Obsolescence to Cradle-to-Cradle Product Perspective. **IGI Global**, 2020. p. 61–86. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5116-5.CH004>

PARAJULY, K. *et al.* Product repair in a circular economy: Exploring public repair behavior from a systems perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13451>

PARAJULY, K.; KUEHR, R.; FITZPATRICK, C. Designing behavioural interventions for better e-waste management and the circular economy. *Edward Elgar Publishing*, 2023a. p. 162–183. Disponível em: <https://doi.org/10.4337/9781800882133.00018>

PINHEIRO, W.; DA SILVA, E. P.; DE FREITAS, F. A. Circular Economy and the Development of Sustainable Products Through the Application of E-waste. *Elect. Waste Manag.* p. 124–133, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119891543.ch10>

POLLARD, J. R. *et al.* Developing and Applying Circularity Indicators for the Electrical and Electronic Sector: A Product Lifecycle Approach. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1154, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14031154>

RICHTER, J. L. **Towards a Circular Economy with Environmental Product Policy: Considering dynamics in closing and slowing material loops for lighting products.** 2019. Tese (Environmental Management), 207p. Instituto Internacional de Economia Ambiental Industrial, Tegnérsplatsen 4, Universidade de Lund, Faculdade de Engenharia LTH, Disponível em: <http://lup.lub.lu.se/record/98542cbf-05a7-4c80-92d5-ca772527abc1>

ROSKLADKA, N. *et al.* Repairable Electronic Products for the Circular Economy: a Review of Design for Repair Features, Practices and Measures to Contrast Obsolescence. 2025. *Discover Sustainability*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00753-x>

RUIZ DE AZUA LAHIDALGA, I. *et al.* Circular Power Electronics: Exploring the Scope and Suitability of Ecodesign Criteria for the Power Electronics Industry. *Electronics Goes Green*, p. 1–8, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.23919/egg62010.2024.10631184>

SANTATO, C. *Green Electronics*. v. 6, n. 2, p. 2100333, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adsu.202100333>

STEVENS, A. The challenge of introducing design for the circular economy in the electronics industry: A proposal for metrics. *Circular Economy*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100051>

STODDARD, N. *et al.* Towards Sustainable Electronics: Exploring IC Reuse for Circular Economy Transformation. *IEEE*, p. 1–8, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.23919/egg62010.2024.10631235>

SUPPIPAT, S.; HU, A. H. A scoping review of design for circularity in the electrical and electronics industry. *Resources, conservation; recycling advances*, v. 13, p. 200064, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200064>

SWATHI, B. *et al.* Sustainable E-Waste Reduction Methods and Models. *IGI Global*, 2024. p. 239–253. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1018-2.ch016>

TISCHNER, U. Beyond Eco-Design Towards Designing Sustainable Circular Production-Consumption Systems. **Springer Nature**, 2023. p. 21–41. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-99-7532-7_2

VENNILA, S.; KARTHIKEYAN, K. An EOQ Model for Circularity Index with Waste Minimization and Reduced Emission in Electrical and Electronic Equipment. **Contemporary mathematics**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.37256/cm.5320244381>

WILLIAMS, I. D.; SHITTU, O. S. Development of sustainable electronic products, business models and designs using circular economy thinking. **Detritus**, n. 21, p. 45–54, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2022.16228>