



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Kamylle Gasperin

**Reciclagem de Módulos Fotovoltaicos no Brasil: Um Estudo da
Legislação e a Percepção das Empresas do Setor**

Araranguá

2025

Kamylle Gasperin

**Reciclagem de Módulos Fotovoltaicos no Brasil: Um Estudo da
Legislação e a Percepção das Empresas do Setor**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Energia do Centro Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli

Coorientadora: Dra. Letícia Toreti Scarabelot

Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Elizeire Bremermann

Araranguá

2025

Gasperin, Kamyllle

Reciclagem de Módulos Fotovoltaicos no Brasil: : Um Estudo da Legislação e a Percepção das Empresas do Setor / Kamyllle Gasperin ; orientador, Giuliano Arns Rampinelli , coorientadora, Letícia Toreti Scarabelot, coorientador, Leonardo Elizeire Bremermann, 2025.

59 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Módulos Fotovoltaicos. 3. Economia Circular. 4. Legislação. I. Rampinelli , Giuliano Arns . II. Scarabelot, Letícia Toreti . III. Bremermann, Leonardo Elizeire IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Energia. V. Título.

Kamylle Gasperin

Reciclagem de Módulos Fotovoltaicos no Brasil: Um Estudo da Legislação e a Percepção das Empresas do Setor.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Giuliano Arns Rampinelli, Dr. (Orientador)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luiz Fernando Belchior Ribeiro, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Marinna Pereira Pivatto, Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Araranguá, 27 de novembro de 2025.

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheira de Energia.

Prof.^a Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dra.
Coordenadora do Curso

Prof. Giuliano Arns Rampinelli, Dr.
Orientador

Kamylle Gasperin
Autora

Araranguá, 27 de novembro de 2025.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, à Nossa Senhora de Fátima, aos meus pais e ao meu namorado. Dedico-o também ao meu futuro eu, que colherá os frutos desta jornada de aprendizado, esforço e crescimento.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiro, a Deus e a Nossa Senhora de Fátima, pela fé e pela força em todo momento da graduação.

Aos meus pais, Vanilde e Antonio Luiz meus pilares, minha base, minha maior força. Esta conquista é, na verdade, nossa. Tudo o que sou e tudo o que alcancei só foi possível porque vocês estavam lá. Vocês abdicaram de tantos sonhos seus para que eu pudesse viver os meus. Se hoje ocupo essa vaga, é por causa de cada renúncia, luta e reza de vocês. Palavras jamais serão suficientes para dizer o quanto eu amo e agradeço a vocês.

Na minha memória e no meu coração, meus avós, que sei que olham por mim e se orgulham lá de cima. E à minha avó Graciosa, obrigada por ser esse refúgio de paz na minha vida. Todo dia que ligo e peço as "fofoquinhas", que primeiro me pergunta como estou e depois me pede, com todo carinho, para ter paciência e muita calma.

Ao meu parceiro e amor, Gustavo. Obrigada por enfrentar esse turbilhão comigo e por estar ao meu lado nas horas boas e, principalmente, em todas as ruins. Obrigada por acreditar em mim mais do que eu mesma, por me incentivar, me lembrar que sou capaz e me mostrar que tudo era, sim, possível. Você tornou tudo infinitamente mais leve.

Aos meus orientadores, Leonardo e Letícia. Minha eterna gratidão. Leonardo, obrigada pelo apoio incondicional a todo momento e por ser um exemplo de profissionalismo que guardarei com carinho. Letícia, minha chefe, amiga e coorientadora, obrigada por todo o incentivo e por sempre acreditar no meu potencial. Vocês criaram um lugar onde me senti segura, orientada e verdadeiramente acolhida.

Aos meus amigos, que a vida transformou em família. À Paola Spinello, minha amiga de infância, obrigada por sempre me apoiar mesmo de longe, ser meu refúgio e minha "doutora" de confiança. À Paola Telles, presente do colégio e irmã de vida, pela nossa sintonia que supera os quilômetros. Ao Jonathan e a Marília, minha família da faculdade, por dividirmos tantos sonhos e desafios, e por comemorarem cada vitória juntos. A todos os outros amigos que fizeram parte desta jornada, o meu muito obrigada.

Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.

(Ayrton Senna)

RESUMO

A transição energética global e nacional tem destacado a energia solar fotovoltaica (FV) como uma solução crucial. No entanto, a rápida expansão desta tecnologia impõe um desafio logístico e ambiental iminente: a gestão eficiente do volume crescente de resíduos de módulos FV ao final de sua vida útil (estimada em 25 anos) e o descarte prematuro. Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo principal analisar a gestão de resíduos FV no Brasil, examinando a legislação vigente e a percepção das empresas que atuam no setor. A metodologia empregada combinou uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para mapear o arcabouço teórico e regulatório internacional e nacional, seguida por uma Pesquisa de Campo (*Survey*) de natureza exploratória, aplicada a empresas brasileiras do setor FV. Os resultados da investigação apontaram para uma lacuna regulatória significativa no Brasil e um notável descompasso entre a taxa de crescimento do mercado e o nível de maturidade das práticas de descarte e reciclagem, em franco contraste com o panorama internacional. Verificou-se um estágio incipiente de desenvolvimento, caracterizado pela baixa adesão das empresas a programas formais de logística reversa e reciclagem. As principais barreiras identificadas incluem a carência de infraestrutura especializada, os altos custos operacionais e a limitada conscientização dos consumidores sobre o tema. Não obstante os desafios, o setor demonstrou reconhecer um potencial latente para o desenvolvimento de um novo segmento de mercado, alinhado aos princípios da economia circular. As oportunidades que envolvem o estabelecimento de parcerias estratégicas com empresas recicladoras e a inovação tecnológica nos processos de reaproveitamento de materiais. Em conclusão, a sustentabilidade de longo prazo da cadeia FV no Brasil exige a implementação urgente de uma abordagem integrada. Esta deve focar no alinhamento e coerência do arcabouço legal, no fomento à infraestrutura de coleta e processamento, e na colaboração efetiva entre os setores público e privado, garantindo que a energia solar FV se consolide como uma fonte verdadeiramente sustentável em todo o seu ciclo de vida.

Palavras-chave: Módulos Fotovoltaicos; Legislação; Economia Circular.

ABSTRACT

The global and national energy transition has highlighted photovoltaic (PV) solar energy as a crucial solution. However, the rapid expansion of this technology poses an imminent logistical and environmental challenge: the efficient management of the growing volume of PV module waste at the end of their service life (estimated at 25 years) and the premature disposal of modules. This undergraduate thesis aimed to analyze PV waste management in Brazil by examining the current legislation and the perceptions of companies operating in the sector. The methodology employed combined a Systematic Literature Review (SLR) to map the international and national theoretical and regulatory frameworks, followed by an exploratory Field Survey applied to Brazilian companies in the PV sector. The findings revealed a significant regulatory gap in Brazil and a notable mismatch between the market's growth rate and the maturity level of disposal and recycling practices, in sharp contrast to the international scenario. The sector was found to be in an early stage of development, characterized by low adherence to formal reverse logistics and recycling programs. The main barriers identified include the lack of specialized infrastructure, high operational costs, and limited consumer awareness regarding the issue. Despite these challenges, the sector acknowledged a latent potential for the emergence of a new market segment aligned with the principles of the circular economy. The opportunities identified involve establishing strategic partnerships with recycling companies and fostering technological innovation in material recovery processes. In conclusion, the long-term sustainability of the PV value chain in Brazil requires the urgent implementation of an integrated approach. This approach should focus on aligning and strengthening the legal framework, promoting investment in collection and processing infrastructure, and encouraging effective collaboration between public and private stakeholders, ensuring that PV solar energy becomes a truly sustainable source throughout its entire life cycle.

Keywords: Photovoltaic Modules; Legislation; Circular Economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ranking mundial em GW de capacidade instalada de energia solar FV em 2024	17
Figura 2 - Componentes de um módulo FV	18
Figura 3 - Diagrama de sistemas de economia circular.....	22
Figura 4 - Ilustração de uma célula FV (A), um módulo FV (B), e um conjunto de módulos FV (C)	23
Figura 5 - Etapas de reciclagem dos componentes dos módulos FV.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição dos módulos FV de primeira e segunda geração.....	25
Tabela 2 - Perfil das empresas participantes da pesquisa por função principal.....	40
Tabela 3 - Principais desafios	44
Tabela 4 - Principais oportunidades.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício Amorfo
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPV	<i>Concentrated Photovoltaics</i> (Fotovoltaica de Concentração)
c-Si	Silício Cristalino
DSSC	<i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (Célula Solar Sensibilizada por Corante)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVA	<i>Ethylene Vinyl Acetate</i> (Acetato-vinilo de etileno)
FV	Fotovoltaico
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
GW	Gigawatt
IEA-PVPS	<i>International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Programme</i>
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia Renovável)
m-Si	Silício Monocristalino
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OPV	<i>Organic Photovoltaics</i> (Fotovoltaica Orgânica)

P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
p-Si	Silício Policristalino
REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
REP	Responsabilidade Estendida do Produtor
REPowerEU	Plano da União Europeia para independência energética e transição verde
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SB	<i>Senate Bill</i> (Projeto de Lei do Senado - usado em legislações estaduais dos EUA)
SICT-Sul	Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense
Si-gM	Silício de Grau Metalúrgico
SIMPPGES	Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
UE	União Europeia
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
WEEE	<i>Waste Electrical and Electronic Equipment</i> (Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos - Diretiva Europeia)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	20
1.1.1	Objetivo geral.....	20
1.1.2	Objetivos específicos	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Ciclo de vida dos módulos fotovoltaicos	21
2.2	Composição dos módulos fotovoltaicos	24
2.3	Impactos ambientais	25
2.4	Classificação dos resíduos fotovoltaicos	26
2.5	Tecnologias e processos de reciclagem	27
2.5.1	Aspectos econômicos da reciclagem	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	Etapa 1: revisão sistemática da literatura (rsi)	29
3.1.1	Planejamento: questões de pesquisa (QP).....	30
3.1.2	Execução da busca: bases e descritores.....	30
3.1.3	Processo de filtragem e seleção	30
3.1.3.1	<i>Crítérios de inclusão (CI):</i>	30
3.1.3.2	<i>Crítérios de exclusão (CE):</i>	31
3.2	Etapa 2: pesquisa de campo (survey)	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1	Cenário atual da legislação	34
4.1.1	Panorama internacional	34
4.1.2	Contexto regulatório brasileiro	36
4.1.3	Resoluções CONAMA e normas técnicas.....	38
4.2	Investigação do cenário brasileiro de reciclagem	38
4.3	Análise das respostas do questionário	40
4.3.1	Perfil das empresas participantes da pesquisa	40
4.3.2	Práticas de coleta, descarte e logística reversa	41
4.3.3	Percepção sobre a legislação e acompanhamento de normas.....	42
4.3.4	Suporte e informações sobre descarte	43
4.3.5	Principais desafios e oportunidades na gestão de resíduos fotovoltaicos ..	44
4.3.6	Perspectivas futuras.....	45

4.4	Aderência à legislação brasileira (pnrs) e lacunas	46
5	CONCLUSÃO	48
5.1	Estudos futuros.....	49
	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICE A — APRESENTAÇÕES EM EVENTOS CIENTÍFICOS	55
	APÊNDICE B -.....	56

1 INTRODUÇÃO

A crise climática emerge como um dos desafios mais prementes do século XXI, impulsionando uma transição energética global. O aumento da temperatura média do planeta, atribuído em grande parte às emissões de gases de efeito estufa (GEE) decorrentes de atividades humanas, notadamente a queima de combustíveis fósseis, tem gerado impactos ambientais, sociais e econômicos significativos (EPE, s.d). Nesse contexto, a busca por fontes de energia mais limpas e sustentáveis tornou-se indiscutível.

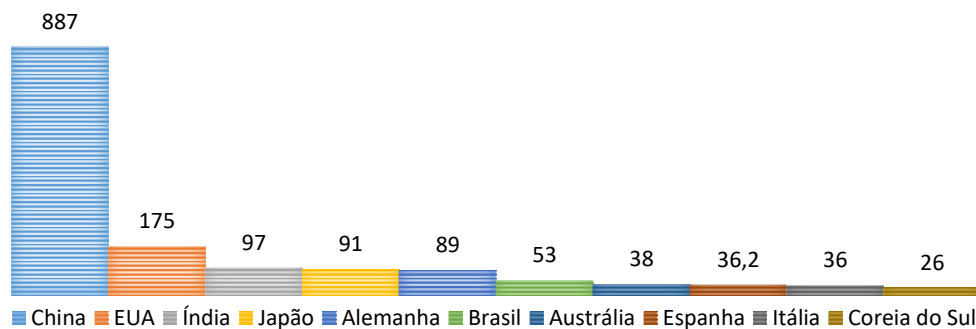
A sustentabilidade no setor energético transcende a esfera ambiental, englobando aspectos sociais e econômicos. A transição para uma economia de baixo carbono deve considerar a geração de empregos, a inclusão social e o desenvolvimento regional, assegurando que os benefícios da nova matriz energética sejam distribuídos de forma justa. A gestão eficiente dos recursos naturais e a minimização dos impactos socioambientais ao longo de todo o ciclo de vida das tecnologias energéticas são fundamentais para garantir uma transição justa e sustentável (IEMA, 2023; BRASIL, 2024).

O compromisso internacional com o enfrentamento das mudanças climáticas foi consolidado no Acordo de Paris, que estabelece metas para limitar o aquecimento global. Alinhados a este acordo, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) fornecem um roteiro para a ação global. Dentre eles, o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) e o ODS 15 (Vida Terrestre) estão diretamente relacionados à transição energética e à gestão sustentável dos recursos (ONU BRASIL, s.d.).

A energia solar fotovoltaica (FV) aparece como uma das principais alternativas na composição de uma matriz energética mais limpa e diversificada. Sua capacidade de converter diretamente a luz solar em eletricidade, sem emissão de GEE durante a operação, confere-lhe um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas e na promoção da segurança energética (IRENA, 2019). A crescente competitividade econômica da energia solar FV, aliada aos seus benefícios ambientais, tem impulsionado sua expansão em escala global e no Brasil. Segundo dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), a capacidade instalada global de energia solar FV atingiu 1.858 GW ao final de 2024, com um acréscimo de 451,9 GW

somente naquele ano. O Brasil encerrou 2024 na 6ª posição do ranking mundial, com 53 GW de capacidade instalada (Figura 1), sendo o 4º país que mais adicionou capacidade FV no ano (15,2 GW), atrás apenas de China (278 GW), Estados Unidos (38,3 GW) e Índia (24,5 GW) (ABSOLAR, 2025).

Figura 1 - Ranking mundial em GW de capacidade instalada de energia solar FV em 2024



Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em Portal Solar (2025).

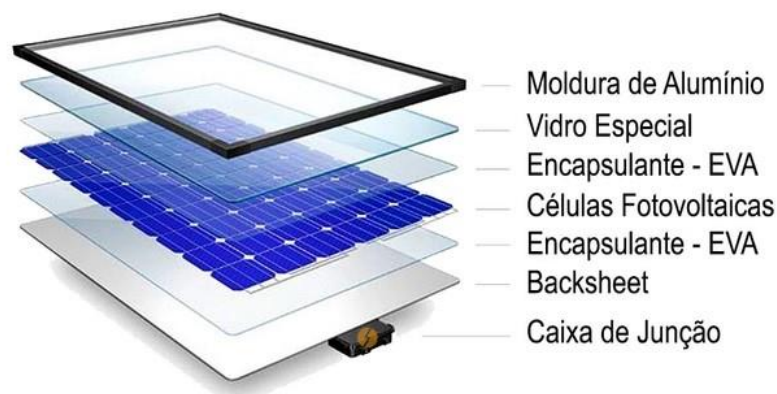
Em março de 2025, o mercado brasileiro já havia atingido 55 GW, sendo 37,4 GW de geração distribuída (GD) e 17,6 GW de geração centralizada (GC), o que representa mais de 22% da matriz elétrica brasileira (CANAL SOLAR, 2025). A GD é definida por instalações conectadas ao sistema de distribuição, onde a geração de energia elétrica ocorre no próprio local de consumo ou em suas proximidades, como em edificações ou pequenas comunidades, visando suprir suas demandas específicas. Em contrapartida, o sistema de GC, também se interliga à rede de distribuição, mas é composto por grandes usinas geralmente situadas em áreas afastadas dos centros de carga, devido à necessidade de grandes espaços (SILVA, 2021).

Contudo, a expansão da energia solar FV traz consigo um novo desafio: a gestão dos resíduos gerados no descomissionamento das usinas, que ocorre ao final da vida útil média, estimada entre 25 a 30 anos, período após o qual a eficiência de conversão energética geralmente cai abaixo de 80% do valor nominal inicial dos módulos FV (PRADO, 2019). Mesmo após esse período, os módulos FV continuam gerando energia elétrica, embora estejam com rendimento reduzido, o que pode justificar sua substituição por equipamentos novos e mais eficientes. É importante ressaltar que a vida útil pode variar significativamente dependendo da qualidade dos

materiais, das condições climáticas locais, da manutenção realizada e de eventuais danos físicos ou falhas prematuras.

Segundo projeções da IRENA (2016), o volume global acumulado de resíduos FV pode atingir entre 60 a 78 milhões de toneladas até 2050. A composição material de um módulo FV de silício cristalino (c-Si), como o apresentado na Figura 2, é majoritariamente constituída por vidro, em seguida, a moldura de alumínio, os polímeros encapsulantes, as células de silício, backsheet e caixa de junção. Além destes, podem conter pequenas quantidades de metais como prata, cobre, chumbo, estanho e, em tecnologias específicas como filmes finos, elementos como cádmio, telúrio, índio, gálio e selênio (PRADO, 2019). Diante desse cenário, há uma demanda crescente por soluções adequadas de coleta, transporte, reciclagem e destinação final para evitar impactos ambientais e o desperdício de recursos valiosos (IRENA; IEA-PVPS, 2016).

Figura 2 - Componentes de um módulo FV



Fonte: Solar, s.d.

Quanto à classificação dos resíduos, os módulos FV podem ser categorizados de acordo com sua periculosidade. Os módulos de silício cristalino (primeira geração), que representam 84% do mercado atual, são geralmente classificados como resíduos Classe I (perigosos), conforme a NBR 10004/2004, por causa de quantidades de chumbo nas soldas e outros metais em concentrações reduzidas. Já os módulos FV de filmes finos (segunda geração), como o silício amorfo, telureto de cádmio (CdTe) e disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS), podem ser classificados como resíduos Classe I (perigosos) devido à presença de metais pesados em concentrações

elevadas, que podem lixiviar e contaminar o solo e águas subterrâneas se descartados inadequadamente (GÓES, 2023).

Exemplo internacional com referência no assunto, demonstram a viabilidade e a importância de sistemas estruturados para a gestão de resíduos FV. A União Europeia, pioneira nesse aspecto, incluiu os módulos FV na Diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) em 2012, estabelecendo metas de coleta e reciclagem e aplicando o princípio da responsabilidade estendida do produtor (UNIÃO EUROPEIA, 2012).

No Brasil, o mercado de energia solar FV tem experimentado um crescimento expressivo, impulsionado por políticas de incentivo e pela redução dos custos da tecnologia (DA ROSA E GASPARIN, 2016). Entretanto, o país ainda carece de uma estrutura regulatória e de infraestrutura consolidada para a gestão dos resíduos FV. A ausência de diretrizes claras, a incipiência de tecnologias de reciclagem em escala comercial e a falta de conscientização dos diversos atores da cadeia produtiva entre outros fatores, representam obstáculos para a implementação de um sistema de logística reversa eficiente e para a promoção da economia circular no setor (AMORIM, 2022).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a obrigatoriedade da logística reversa para diversos setores, incluindo produtos eletroeletrônicos. Contudo, não há ainda regulamentação específica para módulos FV, o que dificulta a implementação de sistemas estruturados de coleta e reciclagem (BRASIL, 2010). Algumas iniciativas pontuais começam a surgir, como empresas especializadas em logística reversa de módulos FV e projetos-piloto de reciclagem, mas ainda são insuficientes diante do crescimento acelerado do setor e do volume de resíduos projetado para as próximas décadas (KONZEN, 2020).

Dada a relevância e atualidade do tema, resultados parciais obtidos durante o desenvolvimento desta pesquisa foram submetidos, aprovados e apresentados em eventos científicos da área de energia e sustentabilidade. A lista completa das publicações e apresentações decorrentes deste estudo encontra-se detalhada no Apêndice A.

Diante desse cenário, torna-se fundamental analisar a perspectiva das empresas do setor solar FV no Brasil em relação à gestão desses resíduos,

identificando os desafios e as oportunidades para o desenvolvimento de soluções sustentáveis.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a legislação vigente e o cenário atual do descarte de módulos FV no Brasil e em outros países, considerando os principais desafios e oportunidades relacionados à destinação adequada desses resíduos ao final da vida útil dos equipamentos.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Realizar uma revisão bibliográfica sobre o estado da arte de legislação e práticas internacionais e brasileiras de descarte de módulos FV;
- b) Investigar o cenário brasileiro de reciclagem de módulos FV com base em dados primários coletados via formulário online com empresas do setor solar;
- c) Mapear os principais agentes da cadeia de valor envolvidos no descarte de módulos FV (fabricantes, distribuidores, integradores, empresas de reciclagem) e suas respectivas responsabilidades.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

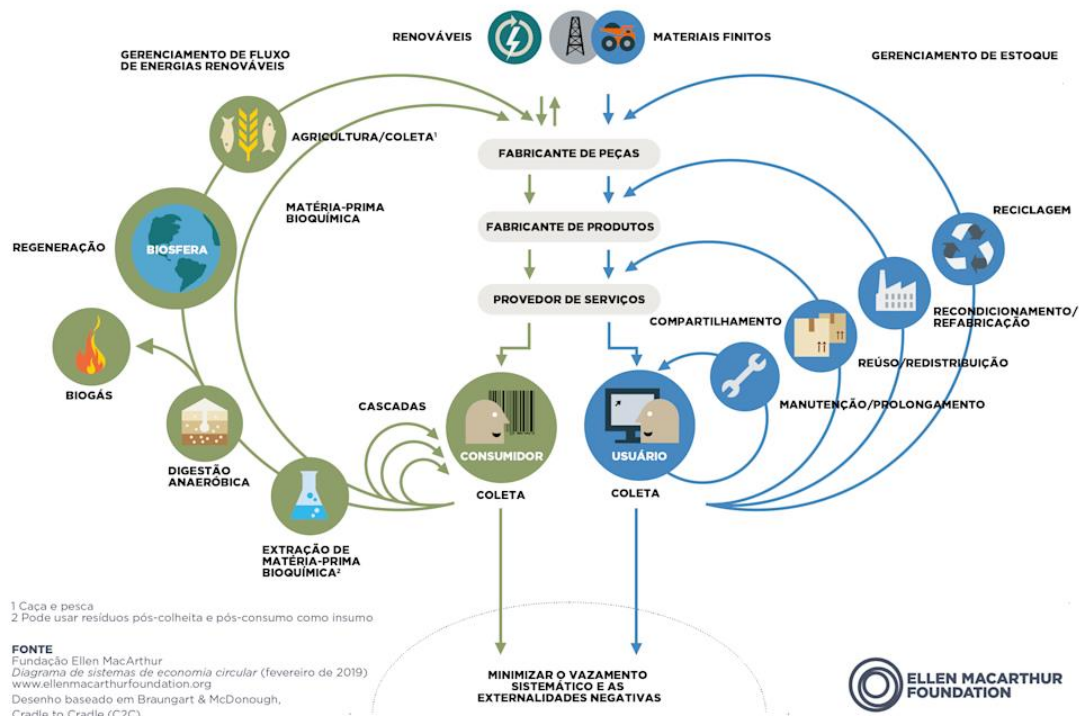
O presente capítulo apresenta uma abordagem sobre os principais temas relacionados à pesquisa, como o ciclo de vida dos módulos FV, seus impactos ambientais, composição e processos de reciclagem. Busca-se, por meio dessa revisão, reunir conceitos e estudos que auxiliem na compreensão do funcionamento e das implicações ambientais desses sistemas, servindo de base para a análise desenvolvida nos capítulos seguintes.

2.1 Ciclo de vida dos módulos fotovoltaicos

O ciclo de vida dos módulos FV envolve diversas etapas, que se estendem desde a extração das matérias-primas até o descarte ou a reciclagem dos equipamentos. De modo geral, esse ciclo é dividido em quatro fases principais: produção (extração de matérias-primas, processamento e fabricação), instalação, operação e descarte.

De acordo com a Fundação Ellen MacArthur (2021), o *diagrama de borboleta* (Figura 3) representa as oportunidades de circularidade existentes em um sistema produtivo, destacando os fluxos biológicos e técnicos de materiais desde a extração até o reuso, remanufatura, reciclagem e regeneração. Esse modelo é amplamente utilizado para ilustrar estratégias de economia circular, aplicáveis também à indústria FV, com o objetivo de reduzir o desperdício e maximizar a recuperação de recursos ao longo do ciclo de vida dos módulos FV.

Figura 3 - Diagrama de sistemas de economia circular



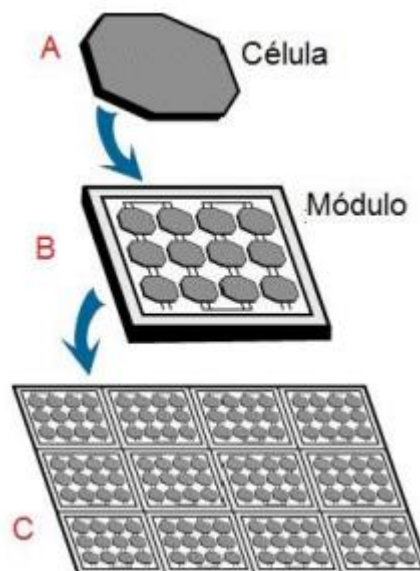
Fonte: FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2021.

Conforme aponta o diagrama, o sistema é dividido em um *tronco* central (produção, provedor de serviços, usuário) e duas *asas* cíclicas. O ciclo da esquerda (biológico) refere-se a materiais renováveis, e o ciclo da direita (técnico) a materiais finitos, sendo este o mais relevante para os módulos FV. O ciclo técnico busca manter o valor dos produtos (como o silício e o alumínio) em circulação através da coleta para manutenção, reuso, remanufatura e, por fim, a reciclagem. Os atores da cadeia produtiva do tronco central, como fabricantes, distribuidores e integradores, são essenciais para viabilizar esses fluxos de coleta e revalorização.

Dando foco à primeira etapa do tronco técnico, a fase de produção inicia-se com a extração de matérias-primas, a mineração das jazidas de quartzo e segue com o processamento da sílica da areia de quartzo que é reduzida para silício de grau metalúrgico (Si-gM) (FTHENAKIS *et al.*, 2008). O silício metalúrgico é convertido em silício eletrônico ou silício de grau solar, onde é empregado o método Siemens ou Siemens modificado para serem posteriormente produzidos os lingotes que poderão ser do tipo monocristalino (m-Si) ou policristalino (p-Si) (PENG *et al.*, 2013). Esses materiais e processos referem-se ao módulo FV de silício cristalino, atualmente o mais utilizado no mercado FV, embora existam diversos outros tipos de tecnologias.

A eficiência da célula FV de silício policristalino é menor que a do silício monocristalino, mesmo sendo fabricados pelo mesmo material (RUTHER, 2004). Após a produção dos lingotes, eles são cortados em espessuras finas para obter as células FV (Figura 4 - A). Conforme as características elétricas de tensão, corrente e potência as células são conectadas em séries e paralelo, formando conjuntos que podem variar entre 36 e 216 células por módulo (Figura 4 - B). Em seguida, essas células são encapsuladas entre camadas de vidro, EVA (etileno-acetato de vinila) e uma camada posterior chamada *backsheet*, mas nos módulos FV mais recentes essa camada nem sempre é utilizada, sendo substituída por uma segunda camada de vidro em módulos do tipo *glass-glass* (vidro-vidro) ou em módulos bifaciais, que aumentam a durabilidade. Por último, é fixada uma moldura de alumínio anodizado e instalada uma caixa para as conexões elétricas (Figura 4 – C) (PINHO E GALDINO, 2014). O layout do conjunto de células FV é apresentado na Figura 4 a seguir:

Figura 4 - Ilustração de uma célula FV (A), um módulo FV (B), e um conjunto de módulos FV (C)



Fonte: Dias, 2015.

A fase de uso corresponde ao período de vida útil média dos módulos FV, estimado entre 25 e 30 anos, ao final do qual ocorre redução da eficiência de conversão de energia. Ainda assim, mesmo após esse intervalo, os módulos FV permanecem capazes de gerar energia elétrica, porém com desempenho energético inferior ao inicial.

O fim de vida dos módulos FV representa um desafio crescente para o setor, pois segundo projeções da IRENA (2016), o volume global acumulado de resíduos FV pode atingir entre 60 e 78 milhões de toneladas até 2050, dependendo das taxas de falha e substituição dos equipamentos. Esse expressivo volume de resíduos, gerados ao final da vida útil ou de forma precoce, demanda soluções eficazes de coleta, transporte, reciclagem e destinação final.

2.2 Composição dos módulos fotovoltaicos

Os módulos FV são estruturas compostas por múltiplas camadas de materiais específicos, cada um com função determinada para garantir eficiência, durabilidade e segurança, sendo classificados em 1^a, 2^a e 3^a geração.

Segundo a GHIZONI (2016), a primeira geração é composta por silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). A segunda geração, também chamada de filmes finos, possui uma ou mais camadas do material FV depositado sobre um substrato (vidro, aço inoxidável, plástico, entre outros). O filme, por sua vez, pode ser feito de diferentes materiais, como silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). A Tabela 1 detalha a composição mássica dessas tecnologias de primeira e segunda geração. Nela, pode-se observar que o vidro é o componente predominante (entre 74% a 95% da massa), seguido por materiais como o alumínio da moldura e os polímeros encapsulantes.

Segundo PINHO & GALDINO (2014), a terceira geração, ainda em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), testes e produção em pequena escala, é dividida em três cadeias produtivas: célula FV multijunção e célula FV para concentração (CPV: *Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (DSSC: *Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas ou poliméricas (OPV: *Organic Photovoltaics*).

Tabela 1 - Composição dos módulos FV de primeira e segunda geração

	Proporção em %			
	c - Si	a-Si	CIS	CdTe
Vidro	74	90	85	95
Alumínio	10	10	12	<0,01
Silício	3	<0,1	0	0
Polímeros	6,5	10	6	3,5
Zinco	0,12	<0,1	0,12	0,01
Chumbo	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01
Cobre	0,6	0	0,85	1
Índio	0	0	0,02	0
Selênio	0	0	0,03	0
Telúrio	0	0	0	0,07
Cádmio	0	0	0	0,07
Prata	<0,006	0	0	<0,01

Fonte: Adaptado de Dias, 2015.

2.3 Impactos ambientais

A produção de componentes FV envolve diversas etapas e a utilização de vários produtos químicos tóxicos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Para que empreendimentos FV de grande porte de GC possam participar dos leilões organizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), é obrigatória a apresentação da licença ambiental correspondente à fase em que o projeto se encontra seja ela prévia, de instalação ou de operação. Essa exigência está alinhada à legislação ambiental federal, como a Lei nº 6.938/81 (BRASIL, 1981), o Decreto nº 99.274/90 (BRASIL, 1990) e as resoluções do CONAMA, podendo também incluir normas estaduais específicas. A emissão da licença requer a realização de estudos que avaliem os impactos ambientais associados à implantação do sistema FV, identificando possíveis danos e suas causas, além de estabelecer medidas de controle e mitigação que contribuam para a sustentabilidade e a conformidade ambiental do projeto (SOARES, 2017).

Segundo Soares (2017), empreendimentos FV com potência nominal de até 5 MW, enquadrados na Resolução nº 482/2012 da ANEEL, geralmente não são obrigados a apresentar licenças ambientais. No entanto, recomenda-se que os responsáveis solicitem junto aos órgãos estaduais a dispensa formal dessa exigência. Essa prática, apesar de prevista na legislação, gera controvérsias, especialmente no caso de minigeradores cuja potência instalada é superior a 75 kW e inferior ou igual a

5 MW, com instalações que podem ocupar grandes áreas e, conseqüentemente, causar impactos ambientais relevantes, mesmo sendo classificados como GD.

Entre os principais impactos ambientais associados aos sistemas FV destacam-se as emissões geradas ao longo das etapas de fabricação, transporte, instalação, operação, manutenção e descarte, bem como a liberação de substâncias tóxicas durante o processamento das matérias-primas empregadas na produção dos módulos e de seus componentes. Esse processo pode envolver a emissão de gases como CO₂, SO₂, NO_x e de material particulado, além da necessidade de ocupação de áreas no momento da instalação, o que pode acarretar supressão de vegetação e perda de habitat, especialmente em regiões ecologicamente sensíveis. Adicionalmente, verificam-se impactos visuais e riscos decorrentes do uso de materiais potencialmente tóxicos nos módulos FV, como arsênio, gálio e cádmio (COSTA *et al.*, 2019).

2.4 Classificação dos resíduos fotovoltaicos

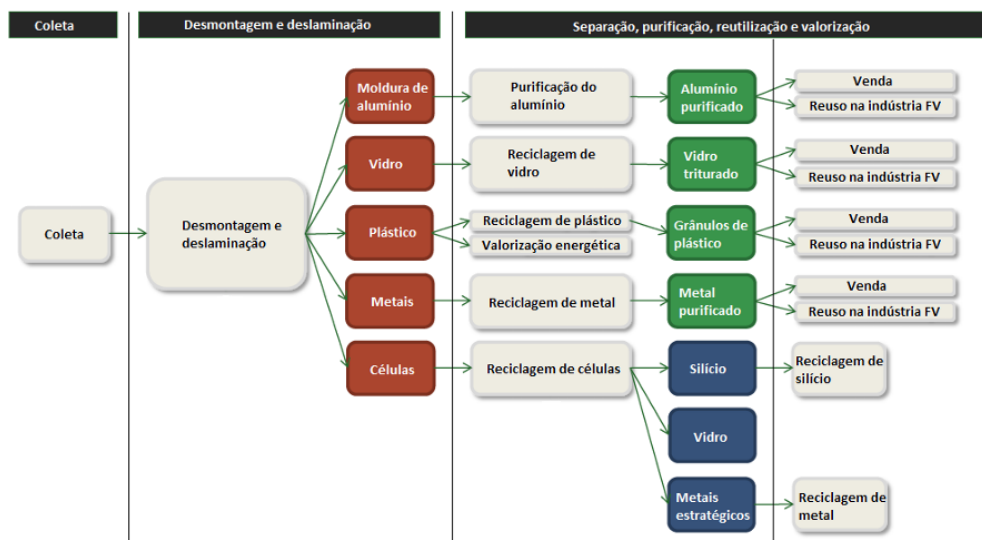
A classificação dos resíduos FV quanto à sua periculosidade é fundamental para definir as estratégias adequadas de manejo, transporte, tratamento e disposição final. No Brasil, a classificação de resíduos sólidos é regulamentada pela norma ABNT NBR 10004/2004, que os categoriza em Classe I (perigosos) e Classe II (não perigosos), sendo esta última subdividida em Classe II A (não inertes) e Classe II B (inertes) (NBR 10004, 2004).

De acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 10005, os módulos FV fabricados com silício policristalino e telureto de cádmio foram classificados como resíduos perigosos (classe I), devido à presença de chumbo e cádmio em concentrações superiores aos limites de tolerância no teste de lixiviação. Já os módulos compostos por a-Si e CIGS, embora não tenham ultrapassado esses limites conforme a NBR 10004, também apresentaram liberação de metais tóxicos com potencial de causar danos ambientais. Por essa razão, na ausência de viabilidade para reciclagem, recomenda-se que esses resíduos sejam destinados a aterros específicos para materiais perigosos (PETROLI *et al.*, 2023).

2.5 Tecnologias e processos de reciclagem

A reciclagem de módulos FV envolve uma série de processos físicos, térmicos e químicos para separar e recuperar os diferentes materiais que os compõem. Segundo a ENERGIÉS (2020), o processo de reciclagem dos módulos FV passa por cinco etapas principais: coleta, desmontagem, separação, reciclagem e a valorização. A recuperação de materiais de alto valor como silício, índio, prata, telúrio e cobre dos módulos FV podem ser utilizados em novos produtos (OLIVEIRA, 2021). Os processos de reciclagem variam conforme o tipo de módulo FV e os materiais a serem recuperados, mas geralmente incluem as seguintes etapas conforme a Figura 5.

Figura 5 - Etapas de reciclagem dos componentes dos módulos FV.



Fonte: Ghizoni, 2016.

Conforme ilustrado na Figura 5, o processo de reciclagem se inicia com a coleta dos módulos FV em fim de vida. Em seguida, eles passam pela etapa central de desmontagem e deslaminção, onde ocorre a separação física dos principais componentes do módulo: a moldura de alumínio, o vidro, o plástico (como encapsulantes), os metais (da caixa de junção e conectores) e as células FV. Após a desmontagem, cada material segue um fluxo de processamento específico para sua valorização. O alumínio passa por purificação, o vidro é encaminhado para reciclagem (trituração), os plásticos são reciclados ou usados para valorização energética, e os metais genéricos são purificados.

A etapa mais complexa é a reciclagem das células FV, cujo objetivo é recuperar os materiais de maior valor. Deste processo são extraídos o silício, o vidro (residual) e os metais estratégicos (prata e cobre), que seguem para seus respectivos processos de reciclagem. O objetivo final é a reinserção dos materiais purificados e triturados na indústria, seja através da venda ou do reuso, fechando o ciclo do produto.

2.5.1 Aspectos econômicos da reciclagem

A análise dos aspectos econômicos da reciclagem de módulos FV é fundamental para compreender a viabilidade e sustentabilidade de longo prazo dos processos de gestão de resíduos no setor solar FV. À medida que o volume de instalações FV cresce exponencialmente em todo o mundo, a questão econômica da reciclagem torna-se cada vez mais relevante, tanto para os fabricantes e distribuidores quanto para os responsáveis de políticas públicas e consumidores finais.

Essa análise econômica está intrinsecamente vinculada ao modelo de economia circular apresentado anteriormente. Conforme ilustrado no diagrama da Figura 3, a viabilidade econômica não se restringe à etapa final de reciclagem, mas envolve a criação de múltiplos “ciclos de valor”. Esse, evidencia que estratégias como o reuso e a remanufatura tendem a ser, em termos teóricos, economicamente mais vantajosas do que a reciclagem, uma vez que preservam o elevado valor agregado do produto. A reciclagem, por sua vez, localizada no ciclo mais externo, concentra-se na recuperação do valor intrínseco das matérias-primas (como prata, silício e alumínio), cuja rentabilidade depende diretamente da relação entre os custos associados à logística reversa e o valor de mercado desses materiais recuperados.

3 METODOLOGIA

O presente estudo delinea-se como uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva, com base na classificação proposta por Gil (2008). É exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com um problema ainda pouco discutido na literatura nacional (o descarte de módulos FV no Brasil), e descritiva, na medida em que busca descrever as características e percepções dos agentes do setor sobre o fenômeno.

A pesquisa é fundamentada em uma abordagem mista (qualiquantitativo), definida por Creswell (2014) como um procedimento que integra a coleta e análise de dados quantitativos e qualitativos, visando uma compreensão mais robusta do problema. A estratégia metodológica foi planejada em duas etapas sequenciais e complementares (qualitativa → qualiquantitativa), com vistas à triangulação de dados:

a) Uma revisão sistemática da literatura (RSL) (Item 4.1), de caráter qualitativo, para mapear o estado da arte e identificar as lacunas teóricas e regulatórias;

b) Uma pesquisa de campo (*Survey*) (Item 4.2), de caráter qualiquantitativo, que utilizou os achados da primeira etapa como alicerce para a elaboração de um questionário, visando investigar a aderência da prática do mercado brasileiro ao cenário descrito na literatura.

A integração destas abordagens objetiva assegurar uma análise abrangente, conciliando a profundidade interpretativa com a objetividade dos dados (Creswell, 2014).

3.1 Etapa 1: revisão sistemática da literatura (Rsl)

Para mapear o estado da arte, esta primeira etapa foi conduzida como uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Este método, conforme descrito por Kitchenham (2004) e demonstrado nos modelos de aplicação, permite analisar e sintetizar informações de estudos existentes de forma estruturada, auditável e replicável. Seguindo as diretrizes de um protocolo de pesquisa, a RSL foi dividida em três fases: planejamento, execução da busca e processo de filtragem e seleção.

3.1.1 Planejamento: questões de pesquisa (QP)

Para guiar a busca e a seleção de artigos, foram definidas as seguintes Questões de Pesquisa (QP), alinhadas aos objetivos deste trabalho:

- I. QP1: Qual o panorama atual da legislação e regulamentação brasileira referente ao descarte e à logística reversa de módulos FV?
- II. QP2: Quais os principais modelos de gestão e legislação (ex: Diretiva WEEE na Europa) adotados internacionalmente que podem servir de *benchmark* para o Brasil?
- III. QP3: Quais as principais barreiras (logísticas, tecnológicas e econômicas) para a implementação da reciclagem de módulos FV no contexto brasileiro?

3.1.2 Execução da busca: bases e descritores

A busca inicial, aplicando o conjunto de descritores nas bases selecionadas e com recorte temporal de 2004 a 2024, retornou um total de 3.528 publicações. Os resultados foram distribuídos da seguinte forma: 3.351 publicações do Google Acadêmico, obtidas pelas buscas com os termos "*PHOTOVOLTAIC LIFE CYCLE*" (141 resultados), "*WEEE*" AND "*photovoltaics*" (1.700) e "*PHOTOVOLTAIC WASTE*" (1.510); 125 publicações do *Science Direct*, através do descritor "*photovoltaic waste policy*"; e 52 publicações do Repositório Institucional da UFSC, utilizando a busca "resíduo fotovoltaico Brasil".

3.1.3 Processo de filtragem e seleção

Para selecionar os estudos mais relevantes e garantir o rigor da revisão, foram definidos os seguintes Critérios de Inclusão (CI) e Exclusão (CE):

3.1.3.1 Critérios de inclusão (CI):

- I. CI 1: Artigos, teses, dissertações ou trabalhos de conclusão de curso;

- II. CI 2: Estudos que abordam diretamente o descarte, reciclagem, logística ou legislação de módulos FV;
- III. CI 3: Estudos com foco no contexto brasileiro (para QP1 e QP3) ou estudos internacionais de referência (ex: WEEE) que sirvam de base para análise comparativa (para QP2);
- IV. CI 4: Publicações dentro do recorte temporal (2004-2024).

3.1.3.2 Critérios de exclusão (CE):

- I. CE 1: Estudos duplicados nas bases de dados;
- II. CE 2: Estudos não disponíveis para leitura completa (ex: apenas resumo);
- III. CE 3: Estudos com foco puramente técnico-químico do processo de reciclagem (sem abordar gestão, logística ou legislação);
- IV. CE 4: Artigos de notícias, *white papers* comerciais ou sites não acadêmicos.

O processo de filtragem seguiu o método de três passes de leitura (leitura de título, resumo e artigo completo), conforme proposto por Keshav (2007). Os resultados quantitativos dessa filtragem estão detalhados a seguir:

- I. Identificação (N): A busca inicial nas bases, aplicando o conjunto de descritores, retornou 3.528 publicações;
- II. Triagem (X): Após a remoção de duplicatas (CE 1) e a leitura dos títulos e resumos (aplicando CE 3 e CE 4), 250 publicações foram selecionadas para a leitura completa;
- III. Inclusão (Y): Após a leitura dos 250 artigos (aplicando os CI 2, CI 3 e CE 2) e o método de três passes de leitura (Keshav, 2007), 8 publicações foram efetivamente incluídas como o corpus central de análise por responderem diretamente às questões de pesquisa.

Esta RSL confirmou a lacuna significativa na literatura, notadamente na regulamentação específica (QP1) e em processos logísticos consolidados no Brasil (QP3), o que validou a necessidade da Etapa 2 (pesquisa de campo). O rigor quantitativo desta RSL é evidenciado pela filtragem de seleção, que resultou em um

corpus final de 8 publicações a partir de uma busca inicial de 3.528, garantindo a rastreabilidade e a validade do estado da arte mapeado.

3.2 Etapa 2: pesquisa de campo (*survey*)

Para suprir as lacunas identificadas na Etapa 1 e investigar a percepção dos agentes de mercado, procedeu-se à elaboração e aplicação de um instrumento de coleta de dados primários. Esta etapa caracteriza a vertente descritiva da pesquisa proposta por Gil (2008) e, embora utilize um questionário elaborado, sua análise central é qualitativa, complementada por dados quantitativos descritivos.

O instrumento, um questionário elaborado na plataforma Google Forms (Apêndice B), teve como objetivo central contrastar os achados da literatura (Etapa 1) com as práticas e percepções dos agentes atuantes no mercado FV brasileiro. Composto por 17 questões de formato misto (abertas e fechadas), o instrumento foi desenhado para permitir duas frentes de análise complementares:

- **Análise estatística descritiva:** Aplicada às questões fechadas (dados quantitativos) para caracterizar a amostra (ex: tipo de empresa, região) e quantificar a frequência de padrões (ex: percentual de empresas que possuem programas de descarte).
- **Análise de conteúdo:** Aplicada às questões abertas (dados qualitativos) para identificar, categorizar e interpretar as percepções sobre desafios, entraves e oportunidades (ex: principais dificuldades na gestão de resíduos). Esta análise seguiu os preceitos da análise de conteúdo categorial, conforme Bardin (2016).

As questões foram agrupadas em cinco dimensões temáticas, conforme a estrutura do formulário (Apêndice A):

- **Dados da empresa:** Caracterização das empresas respondentes, como tipo, tempo de atuação e região;
- **Gestão de resíduos:** Práticas atuais, existência de programas, cobrança de taxas, destino final, parcerias, conhecimento e acompanhamento da legislação pertinente, e certificações ambientais;

- Suporte a revendas: Orientação e informações fornecidas pelos fabricantes às revendas sobre o descarte;
- Desafios e oportunidades: Percepção sobre as principais dificuldades e as oportunidades de mercado na reciclagem;
- Expectativas para o futuro: Visão sobre o crescimento do mercado e a preparação para o aumento do volume de resíduos.

O universo da pesquisa foi composto por profissionais da cadeia produtiva de energia solar FV. A coleta de dados ocorreu no período de 01 de setembro a 09 de dezembro de 2024, quando o questionário foi enviado a 265 indivíduos, vinculados a 109 empresas (fabricantes, distribuidores e integradores), resultando em 33 respostas válidas, configurando uma taxa de retorno de 12,45%. Embora essa amostra não permita generalizações estatísticas para todo o setor, ela se revela suficiente para os propósitos exploratórios e descritivos deste estudo (GIL, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo foca em explicar as percepções do setor e sua baixa aderência à legislação. Para isso, a análise cruza sistematicamente os dados da pesquisa com a literatura e o panorama legal. A estrutura do capítulo reflete essa abordagem: inicia-se estabelecendo o contexto (Seções 4.1 e 4.2), que detalha o cenário atual da legislação (internacional e brasileira) e o cenário brasileiro de reciclagem (logística reversa e responsabilidade compartilhada). Em seguida, o capítulo avança para a análise direta dos dados primários (Seções 4.3 e 4.4), abordando a percepção e preparação do setor e a análise da aderência à legislação brasileira (PNRS), com suas respectivas lacunas.

4.1 Cenário atual da legislação

Nesta seção, apresenta-se o cenário regulatório vigente relacionado à gestão de resíduos FV. A análise é estruturada em duas partes, onde inicialmente, discute-se o panorama internacional e, na sequência, detalha-se o contexto regulatório brasileiro.

4.1.1 Panorama internacional

O panorama internacional de legislação e políticas públicas para gestão de resíduos FV é caracterizado por diferentes níveis de maturidade e abordagens regulatórias. Essa heterogeneidade reflete as particularidades regionais, bem como o estágio de desenvolvimento do mercado FV em cada país ou região.

União Europeia (EU), destaca-se como pioneira na regulamentação específica para resíduos FV. Seu principal instrumento legal é a Diretiva 2012/19/UE relativa aos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), que inclui explicitamente, os módulos FV na categoria de equipamentos respaldados pela legislação, sendo classificados como equipamentos de grandes dimensões (categoria 4) (UNIÃO EUROPEIA, 2012 e 2024), estando sujeitos a requisitos específicos, incluindo:

- i. Responsabilidade Estendida do Produtor (REP): produtores ou terceiros são responsáveis pela coleta e reciclagem dos módulos FV em fim de vida, a partir de 13 de agosto de 2012 (art. 3).
- ii. Metas de coleta e reciclagem: a partir de 2019, a meta mínima de coleta foi estabelecida em 65% do peso médio dos equipamentos colocados no mercado nos três anos anteriores, ou 85% dos REEE gerados. E a partir de 15 de agosto de 2018 para módulos FV, as metas de valorizados são de 85% e de preparação para reutilização e reciclados de 80% (art. 7, Anexo V);
- iii. Financiamento: Os produtores devem fornecer garantias financeiras ao colocar um produto no mercado, assegurando que a gestão de fim de vida será custeada mesmo em caso de insolvência da empresa (art. 12).
- iv. Registro e relatórios: Produtores devem se registrar nos Estados-Membros onde comercializam seus produtos e reportar regularmente os volumes colocados no mercado e coletados/reciclados. (art. 15).

Além da Diretiva REEE 2012/19/UE, a Estratégia da UE para a energia solar, lançada em maio de 2022 como parte do plano *REPowerEU*, reforça a importância da circularidade no setor FV. O documento estabelece metas ambiciosas para a expansão da energia solar cerca de 600 GW até 2030 e destaca a necessidade de desenvolver uma cadeia de valor sustentável, incluindo processos de reciclagem eficientes que facilite o reparo, reuso e reciclagem (UNIÃO EUROPEIA, 2022).

A regulamentação de resíduos FV nos Estados Unidos ocorre predominantemente em nível estadual, com abordagens heterogêneas e em diferentes estágios de desenvolvimento. Não há, até o momento, uma legislação federal específica voltada aos módulos FV, que em geral são enquadrados nas normas gerais de resíduos sólidos ou perigosos, a depender de sua composição e características. Alguns estados, contudo, têm desenvolvido marcos regulatórios específicos, tais como:

- i. Califórnia: Em 2021, classificou os módulos FV como resíduos universais (uma subcategoria de resíduos perigosos com requisitos de gestão menos rigorosos), através da SB 489. Implementada com regulamentações específicas para módulos FV desativados, incluindo requisitos para coleta, processamento e reciclagem (HEINZMAN, 2020).
- ii. Washington: Em 2017, aprovou a primeira legislação abrangente dos EUA para módulos FV (SB 5939), fornecendo ao público maneiras corretas para reciclar módulos FV vendidos após julho de 2017. Em março de 2025, foi determinada a nova lei SB5175 exigindo que os fabricantes passem a financiar as operações de coleta e reciclagem, além de elaborarem, até 31 de janeiro de 2030, um plano de gestão que descreva as estratégias para conduzir o processo de reciclagem, reduzir a geração de resíduos perigosos e otimizar a recuperação de materiais de valor (*WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 2025; SOLAR POWER WORLD, 2025*).
- iii. Nova York, Carolina do Norte e outros estados estão em processo de desenvolvimento de legislações específicas, frequentemente focadas em estudos de viabilidade para programas de reciclagem e requisitos de responsabilidade estendida do produtor (*NEW YORK, 2025; LORIA, 2025*).

4.1.2 Contexto regulatório brasileiro

O Brasil ainda não possui uma legislação específica para a gestão de resíduos FV, apesar do crescimento exponencial do setor FV no país nos últimos anos. A regulamentação aplicável a esses resíduos deriva principalmente da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e de normas técnicas e resoluções relacionadas à gestão de resíduos em geral.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) surgiu com a Lei nº 12.305/2010, sendo o principal marco legal para a gestão de resíduos no Brasil. Embora não mencione especificamente os módulos FV, estabelece princípios, objetivos e instrumentos aplicáveis a esses resíduos (BRASIL, 2010), incluindo:

- i. Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: Envolve fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (art. 30).
- ii. Logística reversa: Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações para viabilizar a coleta e restituição dos resíduos ao setor empresarial, para reaproveitamento ou destinação final ambientalmente adequada (art. 3º, XII).
- iii. Hierarquia na gestão de resíduos: Priorização de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (art. 7º, II).
- iv. Instrumentos econômicos: Previsão de incentivos fiscais, financeiros e creditícios para atividades de reciclagem e reaproveitamento de resíduos (art. 8º, IX).

A PNRS determina a obrigatoriedade da implementação de sistemas de logística reversa para diferentes categorias de produtos, como pilhas, baterias, eletroeletrônicos e seus componentes. Embora os módulos FV não sejam mencionados de forma explícita, eles podem ser enquadrados como produtos eletroeletrônicos, estando, portanto, sujeitos à logística reversa obrigatória, conforme previsto no Anexo I do Decreto nº 10.240/2020, que regulamenta a PNRS para essa categoria de resíduos (BRASIL, 2020).

4.1.3 Resoluções CONAMA e normas técnicas

Além da PNRS, outras normas e resoluções são relevantes para a gestão de resíduos FV no Brasil. A Resolução CONAMA nº 452/2012 estabelece procedimentos para o controle da importação de resíduos, em conformidade com as diretrizes da Convenção da Basileia, que regula os movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e sua disposição final (BRASIL, 2012).

A Resolução CONAMA nº 401/2008 define limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias. Embora não se aplique diretamente aos módulos FV, estabelece precedentes importantes para a regulamentação de metais pesados em produtos eletroeletrônicos (BRASIL, 2008).

A NBR 10004/2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, permitindo que os módulos FV sejam enquadrados como Classe I (perigosos) ou Classe II (não perigosos), a depender de sua composição (SILVA E BRITO, 2023).

Por fim, a NBR 16156/2013 estabelece requisitos para a proteção ao meio ambiente e o controle de riscos na cadeia de reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos, podendo ser aplicada aos processos de reciclagem de módulos FV (ABNT, 2013).

4.2 Investigação do cenário brasileiro de reciclagem

Conforme definido pela PNRS (BRASIL, 2010), a logística reversa é definida um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

No contexto dos módulos FV, a logística reversa envolve a coleta, o transporte, o armazenamento e o encaminhamento dos módulos FV em fim de vida para reciclagem ou destinação final adequada. A SUNR (2024) explica que a logística reversa é o processo estabelecido pela PNRS pelo qual os fabricantes, importadores e distribuidores são responsáveis por recolher e dar a destinação ambientalmente adequada aos produtos após o uso pelo consumidor.

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, também estabelecida pela PNRS, atribui responsabilidades específicas a cada ator da cadeia produtiva e de consumo. O Artigo 30 da Lei nº 12.305, da PNRS (BRASIL, 2010), estabelece responsabilidade compartilhada pelo ciclo a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, dirigindo-se a fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

No caso dos módulos FV, a responsabilidade compartilhada, prevista na legislação brasileira, é detalhada pelo Decreto nº 10.240/2020 (BRASIL, 2020), no âmbito do sistema de logística reversa, implica em diversos fatores, como os:

Fabricantes e importadores têm como obrigações principais assegurar a destinação final ambientalmente adequada de 100% dos produtos recebidos, preferencialmente para reciclagem, fornecer informações técnicas para cálculo do balanço de massa, participar de planos de comunicação e educação ambiental e disponibilizar relatórios de desempenho quando requisitados. Além disso, os importadores devem integrar um sistema de logística reversa como condição para importar e comercializar produtos eletroeletrônicos e declarar, na importação o responsável pela operacionalização desse sistema.

Os distribuidores devem incentivar a adesão de estabelecimentos varejistas a sistemas de logística reversa, orientar sobre sua operacionalização, disponibilizar ou custear espaços físicos para pontos de consolidação e apresentar relatórios de desempenho quando solicitados pelos órgãos ambientais. Essas obrigações podem ser cumpridas diretamente ou por meio de entidades gestoras (BRASIL, 2010).

Já os comerciantes têm a obrigação de informar os consumidores sobre suas responsabilidades na logística reversa, receber e armazenar temporariamente os produtos descartados, devolvendo-os aos fabricantes ou importadores, participar de planos de comunicação e educação ambiental e disponibilizar relatórios quando solicitados pelos órgãos ambientais. Essas obrigações aplicam-se a lojas físicas, vendas à distância e comércio eletrônico, e podem ser cumpridas em parceria com entidades gestoras (BRASIL, 2010).

Por fim, os estados têm a responsabilidade de integrar e coordenar a gestão dos resíduos sólidos em regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, além de controlar e fiscalizar as atividades dos geradores sujeitas a licenciamento ambiental onde a atuação estadual deve apoiar soluções

compartilhadas entre os municípios. Além disso, a união, os estados, o distrito federal e os municípios devem organizar e manter de forma conjunta o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), fornecendo periodicamente todas as informações necessárias ao órgão federal responsável (BRASIL, 2010).

4.3 Análise das respostas do questionário

A análise das respostas ao questionário permitiu identificar diversos aspectos sobre a forma como as empresas do setor FV brasileiro percebem e manejam a questão da gestão de resíduos, fornecendo dados primários essenciais para compreender seu nível de preparo frente a esse tema.

4.3.1 Perfil das empresas participantes da pesquisa

A pesquisa contou com a participação de 33 empresas, apresentando um perfil diversificado de atuação no mercado FV. A distribuição das funções das empresas é a seguinte.

Tabela 2 - Perfil das empresas participantes da pesquisa por função principal

Função Principal	Nº de Empresas
Instalador	14
Fabricante	9
Fabricante, distribuidor e instalador	2
Fabricante e distribuidor	1
Distribuidor e instalador	1
Outras atuações: operação de usinas, estudos de viabilidade técnica e econômico-financeira, integrador e importador, projetista, epcista e distribuidor.	1 cada

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A predominância de instaladores e fabricantes na amostra conforme detalhado na Tabela 2, é relevante para a compreensão da aplicação da Lei nº 12.305/2010, representando elos centrais da cadeia produtiva. Conforme a PNRS, os fabricantes são os principais responsáveis pela estruturação e financiamento da logística reversa, enquanto os instaladores são fundamentais na interação com o

consumidor final e por servirem como o principal ponto de coleta dos módulos FV em fim de vida.

Quanto à abrangência geográfica, observou-se que 19 participantes atuam em escala nacional, com algumas expandindo para o Chile ou tendo operações globais. As demais (14), se concentram em regiões específicas do Brasil como no sul, sudeste, centro-oeste e nordeste, com algumas atuando em múltiplas regiões. Essa predominância de atuação nacional reforça a necessidade de uma solução de logística reversa que cubra todo território brasileiro.

Em relação ao tempo de atuação no mercado FV, 30 das empresas respondentes possuem entre 5 e 24 anos de experiência, indicando que a amostra é composta em sua maioria, por empresas estabelecidas e com vivência considerável no setor, cujas percepções e práticas podem refletir um amadurecimento em relação aos desafios do mercado FV, incluindo a gestão de resíduos FV.

4.3.2 Práticas de coleta, descarte e logística reversa

Os resultados da pesquisa revelam um cenário desafiador em relação às práticas de coleta e descarte de módulos FV, indicando uma baixa aderência aos preceitos da PNRS. De modo geral, observa-se que a gestão de resíduos no setor ainda é incipiente e pouco estruturada, especialmente no que se refere à implementação de programas formais e à promoção de mecanismos que estimulem a participação dos consumidores na logística reversa.

Em relação à existência de programas formais de coleta e descarte, verificou-se que, dentre as 32 respostas válidas, 84,4% das respostas não dispõem de qualquer tipo de programa estruturado para essa finalidade. Apenas cinco empresas relataram manter parcerias voltadas à coleta ou ao descarte de módulos FV, em evidente contraste com as diretrizes da PNRS, que enfatizam a responsabilidade compartilhada e a necessidade de implantação de sistemas de logística reversa.

No que se refere aos incentivos para a devolução de módulos ao final da vida útil, a situação mostra-se igualmente preocupante. Entre as 33 que responderam a essa questão, 31 afirmaram não oferecer qualquer tipo de incentivo aos clientes para que realizem a devolução dos módulos FV. A ausência de mecanismos de incentivo tende a reduzir a participação dos consumidores em programas de devolução,

dificultando o encaminhamento adequado desses resíduos para processos de reciclagem ou para formas de descarte ambientalmente adequadas.

A análise do destino final dos módulos coletados evidencia, ainda, uma significativa heterogeneidade de práticas e ausência de padronização. Dentre as 27 respostas válidas, a reciclagem (sem especificação do tipo de processo) foi a destinação mais mencionada (17 citações). No entanto, também foram relatadas práticas menos adequadas, como o armazenamento (6 menções) e o envio a aterro sanitário (1 menção). Outras respostas incluíram a devolução dos módulos à distribuidora (2 menções) e a decisão sobre o descarte deixada a critério do cliente (1 menção). O armazenamento como solução recorrente, a possibilidade de destinação a aterros e a transferência da responsabilidade de descarte para o consumidor indicam a falta de opções estruturadas e ambientalmente corretas para a destinação final, reforçando a urgência no desenvolvimento e fortalecimento da cadeia de reciclagem de módulos FV.

Por fim, quanto às parcerias com empresas de reciclagem, 11 empresas declararam possuir algum tipo de vínculo com recicladoras (sendo uma delas localizada fora do Brasil), enquanto 22 afirmaram não manter esse tipo de parceria. Embora esse número seja ligeiramente superior ao de empresas que dispõem de programas formais de coleta, ainda pode ser considerado reduzido, sugerindo que a integração entre o setor FV e a indústria de reciclagem permanece em estágio inicial. Essa limitação contribui para a fragmentação das iniciativas de gestão de resíduos e dificulta a consolidação de uma cadeia de logística reversa e reciclagem mais robusta e alinhada às exigências legais e ambientais.

4.3.3 Percepção sobre a legislação e acompanhamento de normas

Os resultados indicam que a percepção do setor em relação ao arcabouço legal brasileiro é predominantemente crítica, o que se reflete no baixo nível de acompanhamento das normas e na limitada adoção de mecanismos de suporte ao longo da cadeia de gestão de resíduos FV.

No que diz respeito à adequação da legislação brasileira ao setor FV, 20 das 33 empresas respondentes consideram que o conjunto de normas existentes é insuficiente para atender às especificidades da área. Em contraste, apenas 4 empresas avaliam a legislação como adequada, enquanto 9 declararam não saber

opinar. Esses resultados sugerem uma percepção generalizada de lacunas regulatórias e de ausência de diretrizes claras para a gestão dos resíduos gerados pelos sistemas FV.

Quanto ao acompanhamento de legislações e normas relacionadas ao descarte de resíduos eletrônicos e FV, observou-se um quadro relativamente dividido. De um total de 33 respostas, 18 empresas afirmaram acompanhar as normativas pertinentes, enquanto 15 declararam não realizar esse acompanhamento. A existência de uma parcela expressiva de empresas que não monitora o desenvolvimento regulatório pode indicar desconhecimento sobre obrigações legais e sobre práticas recomendadas, o que tende a dificultar a conformidade regulatória e a implementação de medidas de gestão de resíduos mais eficientes e alinhadas às exigências ambientais.

Em relação às certificações ambientais, a adesão mostrou-se reduzida. Entre as empresas participantes, 19 relataram não possuir qualquer tipo de certificação ambiental, ao passo que 13 indicaram possuir pelo menos uma certificação e 1 empresa não soube responder. Esse cenário reforça a ideia de que a integração de instrumentos de gestão ambiental formalizados ainda é limitada no setor, sugerindo a necessidade de estímulo à adoção de certificações que possam contribuir para a melhoria dos padrões de desempenho ambiental e para o fortalecimento da governança relacionada à gestão de resíduos FV.

4.3.4 Suporte e informações sobre descarte

Os resultados evidenciam que o suporte e a oferta de informações sobre o descarte de módulos FV ao longo da cadeia produtiva ainda são bastante limitados. No que se refere ao suporte oferecido às revendas, os dados apontam para uma ausência de orientação em larga escala: 24 empresas declararam não fornecer qualquer tipo de orientação sobre descarte às revendas, enquanto apenas 9 afirmaram oferecer esse suporte. Considerando que instaladores e integradores constituem o principal ponto de contato com o consumidor final, a falta de diretrizes por parte das empresas situadas em níveis superiores da cadeia tende a perpetuar o desconhecimento sobre as práticas adequadas de descarte de módulos FV.

Em relação às informações fornecidas pelos fabricantes às revendas, observa-se uma lacuna significativa na comunicação. Foram registradas 10 respostas como

“sem resposta” e 14 indicando que “não oferece informações”. Entre as empresas que declararam fornecer algum tipo de orientação, 4 mencionaram fornecer “indicações de descarte” e outras 4 indicaram “reciclagem”, além de 1 resposta considerada não especificada. A ausência de informações claras, padronizadas e consistentes por parte dos fabricantes dificulta a consolidação de uma cadeia de responsabilidade compartilhada, comprometendo a estruturação de fluxos organizados de logística reversa e destinação ambientalmente adequada dos módulos ao final de sua vida útil.

4.3.5 Principais desafios e oportunidades na gestão de resíduos fotovoltaicos

Os principais desafios enfrentados pelas empresas na gestão de resíduos FV, segundo os respondentes, que puderam selecionar mais de uma opção, estão sintetizados na Tabela 3:

Tabela 3 - Principais desafios

Desafio	Menções [%]	Cruzamento com literatura/legislação
Falta de infraestrutura para reciclagem	57,9%	Este desafio está diretamente ligado à falta de incentivos econômicos (BRASIL, 2010, art. 8º, IX) que viabilizem a instalação dessa infraestrutura.
Custos elevados de descarte	45,5%	A reciclagem de módulos FV é um processo complexo e de alto custo (GHIZONI, 2016). A ausência de um sistema REP consolidado, como na UE (Seção 4.1.1), transfere a incerteza financeira para o mercado brasileiro.
Falta de conscientização do cliente	42,4%	Reflete a ausência de programas formais de coleta e incentivos (Seção 4.3.2), que são cruciais para a educação ambiental e a participação do consumidor na logística reversa, conforme previsto na PNRS.
Falta de regulamentação específica	36,4%	Conforme apontado na Seção 4.1.2, a falta de uma regulamentação específica é um desafio direto: sem regras claras, a padronização dos processos é dificultada e os investimentos necessários para o setor são desestimulados.

Fonte: Elaborado pela autora.

Esses desafios estão interconectados e refletem as barreiras identificadas na revisão bibliográfica, como os custos logísticos, a incipiência tecnológica em escala comercial para reciclagem no Brasil e as lacunas regulatórias. Em contraste, as

oportunidades percebidas (Tabela 4) indicam um potencial para o desenvolvimento de um novo segmento de mercado, alinhado com a economia circular.

Tabela 4 - Principais oportunidades

Oportunidade	Menções [%]	Cruzamento com literatura/legislação
Parcerias com recicladoras	60,6%	A busca por parcerias demonstra a intenção do setor de cumprir a PNRS (BRASIL, 2010) através da delegação da responsabilidade operacional, alinhando-se à tendência global de sistemas de gestão por terceiros.
Crescimento da demanda por reciclagem	48,5%	A expectativa de crescimento da demanda futura justifica o investimento em infraestrutura e a busca por soluções de logística reversa.
Novas fontes de receita	42,4%	A gestão de resíduos é vista como um novo segmento de mercado, em linha com os princípios da economia circular (UNIÃO EUROPEIA, 2022).
Inovação tecnológica para reciclagem	42,4%	Apointa para uma oportunidade de mercado no desenvolvimento de novas tecnologias que resolvam o gargalo da infraestrutura de reciclagem no país

Fonte: Elaborado pela autora.

A percepção de oportunidades, apresentada na Tabela 4, indica um potencial relevante para o desenvolvimento de um novo segmento de mercado alinhado aos princípios da economia circular. A elevada proporção de empresas que identificam as parcerias com recicladoras como uma oportunidade constitui um sinal positivo para a futura estruturação e fortalecimento da cadeia de gestão e reciclagem de módulos FV.

4.3.6 Perspectivas futuras

O mercado de energia solar FV no Brasil apresenta expectativas majoritariamente otimistas para os próximos anos, com a maioria das empresas prevendo um crescimento contínuo e, em alguns casos, exponencial. Há um consenso de que o setor continuará a se expandir, impulsionado por novas possibilidades como o armazenamento de energia e sistemas *off-grid*. O Brasil é visto como um mercado de grande importância global, com potencial de crescimento significativo, mesmo diante de desafios.

No entanto, algumas empresas expressam preocupação com a desaceleração do crescimento devido a fatores como novas legislações, aumento de

taxas, impostos, e a instabilidade econômica. Apesar desses desafios, a energia solar FV é considerada a atividade principal de muitas empresas e uma das principais fontes da matriz energética do país

Em relação à preparação para o aumento do volume de resíduos FV, a maioria das empresas estão buscando ativamente parcerias com recicladoras e empresas especializadas em descarte correto. Há um reconhecimento da necessidade de amadurecimento da cadeia de reciclagem no Brasil, dada a atual falta de infraestrutura e regulamentação específica. Contudo, muitas delas, não planejam realizar a reciclagem internamente, preferindo delegar essa responsabilidade a parceiros especializados e certificados. A ausência de uma demanda expressiva por descarte/reciclagem no presente é notada, mas a expectativa é que essa demanda cresça significativamente no futuro, tornando a gestão de resíduos uma preocupação central para o setor. A busca por soluções de logística reversa e a conscientização sobre a economia circular são temas emergentes no planejamento estratégico das empresas.

4.4 Aderência à legislação brasileira (PNRS) e lacunas

Os resultados da pesquisa indicam uma baixa aderência das empresas do setor FV a esses preceitos, evidenciada pela falta de programas formais de coleta, ausência de incentivos e baixo acompanhamento da legislação pertinente (Seção 4.3.2 e 4.3.3).

Essa baixa aderência pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo as lacunas na regulamentação específica para módulos FV, a falta de fiscalização efetiva e os desafios operacionais e econômicos já mencionados. A percepção de que a legislação atual é insuficiente, manifestada por 60,6% dos respondentes, a falta de uma lei específica e de metas claras (como visto na UE, Seção 4.1.1) gera incerteza jurídica. Essa incerteza desestimula o investimento em programas formais de coleta e descarte, pois as empresas não têm clareza sobre o escopo e a fiscalização de suas obrigações.

A "Falta de infraestrutura para reciclagem" (57,9%) e os "Custos elevados de descarte" (45,5%), principais desafios apontados (Seção 4.3.5), são uma consequência direta da estrutura de financiamento. O Brasil carece de um mecanismo de Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) que garanta o custeio da

destinação final, como faz o modelo europeu. Assim, apesar de a PNRS prever instrumentos econômicos (BRASIL, 2010, art. 8º, IX), o alto custo da reciclagem torna-se um fator de não cumprimento, pois as empresas evitam internalizar um ônus que não é obrigatório ou fiscalizado de forma clara.

A preferência do setor pela terceirização da gestão de resíduos FV é evidente, já que 60,6% dos respondentes (Seção 4.3.5) veem "parcerias com recicladoras" como a principal oportunidade. Essa abordagem é legalmente amparada pelo Decreto nº 10.240/2020 (BRASIL, 2020), que permite que as obrigações sejam cumpridas por meio de entidades gestoras. Contudo, essa intenção de terceirizar contrasta com a prática atual: 72,7% das empresas (Seção 4.3.4) não oferecem qualquer suporte ou informação sobre o descarte. Essa falha de comunicação agrava a desinformação na cadeia e pode ser explicada pela ausência de um acordo setorial específico para módulos FV, que impedindo que a terceirização seja efetivamente estruturada e fiscalizada.

A PNRS (BRASIL, 2010) prevê a elaboração de acordos setoriais para a implementação da logística reversa. No setor de eletroeletrônicos, alguns acordos já foram firmados, mas a inclusão efetiva e as metas para módulos FV ainda precisam ser mais bem definidas e implementadas. A ausência de um sistema de logística reversa estruturado para módulos FV no Brasil é uma lacuna crítica que precisa ser urgentemente endereçada, considerando o crescimento exponencial do mercado.

5 CONCLUSÃO

Atendendo os objetivos deste trabalho, os resultados confirmam a hipótese inicial de que, apesar do crescimento exponencial da fonte solar FV no país, existe um descompasso alarmante entre a expansão do mercado e a maturidade das práticas de gestão de resíduos ao fim de vida. A pesquisa revelou uma significativa lacuna regulatória onde o Brasil, embora disponha da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), carece de regulamentação específica para módulos FV, diferentemente do cenário consolidado observado na União Europeia com a Diretiva WEEE.

Os dados coletados junto às empresas do setor FV corroboram essa visão, indicando baixa adesão a programas formais de coleta e reciclagem, onde as principais barreiras identificadas incluem a carência de infraestrutura logística, os custos elevados e a limitada conscientização. Este estudo permitiu, assim, constatar um paradoxo central na expansão da energia solar FV brasileira, onde promovemos intensamente uma tecnologia limpa, sem planejar adequadamente o impacto ambiental de seu fim de vida. A percepção de que as empresas ainda estão em estágio inicial de ação evidencia a urgência do tema.

Considerando o ciclo de vida de 25 a 30 anos dos módulos FV, o volume massivo de resíduos que o Brasil terá de gerir nas próximas décadas será consequência direta das instalações realizadas no presente, de modo que a janela de oportunidade para estruturar uma cadeia de reciclagem é agora, sendo que postergar ações e esperar o acúmulo de resíduos tende a representar um fracasso na gestão do problema. Para que o país avance de forma efetiva na gestão sustentável desses resíduos, torna-se imprescindível uma ação coordenada e urgente, iniciada pelo Governo Federal, por meio da criação de regulamentação específica que inclua formalmente os módulos FV na PNRS e incorpore o princípio da Responsabilidade Estendida do Produtor. Paralelamente, o setor privado deve ser convocado a implementar ativamente sistemas de logística reversa, enquanto o poder público deve fomentar a consolidação de um mercado nacional de reciclagem FV por meio de incentivos econômicos e apoio a pesquisa e desenvolvimento, de forma a superar as barreiras associadas aos custos e garantir a estruturação de uma cadeia circular e ambientalmente adequada. Conclui-se, assim, que a sustentabilidade da cadeia FV no Brasil depende da implementação urgente dessa abordagem integrada. Apenas

com a união desses esforços, aliada a uma maior conscientização de consumidores e empresas, será possível garantir que a energia solar FV se consolide como uma fonte verdadeiramente limpa em todo o seu ciclo de vida, e não apenas em sua fase de operação.

5.1 Estudos futuros

A presente investigação, ao analisar o panorama da gestão de resíduos de equipamentos FV sob a perspectiva empresarial no Brasil, cumpre seu objetivo de fornecer um diagnóstico inicial, ao mesmo tempo que fazer novas e pertinentes questões de pesquisa. A complexidade e a natureza multifacetada do tema demandam um aprofundamento contínuo para a formulação de estratégias e políticas públicas eficazes. Nesse sentido, recomenda-se que futuras investigações com sugestões nas seguintes vertentes:

- Análise quantitativa nacional: Realizar um levantamento em larga escala para estimar o volume atual e futuro de resíduos FV no Brasil, segmentando por região e tipo de instalação;
- Viabilidade de plantas de reciclagem: Estudar a viabilidade técnico-econômica da implementação de usinas de reciclagem no país, analisando custos, tecnologias e modelos de negócio;
- Avaliação do ciclo de vida (ACV): Comparar os impactos ambientais de diferentes tecnologias de reciclagem para identificar as rotas mais sustentáveis;
- Percepção do consumidor: Investigar a conscientização e a disposição dos proprietários de sistemas FV em pagar pelo descarte e reciclagem adequados;
- Modelos de logística reversa: Desenvolver e avaliar modelos de logística reversa adaptados às dimensões e particularidades do Brasil;
- Potencial de reuso e repotenciação: Explorar alternativas à reciclagem, como o reuso de módulos FV em outras aplicações ou a substituição de componentes para estender sua vida útil;
- Impacto de políticas públicas: Analisar os efeitos de futuras regulamentações e políticas de incentivo na gestão desses resíduos, comparando com experiências internacionais;

- Cadeia de valor dos materiais recuperados: Mapear os mercados e as aplicações para os materiais extraídos da reciclagem (vidro, silício, prata), garantindo a viabilidade econômica do processo.

REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 16156**: Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos — Requisitos para atividade de manufatura reversa. Rio de Janeiro, 2013.
- ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Brasil é 6º colocado no ranking global de energia solar de 2024. 2025**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-e-6o-colocado-no-ranking-global-de-energia-solar-de-2024/>>. Acesso em: 9 jun. 2025
- AMORIM, Camylla Ramos de. **FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO**. 2022. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/234221>>. Acesso em: 14 ago. 2025.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 452, de 2 de julho de 2012. Dispõe sobre os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas da Convenção da Basileia. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 3 jul. 2012. Acesso em: 20 jun. 2025.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias e critérios para seu gerenciamento ambientalmente adequado. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 5 nov. 2008. Acesso em: 20 jun. 2025.
- BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para dispor sobre a estruturação do sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 13 fev. 2020. Acesso em: 20 jun. 2025.
- BRASIL. Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 7 jun. 1990. Acesso em: 17 nov. 2025.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 2 set. 1981. Acesso em: 17 nov. 2025.
- 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**: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 147, p. 3–7, 3 ago. 2010. Acesso em: 9 jun. 2025.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **PNE 2055**: Caderno Cenários Energéticos. Brasília, DF: MME/EPE, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-e-epe-tracam-cenarios-do-planejamento-energetico-para-uma-transicao-energetica-justa-e-inclusiva/PNE2055_CadernoCenariosEnergeticos271224.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2025.

CANAL SOLAR. **Energia solar: potência instalada no Brasil – ABSOLAR**. 21 mar. 2025. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/energia-solar-potencia-instalada-brasil-absolar/>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

COSTA, G. R. S.; MARTINS, D. S. P.; SILVA, A. S. P.; FERREIRA, J. C. S. Impactos ambientais causados pelos painéis solares: percepção dos discentes da UFRA – Campus Belém – PA. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 16, n. 30, p. 336-345, 2019. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2019b/impactos.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2025.

COSTA, H. R. S.; CAMARGO, P. L. T. DE; ALVES, F. DA S. Impactos ambientais causados pelo ciclo de vida de painéis fotovoltaicos. **ForScience**, v. 11, n. 1, p. e01210, 9 ago. 2024. Disponível em: <<https://forscience.ifmg.edu.br/index.php/forscience/article/view/1210>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

DA ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 140–147, 2017. DOI: 10.59627/rbens.2016v7i2.157. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/157>>. Acesso em: 14 ago. 2025.

DIAS, Pablo Ribeiro. **Caracterização e Reciclagem de Materiais de módulos fotovoltaicos (painéis solares)**. 2015. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Engenharia de Minas, metalúrgica e de materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ENERGÊS. **Reciclagem de Módulos Fotovoltaicos**. É possível? 29 out. 2020. Disponível em: <<https://energes.com.br/reciclagem-de-modulo-fotovoltaicos-e-possivel/>>. Acesso em: 16 jun. 2025.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Mudanças climáticas e transição energética**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia>>. Acesso em: 13 mai. 2025.

FTHENAKIS, V. M. et al. **Emissions from photovoltaics life cycles**. **Environmental Science and Technology**, v 42, p 2168 – 2174, 2008. Acesso em: 9 jun. 2025.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR. **O diagrama de borboleta: visualizando a economia circular**. 12 fev. 2021. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/o-diagrama-de-borboleta>>. Acesso em: 24 out. 2025.

GHIZONI, Joana Pauli. **Sistemas fotovoltaicos: estudo sobre reciclagem e logística reversa para o Brasil**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/176163>>. Acesso em: 10 jun. 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GÓES, P. F.; DE SOUSA FILHO, C. L.; SOUZA, D. de A.; FERREIRA, E.; LOPES, V. A. J.; SILVA, M. S.; DE ALBUQUERQUE, Édler L.; TANIMOTO, A. H. Resíduos de painéis solares fotovoltaicos: uma revisão dos impactos ambientais e toxicológicos. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S. l.], v. 14, n. 8, p. 12528–12553, 2023. DOI: 10.7769/gesec.v14i8.2553. Disponível em: <<https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2553>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

HEINZMAN, Tracy. **Regra da Califórnia que facilita a reciclagem de painéis solares entra em vigor em 1º de janeiro de 2021**. Wiley, 9 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.wiley.law/article-california-rule-facilitating-the-recycling-of-solar-panels-takes-effect-january-1-2021>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente). **Relatório anual IEMA 2022**. São Paulo: IEMA, 2023. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/09/RelatorioAnual_IEMA_2022.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2025.

IRENA (International Renewable Energy Agency). **Future of solar photovoltaic: deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects** (A global energy transformation: paper). Abu Dhabi: IRENA, 2019.

IRENA (International Renewable Energy Agency); IEA-PVPS (International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Programme). **End-of-life management: solar photovoltaic panels**. Abu Dhabi: IRENA, 2016. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2025.

KESHAV, S. How to read a paper. **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**, v. 37, n. 3, p. 83-84, 2007.

KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews**. Keele, UK: Keele University, 2004. (Technical Report TR/SE-0401).

KONZEN, A. D. V.; PEREIRA, B. F. GESTÃO DE RESÍDUO FOTOVOLTAICO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O CENÁRIO DE FIM DE VIDA DO SISTEMA. **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS**, [S. l.], 2020. DOI: 10.59627/cbens.2020.1011. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1011>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

LORIA, Keith; LANE, Paul. Recycling for renewables. **Resource Recycling**, 9 abr. 2025. Disponível em: <<https://resource-recycling.com/recycling/2025/04/09/recycling-for-renewables/>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

NEW YORK. **Senate Bill S01502 – Responsible Renewable Energy Recycling Act. 2025**. Disponível em: <<https://legiscan.com/NY/text/S01502/id/3101500>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

OLIVEIRA, Elaine Vieira de. **PROCESSOS DE RECICLAGEM DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE PRIMEIRA GERAÇÃO**. 2021. 72 f.. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/65187/1/2021_tcc_evoliveira.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2025.

ONU BRASIL (Organização das Nações Unidas no Brasil). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) no Brasil**. [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 13 mai. 2025.

PENG, J. et al. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v 19, p. 255-274, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112006478>>. Acesso em: 4 set. 2025.

PETROLI, P. A. et al. Avaliação da periculosidade de resíduos de módulos fotovoltaicos por meio da norma brasileira NBR 10004. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., 2014, Foz do Iguaçu. **Anais do 12º Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Foz do Iguaçu: ABES, 2014. Acesso em: 16 jun. 2025.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL, 2014.

PORTAL SOLAR. **Passo a passo da fabricação do painel solar**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 09 jan. 2025.

PRADO, P. F. A. **Reciclagem de painéis fotovoltaicos e recuperação de metais**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-30012019141410/publico/PedroForastierideAlmeidaPradoCorr18.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos** – O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Editora UFSC/ LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

SILVA, Amanda de Souza; BRITO, Edson Rodrigues de. A gestão de resíduos sólidos urbanos como uma responsabilidade socioambiental. **Revista G&SEC: Gestão & Secretariado**, v. 14, n. 2, p. 101–117, jul./dez. 2023. Disponível em: <<https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2553/1411>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SILVA, Francine Ferreira da. **Análise Da Expansão Da Geração Fotovoltaica Centralizada No Sistema Elétrico Brasileiro**. 2021. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/3972/1/MONOGRAFIA_AnaliseExpansaoGerao7a30.pdf>. Acesso em: 16 out. 2025.

SOARES, Rebeca Araújo. **Logística reversa de módulos solares fotovoltaicos de silício cristalino no Brasil**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/45606?locale=en>>. Acesso em: 16 jun. 2025.

SOLAR POWER WORLD. **Washington State’s new solar panel recycling requirements set to begin in 2030**. 15 maio 2025. Disponível em: <<https://www.solarpowerworldonline.com/2025/05/washington-states-new-solar-panel-recycling-requirements-set-to-begin-in-2030/>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SUNR. **Reciclagem de módulos fotovoltaicos: 7 perguntas e respostas**. 15 nov. 2024. Disponível em: <<https://sunr.com.br/2024/11/15/reciclagem-de-modulos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, relativa a resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). **Jornal Oficial da União Europeia**, L 197, p. 38–71, 24 jul. 2012. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0019>>. Acesso em: 9 jun. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, relativa a resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). **Jornal Oficial da União Europeia**, [S.l.], 24 jul. 2012. Versão consolidada: 8 abr. 2024. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02012L0019-20240408>>. Acesso em: 21 jun. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. **Estratégia da UE para a Juventude**. Comissão Europeia, 2022. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221>>. Acesso em: 21 jun. 2025.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY. **Solar panels**. 2025. Disponível em: <<https://ecology.wa.gov/waste-toxics/reducing-recycling-waste/our-recycling-programs/solar-panels>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

APÊNDICE A — APRESENTAÇÕES EM EVENTOS CIENTÍFICOS

Título do Trabalho	Autores	Evento	Data	Publicação
Descarte de Módulos Fotovoltaicos: Comparativo Internacional e o Cenário Brasileiro	GASPERIN, Kamylle; SCARABELOTTI, Letícia Toretí; BREMERMANN, Leonardo Elizeire	V Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade (SIMPPGES), realizado em Araranguá - SC	22 de outubro de 2024	In: ANAIS DO V SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE. Araranguá: UFSC/PPGES, 2024. p. 14
Gestão de Resíduos Fotovoltaicos no Brasil: uma análise a partir da percepção das empresas do setor	GASPERIN, Kamylle; SCARABELOTTI, Letícia Toretí; BREMERMANN, Leonardo Elizeire	13º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense (SICT-Sul)	20 de maio de 2025	
Economia Circular Em Módulos Fotovoltaicos: Desafios E Perspectivas	GASPERIN, Kamylle; TONELLO, Jonathan.; SCARABELOTTI, Letícia Toretí; BREMERMANN, Leonardo Elizeire	VI Seminário do Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade (VI SIMPPGES)	22 de outubro de 2025	

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS EMPRESAS

Gestão de Resíduos Fotovoltaicos: Uma Análise da Perspectiva das Empresas do Setor

A presente pesquisa, realizada como parte da graduação em Engenharia de Energia na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela acadêmica Kamyllle Gasperin, orientada pelo professor PhD. Leonardo Elizeire Bremermann e pela Dra. Letícia Toreti Scarabelot, tem como objetivo principal de compreender a visão das empresas atuantes no setor de energia solar sobre o descarte de módulos fotovoltaicos.

O estudo busca identificar as práticas atuais de gestão de resíduos, os desafios enfrentados, as expectativas em relação à legislação e as oportunidades de melhoria no processo de descarte. Através de um questionário aplicado a fabricantes, instaladores e distribuidores de equipamentos fotovoltaicos, serão coletadas informações sobre a coleta, o transporte e a destinação final dos módulos ao final de sua vida útil.

É importante ressaltar que os dados obtidos serão tratados de forma confidencial e utilizados exclusivamente para fins acadêmicos, não sendo divulgados nomes de empresas ou informações que possam comprometer a privacidade dos participantes.

Em caso de dúvidas, entre em contato pelo telefone/WhatsApp (54) 99148 - 4119 ou pelo e-mail kamylllegasperin20@gmail.com.

*Indica uma pergunta obrigatória

Dados da Empresa

1. Tipo de empresa *

Marque todas que se aplicam.

- Fabricante
 Distribuidor
 Instalador
 Outro: _____

2. Tempo de atuação no mercado solar *

3. Região de atuação *

Marque todas que se aplicam.

- Norte
 Nordeste
 Centro-Oeste
 Sudeste
 Sul
 Todo o Brasil
 Outro: _____

Coleta e Descarte de Módulos

4. A empresa possui um programa formal de coleta e descarte de módulos fotovoltaicos? *

Marque todas que se aplicam.

- Sim
 Não
 Se sim, como este programa funciona? (Descreva as etapas)
 Outro: _____

5. A empresa cobra alguma taxa para coletar e descartar os módulos? *

Marque todas que se aplicam.

- Sim
 Não
 Outro: _____

6. A empresa oferece algum tipo de incentivo para que os clientes devolvam os módulos? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

7. Qual é o destino final dos módulos coletados? *

Marque todas que se aplicam.

- Reciclagem
 Aterro sanitário
 Outro: _____

8. A empresa possui parcerias com empresas de reciclagem? *

Marque todas que se aplicam.

- Sim
 Não
 Outro: _____

Legislação e Normas

9. A empresa considera que a legislação brasileira sobre resíduos eletrônicos é suficiente para atender às necessidades do setor fotovoltaico? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não
 Outro: _____

10. A empresa acompanha as legislações e normas relacionadas ao descarte de resíduos eletrônicos e fotovoltaicos? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

11. A empresa possui alguma certificação ambiental? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não
 Outro: _____

Suporte a Revendas

12. A empresa oferece algum tipo de suporte ou orientação para as revendas sobre o descarte de módulos fotovoltaicos? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

13. Quais informações a fabricante fornece às revendas sobre o descarte?

Desafios e Oportunidades

14. Quais os principais desafios enfrentados pela empresa na gestão de resíduos fotovoltaicos? *

Marque todas que se aplicam.

- Falta de infraestrutura para reciclagem
 Custos elevados de descarte
 Falta de regulamentação específica
 Falta de conscientização do cliente
 Outro: _____

15. Quais as principais oportunidades que a empresa vê no mercado de reciclagem de módulos fotovoltaicos? *

Marque todas que se aplicam.

- Parcerias com recicladoras
 Inovação tecnológica para reciclagem
 Novas fontes de receita
 Crescimento da demanda por reciclagem
 Outro: _____

Expectativas para o Futuro

16. Qual a expectativa da empresa em relação ao crescimento do mercado de energia solar nos próximos anos?

17. Como a empresa se prepara para lidar com o aumento do volume de resíduos fotovoltaicos no futuro?

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários