Universidade do Estado do Pará
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia
PPGTEC – Mestrado

Vinicius Lira do Carmo

Diretrizes de Projeto para Logística Reversa de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos no Brasil: Uma abordagem baseada nos Instrumentos Legais

Belém
2026

Vinicius Lira do Carmo

Diretrizes de Projeto para Logística Reversa de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos no Brasil: Uma abordagem baseada nos Instrumentos Legais

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia da Universidade do Estado do Pará, como requisito à obtenção do título de mestre em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. André Cristiano Silva Melo
Coorientador: Prof. Dr. Antônio Erlindo Braga Júnior

Belém
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP),
Biblioteca do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, UEPA, Belém - PA.

C287d Carmo, Vinicius Lira do

Diretrizes de projeto para logística reversa de resíduos de equipamentos eletrônicos no Brasil: uma abordagem baseada nos instrumentos legais. / Vinicius Lira do Carmo; Orientador André Cristiano Silva Melo; Coorientador Antônio Erlindo Braga Júnior. -- Belém, 2026.
126 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém, 2026.

1. Resíduos sólidos - Aparelhos e materiais eletrônicos - Brasil. 2. Resíduos sólidos - Gestão - Brasil. 3. Lixo eletrônico - Reaproveitamento. 4. Sustentabilidade. I. Melo, André Cristiano Silva. II. Braga Júnior, Antônio Erlindo. III. Título.

CDD 628.44

Vinicius Lira do Carmo

Diretrizes de Projeto para Logística Reversa de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos no Brasil: Uma abordagem baseada nos Instrumentos Legais

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia da Universidade do Estado do Pará, como requisito à obtenção do título de mestre em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia.

Data da aprovação: 28 de abril de 2026.
Banca Examinadora:

(Orientador)
Prof. Dr. André Cristiano Silva Melo
Doutor em Eng. Produção - UFRJ
Universidade do Estado do Pará – PPGTEC

(Coorientador)
Prof. Dr. Antônio Erlindo Braga Júnior
Doutor em Eng. Produção - UFSCar
Universidade do Estado do Pará – PPGTEC

(Membro Interno)
Prof. Dr. Vitor Wiliam Batista Martins
Doutor em Eng. Mecânica - UNICAMP
Universidade do Estado do Pará – PPGTEC

(Membro Interno)
Prof. Dr. Iedo Souza Santos
Doutor em Eng. Produção - UFSCar
Universidade do Estado do Pará – PPGTEC

(Membro Externo)
Prof. Dr. Leonardo Augusto Gómez Castillo
Doutor em *Human and Environmental Studies* - Kyoto University
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

(Membro Externo)
Prof. Dra. Thamyres Oliveira Clementino
Doutora em Design - UFPE
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Raimundo Fernandes e Raimunda Lira, por toda a dedicação, cuidado e pelos inúmeros desafios que enfrentaram para me proporcionar uma educação de qualidade. Seus esforços, muitas vezes silenciosos, foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. A eles, devo não apenas esta conquista, mas também os valores que orientam minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela vida, pela força nos momentos de incerteza e pela sabedoria necessária para seguir adiante diante dos desafios ao longo desta jornada.

À minha família, meu maior tesouro e fonte constante de motivação, expresso minha mais profunda gratidão. Com vocês, tenho aprendido diariamente a ser um ser humano melhor e a compreender o verdadeiro sentido da minha vida: fazê-los felizes.

Ao meu orientador, Prof. Dr. André Melo, e ao meu coorientador, Prof. Dr. Antônio Erlindo, agradeço por acreditarem neste projeto e por trilharem comigo este percurso com dedicação e parceria. Sou grato não apenas pelo conhecimento científico construído em conjunto, mas também pelas valiosas contribuições que transcendem o campo acadêmico. Vocês são uma inspiração para a minha vida pessoal e profissional.

Aos professores membros da banca, agradeço pelas contribuições criteriosas e enriquecedoras, fundamentais para o aprimoramento deste trabalho.

À Universidade do Estado do Pará (UEPA) e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia (PPGTEC), agradeço a oportunidade e por acreditarem em meu potencial de contribuição acadêmica e científica.

Aos meus colegas de turma, que tornaram essa caminhada mais leve e significativa, agradeço pela convivência, pelas trocas e pelos aprendizados compartilhados.

A todos, o meu sincero agradecimento.

EPÍGRAFE

“Não desista”, disse a toupeira.

“Na maioria das vezes, as coisas boas levam tempo.”

(Charlie Mackesy)

RESUMO

A crescente geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (*Waste Electrical and Electronic Equipment* - WEEE) em escala global, combinada com as baixas taxas de reciclagem formal registradas mesmo em países com marcos regulatórios estabelecidos, evidencia que a transição para modelos mais circulares no setor eletroeletrônico depende também de produtos projetados com esta finalidade para facilitar sua recuperação. No Brasil, esse desafio se insere em um contexto regulatório específico, composto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n.º 12.305/2010), pelo Decreto n.º 10.936/2022, pelo Decreto n.º 10.240/2020 e pelo Acordo Setorial de Produtos Eletroeletrônicos de 2019, instrumentos que estabelecem obrigações de Logística Reversa (LR) para o setor, mas que carecem de requisitos explícitos de projeto orientados à circularidade. Diante da lacuna identificada na literatura quanto à carência de diretrizes de *Design for Reverse Logistics* (DfRL) fundamentadas nas operações de LR e nos Instrumentos Legais Brasileiros (ILB), esta dissertação tem como objetivo propor diretrizes de DfRL para WEEE fundamentadas nos ILB voltados à implementação de cadeias de suprimentos reversas desses resíduos. A pesquisa adota abordagem mista em um projeto sequencial exploratório, estruturada em dois artigos complementares. O Artigo 1 empregou Análise de Conteúdo com suporte de plataforma de inteligência artificial generativa — por meio de protocolo estruturado e documentado — e Matriz de Certezas, Suposições e Dúvidas para identificar e categorizar, nos quatro ILB selecionados, as diretrizes de projeto orientadas às dez atividades de LR, resultando no mapeamento de 9 Certezas. O Artigo 2 submeteu as diretrizes dotadas de respaldo legal ao método Lawshe de Validade de Conteúdo, aplicado a um painel de 82 especialistas das áreas de Design Para Sustentabilidade, Economia Circular e Logística Reversa, em análises agregada e segregada por área de especialização. Na análise agregada, as diretrizes foram validadas como essenciais, com padrões heterogêneos entre as atividades de LR. A análise segregada identificou um núcleo consensual de diretrizes unanimemente validadas pelos três grupos e revelou um desalinhamento estrutural entre as prioridades da legislação vigente e a percepção dos especialistas. Os resultados oferecem contribuições simultâneas para a teoria do DfRL, para a prática do design de produtos eletroeletrônicos e para o aprimoramento do arcabouço regulatório brasileiro, além de demonstrar uma abordagem metodológica replicável para outros setores produtivos e contextos nacionais com legislação própria para a gestão de resíduos.

Palavras-chave: Diretrizes de projeto; Projeto para logística reversa; Gerenciamento de resíduos; Análise multicritério de decisão; Análise de conteúdo; Economia circular.

ABSTRACT

The growing generation of waste electrical and electronic equipment on a global scale, combined with low formal recycling rates even in countries with established regulatory frameworks, highlights that the transition to more circular models in the electronics sector also depends on products designed with this purpose in mind to facilitate their recovery. In Brazil, this challenge is set within a specific regulatory framework, comprising the National Solid Waste Policy (Law No. 12,305/2010), Decree No. 10,936/2022, Decree No. 10,240/2020, and the 2019 Sectoral Agreement on Electrical and Electronic Products—instruments that establish reverse logistics (RL) obligations for the sector but lack explicit design requirements oriented toward circularity. Given the gap identified in the literature regarding the lack of Design for Reverse Logistics (DfRL) guidelines grounded in RL operations and Brazilian Legal Instruments (BLIs), this dissertation has the general objective of proposing DfRL guidelines for WEEE grounded in the ILB aimed at implementing reverse supply chains for this waste. The research adopts a mixed-methods approach in a sequential exploratory design, structured into two complementary articles. Article 1 employed Content Analysis supported by a generative artificial intelligence platform—through a structured and documented protocol—and a Matrix of Certainties, Assumptions, and Doubts to identify and categorize, within the four selected BLIs, the design guidelines oriented toward the ten RL activities, resulting in the mapping of 9 Certainties. Article 2 subjected the legally supported guidelines to the Lawshe Content Validity method, applied to a panel of 82 experts in the fields of Sustainable Design, Circular Economy, and RL, in both aggregated and segregated analyses by area of expertise. In the aggregated analysis, the guidelines were validated as essential, with heterogeneous patterns across RL activities. The segregated analysis identified a core set of guidelines unanimously validated by all three groups and revealed a structural misalignment between the priorities of current legislation and the experts' perceptions. The results offer simultaneous contributions to DfRL theory, to the practice of electronic product design, and to the improvement of the Brazilian regulatory framework, in addition to demonstrating a replicable methodological approach for other productive sectors and national contexts with their own waste management legislation.

Keywords: *Design Guidelines; Design for reverse logistics; Waste Management; Mulcriteria Decision Analysis; Content Analysis; Circular Economy.*

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Matriz de Amarração..... 17
Quadro 2.1 – Estrutura do Protocolo de Análise Assistida por IA.....25
Quadro 2.2 – Estrutura das três rodadas sequenciais de análise assistida por IA..... 27
Quadro 2.3 – Matriz CSD: Certezas – Diretrizes de projeto explicitamente presentes nos ILB..... 29
Quadro 3.1 – Instrumentos Legais Brasileiros para gestão de WEEE considerados.....42
Quadro 3.2 – Diretrizes de projeto identificadas e propostas a partir dos ILB..... 45
Quadro 3.3 – Equações envolvidas no Método Lawshe.....48
Quadro 3.4 – Resultados da validação agregada: CVR por diretriz de projeto.....53
Quadro 3.5 – Comparação dos resultados de validação por área de especialização..... 57
Quadro 3.6 – Núcleo consensual: Diretrizes validadas pelos três grupos.....58
Quadro 3.7 – Núcleo consensual: Diretrizes rejeitadas pelos três grupos..... 60
Quadro 3.8 – Diretrizes de DfRL validadas na análise agregada.....64

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Distribuição do perfil acadêmico dos especialistas..... 51
Figura 3.2 – Distribuição dos especialistas por área de atuação principal..... 51
Figura 3.3 – Distribuição do tempo de experiência profissional dos especialistas..... 52
Figura 3.4 – Distribuição das diretrizes de projeto validadas por atividade de RL..... 54
Figura 3.5 – Comparação de diretrizes validadas por atividade e grupo de especialistas..... 62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
2. DIRETRIZES DE PROJETO PARA A LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS – ARTIGO 1 17
3. DIRETRIZES DE DESIGN PARA A LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: UMA VALIDAÇÃO MULTIDISCIPLINAR BASEADA NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA – ARTIGO 2 37
4. DISCUSSÕES ADICIONAIS 73
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 76
REFERÊNCIAS 78
APÊNDICES 81
APÊNDICE A — ARTIGO 1 81
APÊNDICE B — PROTOCOLO DE ANÁLISE DE CONTEÚDO ASSISTIDA POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL 99
APÊNDICE C — INSTRUMENTO DE COLETA 108
APÊNDICE D — MATRIZ DE CERTEZAS, SUPOSIÇÕES E DÚVIDAS (CSD) 113
APÊNDICE E — QUADRO DE RASTREABILIDADE ENTRE DIRETRIZES E INSTRUMENTOS LEGAIS BRASILEIROS 118
ANEXOS 123
ANEXO A — PARECER DE APROVAÇÃO DA PESQUISA PELO COMITÊ DE ÉTICA (CEP/UEPA) 123

1. INTRODUÇÃO

O cenário global contemporâneo é marcado por uma crescente preocupação com a problemática dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (do inglês *Waste Electrical and Electronic Equipment* — WEEE). De acordo com dados do *Global E-waste Monitor* 2024, em 2022 foram gerados 62 bilhões de quilos de WEEE globalmente, dos quais apenas 22,3% foram documentados como formalmente coletados e reciclados de maneira ambientalmente adequada (Baldé *et al*., 2024). Projeções anteriores já sinalizavam a gravidade da trajetória: em 2019, a geração global de WEEE havia atingido 53,6 milhões de toneladas — crescimento de 21% em apenas cinco anos —, com estimativa de que esse volume chegue a 74,7 milhões de toneladas até 2030 (Forti *et al.*, 2020).

No Brasil, esse problema ganha contornos específicos, moldados por um arcabouço legal que busca regular e orientar práticas sustentáveis na indústria e no consumo. De acordo com Martins *et al*. (2019), o setor logístico brasileiro enfrenta desafios significativos na implementação de práticas sustentáveis, principalmente devido ao foco empresarial predominante em aspectos econômicos, legislação limitada e baixa pressão dos consumidores. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei n.º 12.305/2010, representa um marco significativo nesse cenário, estabelecendo princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (Brasil, 2010). O Decreto n.º 10.936/2022, que regulamenta a PNRS, reforça essa perspectiva ao estabelecer que fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes devem estruturar e implementar sistemas de Logística Reversa (LR) mediante o retorno dos produtos e embalagens após o uso pelo consumidor (Brasil, 2022). O Decreto n.º 10.240/2020, por sua vez, versa especificamente sobre a implementação do sistema de LR de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico, estabelecendo metas progressivas de coleta e destinação adequada (Brasil, 2020). Complementa esse conjunto o Acordo Setorial para Implantação de Sistema de LR de Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico e seus Componentes, firmado em 2019 entre o Poder Público e fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes (Brasil, 2019).

A interseção entre esses instrumentos legais brasileiros (ILB) e as práticas de design de produtos orientados à LR configura-se como um campo fértil para investigação acadêmica. O design industrial, como disciplina responsável pela concepção e desenvolvimento de produtos, desempenha papel fundamental nessa integração. O conceito de Design Para Sustentabilidade (DS) amplia essa perspectiva ao propor uma abordagem holística que integra considerações ambientais, sociais e econômicas no processo de design (Manzini; Vezzoli,

2002). Intimamente ligado a essa perspectiva, o conceito de Economia Circular (EC) propõe um sistema industrial restaurativo e regenerativo que elimina o conceito de fim de vida ao favorecer a restauração, o uso de energia renovável e a eliminação de resíduos por meio de design superior de materiais, produtos e modelos de negócio (Ellen MacArthur Foundation, 2013). No âmbito do desenvolvimento de produtos, o *Design for X* (DfX) representa uma família de abordagens que visa otimizar produtos e processos considerando aspectos específicos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Dentro desse universo, o *Design for Reverse Logistics* (DfRL) emerge como abordagem voltada a habilitar, desde a criação do produto, funções de utilidade que viabilizam a LR e seus objetivos, facilitando a execução de suas atividades típicas e tornando os canais reversos mais efetivos (Braga Jr *et al*., 2023).

Contudo, Monteiro *et al*. (2024) identificaram, em revisão de literatura, que há uma carência de estudos que proponham diretrizes de projeto específicas para LR, bem como necessidade de melhor definição e hierarquização dos termos relacionados. Braga Jr *et al*. (2023) confirmam essa lacuna, apontando que o DfRL é conhecido desde o início dos anos 2010, mas apenas menções superficiais são encontradas na literatura, sem proposição de definição fundamentada nas operações de LR ou no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). Essa lacuna assume especial relevância quando se considera o contexto dos WEEE no Brasil, onde a implementação efetiva de Cadeias de Suprimentos Reversas (*Reverse Supply Chains* — RSC) depende fortemente de produtos projetados para facilitar processos como desmontagem, recuperação de materiais e reinserção em novos ciclos produtivos (Monteiro *et al*., 2024). A carência de diretrizes de projeto específicas que considerem os requisitos legais brasileiros e as particularidades do setor de eletroeletrônicos representa, portanto, uma oportunidade de pesquisa que justifica o desenvolvimento do presente trabalho.

Diante desse contexto, três questões norteiam o desenvolvimento desta dissertação: o que os Instrumentos Legais Brasileiros voltados à sistemas de Logística Reversa para WEEE estabelecem — explícita ou implicitamente — em termos de diretrizes de projeto orientadas à implementação destes sistemas; quais dessas diretrizes de projeto são consideradas essenciais por especialistas das áreas de Design Para Sustentabilidade, Economia Circular e Logística Reversa, e como essa percepção varia entre esses diferentes grupos de especialistas.

A crescente geração de WEEE em escala global, combinada com as baixas taxas de reciclagem formal registradas mesmo em países com marcos regulatórios estabelecidos, evidencia que a questão da circularidade dos WEEE não pode ser resolvida exclusivamente por instrumentos de coleta e processamento. A literatura aponta de forma consistente que a efetividade dos sistemas de LR depende também das características dos próprios produtos —

ou seja, de como eles são projetados (Monteiro *et al*., 2024; Braga Jr *et al*., 2023). Nesse sentido, o Design Industrial ocupa posição estratégica: decisões tomadas na fase de concepção do produto podem determinar, em grande medida, sua desmontabilidade, a recuperabilidade de seus materiais e a viabilidade de sua reinserção em ciclos produtivos, ou seja, o seu potencial de circularidade. Embora o conceito de DfRL exista na literatura desde o início dos anos 2010, sua consolidação teórica e aplicada permanece incipiente, especialmente quando se considera a necessidade de articular requisitos de projeto com o contexto normativo específico de cada país.

O Brasil, com um arcabouço legal próprio para a gestão de WEEE, representa um caso relevante para investigação: a existência de instrumentos legais específicos cria tanto obrigações formais, quanto oportunidades de orientação projetual que ainda não foram sistematicamente exploradas pela pesquisa em design. A justificativa desta pesquisa reside, portanto, na convergência de três lacunas identificadas simultaneamente: a lacuna teórica na literatura de DfRL, a lacuna empírica sobre a percepção de especialistas acerca de requisitos de projeto para LR para WEEE no Brasil, e a lacuna regulatória quanto à especificação destes requisitos nos ILB. O enfrentamento conjunto dessas lacunas, por meio de uma abordagem metodológica que articula análise documental, inteligência artificial generativa (IAG) e validação por especialistas, confere a esta pesquisa originalidade tanto no objeto quanto no método, com potencial de contribuição simultânea para a teoria do DfRL, para a prática industrial do design sustentável de produtos eletroeletrônicos e para o aprimoramento do arcabouço regulatório brasileiro.

No âmbito desta pesquisa, a IAG foi empregada como ferramenta auxiliar na etapa de Análise de Conteúdo do Artigo 1, apoiando o processamento e a categorização sistemática do extenso *corpus* textual formado pelos ILB selecionados. Sua utilização seguiu um protocolo estruturado e documentado, registrado nos Apêndices desta dissertação, de modo a garantir rastreabilidade, transparência e reprodutibilidade do processo analítico.

A partir dessas questões, o objetivo geral desta dissertação é propor diretrizes de Design para a Logística Reversa (DfRL) de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos fundamentadas nos Instrumentos Legais Brasileiros (ILB) voltados à implementação de cadeias de suprimentos reversas para esses resíduos. Esse objetivo desdobra-se em três objetivos específicos, cada um correspondendo a uma etapa do percurso investigativo: (i) identificar no acervo legal brasileiro os instrumentos legais pertinentes à implementação de sistemas de LR ou RSC para WEEE; (ii) identificar e categorizar nos ILB as diretrizes de projeto orientadas à LR para WEEE, classificando-as conforme o grau de explicitação nos textos dos documentos

analisados; e (iii) validar as diretrizes de projeto junto a profissionais especializados, identificando padrões de validação gerais e por área de atuação destes profissionais.

Em razão do percurso investigativo adotado, esta dissertação é apresentada no formato de coletânea de artigos, estrutura amplamente consolidada em programas de pós-graduação brasileiros que organiza o trabalho de modo que cada artigo represente uma etapa metodológica autônoma e, ao mesmo tempo, complementar dentro do projeto de pesquisa maior. A pesquisa adota uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos em um projeto sequencial exploratório (Creswell; Plano Clark, 2017): o Artigo 1 desenvolve a fase qualitativa, por meio da análise dos ILB e da identificação e categorização das diretrizes de projeto neles contidas; o Artigo 2 avança sobre esses resultados na fase quantitativa, submetendo as diretrizes de DFRL identificadas à validação por um painel de especialistas. Essa sequencialidade não é apenas organizacional — ela reflete a própria lógica da investigação, na qual os produtos da primeira fase constituem o instrumento da segunda. Os procedimentos metodológicos específicos de cada etapa, incluindo os critérios de seleção do *corpus* documental, as técnicas de análise empregadas e os protocolos de validação, são descritos detalhadamente no interior de cada artigo, onde podem ser avaliados em articulação direta com os resultados que produzem.

A dissertação está organizada da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta o Artigo 1, dedicado à análise dos ILB e à identificação e categorização das diretrizes de DfRL neles contidas; o Capítulo 3 apresenta o Artigo 2, com o processo de validação dessas diretrizes junto a especialistas das áreas de Design Para Sustentabilidade, Economia Circular e Logística Reversa; o Capítulo 4 traz as Discussões Adicionais, explorando as implicações conjuntas dos dois artigos para o DfRL para WEEE no Brasil; o Capítulo 5 apresenta as Considerações Finais; em seguida são listadas as Referências. O trabalho é encerrado com os Apêndices — contendo o projeto submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa com Humanos CEP/UEPA, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), o questionário aplicado, o protocolo de utilização da inteligência artificial na análise de conteúdo e as versões em inglês dos dois artigos conforme formatação dos periódicos aos quais foram submetidos — e com os Anexos, contendo o Parecer de Aprovação e Liberação da pesquisa emitido pelo CEP/UEPA sob o número CAAE 88914325.5.0000.5174.

A fim de demonstrar de forma clara o alinhamento entre as metodologias empregadas e cada objetivo específico desta investigação, foi utilizada uma Matriz de Amarração. De acordo com Telles (2001), trata-se de uma ferramenta importante para organizar e planejar a análise de dados em uma pesquisa, além de estruturar e sistematizar os objetivos em relação

aos seus fundamentos metodológicos. No contexto desta dissertação, a matriz foi desenvolvida para garantir que cada objetivo específico esteja alinhado às metodologias empregadas, às fontes de coleta de dados e ao respectivo artigo que o operacionaliza, permitindo uma visão integrada das etapas da investigação e assegurando que todas as questões de pesquisa sejam abordadas de maneira sistemática e coerente, conforme apresentado no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Matriz de Amarração

Objetivo específico	Metodologia	Coleta de dados	Artigo
(i) Identificar no acervo legal brasileiro os instrumentos legais pertinentes à implementação de cadeias de suprimentos reversas de resíduos eletroeletrônicos	Análise Documental	Legislação brasileira: Lei n.º 12.305/2010, Decreto n.º 10.936/2022, Decreto n.º 10.240/2020 e Acordo Setorial de Produtos Eletroeletrônicos (2019)	Artigo 1 — *Design Guidelines for Reverse Logistics of Electronic Waste: a Content Analysis, CSD Matrix, and Artificial Intelligence Approach*
(ii) Identificar e categorizar nos ILB as diretrizes de projeto orientadas à LR de WEEE, classificando-as conforme o grau de explicitação nos textos dos documentos analisados	Análise de Conteúdo (Bardin, 2011) com suporte de inteligência artificial (Claude.ai); Matriz de Certezas, Suposições e Dúvidas (Forcelini; Merino, 2022)	*Corpus* legal formado pelos quatro ILB identificados no objetivo (i)	
(iii) Validar as diretrizes de projeto junto a profissionais especializados, identificando padrões de validação gerais e por área de atuação	Método Lawshe de Validade de Conteúdo (Lawshe, 1975), em análise agregada e segregada por área de especialização	Aplicação de survey com painel de especialistas das áreas de Design Para Sustentabilidade, Economia Circular e Logística Reversa, recrutados na Plataforma Lattes, no LinkedIn e em associações profissionais da área	Artigo 2 — *Design Guidelines for Reverse Logistics of Waste from Electrical and Electronic Equipment in Brazil: An Approach Based on Brazilian Legislation*

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

2. DIRETRIZES DE PROJETO PARA A LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS – ARTIGO 1

Este capítulo apresenta o Artigo 1 desta dissertação, que constitui a primeira etapa do percurso investigativo desenvolvido neste trabalho.

O artigo foi submetido ao periódico *Environmental Quality Management*, publicado pela John Wiley & Sons Inc. (ISSN: 1088-1913 impresso; 1520-6483 eletrônico), disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15206483. Trata-se de uma publicação de sustentabilidade situada na interseção entre ciência, engenharia e desenvolvimento de sistemas sociais, com foco na gestão de recursos naturais. O periódico acolhe manuscritos sobre a utilização de recursos naturais, a gestão e reutilização de resíduos associados a esses recursos, recuperação de materiais, gestão e conversão de resíduos, produção mais limpa e práticas sustentáveis emergentes, valorizando abordagens interdisciplinares que articulem aspectos científicos, de engenharia e de desenvolvimento social. O periódico é indexado no Emerging Sources Citation Index (ESCI) da Clarivate, na categoria Green & Sustainable Science & Technology, e na Scopus, classificado, atualmente, no terceiro quartil (Q3) no ranking SCImago, com SJR de 0,381 e Fator de Impacto JCR de 1,3. Essa orientação temática evidencia o alinhamento com o objeto de estudo desta pesquisa, que aborda a gestão de resíduos eletroeletrônicos a partir de uma perspectiva que articula requisitos legais, design de produto e logística reversa — dimensões que dialogam diretamente com o escopo do periódico.

A versão final em inglês, formatada conforme as diretrizes do periódico e tal como submetida, encontra-se disponível integralmente no Apêndice A desta dissertação. A versão apresentada a seguir é a tradução do artigo para o Português brasileiro, adaptada ao formato de texto da dissertação, preservando integralmente o conteúdo científico, os dados, as referências e a estrutura do trabalho original. O Apêndice B deste trabalho apresenta o Protocolo de Análise de Conteúdo Assistida por Inteligência Artificial.

DIRETRIZES DE DESIGN PARA A LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

RESUMO

A gestão de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (WEEE) representa um desafio global crescente, com 62 bilhões de quilogramas gerados mundialmente em 2022 e apenas 22,3% adequadamente reciclados. No Brasil, o cenário é ainda mais crítico, com 2,4 bilhões de quilogramas gerados e uma taxa de reciclagem de apenas 3,2% desse montante. O objetivo deste estudo foi mapear e categorizar diretrizes de design implicitamente presentes nos Instrumentos Legais Brasileiros (ILB) para implementação de cadeias de suprimentos reversas de WEEE. Para tanto, desenvolveu-se um protocolo metodológico híbrido para identificação

de diretrizes de Design para Logística Reversa (DfRL) por meio da análise sistemática dos ILB. Utilizou-se uma abordagem integrando análise de conteúdo com processamento assistido por inteligência artificial generativa (IAG), mantendo a validação humana como elemento central. Aplicou-se a Matriz de Certezas, Suposições e Dúvidas (CSD), cruzando o conteúdo dos ILB com as atividades essenciais da logística reversa. Os resultados revelam descompasso entre objetivos regulatórios e diretrizes práticas, comprometendo a meta de coleta de 17% de WEEE estabelecida para 2025. As diretrizes de design identificadas fornecem base para o desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos adequados aos processos de LR no contexto brasileiro.
Palavras-chave: ecodesign; design de produto; sustentabilidade; análise assistida por inteligência artificial.

2.1 INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial na geração de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (WEEE) representa um dos desafios ambientais mais urgentes da atualidade, demandando ações urgentes e coordenadas em escala global. Dados recentes do Global E-waste Monitor 2024 revelam que a produção mundial de WEEE alcançou a alarmante marca de 62 bilhões de quilogramas em 2022, correspondendo a 7,8 kg per capita, dos quais apenas 22,3% foram documentados como adequadamente coletados e reciclados por meio de sistemas formais de gestão (Baldé *et al*., 2024). Esta realidade evidencia não apenas a magnitude do problema, mas também a urgência em desenvolver mecanismos eficazes para o gerenciamento desses resíduos, particularmente por meio de sistemas estruturados de logística reversa (LR) que possibilitem a reintegração de materiais valiosos aos ciclos produtivos, reduzindo simultaneamente a pressão sobre recursos naturais e os impactos ambientais associados à disposição inadequada (Melo *et al*., 2022; Martins *et al*., 2022).

No contexto brasileiro, esta problemática assume dimensões e complexidades particularmente desafiadoras, refletindo características estruturais do país e limitações específicas de seu sistema de gestão de resíduos. Segundo Baldé *et al*. (2024), o Brasil gerou aproximadamente 2,4 bilhões de quilogramas de WEEE em 2022, com uma taxa de reciclagem documentada de apenas 3,2%, significativamente inferior à média global, já considerada insatisfatória. Paradoxalmente, esse cenário ocorre apesar da existência de um arcabouço regulatório considerado avançado, estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, que determina princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos,

incluindo explicitamente a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (Brasil, 2010). A discrepância entre as disposições legais e os resultados práticos sugere a necessidade imperativa de se investigar como os instrumentos regulatórios podem ser mais efetivamente traduzidos em diretrizes de design operacionais e concretas para o setor produtivo, estabelecendo uma ponte entre intenções regulatórias e práticas industriais.

O Design para Logística Reversa (DfRL) emerge neste contexto como abordagem projetual essencial para o enfrentamento desses desafios, fundamentando-se na premissa de que decisões tomadas durante as fases iniciais do desenvolvimento de produtos exercem influência determinante sobre a viabilidade técnica e econômica da recuperação de valor ao final do ciclo de vida do produto (Melo *et al*., 2022). Essa perspectiva representa uma mudança paradigmática na concepção de produtos, transitando de uma visão linear de produção-consumo-descarte para uma abordagem circular que considera as múltiplas possibilidades de recuperação de valor de bens, seus componentes e resíduos. O DfRL insere-se no contexto mais amplo das metodologias de *Design for X* (DfX), que representam uma família de abordagens projetuais orientadas à otimização de aspectos específicos ao longo do ciclo de vida dos produtos. Sassanelli *et al.* (2020) documentam essa progressão histórica, demonstrando como as considerações técnicas isoladas das primeiras aplicações de DfX evoluíram progressivamente para perspectivas sistêmicas que integram sustentabilidade e circularidade como elementos centrais do processo de design.

A literatura especializada tem evidenciado lacunas significativas neste campo de conhecimento. Monteiro *et al*. (2024) conduziram revisão sistemática da literatura identificando carência substancial de estudos que proponham diretrizes de design específicas para LR, destacando a necessidade urgente de melhor definição e hierarquização dos termos relacionados, bem como maior integração entre pesquisa acadêmica e prática industrial. Essa desconexão entre teoria e prática representa uma barreira significativa para a implementação efetiva de sistemas de LR, particularmente em países em desenvolvimento, onde recursos limitados demandam soluções pragmáticas e aplicáveis. Braga Jr *et al*. (2023) aprofundam essa análise ao evidenciar que, embora o termo DfRL tenha sido reconhecido na literatura acadêmica desde 2010, as referências existentes limitam-se majoritariamente a menções superficiais, sem proposição de definições robustas fundamentadas em operações concretas de LR ou integração sistemática ao Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP).

Para o contexto específico de WEEE, o DfRL assume complexidade adicional devido à diversidade de materiais e componentes presentes nesses produtos, incluindo metais preciosos, polímeros diversos e substâncias potencialmente perigosas. Vanegas *et al*. (2018)

demonstram empiricamente que a facilidade de desmontagem constitui fator crítico para a viabilidade econômica e ambiental da recuperação de WEEE, influenciando diretamente o tempo necessário para processamento, a taxa de recuperação de materiais valiosos e a segurança dos trabalhadores envolvidos. Os autores identificaram que produtos projetados sem consideração adequada pelos processos de desmontagem podem aumentar os custos de recuperação em até 40%, tornando economicamente inviável sua reintegração aos ciclos produtivos e resultando em perda irreversível de recursos valiosos.

A perspectiva internacional oferece *insights* complementares importantes. Aguiar *et al*. (2021), ao analisar sistematicamente 156 artigos sobre design de produtos circulares, identificaram que as principais estratégias incluem design para reciclagem, para reparo, para sistemas produto-serviço, para reuso, para desmontagem e para durabilidade. Contudo, os autores observaram que, embora o design de produtos seja elemento fundamental para a transição à economia circular (EC), o conhecimento sobre práticas, métodos e ferramentas orientados ao design circular ainda não foi amplamente desenvolvido e sistematizado, permanecendo fragmentado e de difícil aplicação prática. Benabdellah *et al*. (2019) complementam essa análise por meio de revisão sistemática da literatura sobre técnicas de DfX entre 1980 e 2018, identificando tendência crescente de integração entre diferentes abordagens, particularmente aquelas relacionadas à sustentabilidade ambiental, sugerindo convergência progressiva para um *framework* integrado que considera simultaneamente múltiplos aspectos do ciclo de vida.

No contexto brasileiro, a aplicação dos princípios de DfRL enfrenta desafios específicos e substanciais. Costa (2024) identificou que a implementação efetiva requer não apenas a adaptação de metodologias internacionais, mas também o desenvolvimento de abordagens genuinamente contextualizadas, considerando particularidades locais como disparidades regionais significativas na infraestrutura de coleta e processamento, diversidade de *stakeholders* envolvidos nas cadeias de suprimentos reversas (RSC) com diferentes níveis de capacitação, e limitações tecnológicas características de empresas de menor porte que compõem parcela significativa do setor produtivo brasileiro.

O *framework* operacional proposto por Melo *et al*. (2022) representa contribuição fundamental para a compreensão sistemática dos processos de LR, organizando-os em dez atividades essenciais que estruturam o fluxo reverso de materiais: Integração, responsável pelo planejamento e gerenciamento geral do sistema; Aquisição de Resíduos e Triagem na Fonte, estabelecendo as bases para entrada de materiais; Coleta e Transporte, representando a dimensão logística física; Inspeção/Teste e Armazenagem, focando na preservação e avaliação;

Desmontagem, envolvendo o desmembramento organizado; e, finalmente, Classificação e Redistribuição, determinando o destino dos materiais processados. Essa categorização estabelece uma linguagem comum e uma estrutura analítica robusta, permitindo identificar pontos críticos onde características específicas de design podem facilitar ou dificultar significativamente a recuperação de valor dos produtos ou resíduos descartados.

Os Instrumentos Legais Brasileiros (ILB) constituem fonte potencial que ainda pode ser plenamente explorada para a identificação de diretrizes de design orientadoras do desenvolvimento de produtos adequados aos processos de LR. O arcabouço regulatório estrutura-se em múltiplos níveis normativos, desde princípios gerais estabelecidos pela PNRS até requisitos operacionais específicos detalhados em decretos e acordos setoriais. O Decreto nº 10.240/2020 representa marco regulatório específico para o setor eletroeletrônico, estabelecendo metas progressivas ambiciosas que determinam a coleta e destinação adequada de 17% do peso dos produtos colocados no mercado até 2025 para as regiões Sul e Sudeste (as mais desenvolvidas do país), com expansão gradual para outras regiões, considerando suas especificidades logísticas e infraestruturais. O Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de uso Doméstico e seus Componentes, firmado no Brasil em 31 de outubro de 2019, constitui instrumento contratual fundamental que operacionaliza as disposições legais, detalhando responsabilidades operacionais específicas, requisitos técnicos para manejo adequado dos WEEE e procedimentos para rastreamento e reporte de informações.

Nogueira (2024) propôs classificação esclarecedora desses instrumentos, distinguindo entre ILB gerais, que abordam diversos tipos de resíduos incluindo WEEE, e ILB específicos, tratando exclusivamente de equipamentos eletroeletrônicos. Essa categorização revela característica importante do arcabouço regulatório brasileiro: enquanto os ILB gerais estabelecem princípios amplos e estruturas institucionais, os ILB específicos detalham aspectos operacionais particulares dos WEEE, considerando suas características técnicas únicas, como presença de metais preciosos, substâncias perigosas e complexidade intrínseca de desmontagem.

A complexidade inerente à análise de instrumentos legais extensos e sua correlação com atividades operacionais de LR demanda abordagens metodológicas inovadoras que combinem rigor analítico tradicional com capacidade ampliada de processamento sistemático. Neste contexto, a Matriz de Certezas, Suposições e Dúvidas (CSD), desenvolvida originalmente pela consultoria Livework (Livework Studio, 2024), emerge como ferramenta metodológica particularmente adequada. Esta matriz permite categorizar e organizar percepções sobre

determinado contexto de forma estruturada e visual, distinguindo claramente entre elementos estabelecidos de forma inequívoca (certezas), interpretações plausíveis baseadas em evidências parciais (suposições) e lacunas identificadas que demandam investigação ou desenvolvimento adicional (dúvidas) (Forcelini; Merino, 2022). Sua aplicação específica na análise de instrumentos legais possibilita mapear sistematicamente o grau de explicitação das diretrizes de design presentes nos textos normativos, revelando tanto orientações consolidadas quanto oportunidades significativas de aprimoramento regulatório. Como destaca Dias (2021), a ferramenta permite transformar volumes massivos de informações desestruturadas em *insights* acionáveis, facilitando a identificação de padrões emergentes e a priorização estratégica de esforços investigativos.

A utilização de inteligência artificial (IA) como ferramenta auxiliar no processo analítico justifica-se pela capacidade exponencialmente ampliada dessas tecnologias em processar volumes extensos de informação textual, identificando padrões e relações complexas que poderiam facilmente escapar à análise manual tradicional. Conforme argumenta Arão (2024), os algoritmos de aprendizado de máquina, operando por meio de métodos indutivos sofisticados, reconhecem padrões e calculam probabilidades mediante modelos estatísticos preditivos avançados, transformando dados textuais não estruturados em estruturas numéricas que permitem realizar operações complexas de comparação e categorização com precisão e escala anteriormente inalcançáveis.

A integração metodológica entre análise qualitativa tradicional e processamento computacional tem sido explorada com sucesso crescente. Bonamigo *et al*. (2020) demonstraram, em pesquisa de método misto desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, a viabilidade de integrar processamento computacional por IA a métodos qualitativos consagrados em uma arquitetura tripartite, na qual a IA opera como etapa intermediária entre uma fase qualitativa de pré-processamento — responsável pela categorização teoricamente fundamentada do *corpus* — e uma fase qualitativa de pós-processamento, dedicada à validação interpretativa dos achados produzidos pelo processamento automatizado. Em sua aplicação original, os autores combinaram a análise conceitual evolucionária de Rodgers (pré-processamento), o processo de *Knowledge Discovery in Databases* por meio do algoritmo *Apriori* (processamento por IA) e a Análise de Conteúdo de Bardin (pós-processamento), para investigar 222 conceitos de violência de gênero extraídos de 195 artigos científicos. Os autores enfatizam que essa arquitetura preserva a profundidade interpretativa característica da pesquisa qualitativa, ao mesmo tempo em que viabiliza a análise de volumes de informação anteriormente impraticáveis pela leitura

manual, desde que a combinação de métodos seja sustentada por adequada profundidade no tratamento dos resultados gerados pelo processamento computacional. A presente pesquisa adota essa mesma arquitetura tripartite, transposta para o domínio do design e da análise de instrumentos legais e atualizada para o regime atual de IA generativa baseada em modelos de linguagem de grande escala, conforme detalhado na seção de método. Alshami *et al*. (2023) evidenciaram como ferramentas de IA podem automatizar etapas críticas de revisões sistemáticas, economizando tempo e recursos significativos enquanto mantêm precisão e consistência nas análises. Contudo, Qureshi *et al*. (2023) alertam prudentemente para a necessidade imperativa de supervisão especializada constante, uma vez que resultados gerados por IA podem parecer válidos superficialmente, mas conter erros ou vieses significativos que comprometem a validade das conclusões.

Diante desse contexto multifacetado, o presente estudo propôs-se a desenvolver e aplicar um protocolo metodológico estruturado para a identificação sistemática de diretrizes de design voltadas especificamente à melhoria da LR de WEEE. Esse protocolo fundamentou-se na análise sistemática e rigorosa dos ILB por meio da integração sinérgica de IA e Matriz CSD, mantendo a validação humana especializada como elemento central e indispensável do processo. Os objetivos incluem a identificação abrangente dos instrumentos legais pertinentes à implementação de RSC para WEEE no arcabouço regulatório brasileiro, seguida da extração meticulosa das diretrizes de design implicitamente presentes nesses documentos.

A relevância desta investigação transcende a perspectiva acadêmica, oferecendo contribuições práticas para múltiplos *stakeholders*. Para o setor produtivo, a sistematização de diretrizes de design fundamentadas no arcabouço legal vigente oferece orientações concretas e aplicáveis para o desenvolvimento de produtos mais adequados aos processos de recuperação de valor. Para formuladores de políticas públicas, a identificação sistemática de lacunas regulatórias fornece subsídios para aprimoramentos do marco regulatório, indicando aspectos específicos que demandam maior detalhamento normativo para viabilização de sistemas verdadeiramente eficientes de EC no contexto brasileiro.

2.2 MÉTODO DE PESQUISA

A investigação caracterizou-se como pesquisa exploratório-descritiva de natureza aplicada, fundamentada em abordagem qualitativa apoiada por processamento computacional assistido. Essa combinação metodológica justifica-se pela complexidade do objeto de estudo, que demandou tanto profundidade interpretativa quanto capacidade de processamento sistemático de extensos corpos documentais. A natureza exploratória manifesta-se na

identificação de diretrizes de design não previamente sistematizadas na literatura, enquanto o caráter descritivo emerge da categorização detalhada dessas diretrizes segundo sua presença e grau de explicitação nos ILB. O desenho metodológico integrou análise de conteúdo, conforme protocolo estabelecido por Bardin (2016), com processamento de informações assistido por IA, mantendo a validação humana como elemento central do processo analítico para garantir adequada contextualização e interpretação dos resultados obtidos.

O protocolo analítico desenvolvido estruturou-se em seis etapas sequenciais, cada uma cumprindo função específica no processo de identificação e categorização das diretrizes de design, conforme apresentado no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Estrutura do Protocolo de Análise Assistida por IA

Etapa	Procedimento	Responsabilidade	Produto	Descrição
1	Revisão de literatura	Humana	Base conceitual	Estabelecimento de base conceitual sobre DfRL
2	Seleção da base documental	Humana	Documentos categorizados	Definição do conjunto de documentos segundo critérios de relevância
3	Preparação da base conceitual	Humana	Textos processáveis	Estruturação do *framework* analítico (10 atividades × 3 níveis CSD)
4	Nivelamento conceitual	Híbrida	Validação conceitual	Verificação de alinhamento por meio de perguntas-teste
5	Análise assistida por IA	Híbrida	Categorização preliminar	Processamento sistemático em três rodadas (Certezas, Suposições, Dúvidas)
6	Construção da Matriz CSD	Híbrida	Matriz consolidada	Validação e síntese. Revisão crítica e construção da Matriz CSD final

Fonte: Autores (2026).

A primeira etapa consistiu na revisão da literatura sobre DfRL, estabelecendo a base conceitual fundamentada nos trabalhos de Melo *et al*. (2022) sobre atividades que compõem o processo de LR, Monteiro *et al*. (2024) sobre diretrizes de design para sistemas de LR, e Braga Jr *et al*. (2023) sobre design para LR. Essa fundamentação teórica forneceu o *framework* analítico necessário para a interpretação dos textos normativos, permitindo identificar correspondências entre requisitos legais e princípios projetuais estabelecidos na literatura especializada.

A segunda etapa envolveu a seleção e preparação dos ILB para processamento analítico. Os documentos foram obtidos em suas versões integrais a partir de repositórios oficiais do governo federal brasileiro, garantindo autenticidade e completude textual. Os arquivos referentes aos ILB foram baixados em formato PDF e foram considerados nesta pesquisa, preservando a estrutura hierárquica de seções, artigos e parágrafos, elementos essenciais para a rastreabilidade das diretrizes de design identificadas. A preparação incluiu também a identificação preliminar de seções relevantes para análise, com foco em disposições

relacionadas a características de produtos, requisitos operacionais e responsabilidades dos agentes da cadeia produtiva.

Os documentos selecionados para análise compreenderam ILB específicos para gestão de WEEE, identificados por meio de análise sistemática do arcabouço regulatório nacional. A seleção privilegiou documentos normativos vigentes que estabelecem diretrizes operacionais para implementação de sistemas de LR, incluindo o Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de uso Doméstico e seus Componentes, o Decreto nº 10.240, que regulamenta especificamente a LR de produtos eletroeletrônicos, e o Decreto nº 10.936, que regulamenta a PNRS em sua totalidade. Essa delimitação seguiu critérios de relevância temática, atualidade normativa e especificidade setorial, conforme metodologia proposta por Nogueira (2024) para a análise de ILB relacionados a RSC.

A terceira etapa estabeleceu a base conceitual para aplicação da Matriz CSD, fundamentada nos trabalhos de Forcelini e Merino (2022) sobre a utilização dessa ferramenta em projetos de produto. A adaptação da Matriz CSD para análise dos ILB demandou operacionalização específica dos conceitos de Certezas, Suposições e Dúvidas no contexto normativo. Certezas foram definidas como diretrizes de design explicitamente estabelecidas nos textos dos ILB, apresentando linguagem prescritiva inequívoca e aplicabilidade direta ao design de produtos. Suposições foram caracterizadas como diretrizes inferíveis analisadas a partir do conteúdo normativo, embora não expressamente declaradas, demandando interpretação contextualizada para sua identificação. Dúvidas representaram lacunas normativas, aspectos necessários para a operacionalização efetiva da LR, mas não contemplados nos ILB analisados.

A quarta etapa, denominada nivelamento conceitual, estabeleceu o alinhamento entre a compreensão da IA e os objetivos da pesquisa por meio de processo iterativo de verificação. Esse procedimento, de natureza híbrida envolvendo interação entre o pesquisador e o sistema computacional, iniciou-se com o carregamento dos documentos de referência na plataforma Claude.ai, incluindo os artigos fundamentais de Melo *et al*. (2022) sobre atividades de LR e os estudos de Forcelini e Merino (2022) sobre aplicação da Matriz CSD. Subsequentemente, foram aplicadas perguntas-teste estruturadas para verificar a adequada compreensão dos conceitos centrais pela ferramenta de IA, particularmente a distinção entre as dez atividades de LR e os critérios de categorização da Matriz CSD. Conforme demonstrado por Pereira *et al*. (2024), que, ao comparar categorizações de análise de conteúdo realizadas por pesquisadores humanos e por um modelo de linguagem baseado em IA, constataram que orientação conceitual

insuficiente levava a ferramenta a produzir categorizações inconsistentes, reforçando a importância de estabelecer parâmetros analíticos claros. Os autores, fundamentados em perspectiva vygotskyana, compreendem a IA como ferramenta mediadora no processo de pesquisa, a qual, embora capaz de expandir a capacidade analítica do pesquisador, requer direcionamento deliberado e estruturado para assegurar rigor metodológico.

A quinta etapa constituiu o núcleo do processo analítico, envolvendo a aplicação sistemática da análise de conteúdo assistida por IA. O protocolo desenvolvido estruturou-se em três rodadas sequenciais de análise, cada uma focada em um componente específico da Matriz CSD. Na primeira rodada, foram identificadas as certezas por meio de *prompt* específico que instruiu a ferramenta a localizar apenas trechos do texto com orientações explícitas e inequívocas sobre características de design de produto necessárias para viabilizar cada atividade de LR. A segunda rodada focou na identificação de suposições, orientando a IA a reconhecer trechos do texto que sugerissem, ainda que indiretamente ou de forma incompleta, requisitos ou oportunidades de diretrizes de design que pudessem ser inferidas a partir do texto normativo estudado. A terceira rodada dedicou-se ao mapeamento de dúvidas, identificando aspectos essenciais para a operacionalização da LR, mas completamente ausentes dos ILB analisados. O Quadro 2.2 ilustra a estrutura dessas três rodadas sequenciais. Os *prompts* completos utilizados em cada rodada estão disponíveis nos materiais suplementares.

Quadro 2.2 - Estrutura das três rodadas sequenciais de análise assistida por IA

Rodada 1	**Rodada 2**	**Rodada 3**
Foco: Certezas	**Foco:** Suposições	**Foco:** Dúvidas
Orientações explícitas e inequívocas sobre características de design de produto	Sugestões indiretas ou incompletas de requisitos ou oportunidades de diretrizes de design	Aspectos essenciais para a operacionalização da LR ausentes dos ILB
Instrução do *prompt*: Localizar apenas trechos com orientações explícitas	**Instrução do *prompt*:** Reconhecer trechos que sugiram diretrizes indiretamente	**Instrução do *prompt*:** Identificar lacunas não contempladas nos documentos analisados

Fonte: Autores (2026)

O processo de análise assistida seguiu protocolo de documentação e rastreabilidade. Cada *prompt* utilizado foi estruturado com instruções sobre o tipo de informação buscada, incluindo orientações para citação integral dos trechos identificados com indicação de localização no documento fonte, ordenamento segundo as dez atividades de LR estabelecidas por Melo *et al*. (2022), e registro explícito quando não houvesse conteúdo pertinente para determinada atividade. Essa estruturação metodológica está em conformidade com as recomendações de Bonamigo *et al*. (2020), que demonstraram a importância de manter protocolo estruturado ao combinar métodos qualitativos tradicionais com processamento computacional, preservando a profundidade interpretativa característica da pesquisa qualitativa

enquanto se beneficia da capacidade de processamento sistemático proporcionada pela tecnologia.

A sexta etapa envolveu a construção e validação da Matriz CSD por meio de processo iterativo de revisão e refinamento. Todas as diretrizes de design identificadas pela IA passaram por validação humana criteriosa, envolvendo retorno sistemático aos documentos-fonte para verificação da acurácia das categorizações propostas. Esse processo de validação considerou não apenas a correção literal das citações, mas também a adequação contextual das interpretações realizadas, particularmente importante no caso das suposições que demandavam análise interpretativa mais complexa. A triangulação entre os resultados do processamento automatizado, a análise manual de amostras selecionadas do conjunto de documentos, e a verificação por categorias teóricas estabelecidas na literatura permitiu identificar convergências e divergências, refinando a categorização final das diretrizes de design.

A operacionalização da análise de conteúdo seguiu as três fases cronológicas estabelecidas por Bardin (2016), adaptadas para incorporar o processamento assistido por IA. Em conformidade com o método apresentado pela autora, na fase de pré-análise, realizou-se a leitura flutuante dos ILB para familiarização com o conteúdo e identificação preliminar de termos-chave relacionados a características de produtos e requisitos operacionais. No segundo momento, passou-se à exploração do material, que envolveu codificação híbrida, com identificação inicial de diretrizes de design pela IA, seguida de validação e refinamento humano, garantindo adequada interpretação contextual. Por fim, foi realizado o tratamento dos resultados, que incluiu síntese interpretativa, considerando a distribuição das diretrizes de design entre as categorias da Matriz CSD e sua relação com as atividades de LR, em que foram identificados padrões emergentes e lacunas sistemáticas no arcabouço regulatório.

Os critérios de validação adotados fundamentaram-se em quatro princípios metodológicos essenciais. O primeiro princípio estabeleceu a validação de conteúdo a partir de retorno sistemático aos documentos-fonte, garantindo que cada diretriz de design identificada mantivesse fidelidade ao texto original e preservasse seu contexto normativo. O segundo princípio focou na consistência metodológica, mantendo registro detalhado de todas as decisões analíticas tomadas durante o processo, permitindo auditoria e eventual replicação do estudo. O terceiro princípio implementou triangulação múltipla entre processamento por IA, análise manual e *framework* teórico estabelecido, fortalecendo a robustez dos resultados obtidos. O quarto princípio garantiu transparência processual por meio de documentação completa de todos os *prompts* utilizados, respostas obtidas e ajustes realizados, estabelecendo cadeia de evidências que permitisse rastreamento integral do processo analítico.

A integração metodológica entre análise de conteúdo, processamento por IA e Matriz CSD otimizou o estudo nesta pesquisa. Essa abordagem permitiu processar um volume substancial de informação normativa, mantendo profundidade analítica e identificando não apenas diretrizes de design explícitas, mas também diretrizes implícitas e lacunas regulatórias sobre o tema que demandam atenção. O protocolo desenvolvido estabelece precedente metodológico aplicável a investigações similares em diferentes contextos regulatórios e setoriais, contribuindo para o avanço das práticas de pesquisa na interface entre design, sustentabilidade e análise de políticas públicas.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Análise das Certezas identificadas

A aplicação do protocolo metodológico híbrido aos ILB resultou na identificação de 9 potenciais diretrizes de design para a melhoria da LR de WEEE. Essa constatação revela características estruturais do arcabouço regulatório brasileiro que merecem análise detalhada. As nove Certezas identificadas concentram-se predominantemente em duas atividades específicas: Transporte e Desmontagem, conforme apresentado no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Matriz CSD: Certezas - Diretrizes de projeto explicitamente presentes nos ILB

	Atividades de LR	Diretrizes de Design Propostas
CERTEZAS	**Transporte** (7 diretrizes)	- Projetar produtos eletroeletrônicos que, ao final de sua vida útil, possam ser manuseados, incluindo carga, descarga e transporte, com o devido cuidado para evitar quebras.
		- Projetar produtos eletroeletrônicos que, ao final de sua vida útil, possam ser embalados ou armazenados de modo a minimizar o risco de quebras durante o transporte em condições normais.
		- Projetar produtos que, ao final de sua vida útil, evitem a basculação descontrolada de recipientes coletores contendo produtos eletroeletrônicos frágeis.
		- Projetar produtos que, ao final de sua vida útil, evitem a necessidade de trituração, prensagem ou compactação em qualquer fase do transporte, mantendo a integridade física e química dos materiais.
		- Projetar produtos com tubos de raio catódico (CRT) que, ao final de sua vida útil, possam ser mantidos intactos durante o transporte, facilitando seu tratamento adequado nas empresas desmontadoras.
		- Projetar produtos com CRT considerando que, em caso de fragmentação ao final de sua vida útil, possam ser acondicionados em recipientes que evitem a dispersão dos fragmentos.
		- Projetar produtos com CRT de forma que, ao final de sua vida útil, possam ser transportados separadamente de outros equipamentos eletroeletrônicos na mesma carga, com proteção adequada para reduzir impactos.
	Desmontagem (2 diretrizes)	- Projetar produtos que, ao final de sua vida útil, permitam a separação eficiente de seus principais componentes e/ou partes constituintes, classificáveis em plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro e componentes que requerem tratamento especial.
		- Projetar produtos cujos métodos de desmontagem e remoção de partes e componentes ao final de sua vida útil preservem a integridade dos componentes, evitando danos que possam gerar emissões de substâncias que poluam o meio ambiente e a saúde humana.

Fonte: Autores (2026)

Essa concentração temática reflete prioridades regulatórias focadas em aspectos operacionais imediatos da LR, particularmente a segurança no manuseio e a separação básica de materiais. As diretrizes de design relacionadas ao transporte abordam requisitos específicos para manuseio cuidadoso, prevenção de quebras, adequação de embalagens e tratamento especial para produtos contendo tubos de raio catódico (CRT). É digno de nota que, embora equipamentos baseados em CRT ainda estejam em uso, essa tecnologia encontra-se obsoleta e não é mais fabricada, o que limita a aplicabilidade atual dessas recomendações específicas. No entanto, tais diretrizes podem permanecer úteis para produtos com componentes frágeis ou perigosos similares. Essas diretrizes, embora relevantes, representam considerações operacionais básicas que não contemplam aspectos mais pertinentes do design para circularidade.

A análise detalhada das Certezas revelou que o Acordo Setorial e seu Manual Operacional constituem as principais fontes dessas diretrizes de design explícitas. O documento estabelece, por exemplo, que "os produtos eletroeletrônicos devem ser manuseados, incluindo carga, descarga e transporte, com o devido cuidado para evitar quebras" e que "não é permitida a trituração, prensagem ou compactação de produtos eletroeletrônicos em nenhuma das fases de transporte". Essas disposições, embora importantes para a preservação da integridade dos materiais, não especificam características de design que facilitariam o cumprimento desses requisitos, deixando aos fabricantes a responsabilidade de interpretar e implementar soluções técnicas adequadas.

A ausência completa de Certezas para oito das dez atividades de LR constitui informação particularmente relevante. Atividades fundamentais de LR, como Integração, Aquisição de Resíduos, Triagem na Fonte, Coleta, Inspeção/Teste, Armazenagem, Classificação e Redistribuição, não apresentaram diretrizes de design explícitas nos ILB analisados. Essa lacuna sugere que o arcabouço regulatório brasileiro ainda não incorporou plenamente os princípios do DfRL, concentrando-se em aspectos operacionais posteriores ao descarte em detrimento de considerações projetuais preventivas. Esse escopo limitado quanto às possibilidades de design é característico de legislação ainda em processo de consolidação, indicando potencial de maturação regulatória à medida que avança a compreensão dos princípios de economia circular.

2.3.2 Implicações Práticas para o Setor Produtivo

O descompasso identificado entre as metas regulatórias estabelecidas e as orientações práticas disponíveis possui implicações diretas para o cumprimento dos objetivos da PNRS. O

Decreto nº 10.240/2020 estabelece meta de coleta de 17% do peso dos produtos colocados no mercado até 2025 para as regiões Sul e Sudeste, porém os ILB analisados não fornecem diretrizes de design tecnicamente suficientes para que fabricantes desenvolvam produtos que facilitem o alcance dessa meta a partir da viabilização da LR. Essa lacuna pode resultar em múltiplas consequências negativas para o setor produtivo e para a sociedade.

Designers e engenheiros operam em ambiente de incerteza regulatória, onde a ausência de especificações claras sobre características desejáveis dos produtos dificulta decisões de investimento em inovação. Empresas podem hesitar em implementar soluções avançadas de design para desmontagem ou sistemas sofisticados de identificação sem garantias de que tais investimentos serão reconhecidos ou valorizados pelo sistema regulatório. Essa incerteza pode levar a um ciclo de baixa inovação, onde a falta de diretrizes de design claras desestimula investimentos em design circular, perpetuando modelos lineares de produção e consumo de eletroeletrônicos.

A ausência de diretrizes de design específicas também compromete a competitividade do setor eletroeletrônico brasileiro no contexto internacional. Enquanto outras jurisdições avançam em requisitos detalhados de ecodesign e circularidade, produtos eletroeletrônicos brasileiros podem encontrar barreiras técnicas ao comércio internacional por não atenderem padrões de sustentabilidade cada vez mais exigentes em mercados desenvolvidos.

2.3.3 Contribuições Metodológicas

O desenvolvimento e aplicação do protocolo híbrido integrando análise de conteúdo, processamento por IA e Matriz CSD representa contribuição metodológica para o campo de estudos em design para Sustentabilidade e análise de aderência de políticas públicas à sustentabilidade. A abordagem desenvolvida demonstrou capacidade de processar múltiplas dimensões analíticas em prazo viável, mantendo rastreabilidade e rigor científico enquanto amplia o escopo de análise possível por meio de métodos puramente manuais.

A operacionalização da Matriz CSD para análise de ILB estabeleceu precedente metodológico aplicável a diferentes contextos regulatórios. A integração de IA no processo analítico, mantendo validação humana como elemento central, estabeleceu modelo para futuras pesquisas que busquem combinar eficiência computacional com profundidade interpretativa. O protocolo desenvolvido demonstra que ferramentas de IA podem amplificar capacidades analíticas sem comprometer o rigor metodológico característico da pesquisa qualitativa, desde que adequadamente estruturadas e supervisionadas. A documentação detalhada de *prompts*,

critérios de validação e processos de refinamento estabeleceu padrão de transparência que permite replicação e adaptação da metodologia para diferentes contextos de pesquisa.

A triangulação sistemática entre processamento automatizado, análise manual e verificação por categorias teóricas estabelecidas ofereceu modelo viável para validação de resultados em pesquisas híbridas. Essa abordagem múltipla permitiu identificar tanto convergências que fortalecem a confiabilidade dos achados quanto divergências que demandam análise mais aprofundada, propiciando compreensão mais profunda do fenômeno estudado. O método desenvolvido demonstra que a combinação de diferentes perspectivas analíticas pode revelar dimensões do objeto de estudo que permaneceriam ocultas em abordagens unidimensionais.

2.4 CONCLUSÕES

A análise dos ILB revelou distribuição assimétrica de diretrizes de design entre as categorias da Matriz CSD, evidenciando descompasso estrutural entre as ambições regulatórias estabelecidas pela PNRS e as orientações técnicas disponíveis para o setor produtivo. A concentração de diretrizes de design explícitas em apenas duas das dez atividades de LR — Transporte e Desmontagem — indica que o marco legal brasileiro ainda não integrou plenamente os princípios do DfRL. Permanece focado em aspectos operacionais posteriores ao descarte em detrimento de medidas projetuais preventivas, com implicações diretas para o cumprimento dos objetivos do Decreto nº 10.240/2020.

A predominância de lacunas identificadas no mapeamento representa simultaneamente desafio e oportunidade para o desenvolvimento de políticas públicas mais efetivas. As ausências regulatórias abrangem aspectos fundamentais da EC contemporânea, incluindo sistemas de identificação digital, padronização entre fabricantes e características que facilitem a automação, refletindo a velocidade de evolução tecnológica do setor e a necessidade de maior integração entre conhecimento técnico-científico e formulação de políticas públicas. Para o setor produtivo, esse mapeamento sistemático oferece base concreta para tomada de decisão, permitindo que empresas utilizem as Certezas como requisitos mínimos de LR para o DfRL.

As categorias de Suposições e Dúvidas também revelam lacunas de conhecimento importantes que merecem maior atenção analítica, tanto para o arcabouço regulatório quanto para a literatura científica. As Suposições representam situações em que os instrumentos legais analisados sugerem indiretamente requisitos de design associados à LR, porém sem especificações técnicas explícitas ou orientações operacionais capazes de guiar designers e fabricantes. De modo similar, as Dúvidas correspondem a áreas onde os textos regulatórios

fornecem informação insuficiente ou pouco clara quanto às características técnicas necessárias para suportar as atividades de LR. Uma vez que a exploração dessas categorias não constituiu o objetivo desta pesquisa, sugere-se aos pesquisadores a compreensão dessas articulações, que podem representar importante oportunidade para pesquisa interdisciplinar combinando engenharia de design, gestão de cadeias de suprimentos reversas e estudos regulatórios.

Sob uma perspectiva metodológica, a pesquisa demonstrou a viabilidade de integrar ferramentas de IA e a Matriz CSD a métodos qualitativos tradicionais para transformar volumes massivos de informações normativas, provenientes de extensos conjuntos documentais, em diretrizes acionáveis. O protocolo desenvolvido, estruturado em etapas sequenciais com definições claras de responsabilidades humanas e computacionais, preservou o rigor científico e a profundidade interpretativa da análise de conteúdo, ao mesmo tempo que expandiu significativamente a capacidade de processamento sistemático. A triangulação entre o processamento automatizado, a validação humana e a verificação por categorias teóricas estabelecidas provou ser fundamental para garantir resultados robustos, estabelecendo um precedente metodológico replicável e útil para gestores e formuladores de políticas em outros mercados emergentes que enfrentam incertezas regulatórias semelhantes. Em última análise, esta abordagem demonstra que a IA atua como uma ferramenta que amplia as capacidades analíticas humanas sem substituir o julgamento crítico essencial à pesquisa científica, oferecendo um modelo para identificar lacunas legais e oportunidades de design para a circularidade que fortalece as políticas públicas e a competitividade industrial em uma arena internacional cada vez mais exigente.

É necessário reconhecer limitações inerentes ao estudo. A análise concentrou-se em ILB específicos, não abrangendo normas técnicas, padrões industriais ou regulamentações estaduais e municipais que podem conter orientações complementares. Adicionalmente, a natureza dinâmica do setor eletroeletrônico implica que novas tecnologias e modelos de negócio podem demandar diretrizes de design técnicas não contempladas no escopo atual da investigação. Futuras pesquisas poderiam ampliar o escopo do conjunto de documentos analisados para incluir perspectivas internacionais comparativas e explorar, por meio de estudos de caso em empresas do setor, a efetividade prática das diretrizes de design propostas.

O caminho para sistemas mais efetivos de LR de WEEE no Brasil demanda convergência entre avanços regulatórios, inovação tecnológica e transformação de práticas industriais. As diretrizes de design identificadas neste estudo contribuem para esse processo, oferecendo base técnico-científica para o desenvolvimento de produtos mais alinhados aos

princípios da EC. Contudo, sua efetiva implementação requer engajamento coordenado de múltiplos *stakeholders*, incluindo governo, indústria, academia e sociedade civil.

A transição para modelos circulares de produção e consumo no setor eletroeletrônico brasileiro não é apenas um imperativo ambiental, mas também uma oportunidade econômica e social. Com reduzida taxa de reciclagem de WEEE gerados anualmente, o país desperdiça recursos valiosos enquanto acumula passivos ambientais crescentes. O desenvolvimento de produtos projetados para facilitar processos de recuperação de valor pode transformar esse cenário, gerando benefícios econômicos por meio da recuperação de materiais, benefícios sociais por meio da criação de empregos em RSC, e benefícios ambientais por meio da redução de impactos associados à extração de matérias-primas virgens e à disposição excessiva e inadequada de resíduos (redução da pegada de carbono) que caracterizam empreendimentos de baixo carbono.

Por fim, este estudo revela implicações para o futuro da gestão de WEEE no Brasil. A análise sistemática dos instrumentos legais evidenciou ausência de informações claras e precisas para designers e fabricantes de produtos eletroeletrônicos que buscam atender à legislação brasileira por meio da estruturação de sistemas efetivos de LR. Essa lacuna informacional possibilita interpretações divergentes das intenções originais dos legisladores, comprometendo potencialmente tanto o cumprimento das metas regulatórias quanto a competitividade do setor no contexto internacional. O protocolo metodológico desenvolvido, ao estabelecer ponte entre análise qualitativa tradicional e processamento computacional avançado, oferece modelo replicável para investigações futuras em diferentes contextos regulatórios e setoriais. A pesquisa reafirma ainda a relevância da abordagem interdisciplinar para o enfrentamento de desafios complexos contemporâneos — a integração entre design, engenharia, legislação ambiental e áreas da computação e tecnologia demonstrada nesta investigação exemplifica as sinergias necessárias para o desenvolvimento de soluções sistêmicas em sustentabilidade. Os resultados obtidos não apenas diagnosticam o panorama atual do arcabouço regulatório brasileiro, mas também abrem caminhos concretos para futuras atualizações da legislação, fornecendo subsídios técnico-científicos para a formulação de políticas públicas mais efetivas que promovam a transição para modelos circulares de produção e consumo no setor eletroeletrônico brasileiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade do Estado do Pará (UEPA) pelo apoio institucional proporcionado durante esta pesquisa.

Declaração sobre o uso de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo.

Durante a preparação deste trabalho, os autores utilizaram a plataforma CLAUDE.AI com o objetivo de cumprir a quarta etapa da metodologia, na qual foi realizado o nivelamento conceitual. Após o uso desta plataforma, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. F., MESA, J. A., JUGEND, D., PINHEIRO, M. A. P., & FIORINI, P. D. C. (2022). Circular product design: strategies, challenges and relationships with new product development. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, *33*(2), 300-329. https://doi.org/10.1108/MEQ-06-2021-0125

ALSHAMI, A., ELSAYES, M., ALI, E., ELTOUKHY, A. E. E., & ZAYED, T. (2023). Harnessing the power of ChatGPT for automating systematic review process: Methodology, case study, limitations, and future directions. *Systems*, *11*(7), Article 354. https://doi.org/10.3390/systems11070354

ANTHROPIC. (2025). *Claude's Constitution*. Anthropic. https://www.anthropic.com/news/claude-new-constitution

ARÃO, C. (2024). Behind artificial intelligence: An analysis of the epistemological bases of machine learning. *Trans/Form/Ação*, *47*(3), Article e02400163. https://doi.org/10.1590/0101-4761-2024-0473-3

BAI, Y., KADAVATH, S., KUNDU, S., ASKELL, A., KERNION, J., JONES, A., CHEN, A., GOLDIE, A., MIRHOSEINI, A., McKINNON, C., CHEN, C., OLSSON, C., OLAH, C., HERNANDEZ, D., DRAIN, D., GANGULI, D., LI, D., TRAN-JOHNSON, E., PEREZ, E., … KAPLAN, J. (2022). *Constitutional AI: Harmlessness from AI feedback*. arXiv preprint arXiv:2212.08073. https://arxiv.org/abs/2212.08073.

BALDÉ, C. P., KUEHR, R., YAMAMOTO, T., MCDONALD, R., D'ANGELO, E., ALTHAF, S., BEL, G., DEUBZER, O., FERNANDEZ-CUBILLO, E., FORTI, V., GRAY, V., HERAT, S., HONDA, S., IATTONI, G., KHETRIWAL, D. S., CORTEMIGLIA, V. L., LOBUNTSOVA, Y., NNOROM, I., PRALAT, N., & WAGNER, M. (2024). *Global e-waste monitor 2024: Global partnerships and measurement solutions for the sustainable management of e-waste*. ITU. https://circulairekennis.nl/en/research/the-global-e-waste-monitor-2024/

BARDIN, L. (2016). *Análise de conteúdo* (L. A. Reto & A. Pinheiro, Trad.). Edições 70. (Obra original publicada em 1977)

BENABDELLAH, A. C., BOUHADDOU, I., BENGHABRIT, A., & BENGHABRIT, O. (2019). A systematic review of design for X techniques from 1980 to 2018: Concepts, applications, and perspectives. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *102*(9-10), 3473-3502. https://doi.org/10.1007/s00170-019-03493-6

BONAMIGO, V. G., CARVALHO, D. R., & CUBAS, M. R. (2020). Qualitative method enhanced by artificial intelligence: Experience report. *Qualitative Research in Health: Advances and Challenges*, *3*, 105-115. https://doi.org/10.36367/ntqr.3.2020.105-115

BRAGA JR., A. E., NUNES, D. R. L., BRANDÃO, R., MARTINS, V. W. B., NAGATA, V. M. N., & MELO, A. C. S. (2023, October 12). *Contributions to the design for reverse logistics*

definition: Integrating reverse logistics activities and design for X approaches [Preprint]. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3414359/v1

BRASIL (2010). *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

BRASIL (2019). *Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes*. Ministério do Meio Ambiente. https://www.gov.br/mma/pt-br

BRASIL (2020). *Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020*. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm

BRASIL (2022). *Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022*. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm

COSTA, A. L. C., MARTINS, V. W. B., CHAVES, L., BRAGA JR, A. E., MELO, A. C. S. (2023). Hierarchy of Design Needs for Enabling Reverse Logistics Activities: A Design for Reverse Logistics Approach [Preprint]. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3408602/v1

Dias, M. (2021). *CSD matrix: A tool to boost your project*. Medium. https://medium.com/aela/matriz-csd-uma-ferramenta-para-impulsionar-seu-project-ed4baf9770af

FAYYAD, U., PIATETSKY-SHAPIRO, G., & SMYTH, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. *AI Magazine*, *17*(3), 37–54. https://doi.org/10.1609/aimag.v17i3.1230

FORCELINI, F., & MERINO, G. S. A. D. (2022). Contributions of the CSD matrix in design projects: An application in the context of the Center for Studies on Aging (NETI). *Design and Technology*, *14*(28), 1-20. https://doi.org/10.51698/seerufpr.2022.28.00001

LIVEWORK STUDIO. (2024). *CSD matrix: Our most versatile and popular tool*. https://liveworkstudio.com.br/insight/matriz-csd-nossa-most-versatile-and-popular-tool/

MARTINS, V. W. B., NUNES, D. R. L., MELO, A. C. S., BRANDÃO, R., BRAGA JR., A. E., & NAGATA, V. M. N. (2022). Analysis of the activities that make up the reverse logistics processes and their importance for the future of logistics networks: An exploratory study using the TOPSIS technique. *Logistics*, *6*(3), Article 60. https://doi.org/10.3390/logistics6030060

MELO, A. C. S., NUNES, D. R. L., BRAGA JR., A. E., BRANDÃO, R., NAGATA, V. M. N., & MARTINS, V. W. B. (2022). Analysis of activities that make up reverse logistics processes: Proposition of a conceptual framework. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, *19*(2), Article 3361. https://doi.org/10.14488/BJOPM.2022.022

MONTEIRO, M. G. V; JUNIOR, A. E. B; MARTINS, CHAVES, L. I; MELO, A. C. S. (2024) Design for reverse logistics guidelines: A Literature Review. MIX Sustentável, v. 10, n. 5, p.201-220. ISSN 2447-3073. Disponível em: http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel. Acesso em: 21/03/2026. doi: https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n5.201-220

NOGUEIRA, C. J. L. G. (2024). *Stakeholders e responsabilidades em cadeias de suprimentos reversas de resíduos eletroeletrônicos: Uma análise de instrumentos legais de um país emergente sob a perspectiva da literatura* [Dissertação de mestrado, Universidade do Estado do Pará]. Repositório institucional UEPA.

PEREIRA, A. L, BONIN, C. A., SOARES, C. E. K. (2024). Utilizando a Inteligência Artificial como apoio na análise de conteúdo: algumas considerações. *Com a Palavra, O Professor*, *9*(25), 258-282. https://doi.org/10.22481/cpp.v9i25.17444

QURESHI, R., IRFAN, M., GONDAL, T. M., KHAN, S., WU, J., HAQ, M. U., KHAN, A. A., AHMAD, H. B., & ALAM, T. (2023). Are ChatGPT and large language models "the answer" to bringing us closer to systematic review automation? *Systematic Reviews*, *12*(1), Article 10. https://doi.org/10.1186/s13643-023-02168-7

SASSANELLI, C., ROSA, P., ROCCA, R., & TERZI, S. (2020). Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, *229*, 440-453. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.095

VANEGAS, P., PEETERS, J. R., CATTRYSSE, D., TECCHIO, P., ARDENTE, F., MATHIEUX, F., DEWULF, W., & DUFLOU, J. R. (2018). Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, *135*, 323-334. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.015

3. DIRETRIZES DE DESIGN PARA A LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: UMA VALIDAÇÃO MULTIDISCIPLINAR BASEADA NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA – ARTIGO 2

Este capítulo apresenta o Artigo 2 desta dissertação, em uma primeira versão em português, que constitui a segunda e última etapa do percurso investigativo desenvolvido neste trabalho. A versão final em inglês, está em processo de elaboração e será formatada conforme as diretrizes do periódico a ser selecionada para submissão. O texto apresentado a seguir foi formatado de acordo com as diretrizes do PPGTEC/UEPA, preservando integralmente o conteúdo científico, os dados, as referências e a estrutura do trabalho original. O Apêndice C e Anexo A apresentam respectivamente o Instrumento de Coleta elaborado e o Parecer de Aprovação da Pesquisa pelo Comitê de Ética (CEP/UEPA).

DIRETRIZES DE DESIGN PARA A LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: UMA VALIDAÇÃO MULTIDISCIPLINAR BASEADA NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

RESUMO

O crescente volume de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (WEEE) representa um desafio global para a sustentabilidade, sendo o Brasil o quinto maior gerador mundial, com aproximadamente 2,4 bilhões de quilogramas em 2022 e taxa de reciclagem documentada de apenas 3,2%. Neste contexto, o *Design for Reverse Logistics* (DfRL) emerge como alternativa de abordagem estratégica para viabilizar a recuperação de valor destes resíduos. Este estudo

teve como objetivo validar diretrizes de DfRL de WEEE fundamentadas nos Instrumentos Legais Brasileiros (ILB). A pesquisa adotou abordagem mista, combinando Análise de Conteúdo assistida por Inteligência Artificial e aplicação da Matriz de Certezas, Suposições e Dúvidas (CSD) para identificação de 28 diretrizes nos ILB, seguida de validação empírica mediante o método Lawshe com 82 especialistas das áreas de Design Para Sustentabilidade (n= 29), Economia Circular (n= 24) e Logística Reversa (n= 29). Os resultados revelaram que 14 diretrizes foram validadas como essenciais na análise agregada dos especialistas envolvidos, enquanto a análise segregada identificou um núcleo consensual de 9 diretrizes validadas de forma unânime pelos três grupos de especialistas, concentradas nas atividades de Integração e Desmontagem. Observou-se uma rejeição unânime das diretrizes relacionadas às atividades de Transporte e Armazenagem, sugerindo que tais aspectos são percebidos como questões operacionais, não como requisitos de design. As divergências identificadas entre os grupos de especialistas revelam que a percepção do que constitui "design essencial" para a logística reversa varia conforme a perspectiva profissional, demandando abordagens integradas na etapa de desenvolvimento de produtos. O estudo contribui para a teoria e prática do DfRL ao oferecer um *framework* validado empiricamente que pode orientar tanto o setor produtivo quanto a formulação de políticas públicas para gestão de WEEE no Brasil.

Palavras-chave: *Design for Reverse Logistics*; Método Lawshe; Economia Circular; Política Nacional de Resíduos Sólidos; WEEE.

3.1 INTRODUÇÃO

O cenário global contemporâneo é marcado por crescente preocupação com questões ambientais e de sustentabilidade, particularmente no que concerne à gestão de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (do inglês *Waste Electrical and Electronic Equipment* - WEEE *or e-waste*). De acordo com o *Global E-waste Monitor* 2024, em 2022 foram gerados 62 bilhões de quilogramas de WEEE globalmente, equivalente a uma média de 7,8 kg *per capita*, dos quais apenas 22,3% foram documentados como formalmente coletados e reciclados de maneira ambientalmente adequada (Baldé *et al.*, 2024). Estes resíduos contêm não apenas materiais valiosos passíveis de recuperação, como ouro, prata e cobre, mas também substâncias potencialmente tóxicas, como chumbo, mercúrio e retardantes de chama bromados, que representam riscos significativos à saúde humana e ao meio ambiente quando inadequadamente gerenciados (Forti *et al.*, 2020).

No contexto brasileiro, a problemática assume contornos específicos. O país gerou aproximadamente 2,4 bilhões de quilogramas de WEEE em 2022, posicionando-se como o

quinto maior gerador mundial, com taxa de reciclagem documentada de apenas 3,2% (Baldé *et al.*, 2024). Este cenário evidencia a urgência de aprimoramento nas práticas de gestão destes resíduos, demandando abordagens que considerem todo o ciclo de vida dos produtos, desde sua concepção até a destinação final.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, representa o principal marco regulatório brasileiro para esta temática, estabelecendo princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (Brasil, 2010). O Decreto nº 10.240/2020 complementa este arcabouço ao regulamentar especificamente a implementação de sistemas de Logística Reversa (LR) para produtos eletroeletrônicos de uso doméstico, determinando que fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes estruturem e operacionalizem tais sistemas por meio de entidades gestoras (Brasil, 2020).

Neste contexto, a LR emerge como instrumento fundamental, caracterizando-se como o conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para reaproveitamento em seus ciclos produtivos ou destinação final ambientalmente adequada (Brasil, 2010). Contudo, conforme apontam Martins *et al.* (2019), o setor logístico brasileiro enfrenta desafios significativos na implementação de práticas sustentáveis, principalmente devido ao foco empresarial predominante em aspectos econômicos, legislação ainda em consolidação e baixa pressão dos consumidores.

O design industrial, como área do conhecimento responsável pela concepção e desenvolvimento de produtos, desempenha papel estratégico no enfrentamento destes desafios. Segundo Papanek (1985), o design tem o poder de moldar ferramentas e ambientes e, por extensão, a sociedade e o próprio homem, conferindo ao designer a responsabilidade por criar produtos que não apenas atendam às necessidades funcionais e estéticas, mas também considerem aspectos sustentáveis ao longo de todo o seu ciclo de vida. Manzini e Vezzoli (2002) ampliam esta perspectiva ao propor que o design para a sustentabilidade implica em projetar produtos, serviços e sistemas com baixo impacto ambiental e alta qualidade social, requerendo uma mudança de paradigma no processo de design: de uma abordagem linear para uma circular, onde o ciclo de vida do produto é considerado desde o início do processo de desenvolvimento até suas possíveis reinserções em novos ciclos de produção e consumo.

A interface entre design de produtos e LR configura-se, portanto, um campo estratégico para viabilização de práticas sustentáveis. O conceito de *Design for Reverse Logistics* (DfRL) propõe que produtos sejam projetados considerando, desde sua concepção, a viabilização das atividades necessárias à sua recuperação ao final da vida útil (Melo *et al.*, 2021;

Braga Jr *et al.*, 2023). Esta abordagem alinha-se aos princípios da Economia Circular (EC), que preconiza um sistema industrial restaurativo e regenerativo por design, substituindo o conceito de "fim de vida" pela restauração e visando à eliminação de resíduos através do design superior de materiais, produtos e sistemas (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Para além dos benefícios ambientais, a transição para EC no setor de equipamentos eletroeletrônicos oferece oportunidades econômicas significativas. O relatório da Ellen MacArthur Foundation (2016) sugere que a adoção de modelos de negócios circulares no setor de eletrônicos poderia gerar uma economia de materiais de até US$ 630 bilhões por ano globalmente. Esta dimensão econômica reforça que o DfRL pode não representar apenas uma resposta a demandas regulatórias ou pressões ambientais, mas também uma oportunidade estratégica de criação de valor para as organizações que conseguirem integrar efetivamente os princípios da circularidade em seus processos de desenvolvimento de produtos.

Não obstante a relevância do tema, a literatura evidencia lacunas no desenvolvimento de diretrizes de DfRL. Monteiro *et al.* (2024), em revisão sistemática sobre o tema, identificaram carência de estudos que proponham diretrizes de projeto específicas para LR, destacando a necessidade de melhor definição e hierarquização dos termos relacionados, bem como maior integração entre pesquisa e prática. Braga Jr *et al.* (2023) corroboram esta lacuna ao evidenciarem que, embora o termo DfRL seja conhecido desde o início dos anos 2010, apenas menções superficiais de definições são citadas na literatura, sem proposição de diretrizes fundamentadas nas operações de LR ou no Processo de Desenvolvimento de Produto.

Esta lacuna torna-se particularmente relevante no contexto brasileiro, onde a implementação efetiva de Cadeias de Suprimentos Reversas (*Reverse Supply Chains* - RSC) para WEEE depende fortemente de produtos projetados para facilitar processos como desmontagem, recuperação de materiais e reinserção em novos ciclos produtivos. A carência de diretrizes de projeto específicas que considerem os requisitos legais brasileiros e as particularidades do setor de eletroeletrônicos representa uma oportunidade de pesquisa com potencial de contribuição tanto teórica quanto prática.

Diante deste cenário, o presente estudo teve como objetivo validar diretrizes de design para a logística reversa de WEEE fundamentadas nos Instrumentos Legais Brasileiros (ILB) referentes a estes resíduos. Especificamente, buscou-se: (i) identificar diretrizes de projeto presentes nos ILB associados à implementação de RSC para WEEE; (ii) categorizar estas diretrizes de projeto conforme seu grau de explicitação nos textos legais; e (iii) validar as diretrizes de projeto identificadas junto a especialistas das áreas de Design Para

Sustentabilidade (DS), Economia Circular (EC) e Logística Reversa (LR), analisando padrões de convergência e divergência entre as diferentes perspectivas disciplinares.

O estudo justifica-se pela necessidade de oferecer ao setor produtivo e aos formuladores de políticas públicas um conjunto de diretrizes de DfRL empiricamente validadas, capazes de orientar tanto o desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos mais adequados aos processos de LR quanto o aprimoramento do arcabouço regulatório brasileiro. Ao integrar análise documental dos ILB com validação multidisciplinar por especialistas, a pesquisa buscou construir pontes entre a teoria normativa dos instrumentos legais e a prática industrial, contribuindo para a transição circular no setor de eletroeletrônicos brasileiro.

Este artigo está estruturado em quatro seções, além desta introdução. A seção 2 apresenta o método adotado, detalhando os procedimentos de identificação e validação das diretrizes. A seção 3 apresenta e discute os resultados obtidos, contemplando tanto a análise agregada dos especialistas quanto a análise segregada por área de especialização. Por fim, a seção 4 apresenta as conclusões do estudo, suas limitações e sugestões para pesquisas futuras.

3.2 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa adotou abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos em um design sequencial exploratório (Creswell; Plano Clark, 2017). A fase qualitativa compreendeu a identificação e categorização de diretrizes de DfRL de WEEE presentes nos Instrumentos Legais Brasileiros (ILB), enquanto a fase quantitativa envolveu a validação dessas diretrizes junto a especialistas mediante aplicação do método Lawshe de Validade de Conteúdo. O percurso metodológico organizou-se em quatro etapas principais, descritas a seguir.

3.2.1 Identificação dos Instrumentos Legais Brasileiros

A primeira etapa consistiu na identificação e seleção dos ILB pertinentes à implementação de RSC para WEEE. Tomou-se como referência o trabalho desenvolvido por Nogueira (2024), que realizou análise detalhada dos ILB relacionados à responsabilidade nas RSC para tais resíduos. A seleção priorizou instrumentos atualizados e vigentes, buscando diversidade de fontes conforme recomendado por Patton (2015).

Os ILB selecionados foram categorizados em dois grupos: (i) instrumentos gerais, que abordam diversos tipos de resíduos incluindo WEEE, compreendendo a Lei nº 12.305/2010 (PNRS) e o Decreto nº 10.936/2022; e (ii) instrumentos específicos, que tratam exclusivamente de WEEE, incluindo o Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de

Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico (2019) e o Decreto nº 10.240/2020. O Quadro 3.1 apresenta a síntese dos ILB considerados nesta pesquisa.

Quadro 3.1 – Instrumentos Legais Brasileiros para gestão de WEEE considerados

Instrumento Legal	Descrição	Tipo
Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (PNRS)	Política Nacional de Resíduos Sólidos, que dispõe sobre princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.	Geral
Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico e seus Componentes, de 31 de outubro de 2019	Ato de natureza contratual, firmado entre o Poder Público e outras partes como fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, visando à implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto.	Específico
Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022	Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.	Geral
Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020	Regulamenta a implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico.	Específico

Fonte: Adaptado de Nogueira (2024).

Para delimitação do escopo desta pesquisa, foram considerados apenas os ILB específicos na análise subsequente, uma vez que estes tratam diretamente das particularidades da RSC de WEEE, detalhando aspectos operacionais e requisitos específicos para implementação dos sistemas de logística reversa de WEEE.

3.2.2 Identificação e Categorização das Diretrizes de Projeto

A segunda etapa empregou duas técnicas complementares: Análise de Conteúdo e Matriz de Certezas, Suposições e Dúvidas (CSD). A Análise de Conteúdo seguiu as fases propostas por Bardin (2011): pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados.

Para otimização do processo analítico, utilizou-se a plataforma de inteligência artificial Claude.ai como ferramenta auxiliar na identificação, categorização e análise dos dados textuais presentes nos ILB. Conforme destaca Arão (2024), os algoritmos de IA reconhecem padrões e calculam probabilidades através de modelos estatísticos preditivos, facilitando a análise de documentos extensos e complexos. O processo seguiu protocolo estruturado em três etapas: (i) identificação de diretrizes e orientações de projeto nos textos legais; (ii) cruzamento entre as diretrizes identificadas e as dez atividades de LR definidas por Melo *et al.* (2022) — Integração, Aquisição de Resíduos, Triagem na Fonte, Coleta, Transporte, Inspeção/Teste, Armazenagem,

Desmontagem, Classificação e Redistribuição; e (iii) preparação dos insumos para a Matriz CSD.

A escolha pela plataforma Claude.ai (Anthropic), em detrimento de outras alternativas de IA generativa disponíveis no período de desenvolvimento desta pesquisa (2025–2026), apoiou-se em três características alinhadas aos requisitos metodológicos da Análise de Conteúdo aplicada a textos normativos. Em primeiro lugar, a janela de contexto estendida da ferramenta que, à época, comportava o equivalente a centenas de páginas em uma única sessão, permitiu carregar simultaneamente os ILB selecionados e os artigos de referência conceitual (Melo *et al*., 2022; Forcelini; Merino, 2022), evitando a fragmentação do *corpus* que comprometeria a coerência da categorização. Em segundo lugar, o modelo é treinado pelo método *Constitutional AI* (Bai *et al*., 2022), que orienta o sistema a reconhecer e declarar incertezas em vez de gerar respostas pouco fundamentadas (o que é popularmente denominado como "alucinações") — atributo relevante na análise de textos legais, em que precisão referencial e fidelidade ao texto-fonte são prioritárias. Em terceiro lugar, a ferramenta apresentou desempenho consistente em língua portuguesa, dispensando etapas intermediárias de tradução dos ILB. A descrição técnica detalhada das versões utilizadas, das limitações observadas e dos cuidados de validação adotados encontra-se no Apêndice B desta dissertação.

Esse desenho metodológico integra-se ao precedente estabelecido por Bonamigo *et al*. (2020), que estruturaram um método misto em arquitetura tríplice — análise qualitativa anterior à IA, processamento computacional intermediário e análise qualitativa posterior à IA — para investigar 222 conceitos de violência de gênero a partir de 195 artigos científicos. Naquela aplicação, o processamento intermediário foi realizado pelo algoritmo *Apriori*, no contexto do processo de *Knowledge Discovery in Databases* (Fayyad; Piatetsky-Shapiro; Smyth, 1996), enquanto a validação humana posterior foi conduzida pela Análise de Conteúdo de Bardin (2011). A presente pesquisa preserva integralmente essa estrutura em três dimensões e o ancoramento da validação humana na Análise de Conteúdo de Bardin, mas adapta o método em três pontos: (i) transposição do domínio empírico — da análise conceitual em saúde para a análise de instrumentos legais no campo do design e da logística reversa; (ii) substituição da IA preditiva baseada em descoberta de regras de associação por IA generativa baseada em modelos de linguagem de grande escala (Claude.ai), o que permite o reconhecimento de diretrizes de projeto implícitas em textos normativos extensos sem a necessidade de pré-categorização exaustiva do *corpus*; e (iii) incorporação da Matriz CSD (Forcelini; Merino, 2022) como instrumento de organização da validação humana, articulando os achados produzidos pela IA em três categorias com função analítica distinta — Certezas, Suposições e Dúvidas. A

combinação destes três deslocamentos com a arquitetura herdada de Bonamigo *et al*. (2020) constitui a contribuição metodológica original desta pesquisa, oferecendo um protocolo replicável para a análise sistemática de instrumentos legais em outros contextos regulatórios e setoriais. O quadro completo de rastreabilidade entre as diretrizes identificadas pelo protocolo e os respectivos trechos literais nos Instrumentos Legais analisados encontra-se no Apêndice E desta dissertação.

A Matriz CSD, desenvolvida pela consultoria Livework, permite levantar e organizar percepções sobre determinado contexto de forma estruturada (Forcelini; Merino, 2022). Na presente pesquisa, as diretrizes de projeto foram categorizadas em: Certezas (diretrizes explicitamente presentes nos ILB), Suposições (diretrizes de projeto parcialmente contempladas ou inferidas pelos pesquisadores a partir de orientações incompletas nos textos dos ILB) e Dúvidas (lacunas identificadas que poderiam complementar os ILB). Todas as análises assistidas por IA foram revisadas, validadas e refinadas pelo pesquisador, garantindo precisão interpretativa e adequada contextualização dos resultados.

3.2.3 Validação das Diretrizes mediante Método Lawshe

A terceira etapa consistiu na validação empírica das diretrizes de projeto identificadas junto a especialistas. Elaborou-se instrumento de coleta na forma de questionário eletrônico, disponibilizado via plataforma Google Forms, estruturado para avaliar a essencialidade de cada diretriz de projeto para implementação efetiva de sistemas de LR para WEEE.

A escolha pelo método Lawshe (1975) decorre de seu alinhamento direto com o objetivo da etapa de validação proposta nesta pesquisa: identificar quais diretrizes de projeto são consideradas essenciais por especialistas para viabilizar a LR de WEEE. Diferentemente de outros métodos de validação de conteúdo amplamente utilizados — como o *Content Validity Index* (CVI) de Lynn (1986) e Polit e Beck (2006), construído sobre escala de relevância de quatro pontos, ou o método Delphi, baseado em rodadas iterativas de consenso —, o método Lawshe foi originalmente desenhado para mensurar a essencialidade de itens, não apenas sua relevância ou pertinência. Essa distinção é metodologicamente importante para esta pesquisa, uma vez que o objeto da validação não é a clareza ou a pertinência semântica das diretrizes, mas sua condição de requisitos efetivamente necessários ao funcionamento dos sistemas de LR. O método também oferece um critério estatístico objetivo para a validação — o CVR crítico, calculado em função do tamanho amostral (Lawshe, 1975; Tristán-López, 2008) —, dispensando definições arbitrárias de pontos de corte. Por fim, sua aplicação em uma única rodada estruturada é compatível com painéis amplos como o desta pesquisa (n = 82),

inviabilizando-se, por questões operacionais, métodos que dependem de múltiplas rodadas de consulta. Esses atributos, em conjunto, justificam a adoção do Lawshe como instrumento mais adequado aos objetivos e ao desenho desta etapa da pesquisa.

O método Lawshe de Validade de Conteúdo foi selecionado por sua ampla utilização na validação de dados por especialistas e por sua capacidade de quantificar o grau de consenso entre avaliadores (Bezerra *et al.*, 2024; Lawshe, 1975). Para cada diretriz proposta, os especialistas indicaram se a consideravam: (a) Essencial; (b) Importante, mas não essencial; ou (c) Não importante para viabilizar a implementação de sistemas de LR para WEEE.

A Razão de Validade de Conteúdo (CVR) constitui o indicador central do método, variando entre -1 (total discordância) e +1 (total concordância). Valores positivos de CVR indicam que mais de 50% dos participantes consideram o item essencial, enquanto o CVR crítico, calculado a partir de parâmetros estatísticos como média, variância e desvio padrão das respostas, determina o limiar para validação estatisticamente significativa. O Quadro 3.2 apresenta as equações envolvidas no método Lawshe utilizadas nesta pesquisa.

Quadro 3.2 – Equações envolvidas no Método Lawshe

Variáveis	Equações	Descrição das variáveis
Equação 1 – Razão de Validade de Conteúdo (CVR)	$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$	*ne*: número de especialistas que consideraram o critério como "*Essencial*"; *N*: número total de especialistas que participaram da pesquisa.
Equação 2 – Média	$\mu = n \cdot p$	"n" é o número total de especialistas e "p" é a probabilidade de 0,5 (critério de chance), representando o número esperado de respostas "Essencial" sob a hipótese nula.
Equação 3 – Variância	$\sigma^2 = n \cdot p \cdot (1 - p)$	"n" é o número de respondentes e "p" é a probabilidade de assinalar o item como essencial.
Equação 4 – Desvio Padrão	$\sigma = \sqrt{n \cdot p \cdot (1 - p)}$	"n" é o número total de especialistas e "p" = 0,5 é a probabilidade de chance, representando a dispersão esperada das respostas "Essencial" em torno da média sob a hipótese nula.
Equação 5 – $n_{crítico}$	$n_{\text{crítico}} = \mu + z \cdot \sigma$	Nível de significância 5%, na distribuição normal padrão e valor de z = 1,96.
Equação 6 – $CVR_{crítico}$	$CVR_{\text{crítico}} = \frac{n_{\text{crítico}} - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$	*N*: número total de especialistas que participaram da pesquisa.

Fonte: Adaptado de Lawshe (1975).

A operacionalização do método foi estruturada em uma planilha digital construída em Microsoft Excel, organizada em formato matricial: 28 colunas, correspondentes às diretrizes de projeto identificadas no Artigo 1 e codificadas sequencialmente como D01, D02, ..., D28; e 82 linhas, correspondentes aos especialistas respondentes. As respostas obtidas no questionário aplicado pelo Google Forms foram exportadas e codificadas numericamente conforme as três alternativas oferecidas: 1 para "Essencial", 2 para "Importante, mas não essencial" e 3 para "Não importante". Em conformidade com o método Lawshe (1975), apenas as respostas codificadas como "1" foram consideradas para o cálculo da Razão de Validade de Conteúdo, uma vez que apenas elas exprimem o juízo de essencialidade que constitui o objeto da validação.

A planilha foi configurada para automatizar todas as etapas de cálculo previstas no Quadro 3.2: contagem dos especialistas que avaliaram cada diretriz como essencial (n_e), cálculo do CVR de cada diretriz, determinação dos parâmetros estatísticos (média, variância e desvio padrão) sob a hipótese nula e obtenção do CVR crítico em função do número total de respondentes. Adotou-se ainda formatação condicional para sinalizar visualmente o resultado da validação: células correspondentes ao CVR de cada diretriz foram automaticamente preenchidas em verde e marcadas como "VALIDADO" quando o valor calculado igualou ou superou o CVR crítico, e em vermelho, com indicação "NÃO VALIDADO", quando o valor obtido foi inferior ao limiar estatístico. Esse arranjo garantiu a rastreabilidade do processo, a reprodutibilidade dos cálculos e a leitura imediata dos resultados, tanto na análise agregada do painel quanto, posteriormente, na análise segregada por área de especialização.

3.2.4 Composição do Painel de Especialistas

O painel de especialistas foi composto por profissionais de três áreas complementares: Design Para Sustentabilidade (DS), Economia Circular (EC) e Logística Reversa (LR). Os potenciais participantes foram identificados através da Plataforma Lattes, redes profissionais como LinkedIn, associações profissionais da área e grupos de pesquisa relacionados ao tema.

A escolha por estes três grupos responde à própria natureza interdisciplinar do DfRL, que se constitui na intersecção entre estes campos de conhecimento. O Design Para Sustentabilidade aporta a perspectiva projetual orientada à concepção de produtos com baixo impacto ambiental ao longo do ciclo de vida (Manzini; Vezzoli, 2002); a Economia Circular fornece o referencial sistêmico que articula produtos, materiais e fluxos em ciclos restaurativos e regenerativos (Ellen MacArthur Foundation, 2013); e a LR contribui com o conhecimento operacional sobre as atividades de recuperação que estruturam o instrumento de validação

aplicado nesta pesquisa. A reunião destes três grupos no painel garante, portanto, que as diretrizes sejam avaliadas a partir das três dimensões que o próprio conceito de DfRL articula — projetual, sistêmica e operacional —, ao mesmo tempo em que viabiliza a análise segregada por área prevista no percurso metodológico, permitindo verificar se as percepções convergem ou variam conforme a perspectiva disciplinar do avaliador.

Os critérios de inclusão consideraram: experiência profissional ou acadêmica nas áreas de DS, LR ou EC; formação acadêmica relacionada ao tema; e disponibilidade para participar da pesquisa. Por se tratar de pesquisa envolvendo seres humanos, o instrumento de coleta foi previamente submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Estado do Pará (CEP/UEPA), sob número CAAE 88914325.5.0000.5174.

3.2.5 Procedimentos de Análise

A análise dos dados seguiu duas abordagens complementares. Na análise agregada de especialistas, todos os participantes foram considerados um grupo único, permitindo identificar o consenso geral sobre as diretrizes de projeto essenciais. Na análise segregada de especialistas, os dados foram analisados separadamente para cada área de especialização (DS, EC e LR), permitindo: (i) identificar convergências e divergências entre perspectivas disciplinares; (ii) compreender como a formação específica influencia a avaliação das diretrizes de projeto; (iii) estabelecer um núcleo consensual de diretrizes de projeto validadas por todos os grupos; e (iv) identificar diretrizes de projeto com validação divergente que requerem abordagens contextualizadas.

Para cada grupo segregado, foi calculado o CVR específico, considerando o número de participantes daquela área, resultando em valores de CVRcrítico distintos, conforme o tamanho amostral de cada grupo. A integração das análises agregada e segregada seguiu o projeto sequencial exploratório, onde os resultados quantitativos foram interpretados à luz dos *insights* qualitativos obtidos na fase de identificação das diretrizes de projeto.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos no processo de validação das diretrizes de DfRL para WEEE junto ao painel de especialistas. Inicialmente, caracterizou-se o perfil dos participantes da pesquisa, evidenciando a qualificação e representatividade da amostra. Em seguida, apresentou-se os resultados da análise agregada, na qual todos os 82 especialistas foram considerados como grupo único, permitindo identificar o consenso geral sobre as diretrizes de DfRL essenciais. Na sequência, os dados são analisados de forma segregada por área de especialização (DS, EC e LR), possibilitando a identificação de convergências e

divergências de diretrizes de DfRL entre as diferentes perspectivas disciplinares. Por fim, consolidou-se o núcleo consensual de diretrizes de projeto validadas e discutiram-se as implicações dos resultados para o design de produtos eletroeletrônicos no contexto brasileiro, considerando tanto as contribuições para o setor produtivo quanto às oportunidades de aprimoramento do arcabouço regulatório.

3.3.1 Análise de Conteúdo Assistida por IA

Como resultado desta etapa, foram identificadas 9 diretrizes de DfRL classificadas como Certezas e 19 como Suposições, totalizando 28 diretrizes de projeto submetidas ao processo de validação. O Quadro 3.3 apresenta o conjunto completo de diretrizes de projeto, organizadas por atividade de LR associada e categoria de origem na Matriz CSD.

Quadro 3.3 – Diretrizes de projeto identificadas e propostas a partir dos ILB

ID	Atividade de LR associada	Diretriz de projeto	Categoria de origem
D01	Integração	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, forneçam informações visíveis e claras sobre os canais de logística reversa autorizados, facilitando a integração do sistema e evitando desvios.	Suposição
D02	Integração	Projetar produtos e suas embalagens considerando um sistema integrado de logística reversa que receba todos os componentes do produto, acessórios e insumos, ao longo de seus diferentes fins de ciclos de vida.	Suposição
D03	Aquisição de Resíduos	Projetar produtos que incluam informações claras sobre descarte correto, incentivando e facilitando a participação do consumidor a iniciar o processo de logística reversa.	Suposição
D04	Aquisição de Resíduos	Projetar produtos que mantenham sua integridade física mesmo após o fim de sua vida útil, facilitando seu armazenamento seguro até o momento da coleta.	Suposição
D05	Triagem na Fonte	Incorporar características visuais ou códigos aos produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, facilitem a identificação e classificação rápida do produto durante o processo de triagem inicial.	Suposição
D06	Triagem na Fonte	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, mantenham suas características identificáveis mesmo após uso prolongado, facilitando o processo de triagem na fonte sem necessidade de descaracterização.	Suposição
D07	Coleta	Padronizar formatos e dimensões dos produtos que, em fim de sua vida útil, facilitem os seus acondicionamentos seguros nos recipientes de coleta.	Suposição
D08	Coleta	Incluir no produto instruções claras sobre como ele deve ser descartado nos recipientes coletores, complementando as informações dos próprios recipientes.	Suposição
D09	Transporte	Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser manuseados, incluindo a carga, descarga e transporte, com o devido cuidado para evitar quebras.	Certeza

D10	Transporte	Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser embalados ou armazenados de modo que se minimize os riscos de quebras durante o transporte em condições normais.	Certeza
D11	Transporte	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a basculação descontrolada de recipientes coletores contendo produtos eletroeletrônicos frágeis.	Certeza
D12	Transporte	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a necessidade de trituração, prensagem ou compactação em qualquer fase do transporte, mantendo a integridade física e química dos materiais.	Certeza
D13	Transporte	Projetar produtos com tubos de raio catódico (CRT) que, em fim de sua vida útil, possam ser mantidos intactos durante o transporte, facilitando seu tratamento adequado nas empresas desmontadoras.	Certeza
D14	Transporte	Projetar produtos com CRT considerando que, em caso de fragmentação, em fim de sua vida útil, possam ser acondicionados em recipientes que evitem a dispersão dos fragmentos.	Certeza
D15	Transporte	Projetar produtos com CRT de forma que, em fim de sua vida útil, possam ser transportados separadamente de outros eletroeletrônicos na mesma carga, com proteção adequada para reduzir impactos.	Certeza
D16	Transporte	Desenvolver produtos com cabos destacáveis ou sistemas de gerenciamento de cabos que minimizem riscos durante o manuseio e transporte após o descarte.	Suposição
D17	Transporte	Incluir no produto instruções claras sobre peso e recomendações de empilhamento para o transporte na logística reversa.	Suposição
D18	Inspeção/Teste	Projetar acessórios facilmente identificáveis e removíveis para facilitar a inspeção e avaliação inicial.	Suposição
D19	Inspeção/Teste	Utilizar componentes que minimizem a liberação de substâncias particuladas quando manuseadas durante a inspeção e teste.	Suposição
D20	Armazenagem	Empregar materiais resistentes a variações de umidade e temperatura, facilitando o armazenamento em diversas condições.	Suposição
D21	Armazenagem	Incorporar sistemas de identificação ou rastreamento que reduzam a possibilidade de extravios durante o armazenamento.	Suposição
D22	Desmontagem	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, permitam separar eficientemente seus principais componentes e/ou partes constituintes, classificáveis em plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro e componentes de tratamento especial.	Certeza
D23	Desmontagem	Projetar produtos cujos métodos de desmontagem e remoção de partes e peças, em fim de sua vida útil, preservem a integridade dos componentes, evitando danos que possam gerar emissões de substâncias poluentes ao meio ambiente e à saúde humana.	Certeza
D24	Desmontagem	Facilitar tanto a desmontagem manual quanto mecânica, aumentando a eficiência do processo independente da técnica utilizada.	Suposição
D25	Desmontagem	Incluir no produto instruções de desmontagem segura ou identificação clara de componentes de risco, auxiliando o trabalho do pessoal que realizará a desmontagem.	Suposição
D26	Classificação	Incluir no produto marcações claras ou características físicas que facilitem a identificação e classificação por tipo, linha e tecnologia durante a classificação.	Suposição

D27	Classificação	Projetar produtos que facilitem a separação dos diferentes tipos de materiais (plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro), viabilizando sua redistribuição para os respectivos canais de reciclagem ou tratamento.	Suposição
D28	Redistribuição	Projetar produtos considerando a facilidade de encaminhamento para diferentes opções de reintegração na cadeia de suprimentos reversa, com identificação clara dos tipos de materiais e sua reciclabilidade.	Suposição

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

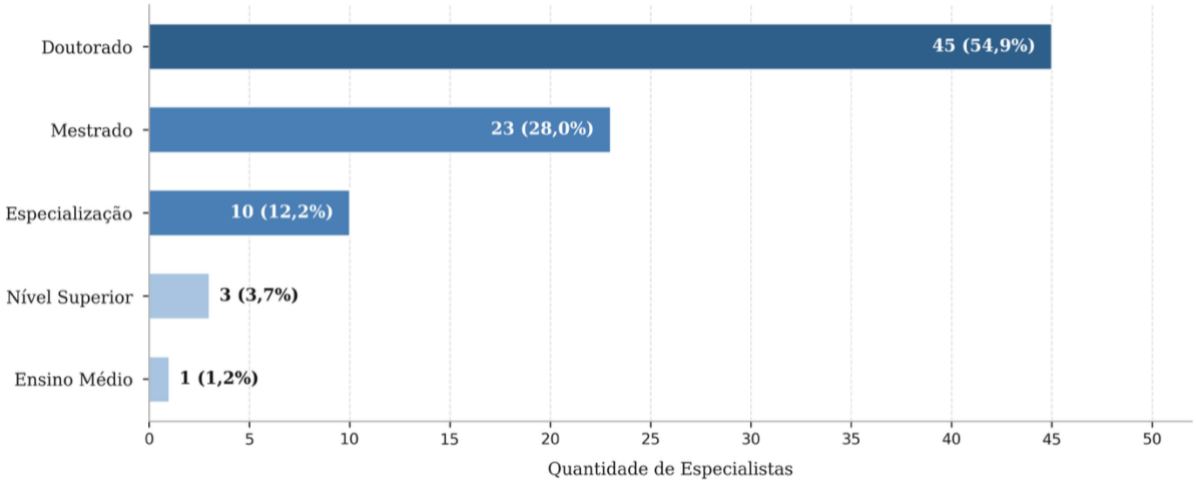
Cabe destacar que a categoria de origem Dúvidas, embora tenha resultado em 51 lacunas identificadas distribuídas entre as dez atividades de LR, não foi considerada neste estudo para fins de proposição das diretrizes de projeto submetidas à validação. Essa delimitação justifica-se pelo fato de que tais lacunas representam aspectos não contemplados pelos ILB vigentes e, portanto, carecem de fundamentação legal que respalde sua proposição como diretrizes de projeto no contexto regulatório brasileiro atual. Não obstante sua exclusão do processo de validação, essas lacunas constituem achado relevante da pesquisa e serão retomadas nas considerações finais, como oportunidades para aprimoramento do arcabouço legal brasileiro relacionado à RSC para WEEE e como agenda para estudos futuros.

3.3.2 Caracterização da Amostra

O processo de validação das diretrizes de DfRL para WEEE envolveu o envio de 151 convites por e-mail para especialistas das áreas de Design Para Sustentabilidade (DS), Economia Circular (EC) e Logística Reversa (LR). Deste universo, obteve-se retorno de 82 especialistas que efetivamente participaram da pesquisa, representando uma taxa de resposta de 54,3%. Todos os participantes forneceram dados completos, sendo integralmente considerados no processo de validação. Esta taxa de resposta pode ser considerada satisfatória para pesquisas desta natureza, especialmente considerando a especificidade do tema e o perfil altamente qualificado dos participantes. Além disso, o tamanho amostral supera os requisitos mínimos estabelecidos por Lawshe (1975) para garantir validade estatística ao método.

Em relação ao perfil acadêmico, observou-se predominância expressiva de profissionais com formação em nível de pós-graduação *stricto sensu*. Dos 82 especialistas, 45 possuem doutorado e 23 possuem mestrado, totalizando mais de 80% da amostra. Adicionalmente, 10 especialistas possuem especialização *lato sensu*, 3 têm formação em nível superior e apenas 1 participante possui apenas ensino médio completo. Este elevado nível de qualificação acadêmica confere robustez às avaliações realizadas, especialmente considerando a complexidade das diretrizes de projeto propostas, que envolvem a interseção entre aspectos legais, técnicos e de sustentabilidade. A Figura 3.1 apresenta a distribuição do perfil acadêmico dos especialistas participantes.

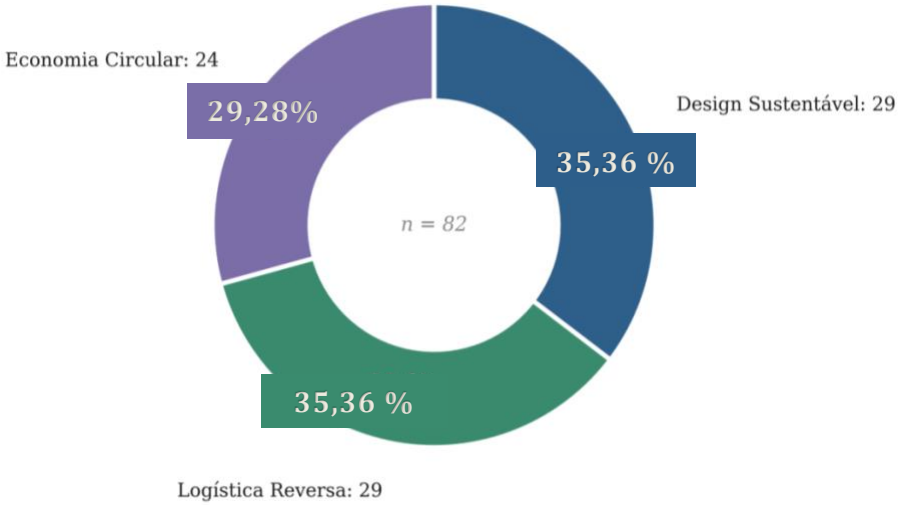
Figura 3.1 - Distribuição do perfil acadêmico dos especialistas (n=82)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A distribuição dos especialistas entre as três áreas de conhecimento priorizadas apresentou equilíbrio. As áreas de DS e LR contaram com 29 especialistas cada, representando 35,36% da amostra respectivamente, enquanto a área de EC foi representada por 24 especialistas, correspondendo a 29,28% do total. Este equilíbrio garante que as diferentes perspectivas necessárias à compreensão integral do DfRL foram adequadamente representadas no processo de validação, evitando vieses que poderiam emergir da super-representação de uma área específica. A Figura 3.2 ilustra esta distribuição.

Figura 3.2 - Distribuição dos especialistas por área de atuação principal (n=82)

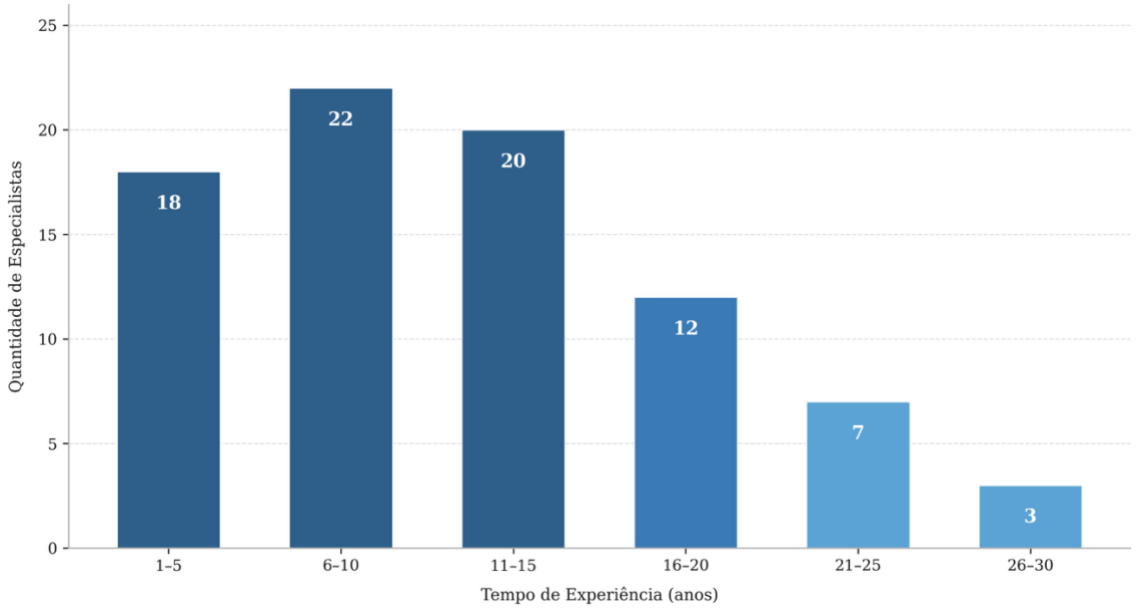


Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

O tempo de experiência profissional dos participantes apresentou amplitude considerável, variando de 1 a 30 anos de atuação em suas respectivas áreas, com média de 12,2 anos. Esta diversidade temporal é particularmente valiosa para o estudo, pois combina a solidez de conhecimentos consolidados por profissionais sêniores com perspectivas potencialmente

inovadoras trazidas por especialistas em início de carreira. A Figura 3.3 apresenta a distribuição do tempo de experiência dos participantes.

Figura 3.3 - Distribuição do tempo de experiência profissional dos especialistas (n=82)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A caracterização apresentada evidencia que o painel de especialistas reuniu profissionais com qualificação acadêmica elevada, distribuição equilibrada entre as áreas de conhecimento relevantes e experiência profissional diversificada. Estes atributos conferem credibilidade e representatividade aos resultados da validação apresentados nas subseções seguintes.

3.3.3 Análise Agregada de Especialistas

A validação das diretrizes de projeto seguiu rigorosamente o método estabelecido por Lawshe (1975), calculando-se a Razão de Validade de Conteúdo (CVR) para cada uma das 28 diretrizes de projeto propostas. Com base no tamanho amostral de 82 participantes, o CVR crítico foi estabelecido em 0,216, representando o limiar para considerar uma diretriz de DfRL como estatisticamente validada ao nível de significância de 5% (ou seja, representa 95% de confiança em relação ao consenso/concordância entre os participantes). Este valor indica que uma diretriz de DfRL necessita ser considerada essencial por aproximadamente 50 dos 82 especialistas para ser validada.

O resultado geral do processo de validação revelou que 14 das 28 diretrizes de DfRL propostas foram validadas como essenciais pelos especialistas, representando exatamente 50% do total. Embora este percentual possa inicialmente sugerir uma divisão equilibrada entre aceitação e rejeição, uma análise mais aprofundada revelou padrões perceptíveis na distribuição

das validações entre as diferentes atividades de LR. O Quadro 3.4 apresenta os valores de CVR obtidos para cada diretriz de DfRL, organizados por atividade de LR.

Quadro 3.4 - Resultados da validação agregada: CVR por diretriz de projeto (n=82)

ID	Atividade	CVR	Status
D01	Integração	0,732	Validada
D02	Integração	0,780	Validada
D03	Aquisição de Resíduos	0,780	Validada
D04	Aquisição de Resíduos	-0,024	Rejeitada
D05	Triagem na Fonte	0,488	Validada
D06	Triagem na Fonte	0,390	Validada
D07	Coleta	-0,268	Rejeitada
D08	Coleta	0,122	Rejeitada
D09	Transporte	-0,097	Rejeitada
D10	Transporte	-0,048	Rejeitada
D11	Transporte	-0,292	Rejeitada
D12	Transporte	0,048	Rejeitada
D13	Transporte	-0,048	Rejeitada
D14	Transporte	-0,121	Rejeitada
D15	Transporte	-0,317	Rejeitada
D16	Transporte	-0,146	Rejeitada
D17	Transporte	-0,097	Rejeitada
D18	Inspeção/Teste	0,244	Validada
D19	Inspeção/Teste	0,610	Validada
D20	Armazenagem	0,073	Rejeitada
D21	Armazenagem	-0,244	Rejeitada
D22	Desmontagem	0,805	Validada
D23	Desmontagem	0,707	Validada
D24	Desmontagem	0,585	Validada
D25	Desmontagem	0,463	Validada
D26	Classificação	0,317	Validada
D27	Classificação	0,732	Validada

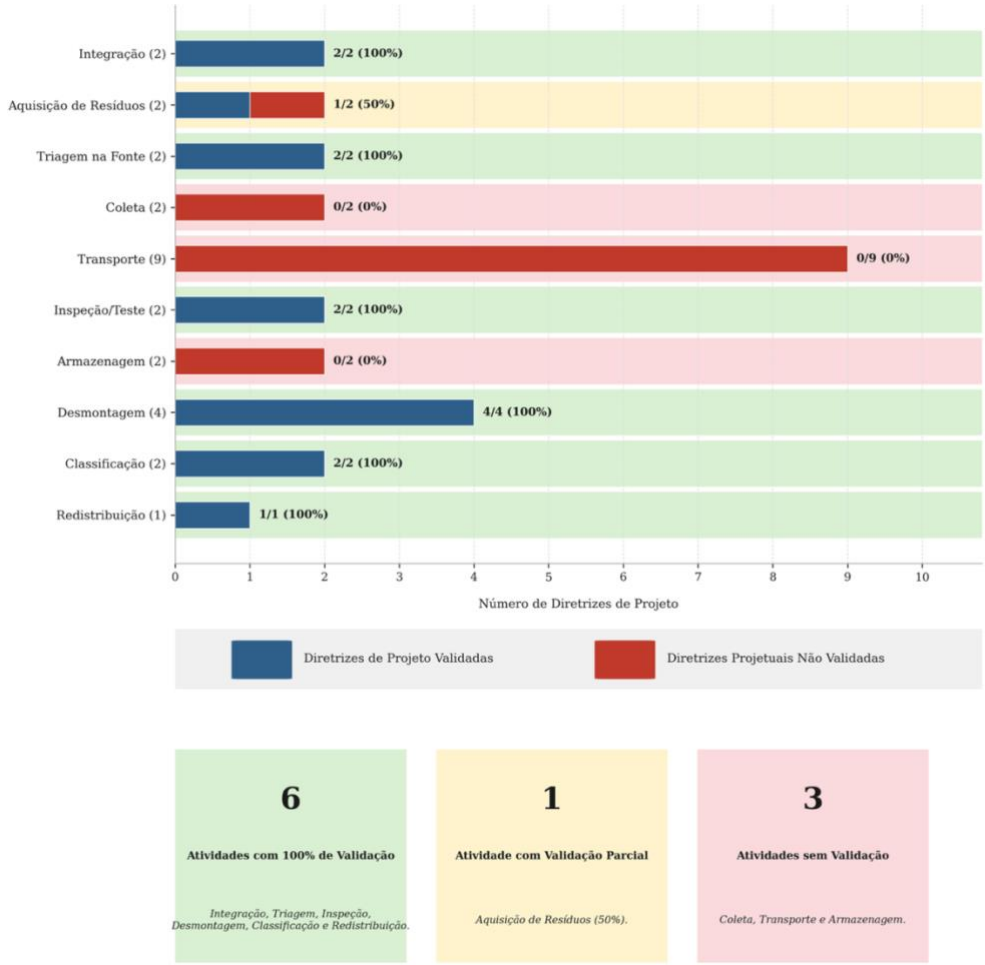
D28	Redistribuição	0,512	Validada

Nota: CVR crítico = 0,216. Validada (CVR ≥ 0,216); Rejeitada (CVR < 0,216).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A distribuição das validações entre as dez atividades de LR apresentou padrão heterogêneo. Seis das dez atividades tiveram a totalidade de suas diretrizes de projeto validadas, enquanto três atividades não tiveram nenhuma diretriz de projeto validada, e apenas uma atividade apresentou validação parcial. A Figura 3.4 ilustra esta distribuição.

Figura 3.4 - Distribuição das diretrizes de projeto validadas por atividade de LR (n=82)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A atividade de Desmontagem emergiu como o aspecto mais crítico do DfRL, segundo a percepção dos especialistas. Todas as quatro diretrizes de projeto desta categoria foram validadas com valores de CVR altos. A diretriz D22, sobre separação eficiente de componentes classificáveis, obteve o maior CVR de todo o estudo (0,805), com 74 dos 82 especialistas considerando-a essencial. As diretrizes de projeto sobre preservação da integridade dos componentes durante desmontagem (D23, CVR = 0,707), facilitação de desmontagem manual

e mecânica (D24, CVR = 0,585) e inclusão de instruções de desmontagem segura (D25, CVR = 0,463) também foram validadas. Este conjunto de resultados estabelece a desmontagem como elemento central do DfRL, alinhando-se com a extensa literatura internacional sobre *Design for Disassembly* (Vanegas *et al.*, 2018).

A atividade de Integração também apresentou forte consenso, com ambas as diretrizes de projeto validadas com valores elevados de CVR. A diretriz D02, focada no design de produtos e embalagens considerando um sistema integrado de LR, alcançou CVR de 0,780, com 73 especialistas classificando-a como essencial. A diretriz D01, que trata da necessidade de produtos fornecerem informações visíveis sobre os canais de LR autorizados, obteve CVR de 0,732, com 71 especialistas considerando-a essencial. Estes resultados demonstram forte consenso sobre a importância de considerar a LR desde as fases iniciais do desenvolvimento de produtos.

Na atividade de Aquisição de Resíduos, observou-se resultado divergente entre as duas diretrizes de projeto. Enquanto a diretriz D03, sobre inclusão de informações claras acerca do descarte correto, foi validada com CVR de 0,780 — equivalente ao segundo maior valor do estudo —, a diretriz D04, sobre manutenção da integridade física após o fim da vida útil, foi rejeitada com CVR de -0,024. Esta divergência sugere que os especialistas reconhecem a importância crítica da comunicação e educação ambiental, mas compreendem as limitações práticas de garantir integridade física de produtos após seu ciclo de utilização.

Em contraste marcante, as atividades de Coleta, Transporte e Armazenagem não tiveram nenhuma de suas diretrizes de projeto validadas. O resultado mais surpreendente foi a rejeição completa de todas as nove diretrizes de projeto relacionadas à atividade de Transporte, com valores de CVR variando de -0,317 a -0,049. Várias das diretrizes de projeto rejeitadas relacionavam-se especificamente a produtos com tubos de raio catódico (CRT), tecnologia em processo de obsolescência, o que pode explicar parcialmente a rejeição. Entretanto, mesmo diretrizes de DfRL mais gerais sobre manuseio e embalagem foram rejeitadas, sugerindo que os especialistas percebem o transporte como questão primariamente operacional, não como aspecto a ser endereçado através de requisitos de projeto de produto.

A análise dos valores de CVR revela padrões claros nas percepções dos especialistas. As cinco diretrizes de DfRL com maior aceitação foram: separação eficiente de componentes na desmontagem (D22, CVR = 0,805), sistema integrado considerando produtos e embalagens (D02, CVR = 0,780), informações sobre descarte correto (D03, CVR = 0,780), informações sobre canais de LR (D01, CVR = 0,732) e facilitação da separação de materiais na classificação (D27, CVR = 0,732). Estas diretrizes compartilham características de clareza informacional e

facilitação de processos fundamentais, sugerindo que os especialistas valorizam principalmente aspectos que tornam a LR mais eficiente e acessível.

Por outro lado, as diretrizes de DfRL com maior rejeição concentram-se em aspectos excessivamente prescritivos ou relacionados a tecnologias específicas: transporte separado de produtos com CRT (D15, CVR = -0,317), prevenção de basculação descontrolada (D11, CVR = -0,293), padronização dimensional (D07, CVR = -0,268), sistemas de rastreamento (D21, CVR = -0,244) e cabos destacáveis (D16, CVR = -0,146). A rejeição destas diretrizes sugere preocupação dos especialistas com requisitos de projeto que possam limitar a inovação ou impor custos não justificados pelos benefícios esperados.

O resultado de 50% de validação não deve ser interpretado como indicativo de inadequação do arcabouço legal brasileiro, mas sim como oportunidade de refinamento e priorização. As diretrizes de DfRL validadas representam um núcleo essencial de requisitos projetuais que, segundo a percepção convergente de especialistas de diferentes áreas, são fundamentais para viabilizar a LR para WEEE. As diretrizes de projeto não validadas podem ainda ter valor em contextos específicos, mas não devem ser tratadas como requisitos de projeto essenciais universais.

Embora a validação agregada de especialistas tenha proporcionado uma visão geral das percepções sobre as diretrizes de DfRL propostas, considerando a natureza multidisciplinar do tema e as diferentes perspectivas que profissionais de DS, EC e LR podem ter sobre o que constitui design essencial para LR, torna-se necessária uma análise segregada por área de atuação. Tal análise, apresentada na subseção seguinte, permitiu revelar nuances importantes e potenciais divergências de percepção entre os grupos de especialistas considerados.

3.3.4 Análise Segregada por Área de Especialização

A validação dos resultados segregada por área de especialização revelou divergências significativas nas percepções sobre as diretrizes de DfRL, evidenciando que a formação e a experiência profissional específica influenciam substancialmente a avaliação do que constitui design essencial para viabilização da LR para WEEE. Esta heterogeneidade de perspectivas, longe de representar uma limitação, enriquece a compreensão do fenômeno estudado ao revelar as diferentes prioridades e preocupações de cada campo disciplinar.

A aplicação do método Lawshe para cada grupo de especialistas separadamente resultou em diferentes valores de CVR crítico, refletindo os tamanhos amostrais distintos. Para os grupos de DS e LR, com 29 especialistas cada, o CVR crítico estabeleceu-se em 0,364, enquanto para o grupo de EC, com 24 especialistas, o valor crítico foi de 0,417. Estes limiares

mais elevados, em comparação com a análise agregada (CVR crítico de 0,216), explicam parcialmente a redução no número de diretrizes de projeto validadas quando os grupos de especialidades são analisados isoladamente.

O grupo de DS validou 13 das 28 diretrizes de projeto propostas, correspondendo a 46,4% do total. Os profissionais de EC apresentaram o menor índice de validação, com apenas 10 diretrizes de projeto aprovadas (35,7%). Por sua vez, o grupo de LR validou 12 diretrizes (42,9%). Estes percentuais, todos inferiores aos 50% observados na análise agregada, sugerem que o consenso geral esconde divergências importantes entre as diferentes perspectivas disciplinares. O Quadro 3.5 apresenta a comparação dos resultados de validação entre os três grupos de especialistas.

Quadro 3.5 – Comparação dos resultados de validação por área de especialização

ID	Atividade	DS (n=29)	EC (n=24)	LR (n=29)	Padrão
D01	Integração	✓	✓	✓	Consenso
D02	Integração	✓	✓	✓	Consenso
D03	Aquisição de Resíduos	✓	✓	✓	Consenso
D04	Aquisição de Resíduos	✗	✗	✗	Consenso
D05	Triagem na Fonte	✓	✗	✓	Divergência
D06	Triagem na Fonte	✗	✗	✓	Divergência
D07	Coleta	✗	✗	✗	Consenso
D08	Coleta	✗	✗	✓	Divergência
D09	Transporte	✗	✗	✗	Consenso
D10	Transporte	✗	✗	✗	Consenso
D11	Transporte	✗	✗	✗	Consenso
D12	Transporte	✗	✗	✗	Consenso
D13	Transporte	✗	✗	✗	Consenso
D14	Transporte	✗	✗	✗	Consenso
D15	Transporte	✗	✗	✗	Consenso
D16	Transporte	✗	✗	✗	Consenso
D17	Transporte	✗	✗	✗	Consenso
D18	Inspeção/Teste	✓	✗	✗	Divergência

D19	Inspeção/Teste	✓	✓	✓	Consenso
D20	Armazenagem	✗	✗	✗	Consenso
D21	Armazenagem	✗	✗	✗	Consenso
D22	Desmontagem	✓	✓	✓	Consenso
D23	Desmontagem	✓	✓	✓	Consenso
D24	Desmontagem	✓	✗	✓	Divergência
D25	Desmontagem	✓	✓	✗	Divergência
D26	Classificação	✓	✗	✗	Divergência
D27	Classificação	✓	✓	✓	Consenso
D28	Redistribuição	✓	✓	✓	Consenso
	Total validadas	**13**	**10**	**12**	
	Percentual	**46,4%**	**35,7%**	**42,9%**	

Nota: CVR crítico DS e LR = 0,364; CVR crítico EC = 0,417. ✓ Validada; ✗ Rejeitada.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.3.4.1 Convergências entre os Grupos

Apesar das divergências observadas, a análise identificou forte convergência em aspectos fundamentais do DfRL. Oito diretrizes foram de forma unânime validadas por todos os três grupos, estabelecendo um núcleo consensual de requisitos de DfRL essenciais que transcende as fronteiras disciplinares. Estas diretrizes de projeto consensuais concentram-se principalmente nas atividades de Integração e Desmontagem, conforme apresentado no Quadro 3.6.

A atividade de Desmontagem apresentou forte convergência, com as diretrizes D22 e D23, confirmando que, independentemente da perspectiva disciplinar, a facilidade de desmontagem é percebida como elemento crítico do DfRL. Esta convergência alinha-se com a literatura internacional e reforça a centralidade do *Design for Disassembly* como abordagem fundamental para a EC no setor de eletroeletrônicos (Vanegas *et al.*, 2018).

Quadro 3.6 – Núcleo consensual: diretrizes de projeto para LR validadas pelos três grupos

ID	Atividade	Diretriz de projeto para LR
D01	Integração	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, forneçam informações visíveis e claras sobre os canais de logística reversa autorizados, facilitando a integração do sistema e evitando desvios.

D02	Integração	Projetar produtos e suas embalagens considerando um sistema integrado de logística reversa que receba todos os componentes do produto, acessórios e insumos, ao longo de seus diferentes fins de ciclos de vida.
D03	Aquisição de Resíduos	Projetar produtos que incluam informações claras sobre descarte correto, incentivando e facilitando a participação do consumidor a iniciar o processo de logística reversa.
D19	Inspeção/Teste	Utilizar componentes que minimizem a liberação de substâncias particuladas quando manuseadas durante a inspeção e teste.
D22	Desmontagem	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, permitam separar eficientemente seus principais componentes e/ou partes constituintes, classificáveis em plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro e componentes de tratamento especial.
D23	Desmontagem	Projetar produtos cujos métodos de desmontagem e remoção de partes e peças, em fim de sua vida útil, preservem a integridade dos componentes, evitando danos que possam gerar emissões de substâncias poluentes ao meio ambiente e à saúde humana.
D27	Classificação	Projetar produtos que facilitem a separação dos diferentes tipos de materiais (plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro), viabilizando sua redistribuição para os respectivos canais de reciclagem ou tratamento.
D28	Redistribuição	Projetar produtos considerando a facilidade de encaminhamento para diferentes opções de reintegração na cadeia de suprimentos reversa, com identificação clara dos tipos de materiais e sua reciclabilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Igualmente significativa foi a rejeição unânime de 13 diretrizes pelos três grupos de especialistas, fenômeno tão relevante para a interpretação dos resultados quanto o núcleo consensual de validação apresentado no quadro anterior. Esta convergência na rejeição sugere que certas orientações presentes nos ILB podem estar desalinhadas com a percepção prática dos especialistas, independentemente de sua formação disciplinar. O Quadro 3.7 sintetiza o conjunto de diretrizes rejeitadas de forma unânime, organizadas por atividade de LR associada. Observa-se que a totalidade das nove diretrizes vinculadas à atividade de Transporte foi rejeitada por todos os grupos, padrão que se repete nas duas diretrizes da atividade de Armazenagem, além de incluir uma diretriz da atividade de Aquisição de Resíduos (D04) e uma da atividade de Coleta (D07). Esta concentração das rejeições em atividades de natureza eminentemente logístico-operacional reforça a percepção de que tais aspectos são compreendidos pelos especialistas como questões a serem endereçadas por meio de práticas operacionais, infraestrutura de cadeia reversa e regulamentação setorial específica, e não como requisitos a serem incorporados ao processo de desenvolvimento de produtos. Destaca-se ainda que diversas das diretrizes rejeitadas relacionadas ao Transporte referem-se especificamente a produtos com tubos de raio catódico (CRT) — tecnologia em processo de obsolescência —, o que pode ter contribuído para a convergência na rejeição. Este achado oferece subsídio relevante para futuras revisões dos ILB, sinalizando a necessidade de distinguir, na formulação

regulatória, entre requisitos que efetivamente orientam o design de produtos e aqueles que pertencem ao domínio da operação logística.

Quadro 3.7 - Diretrizes de projeto para LR rejeitadas de forma unânime pelos três grupos de especialistas

ID	Atividade de LR	Diretriz de projeto para LR
D04	Aquisição de Resíduos	Projetar produtos que mantenham sua integridade física mesmo após o fim de sua vida útil, facilitando seu armazenamento seguro até o momento da coleta.
D07	Coleta	Padronizar formatos e dimensões dos produtos que, em fim de sua vida útil, facilitem os seus acondicionamentos seguros nos recipientes de coleta.
D09	Transporte	Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser manuseados, incluindo a carga, descarga e transporte, com o devido cuidado para evitar quebras.
D10	Transporte	Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser embalados ou armazenados de modo que se minimize os riscos de quebras durante o transporte em condições normais.
D11	Transporte	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a basculação descontrolada de recipientes coletores contendo produtos eletroeletrônicos frágeis.
D12	Transporte	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a necessidade de trituração, prensagem ou compactação em qualquer fase do transporte, mantendo a integridade física e química dos materiais.
D13	Transporte	Projetar produtos com tubos de raio catódico (CRT) que, em fim de sua vida útil, possam ser mantidos intactos durante o transporte, facilitando seu tratamento adequado nas empresas desmontadoras.
D14	Transporte	Projetar produtos com CRT considerando que, em caso de fragmentação, em fim de sua vida útil, possam ser acondicionados em recipientes que evitem a dispersão dos fragmentos.
D15	Transporte	Projetar produtos com CRT de forma que, em fim de sua vida útil, possam ser transportados separadamente de outros eletroeletrônicos na mesma carga, com proteção adequada para reduzir impactos.
D16	Transporte	Desenvolver produtos com cabos destacáveis ou sistemas de gerenciamento de cabos que minimizem riscos durante o manuseio e transporte após o descarte.
D17	Transporte	Incluir no produto instruções claras sobre peso e recomendações de empilhamento para o transporte na logística reversa.
D20	Armazenagem	Empregar materiais resistentes a variações de umidade e temperatura, facilitando o armazenamento em diversas condições.
D21	Armazenagem	Incorporar sistemas de identificação ou rastreamento que reduzam a possibilidade de extravios durante o armazenamento.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.3.4.2 Divergências Significativas entre os Grupos

A análise identificou seis diretrizes com divergências significativas entre os grupos, revelando diferentes prioridades e perspectivas disciplinares. Estas divergências concentram-se

principalmente em atividades em que a interface entre design, operação logística e modelo de negócio circular se torna mais complexa.

O grupo de DS demonstrou perspectiva mais abrangente em relação a aspectos visuais e informativos dos produtos, validando isoladamente duas diretrizes que os demais grupos rejeitaram. A diretriz D18, sobre acessórios facilmente identificáveis e removíveis para inspeção, foi validada apenas por este grupo, sugerindo que designers valorizam mais fortemente a modularidade e identificação visual de componentes. Similarmente, a diretriz D26, sobre marcações claras para classificação, foi validada exclusivamente pelo grupo de DS, evidenciando preocupação particular com a comunicação visual integrada ao produto.

O grupo de LR apresentou perspectiva operacional distintiva, validando isoladamente as diretrizes D06 e D08. A validação exclusiva da diretriz D06, sobre manutenção de características identificáveis após uso prolongado, reflete a experiência prática destes profissionais com a degradação real dos produtos ao longo do tempo e a importância da identificação para triagem eficiente. A diretriz D08, sobre instruções no produto para descarte em recipientes coletores, também validada apenas por este grupo, demonstra sensibilidade específica aos desafios operacionais da coleta seletiva.

O grupo de EC apresentou o perfil mais restritivo, com menor número de validações totais, mas demonstrou alinhamento parcial com os outros grupos em diferentes aspectos. Este grupo compartilhou com DS a validação da diretriz D25, sobre instruções de desmontagem segura, mas divergiu na diretriz D24, sobre facilitação de desmontagem manual e mecânica, que foi rejeitada. Esta aparente contradição sugere que profissionais de EC valorizam a segurança e informação, mas podem ter reservas sobre a viabilidade econômica de requisitos muito específicos de design para desmontagem.

3.3.4.3 Padrões de Validação por Atividade

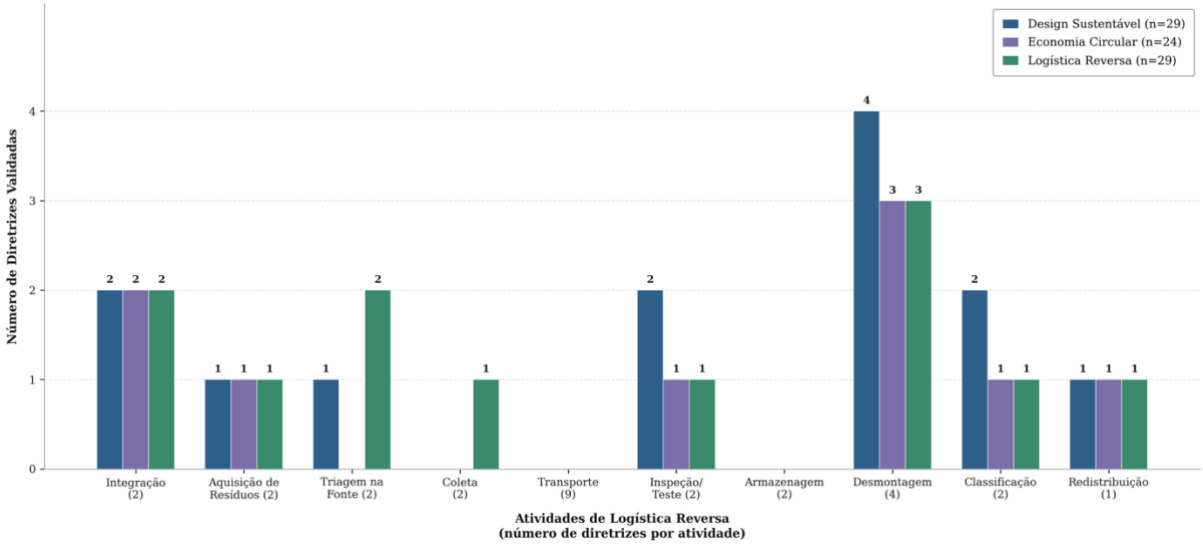
A análise da distribuição de validações por atividade revelou padrões distintos entre os grupos de especialistas que refletem suas respectivas prioridades profissionais. A Figura 5 ilustra estes padrões.

Na atividade de Triagem na Fonte, o grupo de LR validou ambas as diretrizes, enquanto DS e EC validaram apenas uma cada. Esta diferença evidencia a importância que profissionais de LR atribuem à triagem inicial como determinante da eficiência de todo o processo reverso.

Para a atividade de Inspeção/Teste, o grupo de DS validou ambas as diretrizes, demonstrando preocupação holística com a testabilidade e segurança dos produtos. Em

contraste, EC e LR validaram apenas uma diretriz cada, sugerindo visão mais seletiva sobre quais aspectos de inspeção são verdadeiramente essenciais.

Figura 3.5 – Comparação de diretrizes validadas por atividade e grupo de especialistas



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Na atividade de Classificação, novamente o grupo de DS se destacou validando ambas as diretrizes, enquanto os demais grupos validaram apenas uma. Este padrão reforça a tendência dos designers em valorizar aspectos de comunicação visual e organização informacional como elementos intrínsecos ao design de produto.

A atividade de Desmontagem apresentou padrão interessante: DS validou todas as quatro diretrizes, enquanto EC e LR validaram três cada, mas com divergência na diretriz específica rejeitada. EC rejeitou a diretriz D24, sobre facilitação de desmontagem manual e mecânica, possivelmente por considerações de custo-benefício, enquanto LR rejeitou a diretriz D25, sobre instruções de desmontagem, talvez por confiar mais na expertise dos operadores do que em instruções incorporadas ao produto.

3.3.4.4 Especificidades Disciplinares

A análise detalhada dos padrões de validação revelou características distintivas de cada grupo de especialistas. O grupo de DS demonstrou consistentemente maior propensão a validar diretrizes de projeto relacionadas a aspectos comunicacionais e visuais do produto, refletindo a formação destes profissionais que enfatiza a interface produto-usuário e a comunicação através do design. Esta perspectiva contrasta notavelmente com o grupo de EC, que apresentou o perfil mais restritivo, possivelmente influenciado por considerações econômicas e de viabilidade de mercado que são centrais ao conceito de EC.

O grupo de LR apresentou perfil intermediário em termos de quantidade de validações, mas demonstrou perspectiva única focada em aspectos operacionais práticos. A validação exclusiva de diretrizes de projeto relacionadas à durabilidade de características identificáveis e instruções operacionais reflete a experiência destes profissionais com os desafios reais do manuseio, transporte e processamento de produtos em fim de vida. Notavelmente, este foi o único grupo de especialistas a validar alguma diretriz associada à atividade de Coleta (D08), demonstrando maior sensibilidade aos desafios desta etapa crítica do processo reverso.

3.3.4.5 Implicações das Divergências Observadas

As divergências identificadas têm implicações importantes tanto para a teoria quanto para a prática do DfRL. Do ponto de vista teórico, os resultados demonstram que o conceito de "design essencial" para LR não é monolítico, mas sim multifacetado e influenciado pela perspectiva disciplinar do avaliador. Esta constatação sugere necessidade de abordagens mais aprofundadas na formulação de diretrizes de projeto e regulamentações.

Para a prática industrial, as divergências observadas indicam necessidade de processos de desenvolvimento de produtos que integrem efetivamente as diferentes perspectivas disciplinares. Diretrizes de projeto validadas apenas por um grupo específico não devem ser descartadas, mas sim avaliadas contextualmente, considerando o tipo de produto, mercado-alvo e modelo de negócio. Produtos destinados a mercados com infraestrutura de coleta seletiva desenvolvida podem beneficiar-se mais das diretrizes de projeto validadas pelo grupo de LR, enquanto produtos voltados para mercados com forte apelo de sustentabilidade podem priorizar diretrizes de projeto validadas pelo grupo de DS.

Do ponto de vista regulatório, os resultados sugerem que a formulação de políticas públicas deve considerar esta diversidade de perspectivas, possivelmente estabelecendo requisitos de projeto essenciais, baseados nas convergências identificadas, enquanto oferece flexibilidade ou incentivos para adoção de diretrizes de projeto com validação parcial. O núcleo de oito diretrizes de projeto validadas de forma unânime representa um ponto de partida sólido para requisitos mandatórios, enquanto as diretrizes de projeto com validação divergente podem ser tratadas como recomendações ou critérios para programas de certificação voluntária.

3.3.5 Síntese dos Resultados e Implicações

A validação das diretrizes de DfRL para WEEE apresentada neste estudo oferece contribuições para o avanço do conhecimento científico e para a prática industrial, assim como para a formulação de políticas públicas no contexto brasileiro. Os resultados obtidos através da aplicação do método Lawshe com 82 especialistas estabelecem um marco referencial para

orientar o desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos alinhados com os princípios da EC e os requisitos legais brasileiros.

A identificação de 14 diretrizes de projeto validadas na análise agregada de especialistas, representando 50% do total proposto, não deve ser interpretada como limitação dos ILB, mas sim como refinamento necessário que distingue entre requisitos de projeto verdadeiramente essenciais e aspectos complementares desejáveis. O Quadro 3.8 apresenta o conjunto consolidado das diretrizes de projeto validadas, organizadas por atividade de LR.

Quadro 3.8 – Diretrizes de DfRL validadas na análise agregada (n=82)

ID	Atividade	Diretriz	CVR
D01	Integração	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, forneçam informações visíveis e claras sobre os canais de logística reversa autorizados, facilitando a integração do sistema e evitando desvios.	0,732
D02	Integração	Projetar produtos e suas embalagens considerando um sistema integrado de logística reversa que receba todos os componentes do produto, acessórios e insumos, ao longo de seus diferentes fins de ciclos de vida.	0,780
D03	Aquisição de Resíduos	Projetar produtos que incluam informações claras sobre descarte correto, incentivando e facilitando a participação do consumidor a iniciar o processo de logística reversa.	0,780
D05	Triagem na Fonte	Incorporar características visuais ou códigos aos produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, facilitem a identificação e classificação rápida do produto durante o processo de triagem inicial.	0,488
D06	Triagem na Fonte	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, mantenham suas características identificáveis mesmo após uso prolongado, facilitando o processo de triagem na fonte sem necessidade de descaracterização.	0,390
D18	Inspeção/Teste	Projetar acessórios facilmente identificáveis e removíveis para facilitar a inspeção e avaliação inicial.	0,244
D19	Inspeção/Teste	Utilizar componentes que minimizem a liberação de substâncias particuladas quando manuseadas durante a inspeção e teste.	0,610
D22	Desmontagem	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, permitam separar eficientemente seus principais componentes e/ou partes constituintes, classificáveis em plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro e componentes de tratamento especial.	0,805
D23	Desmontagem	Projetar produtos cujos métodos de desmontagem e remoção de partes e peças, em fim de sua vida útil, preservem a integridade dos componentes, evitando danos que possam gerar emissões de substâncias poluentes ao meio ambiente e à saúde humana.	0,707
D24	Desmontagem	Facilitar tanto a desmontagem manual quanto mecânica, aumentando a eficiência do processo independente da técnica utilizada.	0,585
D25	Desmontagem	Incluir no produto instruções de desmontagem segura ou identificação clara de componentes de risco, auxiliando o trabalho do pessoal que realizará a desmontagem.	0,463

D26	Classificação	Incluir no produto marcações claras ou características físicas que facilitem a identificação e classificação por tipo, linha e tecnologia durante a classificação.	0,341
D27	Classificação	Projetar produtos que facilitem a separação dos diferentes tipos de materiais (plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro), viabilizando sua redistribuição para os respectivos canais de reciclagem ou tratamento.	0,732
D28	Redistribuição	Projetar produtos considerando a facilidade de encaminhamento para diferentes opções de reintegração na cadeia de suprimentos reversa, com identificação clara dos tipos de materiais e sua reciclabilidade.	0,512

Nota: CVR crítico = 0,216.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.3.5.1 Padrões Identificados

A análise dos resultados revelou padrões consistentes que merecem destaque. A predominância de validações na atividade de Desmontagem, com os maiores valores de CVR do estudo, confirma empiricamente no contexto brasileiro o que a literatura internacional há décadas estabelece: a facilidade de desmontagem permanece como o desafio central e mais crítico para viabilizar a EC no setor de eletroeletrônicos (Vanegas *et al.*, 2018). Este resultado reforça a necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento focados em design modular, junções reversíveis e materiais compatíveis que facilitem a separação e recuperação de componentes e materiais valiosos.

Igualmente significativa foi a rejeição unânime das diretrizes de projeto relacionadas às atividades de Transporte e Armazenagem, sugerindo necessidade de revisão crítica sobre como estes aspectos são abordados nos ILB. A percepção dos especialistas de que estas atividades devem ser endereçadas através de práticas operacionais, não através de requisitos de projeto de produto, oferece direcionamento importante para futuras atualizações regulatórias, evitando imposição de requisitos de projeto que podem onerar o desenvolvimento de produtos sem benefícios proporcionais para a LR.

O núcleo consensual de oito diretrizes de projeto validadas de forma unânime pelos três grupos disciplinares representa a contribuição mais robusta deste estudo, estabelecendo requisitos de projeto que podem ser considerados fundamentais para qualquer iniciativa de DfRL no setor. Estas diretrizes, concentradas nas atividades de Integração, Desmontagem e aspectos informativos, devem ser priorizadas tanto em desenvolvimentos de produtos quanto em futuras regulamentações, constituindo a base mínima para design orientado à circularidade.

3.3.5.2 Implicações para o Setor Produtivo

Para o setor produtivo brasileiro, os resultados fornecem *framework* prático e cientificamente validado que pode orientar decisões de projeto com maior segurança e

objetividade. As empresas podem utilizar as diretrizes de projeto validadas como *checklist* prioritário no desenvolvimento de novos produtos, concentrando esforços e recursos em aspectos comprovadamente essenciais, enquanto avaliam contextualmente a aplicação de diretrizes de projeto com validação parcial ou divergente.

As divergências identificadas entre os grupos de DS, EC e LR, longe de representarem inconsistências, revelam a complexidade multidimensional do desafio e a necessidade de abordagens integradas. Estas divergências oferecem um mapa relevante para empresas que buscam desenvolver produtos verdadeiramente sustentáveis, indicando onde investir recursos conforme o contexto específico de mercado, tipo de produto e modelo de negócio pretendido. Produtos destinados a mercados com infraestrutura de coleta seletiva desenvolvida podem beneficiar-se mais das diretrizes de projeto validadas pelo grupo de LR, enquanto produtos voltados para mercados com forte apelo de sustentabilidade podem priorizar diretrizes de projeto validadas pelo grupo de DS. O contraste entre EC e os demais grupos, por sua vez, pode ser evidenciado na diretriz D24, relativa à facilitação da desmontagem manual e mecânica, validada por DS e LR, mas rejeitada pelo gruo de EC — sugerindo que estes especialistas podem priorizar critérios de viabilidade econômica e custo-benefício ao avaliar requisitos de projeto, sendo mais seletivos quanto a exigências que impliquem dupla compatibilidade operacional. Tal achado reforça que as percepções sobre o que constitui o "design essencial" para a LR variam não apenas entre perspectivas com foco em design ou em operação, mas também conforme o grau de ênfase atribuído à dimensão econômica da circularidade, evidenciando que estratégias de DfRL verdadeiramente efetivas demandam diálogo entre as três áreas desde as fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos.

3.3.5.3 Implicações para Políticas Públicas

Do ponto de vista de políticas públicas, o estudo oferece subsídios importantes para aprimoramento do arcabouço regulatório brasileiro. A distinção clara entre diretrizes de projeto consensuais, divergentes e rejeitadas permite abordagem mais refinada na formulação de requisitos de projeto imperativos *versus* orientações voluntárias ou incentivadas.

O estabelecimento de requisitos de projeto obrigatórios baseados no núcleo consensual, complementados por sistemas de incentivos para adoção de diretrizes de projeto adicionais conforme contexto, pode resultar em regulamentação mais efetiva e menos onerosa para o setor produtivo. As 51 lacunas identificadas na categoria Dúvidas da Matriz CSD, embora não submetidas à validação neste estudo, constituem achado relevante que aponta

oportunidades para aprimoramento dos ILB, representando aspectos não contemplados pela legislação vigente que poderiam fortalecer a implementação de sistemas de LR mais efetivos.

3.3.5.4 Contribuições Metodológicas

A metodologia empregada, combinando Análise de Conteúdo assistida por IA, Matriz CSD e método Lawshe com análise agregada e segregada por grupos de especialistas, demonstrou-se particularmente valiosa para capturar tanto convergências quanto divergências disciplinares. Esta abordagem metodológica pode ser replicada em outros setores e contextos, contribuindo para o desenvolvimento de diretrizes de projeto para a sustentabilidade empiricamente validadas e contextualmente apropriadas.

A utilização da plataforma de inteligência artificial como ferramenta auxiliar na análise de conteúdo dos ILB mostrou-se eficaz para o processamento sistemático de documentos extensos e complexos, mantendo a supervisão e validação humana como elementos essenciais do processo. Esta combinação entre capacidade computacional e expertise humana potencializou a qualidade e abrangência da análise, podendo servir de referência para estudos futuros em áreas correlatas.

Por fim, este estudo estabelece mais uma base para pesquisas futuras que podem explorar a implementação prática das diretrizes de projeto validadas, investigar as razões subjacentes às divergências disciplinares identificadas através de métodos qualitativos, e avaliar o impacto real dessas diretrizes na efetividade dos sistemas de LR. O caminho para uma EC efetiva no setor de eletroeletrônicos brasileiro passa necessariamente pela integração harmoniosa entre requisitos legais, viabilidade técnica e econômica, e aceitação pelos diversos *stakeholders* envolvidos. As diretrizes de projeto validadas neste estudo representam passo importante nesta direção, oferecendo uma ponte entre a teoria normativa dos instrumentos legais e a prática industrial, fundamentada em evidência empírica robusta e perspectiva multidisciplinar abrangente.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo validar diretrizes de Projeto para Logística Reversa (DfRL) de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (WEEE) fundamentadas nos Instrumentos Legais Brasileiros (ILB), buscando estabelecer uma ponte entre as exigências normativas e a prática industrial no contexto brasileiro. Para tanto, empregou-se uma abordagem metodológica mista que integrou Análise de Conteúdo assistida por inteligência artificial, Matriz de Certezas, Suposições e Dúvidas (CSD) e método Lawshe de Validade de

Conteúdo, com participação de 82 especialistas das áreas de Design Para Sustentabilidade (DS), Economia Circular (EC) e Logística Reversa (LR).

O percurso investigativo permitiu alcançar os objetivos propostos de forma sistemática. A identificação dos ILB pertinentes à implementação de Cadeias de Suprimentos Reversas para WEEE resultou na seleção de quatro instrumentos principais, categorizados em gerais e específicos, dos quais o Acordo Setorial de 2019 e o Decreto nº 10.240/2020 foram analisados em profundidade por tratarem especificamente do setor de eletroeletrônicos. A aplicação da Matriz CSD aos textos legais possibilitou a identificação de 9 diretrizes explicitamente presentes (Certezas) e 19 diretrizes inferidas a partir de orientações parciais (Suposições), totalizando 28 diretrizes submetidas ao processo de validação. Adicionalmente, foram identificadas 51 lacunas (Dúvidas) que representam oportunidades para aprimoramento do arcabouço regulatório.

Os resultados da validação agregada de especialistas revelaram que 14 das 28 diretrizes propostas foram consideradas essenciais pelos especialistas, representando 50% do total. Este percentual, longe de indicar inadequação dos ILB, reflete o refinamento necessário para distinguir entre requisitos de projeto verdadeiramente essenciais e aspectos complementares desejáveis. A atividade de Desmontagem destacou-se com os maiores valores de CVR do estudo, confirmando empiricamente no contexto brasileiro a centralidade do *Design for Disassembly* para viabilização da EC no setor de eletroeletrônicos, corroborando décadas de pesquisa internacional sobre o tema.

A análise segregada por área de especialização constituiu contribuição metodológica relevante ao revelar divergências significativas entre as perspectivas disciplinares. Os especialistas em DS validaram 46,4% das diretrizes, demonstrando maior propensão a valorizar aspectos comunicacionais e visuais. Os profissionais de EC apresentaram o perfil mais restritivo, com 35,7% de validação, possivelmente influenciados por considerações de viabilidade econômica. O grupo de especialistas em LR validou 42,9% das diretrizes de projeto, evidenciando perspectiva operacional distintiva focada em aspectos práticos do processo reverso.

Não obstante as divergências, identificou-se um núcleo consensual de oito diretrizes de projeto validadas de forma unânime pelos três grupos de especialistas, concentradas nas atividades de Integração, Desmontagem, Inspeção/Teste, Classificação e Redistribuição. Este núcleo consensual representa uma contribuição do estudo, estabelecendo requisitos de projeto que transcendem fronteiras disciplinares e podem ser considerados fundamentais para qualquer iniciativa de DfRL no setor. Em contrapartida, a rejeição unânime de todas as diretrizes de

projeto relacionadas às atividades de Transporte e Armazenagem sugere que estes aspectos são percebidos como questões primariamente operacionais, não como elementos a serem endereçados através de requisitos de projeto de produto.

Do ponto de vista das contribuições teóricas, o estudo demonstra que o conceito de "design essencial" para Logística Reversa não é rígido, mas multifacetado e influenciado pela perspectiva disciplinar do avaliador. Esta constatação sugere necessidade de abordagens mais aprofundadas na formulação de diretrizes de projeto e regulamentações, reconhecendo que diferentes *stakeholders* podem ter percepções legitimamente distintas sobre prioridades de projeto. A metodologia empregada, combinando análise agregada e segregada por áreas de especialização, mostrou-se instrumental para capturar estas nuances que seriam perdidas em análises convencionais.

Para o setor produtivo brasileiro, os resultados fornecem um *framework* prático e empiricamente validado que pode orientar decisões de projeto com maior segurança e objetividade. As 14 diretrizes de projeto validadas constituem *checklist* prioritário para o desenvolvimento de novos produtos, permitindo que empresas concentrem esforços em aspectos comprovadamente essenciais. As divergências disciplinares identificadas oferecem um mapa adicional para contextualização das decisões de projeto conforme o tipo de produto, mercado-alvo e modelo de negócio específico.

No âmbito das políticas públicas, o estudo oferece subsídios para aprimoramento do arcabouço regulatório brasileiro. A distinção clara entre diretrizes de projeto consensuais, divergentes e rejeitadas permite formulação mais refinada de requisitos de projeto imperativos *versus* orientações voluntárias. O estabelecimento de requisitos de projeto obrigatórios baseados no núcleo consensual, complementados por incentivos para adoção de diretrizes de projeto adicionais, pode resultar em regulamentação mais efetiva e menos onerosa. As 51 lacunas identificadas na categoria Dúvidas apontam caminhos para evolução dos ILB, representando aspectos ainda não contemplados pela legislação vigente e que poderiam fortalecer a implementação de sistemas de LR.

O estudo apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A redução do tamanho amostral nas análises segregadas resultou em CVR crítico mais elevado, tornando o critério de validação mais rigoroso para cada grupo individualmente. Adicionalmente, a composição dos grupos pode não ter capturado completamente a diversidade interna de cada área, uma vez que profissionais com formações distintas foram agrupados sob categorias amplas. As diretrizes de projeto classificadas como Dúvidas, embora representem

achado relevante, não foram submetidas ao processo de validação, constituindo agenda para estudos futuros.

Como direcionamentos para pesquisas futuras, sugere-se: (i) investigação qualitativa das razões subjacentes às divergências disciplinares, através de entrevistas em profundidade ou grupos focais; (ii) estudos de caso sobre implementação prática das diretrizes de projeto validadas em empresas do setor; (iii) avaliação longitudinal do impacto das diretrizes de projeto na efetividade dos sistemas de LR, considerando, por exemplo, a avaliação por *stakeholders* ligados à operacionalização da LR de WEEE das 14 diretrizes validadas neste estudo; (iv) validação das lacunas identificadas como potenciais novas diretrizes de projeto; (v) replicação da metodologia em outros setores sujeitos à responsabilidade estendida do produtor.

Em síntese, esta pesquisa contribui para o avanço do conhecimento na intersecção entre DS, LR, EC e Legislação Ambiental. Em um contexto em que o Brasil gerou aproximadamente 2,4 bilhões de quilos de resíduos eletrônicos em 2022, com taxa de reciclagem documentada de apenas 3,2% (Baldé *et al*., 2024), os resultados aqui apresentados oferecem ferramentas concretas para que designers, engenheiros e formuladores de políticas públicas possam desenvolver produtos e regulamentações mais alinhados com os princípios da sustentabilidade. O caminho para uma EC efetiva no setor de eletroeletrônicos brasileiro passa necessariamente pela integração harmoniosa entre requisitos legais, viabilidade técnica e econômica, e aceitação pelos diversos atores envolvidos. As diretrizes de projeto validadas neste estudo representam passo importante nesta direção, oferecendo ponte empiricamente fundamentada entre a teoria normativa dos instrumentos legais e a prática industrial, com potencial de contribuição para contextos nacionais e regionais similares.

REFERÊNCIAS

ANTHROPIC. **Claude's Constitution**. San Francisco: Anthropic, 2025. Disponível em: https://www.anthropic.com/news/claude-new-constitution. Acesso em: 10 maio 2026.

ARÃO, C. Por trás da inteligência artificial: uma análise das bases epistemológicas do aprendizado de máquina. **Trans/Form/Ação**, Marília, v. 47, n. 3, e02400163, 2024. DOI: 10.1590/0101-3173.2024.v47.n3.e02400163. Disponível em: https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/transformacao/article/view/15196. Acesso em: 29 mar. 2026.

BAI, Y.; KADAVATH, S.; KUNDU, S.; ASKELL, A.; KERNION, J.; JONES, A.; CHEN, A.; GOLDIE, A.; MIRHOSEINI, A.; McKINNON, C.; CHEN, C.; OLSSON, C.; OLAH, C.; HERNANDEZ, D.; DRAIN, D.; GANGULI, D.; LI, D.; TRAN-JOHNSON, E.; PEREZ, E.; KAPLAN, J. **Constitutional AI**: harmlessness from AI feedback. *arXiv preprint* arXiv:2212.08073, 2022. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2212.08073. Acesso em: 10 maio 2026.

BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; YAMAMOTO, T.; MCDONALD, R.; D'ANGELO, E.; ALTHAF, S.; BEL, G.; DEUBZER, O.; FERNANDEZ-CUBILLO, E.; FORTI, V.; GRAY, V.; HERAT, S.; HONDA, S.; IATTONI, G.; KHETRIWAL, D. S.; CORTEMIGLIA, V. L.; LOBUNTSOVA, Y.; NNOROM, I.; PRALAT, N.; WAGNER, M. **Global E-waste Monitor 2024**: Global Partnerships and measurement solutions for the sustainable management of e-waste. Geneva: ITU, 2024.

BARDIN, L. **Content analysis**. Translation by Luís Antero Reto and Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.

BEZERRA, R. R. R.; MARTINS, V. W. B.; MACEDO, A. N. Validation of challenges for implementing ESG in the construction industry considering the context of an emerging economy country. **Applied Sciences**, v. 14, n. 14, p. 6024, 2024. DOI: 10.3390/app14146024.

BRAGA JR., A. E.; NUNES, D. R. L.; BRANDÃO, R.; MARTINS, V. W. B.; NAGATA, V. M. N.; MELO, A. C. S. Contributions to the Design for Reverse Logistics Definition: Integrating Reverse Logistics activities and Design for X approaches. **Research Square** [Preprint], Oct. 12, 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3414359/v1. Accessed on: February 14, 2026.

BRASIL (2010). **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

BRASIL (2019). **Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes**. Ministério do Meio Ambiente. https://www.gov.br/mma/pt-br

BRASIL (2020). **Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020**. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm

BRASIL (2022). **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022**. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm

CRESWELL, J. W.; PLANO CLARK, V. L. **Designing and conducting mixed methods research**. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy Vol. 1**: an economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The new plastics economy**: rethinking the future of plastics & catalysing action. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2016.

FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From data mining to knowledge discovery in databases. **AI Magazine**, v. 17, n. 3, p. 37-54, 1996. DOI: 10.1609/aimag.v17i3.1230.

FORCELINI, F.; MERINO, G. S. A. D. Contribuições da ferramenta Matriz CSD em projetos de Design: uma aplicação no contexto do Núcleo de Estudos da Terceira Idade (NETI). In: **14º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN**, 14., 2022, [S.l.]. **Anais**... São Paulo: Blucher, 2022. v. 10, n. 5, p. 6299-6314. DOI: 10.5151/ped2022-3273512.

FORTI, V.; BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; BEL, G. **The Global E-waste Monitor 2020**: quantities, flows and the circular economy potential. Bonn/Geneva/Rotterdam: United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), 2020.

LAWSHE, C. H. A quantitative approach to content validity. **Personnel Psychology**, v. 28, n. 4, p. 563-575, 1975. DOI: 10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x.

LYNN, M. R. Determination and quantification of content validity. **Nursing Research**, v. 35, n. 6, p. 382-386, 1986.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.

MARTINS, V. W. B.; ANHOLON, R.; QUELHAS, O.; FILHO, W. Sustainable practices in logistics systems: an overview of companies in Brazil. **Sustainability**, v. 11, n. 15, p. 4140, 2019. DOI: 10.3390/su11154140.

MARTINS, V. W. B., NUNES, D. R. L., MELO, A. C. S., BRANDÃO, R., BRAGA JR., A. E., & NAGATA, V. M. N. (2022). Analysis of the activities that make up the reverse logistics processes and their importance for the future of logistics networks: An exploratory study using the TOPSIS technique. **Logistics**, *6*(3), Article 60. DOI: 10.3390/logistics6030060

MELO, A. C. S.; BRAGA JR, A. E.; LEITE, C.; BASTOS, L. S. L.; NUNES, D. Frameworks for reverse logistics and sustainable design integration under a sustainability perspective: a systematic literature review. **Research in Engineering Design**, v. 32, p. 225-243, 2021. DOI: 10.1007/s00163-020-00351-8.

MELO, A. C. S.; NUNES, D. R. L.; BRAGA JR., A. E.; BRANDÃO, R.; NAGATA, V. M. N.; MARTINS, V. W. B. Analysis of activities that make up reverse logistics processes: proposition of a conceptual framework. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 2, 2022. DOI: 10.14488/BJOPM.2022.022

MONTEIRO, M. G. V; JUNIOR, A. E. B; MARTINS, CHAVES, L. I; MELO, A. C. S. (2024) Design for reverse logistics guidelines: A Literature Review. **MIX Sustentável**, v. 10, n. 5, p.201-220. ISSN 2447-3073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Acesso em:21/03/2026. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n5.201-220

NOGUEIRA, C. J. L. G. **Stakeholders and Responsibilities in Reverse Supply Chains for Electronic Waste**: An analysis of legal instruments in an emerging country from the perspective of the literature. 2024. Dissertation (Master's Degree in Technology, Natural Resources, and Sustainability in the Amazon) - State University of Pará, Belém, 2024.

PAPANEK, V. **Design for the real world**: human ecology and social change. 2. ed. Chicago: Academy Chicago Publishers, 1985.

PATTON, M. Q. **Qualitative research & evaluation methods**. 4. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2015.

PEREIRA, A. L, BONIN, C. A., SOARES, C. E. K. (2024). Utilizando a Inteligência Artificial como apoio na análise de conteúdo: algumas considerações. **Com a Palavra, O Professor**, 9(25), 258–282. DOI: 10.22481/cpp.v9i25.17444

POLIT, D. F.; BECK, C. T. The content validity index: are you sure you know what's being reported? Critique and recommendations. **Research in Nursing & Health**, v. 29, n. 5, p. 489-497, 2006. DOI: 10.1002/nur.20147.

QURESHI, R., IRFAN, M., GONDAL, T. M., KHAN, S., WU, J., HAQ, M. U., KHAN, A. A., AHMAD, H. B., & ALAM, T. (2023). Are ChatGPT and large language models "the answer" to bringing us closer to systematic review automation? **Systematic Reviews**, *12*(1), Article 10. DOI: https://doi.org/10.1186/s13643-023-02243-z

SASSANELLI, C., ROSA, P., ROCCA, R., & TERZI, S. (2020). Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, *229*, 440–453. ISSN 0959-6526. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619315355 > Acesso em: 23/02/2026. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.019

TRISTÁN-LÓPEZ, A. Modificación al modelo de Lawshe para el dictamen cuantitativo de la validez de contenido de un instrumento objetivo. **Avances en Medición**, v. 6, n. 1, p. 37-48, 2008.

VANEGAS, P.; PEETERS, J. R.; CATTRYSSE, D.; TECCHIO, P.; ARDENTE, F.; MATHIEUX, F.; DEWULF, W.; DUFLOU, J. R. Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 323-334, 2018. ISSN 0921-3449. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917301763> Acesso em: 08/12/2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.022

4. DISCUSSÕES ADICIONAIS

Os dois artigos que compõem esta dissertação investigam faces complementares de um mesmo problema: como o arcabouço legal brasileiro orienta — ou deixa de orientar — o design sustentável de produtos eletroeletrônicos para viabilizar a sua futura logística reversa. Tomados isoladamente, cada artigo responde a questões específicas. Lidos em conjunto, revelam um quadro mais rico, que este capítulo se propõe a explorar: o das tensões e convergências entre o que a legislação enuncia e o que os especialistas consideram essencial — uma análise que só se torna possível pela articulação entre os dois estudos.

A principal contribuição que emerge dessa articulação é de natureza comparativa. O Artigo 1 identificou que as diretrizes de DfRL mais explicitamente amparadas pelos ILB — as Certezas — concentram-se na atividade de Transporte, reflexo de uma legislação que detalha com precisão requisitos operacionais para o manuseio físico dos WEEE no fluxo reverso. O Artigo 2 avança na complementação da Matriz CSD, trazendo as Suposições e Dúvidas. Contudo, este segundo artigo revelou uma inversão significativa: as diretrizes de DFRL orientadas à atividade de Transporte foram as mais rejeitadas pelo painel de especialistas, ao passo que as de Desmontagem — com apenas duas Certezas nos ILB — obtiveram os maiores índices de validação de todo o estudo. Esse desalinhamento estrutural não é trivial: ele indica que a legislação brasileira, ao enfatizar o transporte seguro de WEEE, trata como atributo de design o que os especialistas localizam na esfera das práticas logísticas e operacionais. Ao mesmo tempo, subespecifica justamente a desmontabilidade — aspecto reconhecido pela

literatura internacional há décadas como pré-requisito para qualquer estratégia de recuperação de materiais em escala (Shevtshenko *et al.*, 2012; Vanegas *et al.*, 2018).

Essa lacuna regulatória é o achado mais relevante que emerge da leitura cruzada dos dois artigos. Igualmente reveladora é a convergência observada nas atividades de Integração e Aquisição de Resíduos: no Artigo 1, essas atividades aparecem apenas como Suposições — a legislação não as prescreve explicitamente, mas oferece base para interpretação construtiva —, enquanto no Artigo 2 as diretrizes de DfRL orientadas à atividade de Integração figuraram entre as mais bem avaliadas pelos especialistas e foram validadas unanimemente pelos três grupos. O fato de que as diretrizes de DfRL mais valorizadas pelos especialistas sejam precisamente aquelas que os ILB apenas sugerem indica que há espaço concreto para aprimoramento regulatório nessa direção, tornando obrigatório o que hoje permanece implícito, a exemplo do que o *Ecodesign Regulation* europeu e seu sucessor, o *Sustainable Products Regulation*, vêm progressivamente consolidando em termos de requisitos mandatórios de design para durabilidade, reparabilidade e circularidade (Kadaei *et al.*, 2023). Cabe ressaltar que a Matriz de Certezas, Suposições e Dúvidas (CSD) formulada no decorrer da pesquisa é apresentada de forma sistemática e integral no Apêndice D desta dissertação.

A leitura conjunta dos dois artigos ilumina com particular nitidez o duplo consenso que emerge da análise segregada — fenômeno que, por sua natureza simétrica, merece reflexão integrada. De um lado, as oito diretrizes de DfRL validadas de forma unânime pelos três grupos concentram-se nas atividades de Integração, Desmontagem e aspectos informativos do produto, representando o denominador comum entre os grupos de especialistas que, ao longo das demais diretrizes de projeto avaliadas, manifestaram padrões de avaliação frequentemente distintos entre si. De outro, as 13 diretrizes de projeto associadas às atividades de Coleta, Transporte e Armazenagem foram consensualmente rejeitadas por esses mesmos três grupos. O Artigo 2 interpreta essa rejeição como indício de que tais atividades são percebidas pelos especialistas como responsabilidades da operação logística, não como atributos a incorporar no projeto do produto, e essa leitura é plausível. Porém, a articulação entre os dois estudos permite questionar sobre a suficiência dessa explicação. Afinal, uma perspectiva sistêmica do design de produto reconheceria que características como a geometria e robustez da embalagem, a resistência estrutural ao longo do ciclo de uso ou a identificação visual em condições adversas de manuseio, por exemplo, são atributos projetuais com impacto direto sobre a viabilidade das etapas de coleta, transporte e armazenagem de WEEE. O que chama atenção, portanto, não é apenas o conteúdo da rejeição, mas o fato de que profissionais de três áreas de formação distintas — Design Para Sustentabilidade, Economia Circular e Logística Reversa — tenham convergido

nesse mesmo ponto cego. Isso convida a uma hipótese que transcende os dados do Artigo 2: a de que essa uniformidade possa ser, em alguma medida, reflexo de uma lacuna de maturidade técnica compartilhada em relação à perspectiva sistêmica do DfRL — perspectiva que conecta decisões projetuais às suas implicações ao longo de toda a cadeia de suprimentos reversa e que ainda não está suficientemente consolidada nos currículos de formação de designers, especialistas em economia circular e profissionais de logística reversa no Brasil. Se essa hipótese se confirmar em estudos futuros — por exemplo, por meio de investigações qualitativas com representantes dos três grupos — o resultado terá implicações que extrapolam a agenda regulatória e apontam para uma agenda formativa: a necessidade de currículos que integrem de forma mais explícita design de produto, engenharia de ciclo de vida e gerenciamento de cadeias de suprimentos reversas.

A leitura integrada dos dois artigos também permite organizar as diretrizes de DfRL em três níveis de prioridade, com implicações práticas diretas para o desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos no Brasil. O primeiro nível — formado pelas diretrizes de DfRL validadas unanimemente pelos três grupos de especialistas — representa o denominador comum entre perspectivas disciplinares que, ao longo das demais diretrizes de DfRL avaliadas, manifestaram padrões de validação distintos entre si. Isto pode ser tratado como requisito mínimo para qualquer processo de desenvolvimento de produto orientado à LR, independentemente do porte da empresa, da categoria do produto ou do modelo de negócio adotado. O segundo nível — as demais diretrizes de DfRL validadas na análise agregada, porém não de forma unânime na análise segregada — pode ser aplicado de forma contextual, ponderando o tipo de produto e o mercado-alvo. O terceiro nível — as diretrizes de DfRL com validação restrita a um único grupo disciplinar — deve ser avaliado caso a caso, sendo potencialmente relevante para segmentos específicos. Essa hierarquização, derivada da articulação entre os dois artigos, oferece um instrumento de orientação que nenhum dos estudos, isoladamente, seria capaz de produzir.

Por fim, as 51 diretrizes de DfRL classificadas como Dúvidas no Artigo 2 — ausentes nos ILB — constituem uma agenda regulatória e de pesquisa que se torna mais nítida quando confrontada com os padrões de validação adotados. As lacunas legais mais numerosas concentram-se justamente nas atividades cujas diretrizes de DfRL obtiveram maior consenso entre os especialistas, como Desmontagem e Redistribuição, o que sugere que o esforço de especificação regulatória deveria se concentrar exatamente onde a lei é mais omissa e onde os especialistas são mais convergentes. Essa constatação oferece direção clara para revisões futuras dos ILB — particularmente do Decreto n.º 10.240/2020 e do Acordo Setorial de 2019

— e para o desenvolvimento de normas técnicas complementares que a ABNT poderia formalizar em articulação com a PNRS.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente geração de WEEE em escala global, combinada com as baixas taxas de reciclagem formal registradas mesmo em países com marcos regulatórios estabelecidos, evidencia que a transição para um modelo mais circular no setor eletroeletrônico depende também — e fundamentalmente — de produtos projetados desde o início para facilitar sua própria recuperação. Essa premissa orientou o desenvolvimento desta dissertação, que partiu de uma lacuna identificada na literatura: a carência de diretrizes de Design para Logística Reversa (DfRL) fundamentadas nas operações de logística reversa (LR) e, especificamente, nos Instrumentos Legais Brasileiros (ILB) que regem a implementação de sistemas de LR e cadeias de suprimentos reversas (RSC) de WEEE no Brasil.

O objetivo geral desta dissertação — propor diretrizes de DfRL para WEEE fundamentadas nos ILB — foi plenamente alcançado por meio de um percurso investigativo sequencial exploratório (Creswell; Plano Clark, 2017) estruturado em dois artigos interdependentes. O Artigo 1 operacionalizou os dois primeiros objetivos específicos, identificando os ILB pertinentes ao setor e mapeando, por meio de Análise de Conteúdo assistida por inteligência artificial e Matriz CSD, o conjunto de diretrizes de DfRL neles contidas. O Artigo 2 respondeu ao terceiro objetivo específico, submetendo as diretrizes de DfRL dotadas de respaldo legal à validação por um painel multidisciplinar de especialistas por meio do método Lawshe, considerando as perspectivas de validação agregada e segregada entre especialistas em design para Sustentabilidade (DS), economia circular (EC) e LR. Os resultados detalhados de cada etapa, incluindo os achados específicos e as discussões correspondentes, estão apresentados nos Capítulos 2 e 3 desta dissertação.

As contribuições desta dissertação distribuem-se em três planos complementares. No plano teórico, a pesquisa avança na consolidação do conceito de DfRL ao oferecer um conjunto sistematizado e empiricamente validado de diretrizes específicas para o contexto de WEEE no Brasil, preenchendo a lacuna apontada por Monteiro *et al.* (2024) e Braga Jr *et al*. (2023). No plano metodológico, a combinação de Análise de Conteúdo assistida por Inteligência Artificial generativa, Matriz CSD e método Lawshe — em dupla perspectiva agregada e segregada de especialistas — demonstra uma abordagem replicável para outros setores produtivos e contextos nacionais com arcabouços legais próprios para a gestão de resíduos. No plano regulatório e prático, a pesquisa evidencia um desalinhamento entre as prioridades da legislação

vigente e a percepção dos especialistas, oferecendo subsídios empíricos para revisões futuras dos ILB e um instrumento de orientação estruturado para designers, engenheiros e gestores de desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos.

Esta pesquisa apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação de seus resultados. A categorização das diretrizes de DfRL por meio da Análise de Conteúdo, ainda que apoiada por protocolo explícito e sistematizado, carrega subjetividade inerente ao processo de codificação, uma vez que a classificação das diretrizes de DfRL em Certezas, Suposições e Dúvidas passou pelo julgamento de um único pesquisador; pesquisas futuras poderiam mitigar essa limitação pela inclusão de múltiplos codificadores independentes e pelo cálculo formal de concordância interavaliadores por meio do Coeficiente Kappa de Cohen, o que conferiria maior robustez ao processo de categorização. A exclusão das diretrizes de DfRL classificadas como Dúvidas do instrumento de validação — necessária para preservar a coerência metodológica da pesquisa, uma vez que não seria metodologicamente adequado submeter à validação aquilo que a própria análise identificou como ausente nos ILB — impede afirmações sobre a percepção dos especialistas em relação a essas diretrizes latentes; estudos futuros poderiam suprir essa lacuna ao apresentar subconjuntos dessas diretrizes a painéis de especialistas, especialmente aquelas pertencentes às atividades de LR que obtiveram maior consenso de validação no Artigo 2, investigando se deveriam ser incorporadas à legislação como requisitos obrigatórios de projeto. Adicionalmente, o recrutamento do painel predominantemente por meio da Plataforma Lattes e do LinkedIn pode ter sub-representado profissionais que atuam exclusivamente no setor privado industrial sem vinculação acadêmica — como engenheiros de produto em empresas fabricantes de eletroeletrônicos —, cuja perspectiva prática sobre a viabilidade de implementação das diretrizes de DfRL pode diferir significativamente da acadêmica; pesquisas futuras poderiam ampliar o alcance do recrutamento por meio de associações industriais do setor, como a ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica), garantindo representação mais equilibrada entre academia e indústria. Por fim, o recorte temporal dos ILB analisados e o contexto geopolítico específico do Brasil delimitam a transferibilidade direta dos resultados para outros contextos nacionais, embora a abordagem metodológica seja plenamente replicável; estudos comparativos com países dotados de legislação específica para WEEE — como Peru, Colômbia e África do Sul, no Sul Global, ou os países da União Europeia no âmbito do *Ecodesign Regulation* — poderiam identificar convergências regulatórias que permitam propor diretrizes de DfRL com maior validade intercultural.

A agenda de pesquisa futura mais relevante que emerge desta dissertação, em nível dissertativo, diz respeito à articulação entre seus dois estudos: a validação das diretrizes de

DfRL classificadas como Dúvidas no Artigo 1 — ausentes dos ILB, mas potencialmente essenciais segundo os especialistas — constitui o desdobramento mais imediato e diretamente derivado da complementaridade entre os dois artigos. Adicionalmente, estudos de aplicação prática das diretrizes de DfRL do núcleo consensual em processos reais de desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos, com avaliação mensurável de indicadores de LR, e análises comparativas com outros países dotados de legislação específica para implementação de sistemas LR ou RSC para WEEE representam frentes que somente se tornam viáveis a partir dos resultados conjuntos produzidos por esta dissertação.

O caminho para uma EC efetiva no setor de eletroeletrônicos brasileiro passa necessariamente pela integração harmoniosa entre requisitos legais, viabilidade técnica e econômica, e aceitação pelos diversos *stakeholders* envolvidos. Esta dissertação contribui para esse caminho ao construir uma ponte entre a teoria normativa dos instrumentos legais e a prática industrial do design de produtos, fundamentada em evidência empírica robusta e perspectiva multidisciplinar. As diretrizes de DfRL identificadas, categorizadas e validadas ao longo deste trabalho não esgotam o campo do DfRL para WEEE no Brasil — mas estabelecem um ponto de partida sólido, sistematicamente derivado e empiricamente legitimado, para que designers, engenheiros, gestores e formuladores de políticas possam orientar suas decisões em direção a produtos eletroeletrônicos mais adequados à LR e à transição do país rumo a um modelo de gestão de resíduos mais circular e ambientalmente responsável.

REFERÊNCIAS

ANTHROPIC. **Claude's Constitution**. San Francisco: Anthropic, 2025. Disponível em: https://www.anthropic.com/news/claude-new-constitution. Acesso em: 10 maio 2026.

BAI, Y.; KADAVATH, S.; KUNDU, S.; ASKELL, A.; KERNION, J.; JONES, A.; CHEN, A.; GOLDIE, A.; MIRHOSEINI, A.; McKINNON, C.; CHEN, C.; OLSSON, C.; OLAH, C.; HERNANDEZ, D.; DRAIN, D.; GANGULI, D.; LI, D.; TRAN-JOHNSON, E.; PEREZ, E.; KAPLAN, J. **Constitutional AI**: harmlessness from AI feedback. *arXiv preprint* arXiv:2212.08073, 2022. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2212.08073. Acesso em: 10 maio 2026.

BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; YAMAMOTO, T.; MCDONALD, R.; D'ANGELO, E.; ALTHAF, S.; BEL, G.; DEUBZER, O.; FERNANDEZ-CUBILLO, E.; FORTI, V.; GRAY, V.; HERAT, S.; HONDA, S.; IATTONI, G.; KHETRIWAL, D. S.; CORTEMIGLIA, V. L.; LOBUNTSOVA, Y.; NNOROM, I.; PRALAT, N.; WAGNER, M. **Global E-waste Monitor 2024**: global partnerships and measurement solutions for the sustainable management of e-waste. Geneva: ITU, 2024.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BRAGA JR, A. E.; NUNES, D. R. L.; BRANDÃO, R.; MARTINS, V. W. B.; NAGATA, V. M. N.; MELO, A. C. S. Contributions to the Design for Reverse Logistics definition: integrating

reverse logistics activities and Design for X approaches. **Research Square**, 2023. Preprint. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3414359/v1.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico e seus Componentes, de 31 de outubro de 2019. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2019.

BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 fev. 2020.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 jan. 2022.

CRESWELL, J. W.; PLANO CLARK, V. L. **Designing and conducting mixed methods research.** 3. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy Vol. 1**: an economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013.

FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From data mining to knowledge discovery in databases. **AI Magazine**, v. 17, n. 3, p. 37-54, 1996. DOI: https://doi.org/10.1609/aimag.v17i3.1230.

FORCELINI, F.; MERINO, G. S. A. D. Contribuições da ferramenta Matriz CSD em projetos de Design: uma aplicação no contexto do Núcleo de Estudos da Terceira Idade (NETI). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN**, 14., 2022, [S. l.]. **Anais**... São Paulo: Blucher, 2022. v. 10, n. 5, p. 6299-6314. DOI: 10.5151/ped2022-3273512.

FORTI, V.; BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; BEL, G. **The Global E-waste Monitor 2020**: quantities, flows and the circular economy potential. Bonn/Geneva/Rotterdam: United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), 2020.

KADAEI, S.; NEZAM, Z.; GONZÁLEZ-LEZCANO, R. A.; SHOKRPOUR, S.; MOHAMMADTAHERI, A.; DORAJ, P.; AKAR, U. A new approach to determine the reverse logistics-related issues of smart buildings focusing on sustainable architecture. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 1079522, 2023. DOI: 10.3389/fenvs.2022.1079522.

LAWSHE, C. H. A quantitative approach to content validity. **Personnel Psychology**, v. 28, n. 4, p. 563-575, 1975. DOI: 10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x.

LYNN, M. R. Determination and quantification of content validity. **Nursing Research**, v. 35, n. 6, p. 382-386, 1986.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.

MARTINS, V. W. B.; ANHOLON, R.; QUELHAS, O.; FILHO, W. Sustainable practices in logistics systems: an overview of companies in Brazil. **Sustainability**, v. 11, n. 15, p. 4140, 2019. DOI: 10.3390/su11154140.

MONTEIRO, G. V.; MARTINS, V. W. B.; CHAVES, L. I.; BRAGA JR, A. E.; MELO, A. C. S. Diretrizes de projeto para logística reversa: uma revisão da literatura. **Mix Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 201-220, 2024. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n5.201-220.

POLIT, D. F.; BECK, C. T. The content validity index: are you sure you know what's being reported? Critique and recommendations. **Research in Nursing & Health**, v. 29, n. 5, p. 489-497, 2006. DOI: 10.1002/nur.20147.

SHEVTSHENKO, E.; BASHKITE, V.; MALEKI, M.; WANG, Y. Sustainable design of material handling equipment: a win-win approach for manufacturers and customers. **Mechanika**, v. 18, n. 5, p. 561-568, 2012. DOI: 10.5755/j01.mech.18.5.2703.

TELLES, R. A efetividade da matriz de amarração de Mazzon nas pesquisas em Administração. **Revista de Administração**, São Paulo v.36, n.4, p.64-72, 2001. ISSN 0080-2107. Disponível em: <https://rausp.usp.br/wp-content/uploads/files/v36n4p64ap72.pdf> Acesso em: 12/03/2026.

TRISTÁN-LÓPEZ, A. Modificación al modelo de Lawshe para el dictamen cuantitativo de la validez de contenido de un instrumento objetivo. **Avances en Medición**, v. 6, n. 1, p. 37-48, 2008. ISSN 1692-0023.

VANEGAS, P.; PEETERS, J. R.; CATTRYSSE, D.; TECCHIO, P.; ARDENTE, F.; MATHIEUX, F.; DEWULF, W.; DUFLOU, J. R. Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 323-334, 2018. ISSN 0921-3449. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917301763> Acesso em: 08/12/2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.022

APÊNDICES

APÊNDICE A — ARTIGO 1

DESIGN GUIDELINES FOR REVERSE LOGISTICS OF ELECTRONIC WASTE: AN AI-ASSISTED SYSTEMATIC ANALYSIS BASED ON BRAZILIAN ENVIRONMENTAL LEGISLATION

Abstract

The Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE) management represents a growing global challenge, with 62 billion kilograms generated worldwide in 2022 and only 22.3% properly recycled. In Brazil, the scenario is even more critical, with 2.4 billion kilograms generated and a recycling rate of only 3.2% of this amount. The objective of this study was to map and categorize design guidelines that are implicitly present in Brazilian Legal Instruments (BLIs) for implementing WEEE reverse supply chains. For that, we developed a hybrid methodological protocol for identifying Design for Reverse Logistics (DfRL) guidelines through systematic analysis of BLIs. An approach integrating content analysis with artificial intelligence-assisted processing was used, maintaining human validation as a central element. The Matrix of Certainties, Suppositions, and Doubts was applied, cross-referencing BLI's content with essential reverse logistics activities. The results reveal a mismatch between regulatory objectives and practical guidelines, compromising the 17% WEEE collection target established for 2025. The identified design guidelines provide a basis for developing electronic product design suitable for RL processes in the Brazilian context.

keywords: eco design; product design; sustainability; AI - assisted analysis.

1 Introduction

The exponential growth in the generation of Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE) represents one of the most pressing environmental challenges today, requiring urgent and coordinated action on a global scale. Recent data from the Global E-waste Monitor 2024 reveal that global WEEE production reached an alarming 62 billion kilograms in 2022, corresponding to 7.8 kg per capita, of which only 22.3% was documented as being properly collected and recycled through formal management systems (Baldé et al., 2024). This reality highlights not only the magnitude of the problem but also the urgency of developing effective mechanisms for managing this waste, particularly through structured reverse logistics

(RL) systems that enable the reintegration of valuable materials into production cycles, while reducing pressure on natural resources and the environmental impacts associated with improper disposal (Melo et al., 2022; Martins et al., 2022).

In the Brazilian context, this problem assumes particularly challenging dimensions and complexities, reflecting the country's structural characteristics and specific limitations of its waste management system. According to Baldé et al. (2024), Brazil generated approximately 2.4 billion kilograms of WEEE in 2022, with a documented recycling rate of only 3.2%, significantly lower than the global average, and is already considered unsatisfactory. Paradoxically, this scenario occurs despite the existence of a regulatory framework considered advanced, established by the Brazilian Solid Waste Policy (BSWP), instituted by Law No. 12,305/2010, which determines principles, objectives, and instruments for integrated management and environmentally appropriate management of solid waste, explicitly including shared responsibility for the life cycle of products (Brazil, 2010). The discrepancy between legal provisions and the practical results suggests an imperative need to investigate how regulatory instruments can be more effectively translated into operational and concrete design guidelines for the productive sector, bridging the gap between regulatory intentions and industrial practices.

Design for Reverse Logistics (DfRL) emerges in this context as an essential design approach to address these challenges, based on the premise that decisions made during the early stages of product development have a decisive influence on the technical and economic feasibility of recovering value at the end of the product life cycle (Melo et al., 2022). This perspective represents a paradigm shift in product design, moving from a linear view of production-consumption-disposal to a circular approach that considers the multiple possibilities for recovering value from goods, their components, and waste. DfRL is part of the broader context of Design for X (DfX) methodologies, which represent a family of design approaches aimed at optimizing specific aspects throughout the product life cycle. Sassanelli *et al.* (2020) document this historical progression, demonstrating how the isolated technical considerations of the first DfX applications have progressively evolved into systemic perspectives that integrate sustainability and circularity as central elements of the design process.

The literature highlights significant gaps in this field of knowledge. Monteiro et al. (2024) conducted a systematic literature review identifying a substantial lack of studies proposing specific design guidelines for RL, highlighting the urgent need for better definition and hierarchization of related terms, as well as a bigger integration between academic research and industrial practice. This disconnection between theory and practice represents a significant

barrier to the effective implementation of RL systems, particularly in developing countries, where limited resources demand pragmatic and applicable solutions. Braga Jr et al. (2023) deepen this analysis by pointing out that, although the term DfRL has been recognized in academic literature since 2010, existing references are mostly limited to superficial mentions, without proposing robust definitions based on concrete RL operations or systematic integration into the Product Development Process (PDP).

For the specific context of WEEE, DfRL assumes additional complexity due to the diversity of materials and components present in these products, including precious metals, various polymers, and potentially hazardous substances. Vanegas et al. (2018) empirically demonstrate that ease of disassembly is a critical factor for the economic and environmental viability of WEEE recovery, directly influencing the time required for processing, the recovery rate of valuable materials, and the safety of the workers involved. The authors identified that products designed without adequate consideration for disassembly processes can increase recovery costs by up to 40%, making their reintegration into production cycles economically unfeasible and resulting in the irreversible loss of valuable resources.

The international perspective offers important complementary insights. Aguiar et al. (2022), systematically analyzed 156 articles on circular product design, identifying the main strategies including design for recycling, for repair, for product-service systems, for reuse, for disassembly, and for durability. However, the authors noted that, although product design is a fundamental element for the transition to a circular economy (CE), knowledge about practices, methods, and tools oriented toward circular design has not yet been widely developed and systematized, remaining fragmented and difficult to apply in practice. Benabdellah et al. (2019) complement this analysis through a systematic literature review of DfX techniques between 1980 and 2018, identifying a growing trend toward integration between different approaches, particularly those related to environmental sustainability, suggesting progressive convergence toward an integrated framework that simultaneously considers multiple aspects of the life cycle.

In the Brazilian context, the application of DfRL principles faces specific and substantial challenges. Costa *et al.* (2023) identified that effective implementation requires not only the adaptation of international methodologies but also the development of genuinely contextualized approaches, considering local particularities such as significant regional disparities in collection and processing infrastructure, diversity of stakeholders involved in reverse supply chains (RSC) with different levels of training, and technological limitations characteristic of smaller companies that make up a significant portion of the Brazilian productive sector.

The operational framework proposed by Melo et al. (2022) represents a fundamental contribution to the systematic understanding of RL processes, organizing them into ten essential activities that structure the reverse flow of materials: Integration, responsible for the overall planning and management of the system; Waste Acquisition and Source Sorting, establishing the basis for material input; Collection and Transportation, representing the physical logistics dimension; Inspection/Testing and Storage, focusing on preservation and evaluation; Disassembly, involving organized dismantling; and finally Classification and Redistribution, determining the destination of processed materials. This categorization establishes a common language and robust analytical structure, allowing the identification of critical points where specific design characteristics can significantly facilitate or hinder the recovery of value from discarded products or waste.

Brazilian Legal Instruments (BLIs) are a potential source that can still be fully explored for identifying design guidelines for the development of products suitable for RL processes. The regulatory framework is structured at multiple normative levels, from general principles established by the BSWP to specific operational requirements detailed in decrees and sectoral agreements. Decree No. 10,240/2020 represents a specific regulatory milestone for the electronics sector, establishing ambitious progressive targets that determine the collection and proper disposal of 17% of the weight of products placed on the market by 2025 for the South and Southeast regions (the more developed in the country), with gradual expansion to other regions, considering their specific logistics and infrastructure. The Sectoral Agreement for the Implementation of a Reverse Logistics System for Electrical and Electronic Products, signed in Brazil on October 31, 2019, is a fundamental contractual instrument that operationalizes the legal provisions, detailing specific operational responsibilities, technical requirements for the proper handling of WEEE, and procedures for tracking and reporting information.

Nogueira (2024) proposed a clarifying classification of these instruments, distinguishing between general BLIs, which address various types of waste including WEEE, and specific BLIs, dealing exclusively with electrical and electronic equipment. This categorization reveals an important feature of the Brazilian regulatory framework: while general BLIs establish broad principles and institutional structures, specific BLIs detail particular operational aspects of WEEE, considering its unique technical characteristics such as the presence of precious metals, hazardous substances, and the intrinsic complexity of dismantling.

The complexity inherent in analyzing extensive legal instruments and their correlation with RL operational activities demands innovative methodological approaches that combine

traditional analytical rigor with expanded systematic processing capabilities. In this context, the Matrix of Certainties, Suppositions, and Doubts (CSD), originally developed by the consulting firm Livework (Livework Studio, 2024), emerges as a particularly suitable methodological tool. This matrix allows perceptions about a given context to be categorized and organized in a structured and visual way, clearly distinguishing among unequivocally established elements (certainties), plausible interpretations based on partial evidence (suppositions), and identified gaps that require further investigation or development (doubts) (Forcelini; Merino, 2022). Its specific application in the analysis of legal instruments makes it possible to systematically map the degree of explicitness of the design guidelines present in normative texts, revealing both consolidated guidelines and significant opportunities for regulatory improvement. As Dias (2021) points out, the tool allows massive volumes of unstructured information to be transformed into actionable insights, facilitating the identification of emerging patterns and strategic prioritization of investigative efforts.

The use of artificial intelligence (AI) as an auxiliary tool in the analytical process is justified by the exponentially expanded capacity of these technologies to process extensive volumes of textual information, identifying patterns and complex relationships that could easily escape traditional manual analysis. As Arão (2024) argues, machine learning algorithms, operating through sophisticated inductive methods, recognize patterns and calculate probabilities using advanced predictive statistical models, transforming unstructured textual data into numerical structures that allow complex comparison and categorization operations to be performed with previously unattainable precision and scale.

The methodological integration between traditional qualitative analysis and computational processing has been explored with increasing success. Bonamigo et al. (2020) convincingly demonstrated that the combination of traditional qualitative methods and advanced computational processing enables the analysis of previously unfeasible volumes of data, while maintaining the interpretive depth that is characteristic and essential to qualitative research. Alshami et al. (2023) highlighted how AI tools can automate critical steps in systematic reviews, saving significant time and resources while maintaining accuracy and consistency in the analyses. However, Qureshi et al. (2023) cautiously warn of the imperative need for constant expert supervision, as AI-generated results may appear valid on the surface but contain significant errors or biases that compromise the validity of the conclusions.

Given this multifaceted context, the present study set out to develop and apply a structured methodological protocol for the systematic identification of design guidelines specifically aimed at improving RL for WEEE. This protocol was based on the systematic and

rigorous analysis of BLIs through the synergistic integration of AI and the CSD Matrix, maintaining specialized human validation as a central and indispensable element of the process. The goals include the comprehensive identification of legal instruments relevant to the implementation of RSC for WEEE in the Brazilian regulatory framework, followed by the meticulous extraction of the design guidelines implicitly present in these documents.

The relevance of this research transcends the academic perspective, offering practical contributions to multiple stakeholders. For the productive sector, the systematization of design guidelines based on the current legal framework offers concrete and applicable guidelines for the development of products more suited to recovery processes. For public policy makers, the systematic identification of regulatory gaps provides input for improvements to the regulatory framework, indicating specific aspects that require greater regulatory detail to enable truly efficient CE systems in the Brazilian context.

2 Research Method

The investigation was characterized as exploratory-descriptive research of an applied nature, based on a qualitative approach supported by computer-assisted processing. This methodological combination is justified by the complexity of the object of study, which required both interpretative depth and the ability to systematically process extensive documentary bodies. The exploratory nature is manifested in the identification of design guidelines not previously systematized in the literature, while the descriptive character emerges from the detailed categorization of these design guidelines according to their presence and degree of explicitness in the BLIs. The methodological design integrated content analysis, according to the protocol established by Bardin (2016), with AI-assisted information processing, maintaining human validation as a central element of the analytical process to ensure adequate contextualization and interpretation of the results obtained.

The analytical protocol developed was structured in six sequential stages, each fulfilling a specific function in the process of identifying and categorizing the design guidelines, as presented in Table 1.

Table 1 - Structure of the AI-Assisted Analysis Protocol

Stage	Procedure	Responsibility	Product	Description
1	Literature review	Human	Conceptual basis	Establishment of a conceptual basis on DfRL
2	Selection of the documentary basis	Human	Categorized documents	Definition of the documents set according to relevance criteria
3	Preparation of the conceptual base	Human	Processable texts	Structuring of the analytical framework (10 activities × 3 CSD levels)

4	Conceptual leveling	Hybrid	Conceptual validation	Verification of alignment through test questions
5	AI-assisted analysis	Hybrid	Preliminary categorization	Systematic processing in three rounds (Certainties, Assumptions, Doubts)
6	Construction of the CSD Matrix	Hybrid	Consolidated Matrix	Validation and synthesis. Critical review and construction of the final CSD Matrix

Source: Authors (2026).

The first stage consisted of reviewing the literature on DfRL, establishing the conceptual basis, based on the works of Melo et al. (2022) on activities that comprise the RL process, Monteiro et al. (2024) on design guidelines for RL systems, and Braga Jr et al. (2023) on design for RL. This theoretical foundation provided the analytical framework necessary for interpreting the normative texts, allowing us to identify correspondences between legal requirements and design principles established in the specialized literature.

The second stage involved the selection and preparation of BLIs for analytical processing. The documents were obtained in their full versions from official repositories of the Brazilian federal government, ensuring authenticity and textual completeness. The files referring to the BLIs were downloaded in PDF format and were considered in this research, preserving the hierarchical structure of sections, articles, and paragraphs, which are essential elements for the traceability of the identified design guidelines. The preparation also included the preliminary identification of sections relevant for analysis, focusing on provisions related to product characteristics, operational requirements, and the responsibilities of agents in the production chain.

The documents selected for analysis comprised specific BLIs for WEEE management, identified through systematic analysis of the national regulatory framework. The selection favored current regulatory documents that establish operational design guidelines for the implementation of RL systems, including the Sectoral Agreement for the Implementation of a Reverse Logistics System for Household Electrical and Electronic Products and their Components (Brazil, 2019), Decree No. 10,240 (Brazil, 2020), which specifically regulates the RL of electrical and electronic products, and Decree No. 10,936 (Brazil, 2022), which regulates the BSWP in its entirety. This delimitation followed criteria of thematic relevance, regulatory timeliness, and sector specificity, according to the methodology proposed by Nogueira (2024) for the analysis of BLIs related to RSC.

The third stage established the conceptual basis for applying the CSD Matrix, based on the work of Forcelini and Merino (2022) on the use of this tool in product design. Adapting the CSD Matrix for analyzing BLIs required specific operationalization of the concepts of Certainties, Suppositions, and Doubts in the regulatory context. Certainties were defined as

design guidelines explicitly established in the texts of the BLIs, presenting unequivocal prescriptive language and direct applicability to product design. Suppositions were characterized as inferable guidelines analyzed from the normative content, although not expressly stated, requiring contextualized interpretation for their identification. Doubts represented normative gaps, aspects necessary for the effective operationalization of RL, but not covered in the BLIs analyzed.

The fourth stage, called conceptual leveling, established the alignment between the understanding of AI and the research objectives through an iterative verification process. This hybrid procedure, involving interaction between the researcher and the computer system, began with the uploading of reference documents to the Claude.ai platform, including the fundamental articles by Melo et al. (2022) on RL activities and the studies by Forcelini and Merino (2022) on the application of the CSD Matrix. Subsequently, structured test questions were applied to verify the AI tool's adequate understanding of the central concepts, particularly the distinction between the ten RL activities and the CSD Matrix categorization criteria. As demonstrated by Pereira et al. (2024), who, when comparing content analysis categorizations performed by human researchers and by an AI-based language model, found that insufficient conceptual guidance led the tool to produce inconsistent categorizations, reinforcing the importance of establishing clear analytical parameters. The authors, grounded in a Vygotskyan perspective, understand AI as a mediating tool in the research process, which, while capable of expanding the researcher’s analytical capacity, requires deliberate and structured direction to ensure methodological rigor.

The fifth stage constituted the core of the analytical process, involving the systematic application of AI-assisted content analysis. The protocol developed was structured in three sequential rounds of analysis, each focused on a specific component of the CSD Matrix. In the first round, certainties were identified through a specific prompt that instructed the tool to locate only excerpts from the text with explicit and unambiguous guidance on product design characteristics necessary to enable each RL activity. The second round focused on identifying suppositions, guiding the AI to recognize excerpts from the text that suggested, even indirectly or incompletely, requirements or opportunities for design guidelines that could be inferred from the normative text studied. The third round was dedicated to mapping questions, identifying essential aspects for the operationalization of RL, but completely absent from the BLIs analyzed. Table 2 illustrates the structure of these three sequential rounds. The complete prompts used in each round are available in the supplementary materials.

Table 2 - Structure of the three sequential rounds of AI-assisted analysis

Round 1	Round 2	Round 3
Focus: Certainties	**Focus:** Assumptions	**Focus:** Doubts
Explicit and unambiguous guidance on product design characteristics	Indirect or incomplete suggestions of requirements or opportunities for design guidelines	Essential aspects for RL operationalization absent from BLIs
Prompt instruction: Locate only excerpts with explicit guidance	**Prompt instruction:** Recognize excerpts that suggest guidelines indirectly	**Prompt instruction:** Identify gaps not covered in analyzed documents

Source: Authors (2026).

The assisted analysis process followed a protocol of documentation and traceability. Each prompt used was structured with instructions on the type of information sought, including guidelines for full citation of the identified excerpts with indication of location in the source document, ordering according to the ten RL activities established by Melo et al. (2022), and explicit recording when there was no relevant content for a given activity. This methodological structure is in accordance with the recommendations of Bonamigo et al. (2020), who demonstrated the importance of maintaining a structured protocol when combining traditional qualitative methods with computational processing, preserving the interpretive depth characteristic of qualitative research while benefiting from the systematic processing capacity provided by technology.

The sixth step involved the construction and validation of the CSD Matrix through an iterative process of review and refinement. All design guidelines identified by AI underwent careful human validation, involving a systematic return to source documents to verify the accuracy of the proposed categorizations. This validation process considered not only the literal correctness of the citations, but also the contextual adequacy of the interpretations made, particularly important in the case of suppositions that required more complex interpretive analysis. The triangulation among the results of automated processing, manual analysis of selected samples from the documents set, and verification by theoretical categories established in the literature allowed us to identify convergences and divergences, refining the final categorization of the design guidelines.

The content analysis was carried out in three chronological phases established by Bardin (2016), adapted to incorporate AI-assisted processing. In accordance with the method presented by the author, in the pre-analysis phase, the BLIs were skimmed to familiarize ourselves with

the content and preliminarily identify key terms related to product characteristics and operational requirements. In the second stage, the material was explored, involving hybrid coding, with initial identification of design guidelines by AI, followed by human validation and refinement, ensuring adequate contextual interpretation. Finally, the results were processed, which included interpretive synthesis, considering the distribution of design guidelines among the categories of the CSD Matrix and their relationship with RL activities, in which emerging patterns and systematic gaps in the regulatory framework were identified.

The validation criteria adopted were based on four essential methodological principles. The first principle established content validation based on systematic return to the source documents, ensuring that each identified design guideline remained faithful to the original text and preserved its normative context. The second principle focused on methodological consistency, maintaining a detailed log of all analytical decisions made during the process, allowing for auditing and eventual replication of the study. The third principle implemented multiple triangulations among AI processing, manual analysis, and the established theoretical framework, strengthening the robustness of the results obtained. The fourth principle ensured procedural transparency through complete documentation of all prompts used, responses obtained, and adjustments made, establishing a chain of evidence that allowed for full tracking of the analytical process.

The methodological integration between content analysis, AI processing, and the CSD Matrix optimized the study in this research. This approach allowed the processing of a substantial volume of normative information, maintaining analytical depth and identifying not only explicit design guidelines but also implicit guidelines and regulatory gaps on the topic that require attention. The protocol developed establishes a methodological precedent applicable to similar investigations in different regulatory and sectoral contexts, contributing to the advancement of research practices at the interface between design, sustainability, and public policy analysis.

3 Results and Discussion

The application of the hybrid methodological protocol to BLIs resulted in the identification of 9 potential design guidelines for improving RL for WEEE. This finding reveals structural characteristics of the Brazilian regulatory framework that deserve detailed analysis. The nine Certainties identified are predominantly concentrated in two specific activities: Transportation and Disassembly, as shown in Table 3.

Table 3 - CSD Matrix: Certainties - Design Guidelines Explicitly Present in BLIs

	RL Activities	Proposed Design Guidelines
CERTAINTIES	Transport	- Design electronic products that, at the end of their useful life, can be handled, including loading, unloading, and transportation, with due care to prevent breakage. - Design electronic products that, at the end of their useful life, can be packaged or stored in a way that minimizes the risk of breakage during transport under normal conditions. - Design products that, at the end of their useful life, prevent the uncontrolled tipping of collection containers containing fragile electronic products. - Design products that, at the end of their useful life, avoid the need for shredding, pressing, or compacting at any stage of transport, maintaining the physical and chemical integrity of the materials. - Design products with cathode ray tubes (CRTs) that, at the end of their useful life, can be kept intact during transport, facilitating their proper treatment at dismantling companies. - Design products with CRTs considering that, in case of fragmentation at the end of their useful life, they can be packed in containers that prevent the dispersion of fragments. - Design products with CRTs so that, at the end of their useful life, they can be transported separately from other electronic equipment in the same shipment, with adequate protection to reduce impacts.
	Disassembly	- Design products that, at the end of their useful life, allow for the efficient separation of their main components and/or constituent parts, classifiable as plastics, ferrous metals, non-ferrous metals, glass, and components requiring special treatment. - Design products whose methods of disassembly and removal of parts and components at the end of their useful life preserve the integrity of the components, avoiding damage that could generate emissions of substances that pollute the environment and human health.

Source: Authors (2026).

This thematic concentration reflects regulatory priorities focused on immediate operational aspects of RL, particularly safety in handling and basic separation of materials. The design guidelines related to transportation address specific requirements for careful handling, prevention of breakage, suitability of packaging, and special treatment for products containing cathode ray tubes (CRTs). It is noteworthy that, although CRT-based equipment is still in use, this technology is now obsolete and no longer manufactured, which limits the current applicability of these specific recommendations. However, such guidelines may remain useful for products with similar fragile or hazardous components. These guidelines, while relevant, represent basic operational considerations that do not address more pertinent aspects of design for circularity.

A detailed analysis of the Certainties revealed that the Sector Agreement and its Operational Manual are the main sources of these explicit design guidelines. The document establishes, for example, that "electronic products must be handled, including loading, unloading, and transportation, with due care to prevent breakage" and that "the crushing, pressing, or compacting of electronic products is not permitted at any stage of transportation." These provisions, although important for preserving the integrity of the materials, do not specify

design characteristics that would facilitate compliance with these requirements, leaving manufacturers responsible for interpreting and implementing appropriate technical solutions.

The complete absence of Certainties for eight of the ten RL activities is particularly relevant information. Fundamental RL activities, such as Integration, Waste Acquisition, Source Sorting, Collection, Inspection/Testing, Storage, Classification, and Redistribution, did not have explicit design guidelines in the BLIs analyzed. This gap suggests that the Brazilian regulatory framework has not yet fully incorporated the principles of DfRL, focusing on post-disposal operational aspects to the detriment of preventive design considerations. This limited scope regarding design possibilities is characteristic of legislation still undergoing consolidation, indicating potential for regulatory maturation as the understanding of circular economy principles advances.

3.4 Practical Implications for the Manufacturing Sector

The mismatch identified between the established regulatory targets and the available practical guidelines has direct implications for the fulfillment of the BSWP objectives. Decree No. 10,240/2020 establishes a collection target of 17% of the weight of products placed on the market by 2025 for the South and Southeast regions, but the BLIs analyzed do not provide technically sufficient design guidelines for manufacturers to develop products that facilitate the achievement of this goal based on the feasibility of RL. This gap can result in multiple negative consequences for the productive sector and society.

Designers and engineers operate in an environment of regulatory uncertainty, where the absence of clear specifications on desirable product characteristics hinders investment decisions in innovation. Companies may hesitate to implement advanced design solutions for disassembly or sophisticated identification systems without guarantees that such investments will be recognized or valued by the regulatory system. This uncertainty can lead to a cycle of low innovation, where the lack of clear design guidelines discourages investment in circular design, perpetuating linear models of production and consumption of electronics.

The absence of specific design guidelines also compromises the competitiveness of the Brazilian electronics sector in the international context. While other jurisdictions are advancing in detailed eco-design and circularity requirements, Brazilian electronic products may encounter technical barriers to international trade because they do not meet increasingly demanding sustainability standards in developed markets.

3.5 Methodological Contributions

The development and application of the hybrid protocol integrating content analysis, AI processing, and the CSD Matrix represents a methodological contribution to the field of sustainable design studies and analysis of public policy adherence to sustainability. The approach developed has demonstrated the ability to process multiple analytical dimensions in a feasible time frame, maintaining traceability and scientific rigor while expanding the scope of analysis possible through purely manual methods.

The operationalization of the CSD Matrix for BLIs analysis has established a methodological precedent applicable to different regulatory contexts. The integration of AI into the analytical process, while maintaining human validation as a central element, established a model for future research seeking to combine computational efficiency with interpretive depth. The developed protocol demonstrates that AI tools can amplify analytical capabilities without compromising the methodological rigor characteristic of qualitative research, provided they are properly structured and supervised. Detailed documentation of prompts, validation criteria, and refinement processes established a standard of transparency that allows replication and adaptation of the methodology to different research contexts.

The systematic triangulation between automated processing, manual analysis, and verification by established theoretical categories offered a viable model for validating results in hybrid research. This multiple approach allowed us to identify both convergences that strengthen the reliability of the findings and divergences that require further analysis, providing deeper insights into the studied phenomenon. The method developed demonstrates that combining different analytical perspectives can reveal dimensions of the object of study that would remain hidden in one-dimensional approaches.

4 Conclusions

The analysis of the BLIs revealed an asymmetric distribution of design guidelines among the categories of the CSD Matrix, evidencing a structural mismatch between the regulatory ambitions established by the BSWP and the technical guidelines available to the productive sector. The concentration of explicit design guidelines in just two of the ten RL activities—Transportation and Disassembly—indicates that the Brazilian legal framework has not yet fully integrated the DfRL principles. It remains focused on post-disposal operational aspects rather than preventive design measures, with direct implications for compliance with Decree No. 10,240/2020 objectives.

The predominance of gaps identified in the mapping represents both a challenge and an opportunity for developing more effective public policies. The regulatory gaps cover fundamental aspects of contemporary CE, including digital identification systems, standardization among manufacturers, and features that facilitate automation, reflecting the speed of technological evolution in the sector and the need for greater integration between technical-scientific knowledge and public policy formulation. For the productive sector, this systematic mapping provides a concrete basis for decision-making, allowing companies to use Certainties as minimum RL requirements to the DfRL.

The Suppositions and the Doubts categories also reveal important knowledge gaps that deserve further analytical attention both for the regulatory framework and the scientific literature. Suppositions represent situations in which the analyzed legal instruments indirectly suggest design requirements associated with RL, but without explicit technical specifications or operational guidelines capable of guiding designers and manufacturers. Similarly, the Doubts correspond to areas where the regulatory texts provide insufficient or unclear information regarding the technical characteristics required to support RL activities. Since the exploration of those categories was not the goal of this research, we suggest to researchers to understand these articulations which may represent an important opportunity for interdisciplinary research combining design engineering, reverse supply chain management, and regulatory studies.

From a methodological perspective, the research demonstrated the feasibility of integrating AI tools and traditional qualitative methods for analyzing a set of extensive documents. The protocol developed, structured in sequential stages with a clear definition of human and computational responsibilities, preserved the scientific rigor of content analysis while expanding systematic processing capacity. The triangulation among automated processing, human validation, and verification by established theoretical categories proved fundamental to ensuring robust results, demonstrating that AI can works as a tool that amplifies human analytical capabilities without replacing the critical judgment essential to scientific research.

It is necessary to recognize the inherent limitations of the study. The analysis focused on specific BLIs, not covering technical standards, industry standards, or state and municipal regulations that may contain complementary guidelines. Additionally, the dynamic nature of the electronics sector implies that new technologies and business models may require technical design guidelines not covered in the current scope of the investigation. Future research could broaden the scope of the analyzed documents set to include comparative international

perspectives and explore, via company case studies within the sector, the practical effectiveness of the proposed design guidelines.

The path to more effective RL for WEEE systems in Brazil requires convergence among regulatory advances, technological innovation, and the transformation of industrial practices. The design guidelines identified in this study contribute to this process by providing a technical and scientific basis for the development of products that are more in line with CE principles. However, their effective implementation requires the coordinated engagement of multiple stakeholders, including government, industry, academia, and civil society.

The transition to circular production and consumption models in the Brazilian electronics sector is not only an environmental imperative, but also an economic and social opportunity. With a low recycling rate for WEEE generated annually, the country wastes valuable resources while accumulating growing environmental liabilities. The development of products designed to facilitate value recovery processes can transform this scenario, generating economic benefits through material recovery, social benefits through job creation in CSR, and environmental benefits through the reduction of impacts associated with the extraction of virgin raw materials and excessive and inadequate waste disposal (reduction of the carbon footprint) that characterize low-carbon enterprises.

Finally, this study reveals implications for the future of WEEE management in Brazil. Systematic analysis of legal instruments revealed a lack of clear and accurate information for designers and manufacturers of electronic products seeking to comply with Brazilian legislation by structuring effective RL systems. This information gap allows for differing interpretations of legislators' original intentions, potentially undermining both the achievement of regulatory objectives and the sector's competitiveness in the international arena. The methodological protocol developed, by establishing a bridge between traditional qualitative analysis and advanced computational processing, offers a replicable model for future investigations in different regulatory and sectoral contexts. The research also reaffirms the relevance of an interdisciplinary approach to addressing complex contemporary challenges—the integration of design, engineering, environmental laws, and areas of computing and technology demonstrated in this investigation exemplifies the synergies necessary for the development of systemic solutions in sustainability. The results obtained not only diagnose the current landscape of the Brazilian regulatory framework, but also open concrete paths for future updates to the legislation, providing technical and scientific support for the formulation of more effective public policies that promote the transition to circular models of production and consumption in the Brazilian electronics sector.

Acknowledgments

The authors would like to thank the State University of Pará (UEPA) for the institutional support provided during this research.

Declaration of generative AI and AI-assisted technologies in the process.

During the preparation of this work the authors used CLAUDE.AI in order to accomplish the fourth stage of the methodology, where was performed the conceptual levelling. After using this platform, the authors reviewed and edited the content as needed and take full responsibility for the content of the published article.

References

Aguiar, M. F., Mesa, J. A., Jugend, D., Pinheiro, M. A. P., & Fiorini, P. D. C. (2022). Circular product design: strategies, challenges and relationships with new product development. Management of Environmental Quality: An International Journal, 33(2), 300–329. https://doi.org/10.1108/MEQ-06-2021-0125

Alshami, A., Elsayes, M., Ali, E., Eltoukhy, A. E. E., & Zayed, T. (2023). Harnessing the power of ChatGPT for automating systematic review process: Methodology, case study, limitations, and future directions. *Systems*, *11*(7), Article 354. https://doi.org/10.3390/systems11070354

Arão, C. (2024). Behind artificial intelligence: An analysis of the epistemological bases of machine learning. *Trans/Form/Ação*, *47*(3), Article e02400163. https://doi.org/10.1590/0101-4761-2024-0473-3

Baldé, C. P., Kuehr, R., Yamamoto, T., McDonald, R., D'Angelo, E., Althaf, S., Bel, G., Deubzer, O., Fernandez-Cubillo, E., Forti, V., Gray, V., Herat, S., Honda, S., Iattoni, G., Khetriwal, D. S., Cortemiglia, V. L., Lobuntsova, Y., Nnorom, I., Pralat, N., & Wagner, M. (2024). *Global e-waste monitor 2024: Global partnerships and measurement solutions for the sustainable management of e-waste*. ITU. https://circulairekennis.nl/en/research/the-global-e-waste-monitor-2024/

Bardin, L. (2016). *Content analysis* (L. A. Reto & A. Pinheiro, Trans.). Edições 70. (Original work published 1977)

Benabdellah, A. C., Bouhaddou, I., Benghabrit, A., & Benghabrit, O. (2019). A systematic review of design for X techniques from 1980 to 2018: Concepts, applications, and perspectives. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *102*(9-10), 3473–3502. https://doi.org/10.1007/s00170-019-03493-6

Bonamigo, V. G., Carvalho, D. R., & Cubas, M. R. (2020). Qualitative method enhanced by artificial intelligence: Experience report. Qualitative Research in Health: Advances and Challenges, 3, 105–115. https://doi.org/10.36367/ntqr.3.2020.105-115

Braga Jr., A. E., Nunes, D. R. L., Brandão, R., Martins, V. W. B., Nagata, V. M. N., & Melo, A. C. S. (2023, October 12). *Contributions to the design for reverse logistics definition: Integrating reverse logistics activities and design for X approaches* [Preprint]. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3414359/v1 - preprint

BRASIL (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

BRASIL (2019). Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes. Ministério do Meio Ambiente. https://www.gov.br/mma/pt-br

BRASIL (2020). Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm

BRASIL (2022). Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Diário Oficial da União. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm

Costa, A. L. C., Martins, V. W. B., Chaves, L., Braga Jr, A. E., Melo, A. C. S. (2023). Hierarchy of Design Needs for Enabling Reverse Logistics Activities: A Design for Reverse Logistics Approach [Preprint]. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3408602/v1

Dias, M. (2021). *CSD matrix: A tool to boost your project*. Medium. https://medium.com/aela/matriz-csd-uma-ferramenta-para-impulsionar-seu-project-ed4baf9770af

Forcelini, F., & Merino, G. S. A. D. (2022). Contributions of the CSD matrix in design projects: An application in the context of the Center for Studies on Aging (NETI). *Design and Technology*, *14*(28), 1–20. https://doi.org/10.51698/seerufpr.2022.28.00001

Livework Studio. (2024). *CSD matrix: Our most versatile and popular tool*. https://liveworkstudio.com.br/insight/matriz-csd-nossa-most-versatile-and-popular-tool/

Martins, V. W. B., Nunes, D. R. L., Melo, A. C. S., Brandão, R., Braga Jr., A. E., & Nagata, V. M. N. (2022). Analysis of the activities that make up the reverse logistics processes and their importance for the future of logistics networks: An exploratory study using the TOPSIS technique. *Logistics*, *6*(3), Article 60. https://doi.org/10.3390/logistics6030060

Melo, A. C. S., Nunes, D. R. L., Braga Jr., A. E., Brandão, R., Nagata, V. M. N., & Martins, V. W. B. (2022). Analysis of activities that make up reverse logistics processes: Proposition of a conceptual framework. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, *19*(2), Article 3361. https://doi.org/10.14488/BJOPM.2022.022

Monteiro, M. G. V; Junior, A. E. B; Martins, Chaves, L. I; Melo, A. C. S. (2024) Design for reverse logistics guidelines: A Literature Review. MIX Sustentável, v. 10, n. 5, p.201-220. ISSN 2447-3073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Acesso em:21/03/2026. doi: https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n5.201-220

Nogueira, C. J. L. G. (2024). *Stakeholders and responsibilities in reverse supply chains for electronic waste: An analysis of legal instruments in an emerging country from the perspective of the literature* [Master's thesis, State University of Pará]. Institutional repository UEPA.

Pereira, A. L, Bonin, C. A., Soares, C. E. K. (2024). Utilizando a Inteligência Artificial como apoio na análise de conteúdo: algumas considerações. Com a Palavra, O Professor, 9(25), 258–282. https://doi.org/10.22481/cpp.v9i25.17444

Qureshi, R., Irfan, M., Gondal, T. M., Khan, S., Wu, J., Haq, M. U., Khan, A. A., Ahmad, H. B., & Alam, T. (2023). Are ChatGPT and large language models "the answer" to bringing us closer to systematic review automation? *Systematic Reviews*, *12*(1), Article 10. https://doi.org/10.1186/s13643-023-02168-7

Sassanelli, C., Rosa, P., Rocca, R., & Terzi, S. (2020). Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, *229*, 440–453. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.095

Vanegas, P., Peeters, J. R., Cattrysse, D., Tecchio, P., Ardente, F., Mathieux, F., Dewulf, W., & Duflou, J. R. (2018). Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, *135*, 323–334. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.015

APÊNDICE B — Protocolo de Análise de Conteúdo Assistida por Inteligência Artificial

Quadro de Síntese Metodológica

Etapa	Procedimentos Principais	Produto / Resultado	Como foi Realizado
1. Revisão de Literatura	Mapear métodos *Design for X* (DfX) ligados à Sustentabilidade, Economia Circular e Logística Reversa.	Base conceitual sobre DfRL para apoiar etapas seguintes.	Processo Manual
2. Seleção dos ILB	Levantar e classificar Instrumentos Legais Brasileiros (ILB) gerais e específicos relativos a WEEE.	*Corpus* legal categorizado para análise de conteúdo.	Processo Manual
3. Preparação da Base Conceitual	Carregar na IA os ILB selecionados, artigos e referências sobre Matriz CSD.	Textos disponibilizados para processamento automático.	Processo Manual
4. Nivelamento Conceitual	Aplicar perguntas-teste sobre atividades de LR e Matriz CSD para aferir fidelidade da IA.	Confirmação de entendimento conceitual pelo modelo.	Processo Híbrido (Humano + IA)
5. Análise de Conteúdo Assistida por IA	Executar protocolo de 3 etapas: identificar diretrizes, cruzar ILB × atividades de LR, gerar insumos para Matriz CSD.	Lista bruta de diretrizes rotuladas preliminarmente.	Processo Híbrido (Humano + IA)
6. Construção da Matriz CSD	Revisar saídas da IA, atribuir rótulos finais e organizar em Certezas, Suposições e Dúvidas.	Matrizes CSD consolidadas (9 Certezas, 21 Suposições, 51 Dúvidas).	Processo Híbrido (Humano + IA)

Fonte: Autor (2026).

Observação: As etapas 1, 2 e 3 antecedem o uso da IA, reforçando o caráter híbrido (humano + automático) da metodologia; etapas de 4 a 6 correspondem à fase de exploração, análise e integração dos resultados a partir da utilização da ferramenta de IA.

A apresentação tabular do Quadro 2.1 sintetiza a estrutura geral do protocolo, porém não detalha os procedimentos operacionais que permitiriam sua replicação por outros pesquisadores em contextos análogos. Esta seção complementar, organizada em prosa descritiva, decompõe as três etapas híbridas do protocolo (Etapas 4, 5 e 6) em micropassos operacionais, com identificação explícita do agente responsável por cada ação — pesquisador, ferramenta de IA ou decisão híbrida que combina saída automatizada e julgamento humano. A nomenclatura adotada distingue três modalidades de participação: humano, quando a decisão, o julgamento ou a ação cabem exclusivamente ao pesquisador; IA, quando a execução automatizada é delegada à ferramenta, dentro de instruções explícitas previamente formuladas; e híbrido, quando a saída da IA passa por verificação ou refinamento humano antes de prosseguir, sendo a responsabilidade analítica do pesquisador, mas com contribuição da IA na produção do material de base para essa decisão

Etapa 4 — Nivelamento Conceitual

O nivelamento conceitual estabelece o alinhamento entre a compreensão da ferramenta de IA e os objetivos da pesquisa antes que qualquer análise efetiva seja produzida. Sua função

é evitar o problema documentado por Pereira *et al*. (2024): orientação conceitual insuficiente leva a IA a produzir categorizações inconsistentes. A etapa decompõe-se em cinco micropassos sequenciais.

(4.1) Carregamento dos materiais de referência conceitual [humano]: o pesquisador carrega na sessão da plataforma Claude.ai os documentos que servirão de referência conceitual para a IA durante a análise — Melo *et al*. (2022) com as dez atividades de Logística Reversa, Forcelini e Merino (2022) com a Matriz CSD, e os quatro Instrumentos Legais Brasileiros integrais. Como a IA generativa raciocina apenas sobre o que está em sua janela de contexto, esse carregamento prévio garante que as definições conceituais usadas pela ferramenta sejam exatamente aquelas adotadas na pesquisa, e não definições genéricas obtidas de seu treinamento.

(4.2) Formulação das perguntas-teste [humano]: o pesquisador elabora perguntas-teste estruturadas que verifiquem se a IA absorveu corretamente os conceitos centrais. Exemplos aplicados nesta pesquisa incluem "Quais são as 10 atividades de LR conforme Melo et al. (2022)?", "O que distingue uma Certeza de uma Suposição na Matriz CSD?" e "O que caracteriza uma Dúvida em oposição a uma lacuna meramente operacional?". Tais perguntas funcionam como sondas conceituais: perguntas vagas não permitem aferir se a IA entendeu; perguntas específicas, com critério de resposta verificável contra os textos carregados, permitem ao pesquisador detectar imprecisões antes que estas contaminem a análise.

(4.3) Resposta da IA às perguntas-teste [IA]: a ferramenta responde a cada pergunta-teste fundamentando-se exclusivamente nos materiais carregados na sessão, com referência explícita à página ou seção dos documentos de origem, conforme instrução do pesquisador. A exigência de fundamentação literal, com rastreio de origem, é o mecanismo que permite ao pesquisador, no micropasso seguinte, comparar a resposta com o texto original. Sem essa exigência, a IA pode produzir respostas plausíveis, porém não verificáveis.

(4.4) Verificação de aderência conceitual [híbrido]: o pesquisador confere cada resposta da IA contra os textos-fonte, avaliando se as dez atividades de LR estão completas e na nomenclatura correta, se a distinção entre Certeza, Suposição e Dúvida está conceitualmente fiel a Forcelini e Merino (2022), e se há alucinação ou paráfrase inadequada. Este é o ponto de decisão crítico da etapa: se a aderência for satisfatória, prossegue-se para a etapa seguinte; havendo imprecisão, retorna-se ao micropasso 4.2 — reformulando perguntas, complementando materiais ou tornando explícitas as distinções que a IA não absorveu adequadamente. O ciclo é iterativo até estabilização do nivelamento.

(4.5) Registro da estabilização do nivelamento [humano]: o pesquisador documenta, em registro próprio anexável ao apêndice, a versão final das perguntas-teste utilizadas, das respostas da IA consideradas adequadas e o número de iterações necessárias até a estabilização, encerrando formalmente a etapa de nivelamento. Esse registro é o que permite, posteriormente, demonstrar que a IA partiu de um estado conceitual aferido e estável antes da análise efetiva, servindo também como ponto de partida para o nivelamento na sessão de um pesquisador replicador.

Etapa 5 — Análise de Conteúdo Assistida por IA

A análise de conteúdo assistida por IA constitui o núcleo do protocolo. Estrutura-se em três rodadas sequenciais — Certezas, Suposições e Dúvidas —, cada uma operacionalizada por um *prompt* específico (A, B e C, apresentados adiante neste apêndice). A decomposição em oito micropassos torna explícita a participação humana em cada momento da rodada e os critérios de decisão entre uma rodada e outra.

(5.1) Aplicação do *Prompt* A — instrução para Certezas [humano]: o pesquisador submete o Prompt A à IA, instruindo-a a localizar apenas trechos diretos e inequívocos com orientações de design para cada uma das dez atividades de LR. As instruções gerais que precedem o *prompt* — idioma de resposta, exigência de citação literal entre aspas, ordenação por atividade e registro explícito de "Não identificado" quando ausente — são parte da formulação. Restringir a primeira rodada ao que é explícito impede que a IA misture, desde o início, achados de natureza diferente; trabalhar em rodadas separadas, em vez de solicitar tudo de uma vez, é decisão metodológica deliberada que melhora a precisão das respostas e facilita a validação posterior.

(5.2) Geração da tabela de Certezas pela IA [IA]: a ferramenta produz, para cada um dos quatro ILB e cada uma das dez atividades de LR, uma tabela com as colunas Atividade × Trecho citado integralmente entre aspas, acrescido da referência de página ou cláusula. Onde não houver trecho pertinente, registra explicitamente "Não identificado". A obrigatoriedade da citação integral com referência de localização é o que torna cada saída verificável contra o texto-fonte; o registro de "Não identificado" é tão informativo quanto uma citação positiva, pois distingue ausência observada de simples omissão.

(5.3) Validação humana das Certezas extraídas [híbrido]: para cada citação produzida pela IA, o pesquisador abre o ILB original na página ou cláusula indicada e confere a literalidade da citação; avalia se o trecho é, de fato, uma orientação inequívoca de design e não apenas uma menção indireta; e marca o item como "confirmada", "rejeitada" ou "requer

Prompt B", esta última hipótese aplicável quando o trecho parece ser, em rigor, uma Suposição. Esta é a primeira aplicação do julgamento humano sobre a saída da IA, e a documentação das reclassificações é parte do registro de rastreabilidade do protocolo.

(5.4) Aplicação do *Prompt* B — instrução para Suposições [humano]: o pesquisador submete o Prompt B à IA, orientando-a a identificar passagens que sugiram, indireta ou parcialmente, requisitos ou oportunidades de design. Para cada citação, a IA deve acrescentar uma linha "Suposição de diretriz" explicando a inferência. A inclusão dessa explicação inferencial — distinta da mera citação — é o que permite ao pesquisador, na validação seguinte, julgar se a inferência é razoável ou se a IA está extrapolando; sem essa coluna, Suposição se confundiria com Certeza.

(5.5) Validação humana das Suposições e julgamento da inferência [híbrido]: para cada Suposição, o pesquisador verifica a literalidade da citação contra o ILB; avalia a plausibilidade da inferência proposta — se ela é defensável a partir do trecho citado ou se exige conhecimento externo aos ILB; e marca o item como "confirmada", "rejeitada", "reclassificada como Certeza" (quando o trecho era mais explícito do que a IA reconheceu) ou "reclassificada como Dúvida". Aqui o pesquisador exerce o julgamento mais delicado de todo o protocolo: aceitar ou recusar uma inferência da IA. O critério é de plausibilidade dentro do horizonte conceitual delimitado pelos materiais carregados, e não a partir de conhecimento externo; esse limite é o que mantém a análise rastreável.

(5.6) Aplicação do *Prompt* C — instrução para Dúvidas [humano]: o pesquisador submete o Prompt C à IA, orientada agora a listar, atividade por atividade, aspectos de design totalmente ausentes dos ILB, sem repetir o que já foi capturado em Certezas ou Suposições. Caracterizar uma Dúvida exige que a IA tenha presente, simultaneamente, o que está nos ILB e o que se esperaria estar a partir das referências sobre LR e DfRL carregadas na sessão. É por isso que o *Prompt* C só faz sentido após as duas rodadas anteriores: ele opera por exclusão.

(5.7) Validação humana das Dúvidas e crivo da pertinência [híbrido]: para cada Dúvida, o pesquisador confirma que o aspecto realmente não consta dos ILB; avalia se a Dúvida é pertinente — se aponta para uma lacuna projetual relevante ou apenas para uma questão operacional fora do escopo da legislação; e consolida a lista final. Esse crivo evita que a lista de Dúvidas inflacione com aspectos secundários; o critério é a relevância projetual, e a pergunta-chave é se a ausência apontada compromete a viabilidade das atividades de LR.

(5.8) Consolidação das três listas validadas [humano]: o pesquisador reúne, em um único registro, as três listas após a validação humana — Certezas confirmadas, Suposições confirmadas e Dúvidas consolidadas —, registrando para cada item a citação literal de origem,

quando aplicável, a página, e qualquer reclassificação ocorrida ao longo dos micropassos 5.3, 5.5 e 5.7. Esse registro consolidado é o produto da Etapa 5 e o insumo da Etapa 6; é a partir dele que a Matriz CSD será montada — não diretamente das saídas brutas da ferramenta.

Etapa 6 — Construção e Validação da Matriz CSD

A etapa final transforma o registro consolidado da Etapa 5 na Matriz CSD apresentada como produto desta pesquisa, com nove Certezas, dezenove Suposições e cinquenta e uma Dúvidas. Os seis micropassos a seguir detalham os procedimentos de redação, agregação e verificação cruzada que conduzem ao produto final.

(6.1) Redação de cada Certeza no formato de diretriz de projeto [humano]: o pesquisador reescreve cada citação confirmada como uma diretriz de projeto — frase iniciada por verbo no infinitivo, redigida no nível de abstração adequado para uso por designers (por exemplo, "Garantir identificação visível dos materiais constituintes do produto para apoio à triagem na fonte"). A citação literal do ILB raramente está na forma de uma diretriz operável; a reescrita é, portanto, uma operação de tradução autoral — do texto normativo para a linguagem projetual — que cabe exclusivamente ao pesquisador. A rastreabilidade é preservada porque cada diretriz mantém referência ao trecho de origem.

(6.2) Redação de cada Suposição no formato de diretriz inferida [humano]: para cada Suposição confirmada, o pesquisador redige a diretriz que decorre da inferência, preservando a forma verbal infinitiva e indicando, no registro de origem, que se trata de uma diretriz inferida e não literal. A distinção formal entre diretriz literal (Certeza) e diretriz inferida (Suposição) é o que permite, mais à frente, que outros pesquisadores ou avaliadores discutam a robustez de cada categoria; manter o tipo de origem rastreado é parte do compromisso com a transparência metodológica.

(6.3) Redação de cada Dúvida como lacuna específica [humano]: o pesquisador reescreve cada Dúvida consolidada em formato de lacuna identificada — "Ausência de orientações sobre [aspecto] para [atividade de LR]" —, mantendo a vinculação à atividade correspondente. Diretrizes e Dúvidas são produtos de natureza diferente: as primeiras orientam o projeto, as segundas apontam para o que ainda precisa ser regulado. A diferença formal de redação evita que sejam tratadas no mesmo plano em discussões posteriores.

(6.4) Verificação cruzada por categorias teóricas [híbrido]: o pesquisador submete o conjunto consolidado a uma verificação cruzada, perguntando se cada diretriz está realmente vinculada à atividade de LR correta e como tratar diretrizes que poderiam pertencer a mais de uma atividade. A IA pode ser solicitada a sinalizar inconsistências aparentes, mas a decisão

final sobre cada vinculação é do pesquisador. A ferramenta é útil aqui como verificador independente — ela pode flagrar inconsistências que um humano cansado deixaria passar —, mas a vinculação atividade-diretriz envolve julgamento conceitual fino que cabe ao pesquisador. Esta é a única operação da Etapa 6 em que a IA contribui novamente, e em papel auxiliar.

(6.5) Triangulação amostral com análise manual [humano]: o pesquisador seleciona uma amostra de diretrizes — sugere-se aproximadamente 20% do total — e refaz a análise manualmente, sem apoio da IA, partindo dos ILB e chegando à diretriz redigida; em seguida, compara o resultado manual com o produzido pelo protocolo híbrido e documenta discrepâncias, se houver. Esta triangulação é o que permite afirmar, com base em evidência empírica, que o protocolo híbrido produz resultados consistentes com a análise puramente manual; para um pesquisador replicador, a triangulação amostral é o controle de qualidade que habilita a confiança no procedimento.

(6.6) Consolidação da Matriz CSD final [humano]: o pesquisador organiza as três listas validadas e redigidas — nove Certezas, dezenove Suposições e cinquenta e uma Dúvidas — na Matriz CSD final, conforme apresentada no Quadro 2.3 do Artigo 1; encerra formalmente o protocolo e arquiva os registros das etapas anteriores como anexo de rastreabilidade. O encerramento formal com arquivamento dos registros é o que permite, posteriormente, que qualquer terceiro audite o caminho percorrido entre o ILB original e a diretriz final; sem esse arquivamento, a rastreabilidade existe na prática, mas não é demonstrável.

Os *prompts* A, B e C apresentados na sequência deste apêndice correspondem, respectivamente, aos micropassos 5.1, 5.4 e 5.6 da Etapa 5 descrita acima. Sua formulação literal permite a um pesquisador replicador reproduzir as três rodadas de análise em corpus distintos, preservando a coerência metodológica do protocolo aqui descrito. O conjunto completo dos achados produzidos pela aplicação deste protocolo — com cada uma das vinte e oito diretrizes vinculada ao seu recorte literal de origem e à respectiva localização no texto legal (Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico e seus Componentes + Anexo VI Manual Operacional Básico (2019) — encontra-se sistematizado no Apêndice E desta dissertação.

Prompts formulados – Plataforma Claude.ai

Observações gerais válidas para os três prompts:

- Idioma de resposta: Português claro e formal.

*- Traga citações **integrais** do ILB entre aspas, indicando página/cláusula.*

- Siga exatamente a ordem das 10 atividades de Logística Reversa (Melo et al., 2022).

- Quando não houver conteúdo pertinente, registre "— Não identificado —".

Prompt A · Diretrizes explícitas (Certezas)

Contexto: Você recebeu o texto completo do Acordo Setorial de Eletroeletrônicos 2019 e seu Anexo VI.

Tarefa:

1. Para cada uma das 10 atividades de Logística Reversa, **localize apenas trechos diretos e inequívocos** que contenham de forma clara e explícita **orientações de projeto de produto** (design) que viabilizem cada atividade, de modo que identifiquemos as **Certezas** que irão compor posteriormente a Matriz CSD.
2. Apresente-os em um artefato em forma de tabela com duas colunas: Atividade | Trecho citado + referência de página.
3. Exclua qualquer menção vaga, excessivamente genérica ou operacional que não configure de forma literal diretriz clara de design.

Prompt B · Suposições (inferências possíveis)

Contexto: Mantemos o foco no mesmo ILB, agora aliado ao conceito de Suposições da Matriz CSD.

Tarefa:

1. Identifique passagens que sugiram, ainda que indiretamente ou de forma incompleta, requisitos ou oportunidades de design para cada atividade.
2. Para cada citação, acrescente uma linha "**Suposição de diretriz**:" explicando de forma sucinta como o trecho poderia embasar uma orientação de projeto.
3. Use o mesmo formato matricial do *prompt* A, mas adicionando a coluna **Suposição** logo após a coluna de trecho citado.

Prompt C · Dúvidas e Lacunas (não coberto)

Contexto: Buscamos agora construir o componente "Dúvidas" da Matriz CSD.

Tarefa:

1. Volte ao texto do ILB e, para cada atividade, **liste aspectos de design totalmente ausentes** — nem diretos nem deduzíveis — indicando de forma clara as lacunas.
2. Estruture o resultado em *bullet points* sob o título de cada atividade, precedidos por "**Lacuna:**".
3. Não repita elementos já contemplados em Certezas ou Suposições; concentre-se no que ainda precisa ser potencialmente contemplado dentro dos ILB.

Instrução final ao modelo (aplicável a cada prompt):

> "Limite-se ao solicitado; restrinja sua base de consulta teórica apenas aos materiais inseridos no projeto (artigos, instrumentos legais e demais materiais teóricos definidos a partir da revisão de literatura); não forneça análises críticas adicionais baseadas em outras fontes no decorrer das etapas."

O Quadro B.1 apresenta a caracterização técnica da ferramenta de IA generativa utilizada nesta pesquisa, incluindo a identificação dos modelos disponíveis na plataforma durante o período de coleta e análise dos dados (início de 2025 a início de 2026), as especificações operacionais relevantes para o protocolo adotado e a evolução cronológica dos modelos, de modo a contextualizar o estágio tecnológico em que a análise foi conduzida.

Quadro B.1 — Caracterização técnica da ferramenta de IA utilizada na pesquisa	
Ferramenta	Claude.ai
Empresa desenvolvedora	Anthropic, PBC (*Public Benefit Corporation*), sediada em San Francisco, Califórnia, EUA. Fundada em 2021 por Dario Amodei e Daniela Amodei, ex-pesquisadores da OpenAI.
Site oficial	https://claude.ai
Tipo de tecnologia	Modelo de Linguagem de Grande Escala (*Large Language Model* — LLM) de IA generativa, com capacidade de processamento e geração de texto, análise de imagens e documentos.
Método de treinamento	*Constitutional AI* (Bai *et al*., 2022) — técnica que orienta o modelo a reconhecer e declarar incertezas, buscar acurácia e evitar respostas infundadas, por meio de um conjunto de princípios éticos internos denominado *constituição* (Anthropic, 2025).
Janela de contexto	200.000 tokens (equivalente a aproximadamente 150.000 palavras ou mais de 500 páginas de texto), permitindo o carregamento simultâneo de múltiplos documentos extensos em uma única sessão de análise — requisito operacional para o protocolo adotado nesta pesquisa. A partir de setembro de 2025, a Anthropic disponibilizou até 1.000.000 de tokens para modelos selecionados.
Idiomas suportados	Multilíngue, com desempenho consistente em Língua Portuguesa — o que dispensou etapas intermediárias de tradução dos Instrumentos Legais Brasileiros analisados (Outras ferramentas funcionavam melhor em Língua Inglesa).
Tipos de entrada aceitos	Texto, imagens (PNG, JPEG, GIF, WebP) e documentos (PDF). A plataforma permitiu o carregamento direto dos ILB e dos artigos de referência conceitual na sessão de análise.
Modalidades de acesso e plano utilizado	Gratuita e paga. Esta pesquisa utilizou o plano ***Claude Pro*** (US$ 20/mês, à época), que amplia os limites de uso, prioriza o acesso aos modelos mais recentes e garante disponibilidade contínua durante sessões longas de análise.
Plataformas disponíveis	Interface web (claude.ai), aplicativo para dispositivos móveis (iOS e Android), aplicativo desktop (macOS e Windows), e acesso via API para desenvolvedores. Também disponível em plataformas de computação em nuvem: Amazon Bedrock (AWS), Vertex AI (Google Cloud) e Microsoft Azure.

Funcionalidades relevantes para a pesquisa	Conversação em sessões persistentes (o modelo mantém o contexto ao longo de uma sessão); carregamento de múltiplos documentos simultaneamente; geração de tabelas estruturadas a partir de instruções em linguagem natural (*prompts*); citação literal de trechos com indicação de localização no documento-fonte; e declaração explícita de incerteza ou ausência de informação ("Não identificado").
Limitações observadas	O modelo não garante acurácia absoluta nas citações — todas as saídas foram submetidas à validação humana por conferência direta nos documentos-fonte (micropassos 5.3, 5.5 e 5.7 do protocolo). A ferramenta não possui memória entre sessões distintas: cada nova sessão parte de uma janela de contexto vazia, exigindo o recarregamento dos documentos de referência.
Período de utilização nesta pesquisa	Primeiro e segundo semestre de 2025 (etapas de Nivelamento Conceitual, Análise de Conteúdo Assistida por IA e Construção da Matriz CSD do Artigo 1) e início de 2026 (revisões e complementações pós-defesa).

Quadro B.2 — Evolução dos modelos disponíveis na plataforma Claude.ai (fev25 a mar26)

Modelo / Data de lançamento	Principais avanços em relação à versão anterior
Claude Sonnet 3.7 Fevereiro de 2025	Introduziu o modo de raciocínio estendido (*extended thinking*), que permite ao modelo processar etapas intermediárias de raciocínio antes de gerar a resposta final. Janela de contexto de 200.000 *tokens*. Capacidade de saída ampliada para até 128.000 *tokens* no modo de raciocínio estendido. Este foi o modelo utilizado na fase principal de coleta e análise de dados desta pesquisa, por meio do plano *Claude Pro*.
Claude Opus 4 Maio de 2025	Modelo de maior capacidade da geração Claude 4. Classificado pela Anthropic no nível 3 de sua escala interna de segurança (em quatro níveis). Projetado para tarefas de longa duração, com capacidade de operação autônoma por períodos de várias horas. Janela de contexto de 200.000 *tokens*.
Claude Sonnet 4 Maio de 2025	Modelo intermediário da geração Claude 4, lançado simultaneamente ao Opus 4. Introduziu o uso de ferramentas em paralelo e melhorias na adesão a instruções complexas em relação ao Sonnet 3.7. Manteve a mesma faixa de preço do modelo anterior (US$ 3/15 por milhão de *tokens* de entrada/saída).
Claude Sonnet 4.5 Setembro de 2025	Modelo intermediário da geração 4.5. Introduziu, em versão beta, janela de contexto de 1.000.000 de *tokens*. Incorporou recursos voltados à construção de agentes autônomos (*Agent SDK*), com memória persistente e coordenação de subagentes. Capacidade de operação contínua em tarefas de codificação por períodos superiores a 30 horas.
Claude Opus 4.5 Novembro de 2025	Modelo de maior capacidade da geração 4.5. Ampliou o desempenho em tarefas de produção de documentos, planilhas e apresentações. Introduziu o recurso *Infinite Chats*, voltado ao gerenciamento de conversas que excedem a janela de contexto padrão.
Claude Opus 4.6 Fevereiro de 2026	Modelo de maior capacidade da geração 4.6. Suporte nativo a janela de contexto de 1.000.000 de *tokens*, sem necessidade de ativação em modo beta. Introduziu o recurso de equipes de agentes (*agent teams*), permitindo coordenação de múltiplos agentes em tarefas complexas.
Claude Sonnet 4.6 Fevereiro de 2026	Modelo intermediário da geração 4.6, com suporte nativo a 1.000.000 de *tokens* de contexto. Último modelo lançado antes do encerramento das atividades de revisão desta dissertação (março de 2026).

Fonte: Autor (2026), com base em Anthropic (2025; 2026) e na documentação oficial da plataforma Claude.ai.

APÊNDICE C — INSTRUMENTO DE COLETA

Diretrizes de Projeto baseadas nos Instrumentos Legais Brasileiros de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

Prezado(a) participante,

Este instrumento de coleta faz parte da pesquisa "Diretrizes de Design para a Logística Reversa de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos no Brasil: Uma abordagem baseada nos Instrumentos Legais", desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia (PPGTEC) da Universidade do Estado do Pará.

Justificativa e Objetivos da Pesquisa: O objetivo geral desta pesquisa é propor diretrizes de design para a logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos fundamentadas em Instrumentos Legais Brasileiros voltados à implementação de cadeias de suprimentos reversas destes resíduos. Os resultados deste questionário serão utilizados para propor diretrizes mais robustas e aplicáveis para o desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos que facilitem os processos de logística reversa, contribuindo para a sustentabilidade do setor.

Procedimentos da Pesquisa: Sua participação consiste em avaliar as diretrizes propostas quanto à sua essencialidade para a validação de cada item respondendo às perguntas do questionário.

Riscos e Desconfortos: Embora a participação nesta pesquisa apresente riscos mínimos relativos à identificação do participante, você poderá sentir eventual desconforto ou cansaço durante o preenchimento do instrumento de avaliação. Para minimizar estes riscos, os pesquisadores envolvidos não identificarão os participantes nos questionários e você poderá interromper o preenchimento a qualquer momento e retomá-lo quando se sentir confortável, sem qualquer penalização.

Garantia de Liberdade: Sua participação é voluntária e você tem plena liberdade para recusar-se a participar ou retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma.

Garantia de Sigilo e Privacidade: Todas as informações coletadas serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos, sendo garantido o sigilo sobre sua identidade durante todas as fases da pesquisa. Os dados obtidos serão tratados de forma confidencial, preservando sua privacidade.

Garantia de Acesso ao TCLE: Você poderá fazer o download deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, bem como do Projeto Detalhado na íntegra, conforme foi submetido e aprovado pelo Conselho de Ética em Pesquisa com Humanos (CEP/UEPA - CAAE: 88914325.5.0000.5174). Para isso, acesse o link a seguir:

https://drive.google.com/file/d/1CZcW_UIFZjWXlAWJK-j9dP7MoTr-aDrn/view?usp=sharing

O tempo médio estimado para a finalização do questionário é de 10 minutos.

Perfil do participante:

Formação acadêmica mais elevada:

☐Ensino Médio Incompleto ☐Ensino Médio Completo ☐Nível Superior

☐Especialização ☐Mestrado ☐Doutorado

Área de atuação:

☐ Design para Sustentabilidade ☐ Economia Circular ☐ Logística Reversa

Tempo de experiência na área (em anos): _____

Email: _____

Instruções para preenchimento:

Para cada diretriz apresentada, avalie seu grau de essencialidade para o desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos que, em fim de vida útil, viabilizam a execução da logística reversa, conforme a escala abaixo:

- **Essencial**: a diretriz de projeto avaliada na questão é indispensável para o desenvolvimento de produtos que, em fim de vida útil, viabilizam a execução da logística reversa.
- **Importante, mas não essencial**: a diretriz de projeto avaliada na questão contribui, mas não é indispensável para o desenvolvimento de produtos que, em fim de vida útil, viabilizam a execução da logística reversa.
- **Não importante**: a diretriz de projeto avaliada na questão não é relevante para o desenvolvimento de produtos que, em fim de vida útil, viabilizam a execução da logística reversa.

Validação das Diretrizes de Projeto:

Atividade: Integração

1. Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, forneçam informações visíveis e claras sobre os canais de logística reversa autorizados, facilitando a integração do sistema e evitando desvios.

   ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

   Comentário ou sugestão (opcional):

   _____

2. Projetar produtos e suas embalagens, considerando um sistema integrado de Logística Reversa que receba todos os componentes do produto, acessórios e insumos, ao longo de seus diferentes fins de ciclos de vida.

   ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

   Comentário ou sugestão (opcional):

   _____

Atividade: Aquisição de Resíduos

3. Projetar produtos que incluam informações claras sobre descarte correto, incentivando e facilitando a participação do consumidor a iniciar o processo de logística reversa.

   ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

   Comentário ou sugestão (opcional):

   _____

4. Projetar produtos que mantenham sua integridade física mesmo após o fim de sua vida útil, facilitando seu armazenamento seguro até o momento da coleta.

   ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

   Comentário ou sugestão (opcional):

   _____

Atividade: Triagem na Fonte

5. Incorporar características visuais ou códigos aos produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, facilitem a identificação e classificação rápida do produto durante o processo de triagem inicial.

   ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

   Comentário ou sugestão (opcional):

   _____

6. Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, mantenham suas características identificáveis mesmo após uso prolongado, facilitando o processo de triagem na fonte sem necessidade de descaracterização.

   ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

   Comentário ou sugestão (opcional):

   _____

Atividade: Coleta

7. Padronizar formatos e dimensões dos produtos que, em fim de sua vida útil, facilitem os seus acondicionamentos seguros nos recipientes de coleta.

   ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

   Comentário ou sugestão (opcional):

   _____

8. Incluir no produto instruções claras sobre como ele deve ser descartado nos recipientes coletores, complementando as informações dos próprios recipientes.

   ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

   Comentário ou sugestão (opcional):

   _____

Atividade: Transporte

9. Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser manuseados, incluindo a carga, descarga e transporte, com o devido cuidado para evitar quebras.♦

   ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

   Comentário ou sugestão (opcional):

   _____

10. Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser embalados ou armazenados de modo que se minimize os riscos de quebras durante o transporte em condições normais.♦

    ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

    Comentário ou sugestão (opcional):

    _____

11. Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a basculação descontrolada de recipientes coletores contendo produtos eletroeletrônicos frágeis.♦

    ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

    Comentário ou sugestão (opcional):

    _____

12. Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a necessidade de trituração, prensagem ou compactação em qualquer fase do transporte, mantendo a integridade física e química dos materiais.♦

    ☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

    Comentário ou sugestão (opcional):

    _____

13. Projetar produtos com tubos de raio catódico (CRT) que, em fim de sua vida útil, possam ser mantidos intactos durante o transporte, facilitando seu tratamento adequado nas empresas desmontadoras.♦

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

14. Projetar produtos com CRT considerando que, em caso de fragmentação, em fim de sua vida útil, possam ser acondicionados em recipientes que evitem a dispersão dos fragmentos.♦

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

15. Projetar produtos com CRT de forma que, em fim de sua vida útil, possam ser transportados separadamente de outros eletroeletrônicos na mesma carga, com proteção adequada para reduzir impactos.♦

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

16. Desenvolver produtos com cabos destacáveis ou sistemas de gerenciamento de cabos que minimizem riscos durante o manuseio e transporte após o descarte.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

17. Incluir no produto instruções claras sobre peso e recomendações de empilhamento para o transporte na logística reversa.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

Atividade: Inspeção/Teste

18. Projetar acessórios facilmente identificáveis e removíveis para facilitar a inspeção e avaliação inicial.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

19. Utilizar componentes que minimizem a liberação de substâncias particuladas quando manuseadas durante a inspeção e teste.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

Atividade: Armazenagem

20. Empregar materiais resistentes a variações de umidade e temperatura, facilitando o armazenamento em diversas condições.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

21. Incorporar sistemas de identificação ou rastreamento que reduzam a possibilidade de extravios durante o armazenamento.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

Atividade: Desmontagem

22. Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, permitam separar eficientemente seus principais componentes e/ou partes constituintes, classificáveis em plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro e componentes de tratamento especial. ♦

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

23. Projetar produtos cujos métodos de desmontagem e remoção de partes e peças, em fim de sua vida útil, preservem a integridade dos componentes, evitando danos que possam gerar emissões de substâncias poluentes ao meio ambiente e à saúde humana. ♦

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

24. Facilitar tanto a desmontagem manual quanto mecânica, aumentando a eficiência do processo independente da técnica utilizada.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

25. Incluir no produto instruções de desmontagem segura ou identificação clara de componentes de risco, auxiliando o trabalho do pessoal que realizará a desmontagem.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

Atividade: Classificação

26. Incluir no produto marcações claras ou características físicas que facilitem a identificação e classificação por tipo, linha e tecnologia durante a triagem.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

27. Projetar produtos que facilitem a separação dos diferentes tipos de materiais (plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro), viabilizando sua redistribuição para os respectivos canais de reciclagem ou tratamento.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

Atividade: Redistribuição

28. Projetar produtos considerando a facilidade de encaminhamento para diferentes opções de reintegração na cadeia de suprimentos reversa, com identificação clara dos tipos de materiais e sua reciclabilidade.

☐ Essencial ☐ Importante, mas não essencial ☐ Não importante

Comentário ou sugestão (opcional):

_____

Agradecimento

Agradecemos sinceramente sua valiosa contribuição para esta pesquisa. Seu conhecimento e experiência são fundamentais para a validação destas diretrizes de design, que visam aprimorar a logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil.

APÊNDICE D — MATRIZ DE CERTEZAS, SUPOSIÇÕES E DÚVIDAS (CSD)

Matriz CSD: Certezas - Diretrizes de Projeto Explicitamente Presentes nos ILB

	ATIVIDADES	DIRETRIZES DE PROJETO IDENTIFICADAS
CERTEZAS	TRANSPORTE (7diretrizes)	- Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser manuseados, incluindo a carga, descarga e transporte, com o devido cuidado para evitar quebras. - Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser embalados ou armazenados de modo que se minimize os riscos de quebras durante o transporte em condições normais. - Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a basculação descontrolada de recipientes coletores contendo produtos eletroeletrônicos frágeis. - Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a necessidade de trituração, prensagem ou compactação em qualquer fase do transporte, mantendo a integridade física e química dos materiais. - Projetar produtos com tubos de raio catódico (CRT) que, em fim de sua vida útil, possam ser mantidos intactos durante o transporte, facilitando seu tratamento adequado nas empresas desmontadoras. - Projetar produtos com CRT considerando que, em caso de fragmentação, em fim de sua vida útil, possam ser acondicionados em recipientes que evitem a dispersão dos fragmentos. - Projetar produtos com CRT de forma que, em fim de sua vida útil, possam ser transportados separadamente de outros eletroeletrônicos na mesma carga, com proteção adequada para reduzir impactos.
	DESMONTAGEM (2 diretrizes)	- Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, permitam separar eficientemente seus principais componentes e/ou partes constituintes, classificáveis em plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro e componentes de tratamento especial. - Projetar produtos cujos métodos de desmontagem e remoção de partes e peças, em fim de sua vida útil, preservem a integridade dos componentes, evitando danos que possam gerar emissões de substâncias poluentes ao meio ambiente e à saúde humana.

Matriz CSD: Suposições - Diretrizes de Projeto Parcialmente Contempladas nos ILB

	ATIVIDADES	PROPOSTAS DE DIRETRIZES DE PROJETO
SUPOSIÇÕES	INTEGRAÇÃO (2 diretrizes)	- Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, forneçam informações visíveis e claras sobre os canais de logística reversa autorizados, facilitando a integração do sistema e evitando desvios. - Projetar produtos e suas embalagens, considerando um sistema integrado de logística reversa que receba todos os componentes do produto, acessórios e insumos, ao longo de seus diferentes fins de ciclos de vida.
	AQUISIÇÃO DE RESÍDUOS (2 diretrizes)	- Projetar produtos que incluam informações claras sobre descarte correto, incentivando e facilitando a participação do consumidor a iniciar o processo de logística reversa. - Projetar produtos que mantenham sua integridade física mesmo após o fim de sua vida útil, facilitando seu armazenamento seguro até o momento da coleta.

TRIAGEM NA FONTE (2 diretrizes)	- Incorporar características visuais ou códigos aos produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, facilitem a identificação e classificação rápida do produto durante o processo de triagem inicial. - Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, mantenham suas características identificáveis mesmo após uso prolongado, facilitando o processo de triagem na fonte sem necessidade de descaracterização.
COLETA (2 diretrizes)	- Padronizar formatos e dimensões dos produtos que, em fim de sua vida útil, facilitem os seus acondicionamentos seguros nos recipientes de coleta. - Incluir no produto instruções claras sobre como ele deve ser descartado nos recipientes coletores, complementando as informações dos próprios recipientes.
TRANSPORTE (2 diretrizes)	- Desenvolver produtos com cabos destacáveis ou sistemas de gerenciamento de cabos que minimizem riscos durante o manuseio e transporte após o descarte. - Incluir no produto instruções claras sobre peso e recomendações de empilhamento para o transporte na logística reversa.
INSPEÇÃO/ TESTE (2 diretrizes)	- Projetar acessórios facilmente identificáveis e removíveis para facilitar a inspeção e avaliação inicial. - Utilizar componentes que minimizem a liberação de substâncias particuladas quando manuseadas durante a inspeção e teste.
ARMAZENAGEM (2 diretrizes)	- Empregar materiais resistentes a variações de umidade e temperatura, facilitando o armazenamento em diversas condições. - Incorporar sistemas de identificação ou rastreamento que reduzam a possibilidade de extravios durante o armazenamento.
DESMONTAGEM (2 diretrizes)	- Facilitar tanto a desmontagem manual quanto mecânica, aumentando a eficiência do processo independente da técnica utilizada. - Incluir no produto instruções de desmontagem segura ou identificação clara de componentes de risco, auxiliando o trabalho do pessoal que realizará a desmontagem.
CLASSIFICAÇÃO (2 diretrizes)	- Incluir no produto marcações claras ou características físicas que facilitem a identificação e classificação por tipo, linha e tecnologia durante a classificação. - Projetar produtos que facilitem a separação dos diferentes tipos de materiais (plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro), viabilizando sua redistribuição para os respectivos canais de reciclagem ou tratamento.
REDISTRIBUIÇÃO (1 diretriz)	- Projetar produtos considerando a facilidade de encaminhamento para diferentes opções de reintegração na cadeia de suprimentos reversa, com identificação clara dos tipos de materiais e sua reciclabilidade.

Matriz CSD: Dúvidas - Lacunas Identificadas nos ILB

	ATIVIDADES	LACUNAS
DÚVIDAS	INTEGRAÇÃO (5 lacunas)	- Não há orientações sobre como os produtos deveriam ser projetados para facilitar a integração de informações entre os diferentes atores da cadeia reversa. - Ausência de diretrizes de projeto sobre a incorporação de identificação padronizada nos produtos para facilitar seu rastreamento ao longo do processo de logística reversa. - Não há menção a sistemas de informação incorporados ao produto que permitam acessar seus dados técnicos relevantes para o processamento na logística reversa. - Falta de orientação sobre como os produtos deveriam comunicar sua composição material e procedimentos de desmontagem para facilitar a integração dos processos. - Ausência de requisitos para padronização de componentes entre diferentes fabricantes, o que facilitaria a integração dos processos de logística reversa.
	AQUISIÇÃO DE RESÍDUOS (5 lacunas)	- Não há diretrizes para o design de produtos que incentivem o consumidor a retorná-los ao sistema de logística reversa. - Ausência de orientações sobre como o produto deveria comunicar ao consumidor os procedimentos e locais para descarte adequado. - Falta de requisitos sobre incorporação de características físicas no produto que facilitem sua identificação como candidato para logística reversa. - Não há menção a sistemas de recompensa ou incentivo incorporados ao design do produto para estimular seu retorno. - Ausência de orientação sobre como projetar produtos que mantenham sua integridade até o momento da aquisição pelo sistema de logística reversa.
	TRIAGEM NA FONTE (5 lacunas)	- Não há diretrizes sobre como os produtos deveriam ser projetados para facilitar a avaliação rápida de seu estado e valor potencial de recuperação. - Ausência de orientações sobre sistemas de codificação ou marcação que permitam identificação rápida dos produtos durante a triagem na fonte. - Falta de especificações sobre características físicas que facilitem a verificação da funcionalidade do produto no ponto de entrada do sistema. - Não há requisitos para incorporação de indicadores de estado que permitam avaliar a condição do produto sem necessidade de testes complexos. - Ausência de orientações sobre como os produtos deveriam comunicar a presença de componentes de alto valor ou perigosos para facilitar decisões de aceitação.
	COLETA (5 lacunas)	- Não há diretrizes de projeto sobre dimensões, formato ou outras características físicas dos produtos que facilitem seu acondicionamento em recipientes de coleta padronizados. - Ausência de orientações sobre como projetar produtos para facilitar o empilhamento ou agrupamento durante a coleta. - Falta de requisitos para incorporação de características que reduzam o volume ocupado pelos produtos descartados nos sistemas de coleta. - Não há orientações sobre como o design poderia facilitar diferentes modalidades de coleta (residencial, pontos de entrega etc.). - Ausência de diretrizes para projetar produtos com resistência adequada para suportar as condições típicas do processo de coleta.

TRANSPORTE (5 lacunas)	- Não há diretrizes específicas sobre como os produtos deveriam ser projetados para otimizar o espaço durante o transporte. - Ausência de orientações sobre características físicas que facilitem a fixação ou estabilização dos produtos durante o transporte. - Falta de requisitos de design que minimizem o risco de danos durante o transporte, além das orientações gerais sobre manuseio. - Não há especificações sobre como projetar produtos para resistir às vibrações e impactos típicos do transporte. - Ausência de diretrizes projetuais sobre incorporação de características que permitam empilhamento seguro durante o transporte.
INSPEÇÃO/ TESTE (5 lacunas)	- Não há diretrizes sobre como os produtos deveriam ser projetados para facilitar a avaliação de seu funcionamento sem desmontagem completa. - Ausência de orientações sobre incorporação de pontos de teste ou diagnóstico que facilitem a avaliação da funcionalidade. - Falta de requisitos para sistemas de autodiagnóstico que permitam avaliação rápida do estado do produto. - Não há diretrizes projetuais sobre como o produto deveria comunicar seu histórico de uso ou ciclos de vida para auxiliar na avaliação. - Ausência de orientações sobre como identificar facilmente componentes com defeito ou desgaste para facilitar a inspeção.
ARMAZENAGEM (5 lacunas)	- Não há diretrizes específicas sobre como os produtos deveriam ser projetados para facilitar o armazenamento eficiente. - Ausência de orientações sobre características físicas que permitam empilhamento seguro durante o armazenamento. - Falta de requisitos para resistência a condições ambientais típicas de armazenamento (umidade, temperatura etc.) além das orientações gerais. - Não há especificações sobre características que minimizem o risco de vazamentos ou liberação de substâncias durante o armazenamento. - Ausência de diretrizes sobre como projetar produtos para facilitar sua organização em sistemas de armazenamento por categoria ou tipo.
DESMONTAGEM (6 lacunas)	- Não há diretrizes específicas sobre como projetar produtos para desmontagem fácil e segura. - Ausência de orientações sobre tipos de junções ou fixações que facilitariam a desmontagem (ex: uso de encaixes em vez de soldas). - Falta de requisitos para sequência lógica de desmontagem que deveria ser considerada no projeto. - Não há especificações sobre o tempo máximo desejável para desmontagem completa ou acesso a componentes críticos. - Ausência de diretrizes projetuais sobre como indicar no produto os pontos e métodos de desmontagem. - Falta de requisitos para padronização de ferramentas necessárias para desmontagem.
CLASSIFICAÇÃO (5 lacunas)	- Não há diretrizes de projeto sobre como os produtos e componentes deveriam ser marcados para facilitar sua identificação e classificação. - Ausência de orientações sobre sistemas de codificação de materiais que deveriam ser incorporados no design. - Falta de requisitos para características físicas que permitam separação automática de diferentes tipos de materiais. - Não há especificações sobre como projetar produtos para facilitar a separação de componentes por valor ou periculosidade. - Ausência de diretrizes projetuais sobre como identificar visualmente diferentes tipos de plásticos, metais e outros materiais para facilitar a classificação.

	REDISTRIBUIÇÃO (6 lacunas)	- Não há diretrizes sobre como os produtos deveriam ser projetados para facilitar o reaproveitamento de seus componentes em novos ciclos produtivos. - Ausência de orientações sobre características de design que facilitariam a reutilização ou remanufatura de componentes. - Falta de requisitos para padronização de componentes que poderiam ser redistribuídos para diferentes aplicações. - Não há especificações sobre como projetar produtos para maximizar o valor dos materiais recuperados. - Ausência de diretrizes de projeto sobre critérios de qualidade para componentes que poderiam ser redistribuídos. - Falta de orientações sobre como o design poderia facilitar diferentes opções de redistribuição (reuso, remanufatura, reciclagem).

Fonte: Autor (2026).

APÊNDICE E — QUADRO DE RASTREABILIDADE ENTRE DIRETRIZES E INSTRUMENTOS LEGAIS BRASILEIROS

Este apêndice apresenta o quadro completo de rastreabilidade entre as vinte e oito diretrizes de projeto identificadas no Artigo 1 e os trechos literais dos Instrumentos Legais Brasileiros que deram origem a cada uma delas, evidenciando o caminho analítico percorrido pelo protocolo híbrido descrito no Apêndice B. Cada linha registra o identificador da diretriz, a atividade de Logística Reversa associada, a categoria CSD (Certeza ou Suposição), a redação final da diretriz de projeto, o recorte literal extraído do documento-fonte e sua localização precisa no Anexo VI — Manual Operacional Básico do Acordo Setorial de 2019, único entre os Instrumentos Legais analisados que fornece especificações técnicas em nível de detalhe suficiente para fundamentar diretrizes de projeto. As nove Certezas correspondem a orientações explícitas e inequívocas presentes no texto normativo, distribuídas entre as atividades de Transporte (sete diretrizes) e Desmontagem (duas diretrizes). As dezenove Suposições resultam de inferências interpretativas a partir de passagens que tratam de requisitos para o sistema operacional — e não de características projetuais do produto —, distribuídas entre as oito demais atividades de Logística Reversa. As Dúvidas, por constituírem lacunas regulatórias e, portanto, não disporem de recorte literal correspondente, não são apresentadas neste quadro.

ID	Atividade de LR	Categoria CSD	Diretriz de projeto	Recorte literal do Acordo Setorial 2019 (Anexo VI)	Localização (rastreabilidade)
D01	**Integração**	**Suposição**	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, forneçam informações visíveis e claras sobre os canais de logística reversa autorizados, facilitando a integração do sistema e evitando desvios.	*"os recipientes coletores deverão estar em local acessível ao usuário, deverão ser sinalizados, identificados e conter instruções claras para o seu uso".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 4 (Descarte pelo Consumidor em Pontos de Recebimento), 4º item dos requisitos para Pontos de Recebimento, p. 3.
D02	**Integração**	**Suposição**	Projetar produtos e suas embalagens considerando um sistema integrado de logística reversa que receba todos os componentes do produto, acessórios e insumos, ao longo de seus diferentes fins de ciclos de vida.	*"os pontos de consolidação deverão estar protegidos para impedir danos e extravios dos produtos eletroeletrônicos e seus assessórios".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 6 (Pontos de Consolidação/Armazenamento), 4º item dos requisitos básicos, p. 6.
D03	**Aquisição de Resíduos**	**Suposição**	Projetar produtos que incluam informações claras sobre descarte correto, incentivando e facilitando a participação do consumidor a iniciar o processo de logística reversa.	*"Descartar os Produtos Eletroeletrônicos de forma adequada, em um dos Pontos de Recebimento, com observância de todos os procedimentos e todas as orientações relativos aos descartes constantes dos manuais dos produtos ou dos demais meios de comunicação previstos na Cláusula Décima Quinta deste Acordo Setorial".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 4 (Descarte pelo Consumidor), Item III das orientações ao consumidor, p. 3.

ID	Atividade de LR	Categoria CSD	Diretriz de projeto	Recorte literal do Acordo Setorial 2019 (Anexo VI)	Localização (rastreabilidade)
D04	**Aquisição de Resíduos**	**Suposição**	Projetar produtos que mantenham sua integridade física mesmo após o fim de sua vida útil, facilitando seu armazenamento seguro até o momento da coleta.	*"Armazenar os Produtos Eletroeletrônicos separadamente das outras frações de resíduos sólidos, observando a manutenção de sua integridade física para evitar riscos à saúde humana ou danos ao ambiente".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 4 (Descarte pelo Consumidor), Item I das orientações ao consumidor, p. 2.
D05	**Triagem na Fonte**	**Suposição**	Incorporar características visuais ou códigos aos produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, facilitem a identificação e classificação rápida do produto durante o processo de triagem inicial.	*"A etapa de triagem poderá ser realizada no ponto de consolidação/armazenamento, com o objetivo de separar os produtos eletroeletrônicos por similaridade, a fim de otimizar o transporte para empresas especializadas de manufatura reversa".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 7 (Triagem), 1º parágrafo, p. 6.
D06	**Triagem na Fonte**	**Suposição**	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, mantenham suas características identificáveis mesmo após uso prolongado, facilitando o processo de triagem na fonte sem necessidade de descaracterização.	*"No processo de triagem é importante ressaltar que não haverá, em hipótese alguma, a descaracterização dos produtos eletroeletrônicos, atendendo as especificações de periculosidade já mencionadas neste manual".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 7 (Triagem), 3º parágrafo, p. 6.
D07	**Coleta**	**Suposição**	Padronizar formatos e dimensões dos produtos que, em fim de sua vida útil, facilitem os seus acondicionamentos seguros nos recipientes de coleta.	*"os recipientes disponibilizados para coleta dos produtos eletroeletrônicos descartados deverão garantir que não haja movimentação, quebra, ou desmonte destes durante o descarte e o transporte primário, bem como evitar o seu contato direto com o ambiente externo".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 4 (Descarte pelo Consumidor), 3º item dos requisitos para Pontos de Recebimento, p. 3.
D08	**Coleta**	**Suposição**	Incluir no produto instruções claras sobre como ele deve ser descartado nos recipientes coletores, complementando as informações dos próprios recipientes.	*"os recipientes coletores deverão estar em local acessível ao usuário, deverão ser sinalizados, identificados e conter instruções claras para o seu uso".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 4 (Descarte pelo Consumidor), 4º item dos requisitos para Pontos de Recebimento, p. 3.
D09	**Transporte**	**Certeza**	Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser manuseados, incluindo a carga, descarga e transporte, com o devido cuidado para evitar quebras.	*"os produtos eletroeletrônicos deverão ser manuseados, incluindo a carga, descarga e transporte, com o devido cuidado para evitar quebras".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 5 (Transporte dos Produtos Eletroeletrônicos), 1º item dos critérios e procedimentos, p. 4.
D10	**Transporte**	**Certeza**	Projetar produtos eletroeletrônicos que, em fim de sua vida útil, possam ser embalados ou armazenados de modo que se minimize os riscos de quebras durante o transporte em condições normais.	*"os produtos eletroeletrônicos devem ser embalados ou armazenados de modo que se minimize os riscos de quebras durante o transporte em condições normais".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 5 (Transporte dos Produtos Eletroeletrônicos), 2º item dos critérios e procedimentos, p. 4.

ID	Atividade de LR	Categoria CSD	Diretriz de projeto	Recorte literal do Acordo Setorial 2019 (Anexo VI)	Localização (rastreabilidade)
D11	**Transporte**	**Certeza**	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a basculação descontrolada de recipientes coletores contendo produtos eletroeletrônicos frágeis.	*"não é permitida a basculação descontrolada de recipientes coletores contendo produtos eletroeletrônicos frágeis".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 5 (Transporte dos Produtos Eletroeletrônicos), 3º item dos critérios e procedimentos, p. 4.
D12	**Transporte**	**Certeza**	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, evitem a necessidade de trituração, prensagem ou compactação em qualquer fase do transporte, mantendo a integridade física e química dos materiais.	*"não é permitida a trituração, prensagem ou compactação de produtos eletroeletrônicos em nenhuma das fases de transporte, não podendo ocorrer nenhuma transformação na estrutura físico e química do produto".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 5 (Transporte dos Produtos Eletroeletrônicos), 4º item dos critérios e procedimentos, p. 4.
D13	**Transporte**	**Certeza**	Projetar produtos com tubos de raio catódico (CRT) que, em fim de sua vida útil, possam ser mantidos intactos durante o transporte, facilitando seu tratamento adequado nas empresas desmontadoras.	*"Os CRT devem ser mantidos intactos durantes o transporte, de modo que facilite o seu tratamento adequado ao chegar às empresas desmontadoras".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 5.1 (Produtos Eletroeletrônicos com Tubos de Raios Catódicos — CRT), 1º item das recomendações, p. 5.
D14	**Transporte**	**Certeza**	Projetar produtos com CRT considerando que, em caso de fragmentação, em fim de sua vida útil, possam ser acondicionados em recipientes que evitem a dispersão dos fragmentos.	*"Em caso de fragmentação, os CRT devem ser empacotados em recipientes que evitem a dispersão dos fragmentos".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 5.1 (CRT), 2º item das recomendações, p. 5.
D15	**Transporte**	**Certeza**	Projetar produtos com CRT de forma que, em fim de sua vida útil, possam ser transportados separadamente de outros eletroeletrônicos na mesma carga, com proteção adequada para reduzir impactos.	*"Ao transportar CRT em meio a outros produtos eletroeletrônicos em uma mesma carga, recomenda-se separá-los com camadas de plástico bolha, espuma ou outra forma de reduzir o impacto".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 5.1 (CRT), 3º item das recomendações, p. 5.
D16	**Transporte**	**Suposição**	Desenvolver produtos com cabos destacáveis ou sistemas de gerenciamento de cabos que minimizem riscos durante o manuseio e transporte após o descarte.	*"Recomenda-se cuidado ao manusear e transportar estes produtos eletroeletrônicos, em especial com os cabos para evitar acidentes no momento da carga e descarga".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 5.1 (CRT), 4º item das recomendações, p. 5.
D17	**Transporte**	**Suposição**	Incluir no produto instruções claras sobre peso e recomendações de empilhamento para o transporte na logística reversa.	*"Colocar os produtos mais pesados na base do carregamento".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 5.2 (Impressoras, Faxes, Fotocopiadoras e Outros Similares), 1º item das recomendações, p. 5.
D18	**Inspeção/ Teste**	**Suposição**	Projetar acessórios facilmente identificáveis e removíveis para facilitar a inspeção e avaliação inicial.	*"A separação consiste na identificação e segregação por linha, tipo de produto e/ou tecnologia específica para destinação final ambientalmente adequada, onde apenas os acessórios poderão ser removidos".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 8 (Reciclagem e Destinação Final Ambientalmente Adequada), 1º parágrafo (continuação na p. 7), p. 6–7.

ID	Atividade de LR	Categoria CSD	Diretriz de projeto	Recorte literal do Acordo Setorial 2019 (Anexo VI)	Localização (rastreabilidade)
D19	**Inspeção/ Teste**	**Suposição**	Utilizar componentes que minimizem a liberação de substâncias particuladas quando manuseadas durante a inspeção e teste.	*"os produtos eletroeletrônicos devem ser manuseados e armazenados com o devido cuidado para evitar a emissão de substâncias particuladas para o ar, para a água ou para o solo, resultando em possíveis impactos".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 8 (Reciclagem e Destinação Final), 3º item das recomendações para áreas de separação e desmontagem, p. 7.
D20	**Armazenagem**	**Suposição**	Empregar materiais resistentes a variações de umidade e temperatura, facilitando o armazenamento em diversas condições.	*"os produtos eletroeletrônicos devem ser armazenados em local preferencialmente coberto e protegidos de umidade ou elevadas temperaturas".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 8 (Reciclagem e Destinação Final), 2º item das recomendações para áreas de separação e desmontagem, p. 7.
D21	**Armazenagem**	**Suposição**	Incorporar sistemas de identificação ou rastreamento que reduzam a possibilidade de extravios durante o armazenamento.	*"os Pontos de Recebimento devem ser instalados em local seco, limpo e seguro contra furtos, extravios e avarias ao recipiente coletor, com cobertura, sinalizado, sobre piso impermeável"; e "os pontos de consolidação deverão estar protegidos para impedir danos e extravios dos produtos eletroeletrônicos e seus assessórios".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 4 (1º item dos requisitos para Pontos de Recebimento, p. 3) e Seção 6 (4º item dos requisitos para pontos de consolidação/armazenamento, p. 6).
D22	**Desmontagem**	**Certeza**	Projetar produtos que, em fim de sua vida útil, permitam separar eficientemente seus principais componentes e/ou partes constituintes, classificáveis em plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro e componentes de tratamento especial.	*"A desmontagem envolve o manuseio dos equipamentos de modo a separar seus principais componentes e/ou partes constituintes dos produtos eletroeletrônicos, sendo classificados de forma geral em plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro e componentes de tratamento especial".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 8 (Reciclagem e Destinação Final), 2º parágrafo, p. 7.
D23	**Desmontagem**	**Certeza**	Projetar produtos cujos métodos de desmontagem e remoção de partes e peças, em fim de sua vida útil, preservem a integridade dos componentes, evitando danos que possam gerar emissões de substâncias poluentes ao meio ambiente e à saúde humana.	*"os métodos de desmontagem e remoção (de partes e peças) não deverão danificar nem destruir componentes de forma que possam dar origem a emissões de substâncias poluentes ao meio ambiente e à saúde humana".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 8 (Reciclagem e Destinação Final), 4º item das recomendações para áreas de separação e desmontagem, p. 7.
D24	**Desmontagem**	**Suposição**	Facilitar tanto a desmontagem manual quanto mecânica, aumentando a eficiência do processo independente da técnica utilizada.	*"A desmontagem pode ser realizada manual ou mecanicamente, sendo que em alguns casos, as empresas realizam os dois processos, dependendo da eficiência obtida com cada tipo de produto a ser tratado".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 8 (Reciclagem e Destinação Final), 3º parágrafo, p. 7.
D25	**Desmontagem**	**Suposição**	Incluir no produto instruções de desmontagem segura ou identificação clara de componentes de risco, auxiliando o trabalho do pessoal que realizará a desmontagem.	*"as instalações devem contar com pessoal capacitado e treinado corretamente, além de prover todas as condições de segurança necessárias para diminuir os riscos aos trabalhadores".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 8 (Reciclagem e Destinação Final), 1º item das recomendações para áreas de separação e desmontagem, p. 7.

ID	Atividade de LR	Categoria CSD	Diretriz de projeto	Recorte literal do Acordo Setorial 2019 (Anexo VI)	Localização (rastreabilidade)
D26	**Classificação**	**Suposição**	Incluir no produto marcações claras ou características físicas que facilitem a identificação e classificação por tipo, linha e tecnologia durante a classificação.	*"A separação consiste na identificação e segregação por linha, tipo de produto e/ou tecnologia específica para destinação final ambientalmente adequada".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 8 (Reciclagem e Destinação Final), 1º parágrafo (continuação na p. 7), p. 6–7.
D27	**Classificação**	**Suposição**	Projetar produtos que facilitem a separação dos diferentes tipos de materiais (plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro), viabilizando sua redistribuição para os respectivos canais de reciclagem ou tratamento.	*"sendo classificados de forma geral em plásticos, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro e componentes de tratamento especial".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 8 (Reciclagem e Destinação Final), 2º parágrafo, p. 7.
D28	**Redistribuição**	**Suposição**	Projetar produtos considerando a facilidade de encaminhamento para diferentes opções de reintegração na cadeia de suprimentos reversa, com identificação clara dos tipos de materiais e sua reciclabilidade.	*"A intenção geral de cada etapa descrita nesse manual é possibilitar que materiais complexos possam ser separados, de acordo com especificações e cuidados específicos, permitindo que seja mantida a qualidade necessária para otimizar seu valor de mercado e garantindo a segurança ambiental e para a saúde dos trabalhadores envolvidos".*	Anexo VI — Manual Operacional Básico, Seção 9 (Considerações Finais), 2º parágrafo, p. 8.

Fonte: Autor (2026), com base no Anexo VI do Acordo Setorial de 2019.

ANEXOS

ANEXO A — Parecer de Aprovação da Pesquisa pelo Comitê de Ética (CEP/UEPA)

UEPA - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ- CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - CAMPUS II

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Diretrizes de Design para a Logística Reversa de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos no Brasil: Uma abordagem baseada nos Instrumentos Legais

Pesquisador: VINICIUS LIRA DO CARMO
Área Temática:
Versão: 1
CAAE: 88914325.5.0000.5174
Instituição Proponente: Universidade do Estado do Pará - CAMPUS V
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.624.410

Apresentação do Projeto:

O presente projeto de pesquisa visa propor diretrizes de design para a logística reversa (LR) de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (WEEE), fundamentadas nos Instrumentos Legais Brasileiros (ILB) relacionados à implementação de cadeias de suprimentos reversas. A problemática central reside no baixo índice de reciclagem formal desses resíduos no Brasil, apesar da existência de um arcabouço legal robusto, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e decretos complementares. Adota-se uma abordagem metodológica mista. A etapa qualitativa contempla uma revisão sistemática da literatura sobre Design para Logística Reversa (DfRL) e uma análise documental dos principais ILB voltados à gestão de WEEE, aplicando-se análise de conteúdo com suporte de inteligência artificial (IA). A etapa quantitativa consiste na validação das diretrizes de projeto identificadas, por meio do método Lawshe, com a participação de especialistas das áreas de Design Sustentável, Logística Reversa e Economia Circular. A pesquisa será conduzida de forma remota, com coleta de dados realizada via questionário eletrônico. Os dados obtidos serão analisados estatisticamente para verificar o grau de consenso entre os especialistas quanto à essencialidade de cada diretriz proposta. Espera-se que os resultados contribuam para práticas de design mais alinhadas às exigências legais brasileiras e que fomentem a transição do setor eletroeletrônico para modelos mais sustentáveis e circulares.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Propor diretrizes de design para a logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, fundamentadas nos instrumentos legais brasileiros voltados à implementação de cadeias de suprimentos reversas.

Objetivo Secundário:

- Identificar os instrumentos legais pertinentes à implementação de cadeias de suprimentos reversas de resíduos eletroeletrônicos;
- Categorizar, nos instrumentos legais analisados, as diretrizes de projeto relacionadas à logística reversa de WEEE;
- Validar as diretrizes de projeto propostas junto a especialistas em Design Sustentável, Logística Reversa e Economia Circular.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Presentes e de acordo com as resoluções n°466/12 e n°510/16 do CNS/CONEP.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa interessante para a área em estudo.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os documentos de apresentação obrigatória estão anexados.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sem pendência.

Considerações Finais a critério do CEP:

Após a avaliação pelos referees que compõem o Comitê de Ética em Pesquisa do CCBS/UEPA e aprovação, em reunião de colegiado, no mês de Maio de 2025, a proposta atendeu as exigências das Resoluções em vigor.

Conforme as Resoluções 466/12 e 510/2016, é atribuição do CEP acompanhar o desenvolvimento dos projetos, por meio de relatórios semestrais dos pesquisadores e de outras estratégias de monitoramento, de acordo com o risco inerente a pesquisa. Ressaltamos as seguintes atribuições do pesquisador: Desenvolver o projeto conforme delineado; Elaborar e apresentar os relatórios parcial (is) e final até 60 dias após o seu término (como notificação); Apresentar dados solicitados pelo CEP ou pela CONEP a qualquer momento; Manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda responsabilidade, por um período de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa; Encaminhar os resultados da pesquisa para

publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico integrante do projeto. Justificar fundamentadamente, perante o CEP, qualquer modificação (emenda) ou interrupção do projeto e identificar nas Informações Básicas tais mudanças.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2557644.pdf	19/05/2025 13:53:20		Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto_CEP_assinado.pdf	19/05/2025 13:50:56	VINICIUS LIRA DO CARMO	Aceito
Declaração de concordância	DECLARACAO_DE_CONCORDANCIA_CEP_assinado_assinado.pdf	13/05/2025 17:03:00	VINICIUS LIRA DO CARMO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_CEP.docx	13/05/2025 16:46:14	VINICIUS LIRA DO CARMO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Submissao_Plataforma_Brasil_CEP_OK.docx	13/05/2025 16:45:23	VINICIUS LIRA DO CARMO	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

BELEM, 06 de Junho de 2025

Assinado por:
REGINA GABRIELA CALDAS DE MORAES
(Coordenador(a))

Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia PPGTEC – Mestrado
Tv. Enéas Pinheiro, 2626, Marco, Belém-PA, CEP: 66095-100
http://ccnt.uepa.br/ppgtec/