

# CAPÍTULO 19

## RECICLAGEM DE RESÍDUOS FOTOVOLTAICOS: MECANISMOS DE GERENCIAMENTO E POLÍTICAS PÚBLICAS NO ESTADO BRASILEIRO

Vanessa Souza  
Adriano Marcos Rodrigues Figueiredo  
Elcio Gustavo Benini

### RESUMO

Atualmente há um cenário de contínua implantação de painéis FV nos diversos setores brasileiros, em consonância a isso, espera-se um aumento na oferta de resíduos FV em fim de sua vida útil para os próximos anos. Diante disso, objetivou-se analisar as políticas públicas relacionadas (existentes e/ou em construção) à destinação final dos resíduos fotovoltaicos no Brasil. Para tanto esta pesquisa foi dividida em três etapas. Na primeira Identificaram-se as regulamentações existentes no país para destinação dos resíduos fotovoltaicos, na segunda, a partir de uma revisão bibliográfica apontaram-se os desafios existentes no Brasil para a correta destinação do resíduos FV; e, na terceira etapa, através de uma revisão sistemática foram propostos caminhos norteadores para cada desafio encontrado na etapa anterior. Como resultado, identificou-se que apesar da existência de algumas regulamentações, sua atuação ainda é ineficiente, sendo, necessário a criação de uma legislação específica para a destinação destes resíduos, tal como ocorre em alguns países europeus.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos. Fotovoltaico. Políticas públicas. Governo.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a questão energética desencadeou diversas discussões sobre a necessidade da utilização de novas fontes de energia, as ditas renováveis (ER), haja vista estas fontes gerarem eletricidade ou calor de maneira ecologicamente correta e sem a emissão de gases nocivos a atmosfera (KHAWAJA; GHAITH; ALKHALIDI, 2021). Dentre as fontes ER destaca-se a energia solar fotovoltaica- FV (LIMA *et al.*, 2017) dada suas características específicas: ser uma fonte abundante, permanente e renovável. Além de poder ser implementada nos mais variados locais, como os de difícil acesso (FAIRCLOTH *et al.*, 2019; ROSA *et al.*, 2020).

O Brasil possui um grande potencial na produção de energia solar. Sua radiação solar varia entre 1.500 e 2.500 kWh/m<sup>2</sup> em qualquer região do território, enquanto nos países europeus (líderes em capacidade instalada de geração distribuída fotovoltaica) a radiação apresenta níveis entre 900 e 1.250 kWh/m<sup>2</sup> (EPE, 2014). Apesar disso, sua capacidade instalada demonstra-se pouco expressiva quando comparada aos 20 maiores produtores mundiais; ambos possuem uma capacidade instalada superior a 1 GWp, enquanto a do Brasil, em 2016, foi de 81MW (MME, 2017).

Nesta perspectiva, com o intuito de promover a massificação do uso deste tipo de energia em solo brasileiro, o governo promoveu diversos programas de incentivos, como: (i) Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios- PRODEEM instituído em 1994; (ii) Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) instituído em 2002; (iii) Programa de pesquisa e desenvolvimento que foi implantado pela ANEEL em 2011; (iv) Programa Luz para Todos criado em 2011; (v) Programa *Net metering* instituída pela Aneel em 2012; Fundo Solar: lançado em 2013; (vi) Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – PROGD criado em 2015; (vii) isenção do pagamento de PIS (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) sobre energia injetada na rede pelo consumidor, inserida em 2015 e (viii) o Fundo Clima, um empréstimo disponível para projetos que utilizam tecnologias de geração de energia limpa, criada em 2018 (COELHO *et al.*, 2021; SILVA, 2015).

A partir destas iniciativas e incentivos fiscais, foi possível observar uma ascensão da energia solar no país, com taxas de crescimentos superiores as demais fontes de energia renováveis em solo brasileiro (ROSA *et al.*, 2020). Em consonância a este cenário, nota-se o aumento de fabricação de painéis fotovoltaicos (FV) e conseqüente descartes de resíduos FV, haja vista, estes equipamentos apresentarem vida útil de 25 anos (RIGO *et al.*, 2022). Estima-se que até o ano de 2050 haja em torno de 78 milhões de toneladas de resíduos fotovoltaicos em âmbito mundial (CHOWDHURY *et al.*, 2020; WECKEND *et al.*, 2016).

Este quantitativo de resíduos apresenta-se como um novo desafio, uma vez que seu descarte indevido acarreta danos ambientais, pois estes equipamentos são constituídos de metais perigosos como chumbo e cádmio (XU *et al.*, 2018). Dessa forma, os métodos tradicionais de gestão de resíduos (aterro e incineração) necessitam ser substituídos por soluções modernas, eficazes e fáceis de usar (CZAJCZYŃSKA *et al.*, 2017).

Frente a este panorama, torna-se imprescindível buscar meios para gerenciar e reciclar os painéis FV, no fim de sua vida útil, para minimizar o desperdício de recursos ambientais e econômicos (XU *et al.*, 2018). Neste sentido, a atuação do Estado apresenta-se como um ponto importante, no intuito de dispor mecanismos (incentivos, subsídios, legislação específica) aos diversos atores (fabricante e consumidores) e exigir compromissos de todas as partes envolvidas (MAHMOUD *et al.*, 2021).

Nessa perspectiva, a questão de pesquisa a ser investigada é: Existem políticas públicas em vigor ou em implementação para a reciclagem de resíduos fotovoltaicos no Brasil? Assim,

objetiva-se analisar as políticas públicas relacionadas (existentes e/ou em construção) à destinação final dos resíduos fotovoltaicos no Brasil. Especificamente, objetiva-se: a) identificar e analisar as políticas públicas para a reciclagem de resíduos fotovoltaicos no Brasil; e b) avaliar os desafios encontrados para a gestão destas políticas. Pensar em novas possibilidades de destinação a estes resíduos é imperativo, pois sem a criação de práticas e sistemas apropriados para reciclagem, enormes resíduos irão ocupar o espaço brasileiro e poluir o meio ambiente. Por outro lado, a correta reciclagem deste resíduo tende a criar novas oportunidades de negócios e empregos (MAHMOUDI *et al.*, 2021).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Análise da situação atual da energia fotovoltaica brasileira

Ao longo dos últimos anos, a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica aumentou consideravelmente tanto em âmbito mundial, como em nível nacional (CARPIO, 2021). Quando comparado ao ano de 2019, a produção de energia fotovoltaica brasileira apresentou um crescimento de 92,1% em relação a 2018 (EPE, 2020).

Este crescimento foi ocasionado, sobretudo, por fatores como redução nos custos desta tecnologia, aumento na demanda por energia elétrica (CARPIO, 2021) e estímulo de políticas governamentais para a produção de fontes renováveis (RIGO *et al.*, 2022). Na Tabela 1, mostra-se a produção desse tipo de energia por meio da geração centralizada em usinas solares e através da geração distribuída nos diversos setores: residências, estabelecimentos públicos, rurais e prédios comerciais (EPE, 2012).

**Tabela 1:** Classe das instalações de energia FV (Geração Distribuída) no Brasil por setores para o ano de 2020.

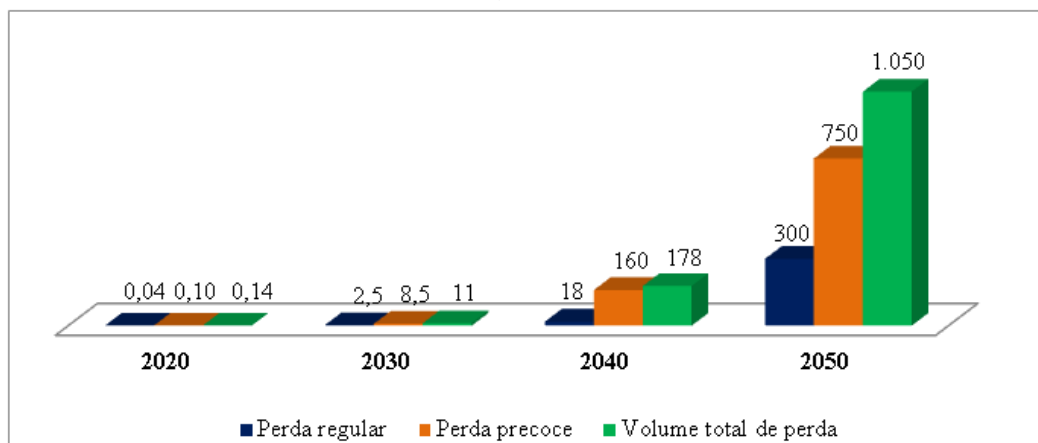
Setor	Potência Instalada (kW)	Número de unidades geradoras	Média (Potência Instalada/Número de unidades geradoras)
Comercial	1.838.381,76	64.334	28,57 kW
Residencial	1.792.042,20	283.132	6,33 kW
Rural	645.015,19	27.121	23,78 kW
Industrial	431.339,38	9.436	45,71 kW
Poder público	57.089,29	1.455	39,24 kW
Serviço público	3.317,69	111	29,89 kW
Iluminação pública	823,89	26	29,89 kW
Total	4.768.015,40	385.615	12,36 kW

Fonte: Rigo *et al.* (2022) adaptado de ANEEL (2021).

Observa-se que os setores juntamente possuem 385.615 unidades geradoras e em torno de 4.768.015,40 (kW) de potência instalada. Estima-se que até o ano de 2050 esta capacidade aumente em até 30 vezes (CANAL ENERGIA, 2019), contribuindo favoravelmente para o aumento massivo de resíduos gerados pelos sistemas FV (KHAWAJA; GHAITH;

ALKHALIDI, 2021), em torno de 1,050 milhões de toneladas (Figura 1) de painéis solares fotovoltaicos até o ano de 2050 em âmbito nacional (WECKEND *et al.*, 2016).

**Figura 1:** Volumes de resíduos cumulativos estimados de painéis fotovoltaicos em fim de vida pelo Brasil de 2030 a 2050, em mil toneladas.



**Fonte:** Autoria própria a partir de Weckend *et al.* (2016).

As perdas podem se originar por fim de vida útil, defeitos de fabricação (CHOWDHURY *et al.*, 2020), danos no decorrer de transporte e instalações (TAO *et al.*, 2020) e substituição de módulos FV pelos proprietários (TSANAKAS *et al.*, 2019). Atualmente, estes resíduos são dispostos em aterros (DENG *et al.*, 2019), todavia, por apresentarem baixa biodegradabilidade, ocuparem enormes áreas nos aterros e pelo volume destes resíduos aumentarem rapidamente, esse método torna-se ineficaz (AZEUMO *et al.*, 2019). Dentre os problemas ambientais ligados ao descarte indevido destes equipamentos estão a: lixiviação de chumbo, lixiviação de cádmio e perda de metais raros recuperáveis (prata, índio, gálio e germânio) (XU *et al.*, 2018).

Por outro lado, a reutilização de componentes fotovoltaicos reciclados pode reduzir a necessidade de produzir novos componentes, economizando energia e minimizando os impactos ambientais e de saúde (REDLINGER; EGGERT; WOODHOUSE, 2015). Além de possibilitar a geração de uma cadeia de valor secundária com benefícios ambientais e econômicos substanciais (DOMÍNGUEZ; GEYER, 2017).

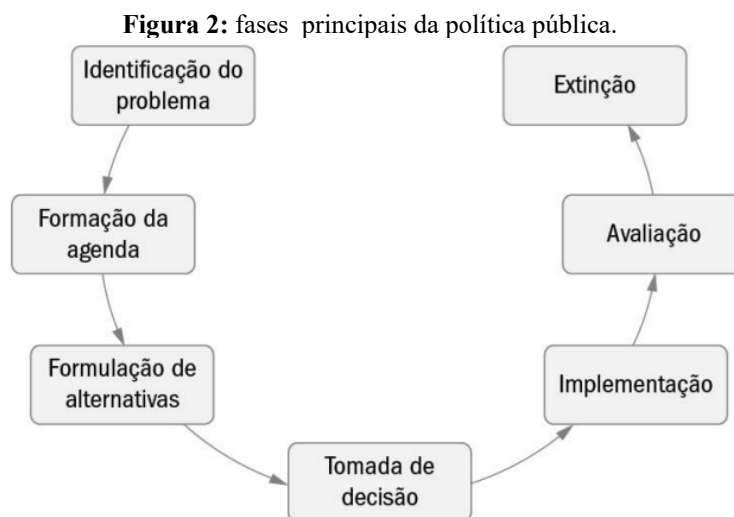
Atualmente o descarte deste tipo de resíduos é realizado no Brasil a partir da logística reversa, mediante orientações advinda da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010. Apesar disso, nota-se que o país carece de legislação específica, assim como possui um determinado atraso em questões socioambientais voltadas aos resíduos fotovoltaicos (KOZEN; PEREIRA, 2020). Nesse sentido, torna-se importante o desenvolvimento de estudo que promova o debate sobre a possibilidade de elaborações de política e programa que vão ao

encontro desta problemática. De acordo com Xu *et al.* (2018, p. 1) “a pesquisa sobre a gestão de painéis solares fotovoltaicos em fim de vida está apenas começando em muitos países”, sendo importante a presença do Estado nesta discussão.

## 2.2 Formulação da agenda de políticas públicas

As políticas públicas são ações governamentais direcionadas à resolução de determinadas necessidades públicas. Podem ser de cunho social, econômico, regulatório, entre outras (GELINSKI; SEIBEL, 2008). Em geral, são considerados instrumentos modelados de cima para baixo com a finalidade de alinhar os papéis às expectativas das partes interessadas (GUZZO *et al.*, 2021).

Por intermédio das políticas públicas, os governantes implementam ações capazes de gerar o desenvolvimento econômico e social no espaço público. Para tanto, é necessário que o Estado identifique as necessidades da sociedade a fim de promover políticas públicas coerentes (CIRNO; SILVA; MELO, 2021). A formulação de tais políticas compreende dois elementos principais: (i) definição da agenda e (ii) definição de alternativas (CAPELLA, 2018). O primeiro consiste em direcionar a atenção em torno de questões ou problemas específicos, o segundo em desenvolver um plano de ação em prol da resolução do problema. A formulação de políticas públicas é comumente apresentada no contexto do ciclo de políticas, sendo descrita através das seguintes etapas (Figura 2).



Fonte: Secchi (2013, p. 43).

Na primeira fase (identificação do problema) há a percepção e delimitação do problema. Nesta etapa busca-se definir quais são os elementos que envolve este problema e definição do conjunto de possíveis causas e soluções (SECCHI, 2013). Na segunda fase

(formação da agenda), o governo direciona sua atenção a um problema<sup>10</sup> (KINGDON, 2003) que se propõe a resolver, frente às diversas quantidade de demandas que chegam diariamente (CIRNO; SILVA; MELO, 2021). “A formação da agenda pode ser entendida como o processo de transformar questões em prioridades governamentais em qualquer área como saúde, educação, economia, agricultura e bem-estar social” (CAPELLA, 2020, p. 1499)

A terceira fase (formulação de alternativas) é formada pelo conjunto de alternativas e soluções para os problemas já definidos e introduzidos na agenda. Nesta etapa as sugestões propostas pelos atores visíveis (presidente, parlamentares, ministros, burocratas, grupos de interesse e a mídia) e invisíveis (servidores públicos, consultores, pesquisadores e acadêmicos) são consideradas e identificadas dentre as diversas alternativas quais são relevantes e viáveis dentro da disponibilidade de recursos (KINGDON, 2003). Nesta etapa “são elaborados métodos, programa, estratégias ou ações que poderão alcançar os objetivos estabelecidos” (SECCHI, 2013, p. 48).

A quarta fase (tomada de decisão) representa o momento em que os interesses dos atores são avaliados e a disposição em enfrentar tal problema é expresso (SECCHI, 2013). Na fase seguinte (Implementação da política pública) as regras e rotinas são convertidas em ações. Nesta etapa é possível identificar os recursos necessários a sua implementação: recursos materiais, humanos, financeiros, etc. (SECCHI, 2013).

A sexta fase (avaliação da política pública) é formada pela realização de certos julgamentos direcionados a comprovar a validade da proposta bem como a identificação do sucesso e falhas do projeto que foi posto em prática. Nesta etapa “o processo de implementação e o desempenho da política pública são examinados com o intuito de se conhecer melhor o estado da política e o nível de redução do problema que a gerou” (SECCHI, 2013, p. 63).

Os critérios utilizados para sua avaliação são: (i) economicidade, (ii) produtividade, (iii) eficiência econômica, (iv) eficiência administrativa, (v) eficácia e (vi) equidade (Secchi, 2013). Por fim, a sétima fase (extinção da política pública) representa a “conclusão deliberada ou a cessação de específicas funções, programas, políticas, ou organizações governamentais” (DELEON, 1976, p. 2).

---

<sup>10</sup> Um problema público diz respeito a uma situação não ideal que é vivenciada por um grupo de pessoas. Vários problemas públicos circundam a sociedade, alguns dizem respeito a todos, enquanto outros afetam a vida de alguns grupos específicos.

## 2.3 Regulamentação sobre resíduos fotovoltaicos em fim de vida

Em função da crescente preocupação com os resíduos fotovoltaico, observa-se que alguns países usuários de FV revisaram suas legislações com o intuito de promover uma melhor destinação de seus FV obsoletos (MAHMOUDI *et al.*, 2021). Dentre as políticas já implantadas estão as formuladas em países desenvolvidos (Quadro 1), líderes em produção de energia fotovoltaica.

**Quadro 1:** Legislações existentes para a gestão de resíduos FV em países líderes de produção de energia FV.

País	Legislação vigente para energia FV	Descrição
União Europeia	Diretrizes de Resíduos Elétricos e Eletrônicos (WEEE)	Taxa de recuperação/reciclagem de 85%/80% necessária.
Reino Unido	Diretrizes de Resíduos Elétricos e Eletrônicos (WEEE)	Taxa de recuperação/reciclagem de 85%/80% necessária
EUA	Lei de Conservação e Recuperação de Recursos (RCRA)	Cada estado deve introduzir seus próprios regulamentos de reciclagem. Apenas o estado de Washington fez isso, até o momento.
Japão	Lei de Gestão de Resíduos e Purificação Pública	Projeto da Organização de Nova Energia e Desenvolvimento Industrial (NEDO) sobre desenvolvimento de reciclagem de painéis FV concluído em 2018. Regulamentos em desenvolvimento.
Índia	Lei Geral de Resíduos	
Austrália	Resíduos Elétricos e Eletrônicos.	Sistemas fotovoltaicos listados na lista anual de produtos prioritários de acordo com a Seção 108A do Product Stewardship Act 2011. Regulamento de gerenciamento de fim de vida esperado para 2023.
Alemanha	Diretrizes de Resíduos Elétricos e Eletrônicos (WEEE).	Exige que todos os fabricantes e importadores de componentes fotovoltaicos registrem seus produtos e assumam obrigações de tratamento de fim de vida; infratores enfrentarão multas enormes.

**Fonte:** Autoria própria a partir de Mahmoudi *et al.* (2021).

A União Europeia, por exemplo, instituiu a diretiva WEEE (traduzido para o português como Diretrizes de Resíduos Elétricos e Eletrônicos- REEE) de 2012/2019 que visa a redução de resíduos oriundos dos sistemas fotovoltaicos. Ao ser regulamentada em 2002, essa lei previa a reciclagem anual de 65%. Posteriormente, foram publicadas quatro revisões, cuja última exige uma taxa de reciclagem de 85% do total anual de Resíduos (MAHMOUDI, *et al.*, 2021).

Em relação ao Brasil, as orientações gerais, quanto à destinação final dos resíduos fotovoltaicos, são amparadas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos- PNRS/ 2010 e pelo Acordo Setorial de Eletroeletrônicos, assinado em outubro de 2019 (KOZEN; PEREIRA,

2020). O primeiro, trata da correta destinação de resíduos sólidos, em seu artigo 32 determina a reutilização ou a reciclagem. Cabendo aos “respectivos responsáveis assegurar que as embalagens sejam “recicladas, se a reutilização não for possível” (BRASIL, 2010, não paginado).

O segundo, considera fabricantes, distribuidores e comerciantes de Produtos Eletroeletrônicos, “obrigados a implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor” (BRASIL, 2019, p. 2) e define como Produtos Eletroeletrônicos “equipamentos de uso doméstico cujo adequado funcionamento depende de correntes elétricas com tensão nominal não superior a 240 volts” (BRASIL, 2019, p. 5).

Apesar de o cenário brasileiro dispor de tais normativas, sua implementação não é garantida, haja vista a falta de mecanismo de fiscalização e cobrança por parte dos órgãos públicos e a falta de conhecimento e acesso a informação por parte da população referente às alternativas de descarte de resíduo (KOZEN; PEREIRA, 2020), diferentemente do que já ocorre na Alemanha, onde o governo, amparado pela REEE, penalizam e multam os fabricantes e importadores de equipamento fotovoltaicos que se eximem das obrigações de tratamento de fim de vida dos seus produtos (XU *et al.*, 2018).

### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada a partir de uma abordagem qualitativa, uma vez que este tipo de método possibilita ao pesquisador realizar análise e interpretação mais profunda de determinado contexto (MARCONI; LAKATOS, 2003) no intuito de “melhor compreender o problema investigado” (MALHOTRA, 2001, p. 155). Quanto à finalidade, trata-se de uma investigação de cunho exploratório-descritivo (MALHOTRA, 2001). É caracterizada como exploratória em função de “ampliar o conhecimento a respeito de um determinado fenômeno. Esse tipo de pesquisa explora a realidade buscando maior conhecimento, para depois planejar uma pesquisa descritiva” (ZANELLA, 2009 p. 79). Por outro lado, é tida como descritiva, por descrever as características de determinado fenômeno (MARCONI; LAKATOS, 2003).

Sua realização ocorreu em três etapas, a saber: (i) Identificaram-se as regulamentações existentes no Brasil para correta destinação dos resíduos fotovoltaicos, (ii) a partir de uma revisão bibliográfica apontaram-se os desafios existentes no Brasil para a correta destinação dos resíduos FV; e, (iii) mediante uma revisão sistemática foram propostos caminhos norteadores para cada desafio encontrado na etapa anterior. Optou-se em utilizar este recurso metodológico, por possibilitar ao pesquisador responder a uma pergunta claramente formulada, utilizando



procedimentos sistemáticos e explícitos para identificar, selecionar e avaliar as pesquisas relevantes, assim como coletar e analisar dados de estudos incluídos na revisão (CORDEIRO *et al.*, 2007).

Na primeira etapa foi realizada uma busca no website *LexML*. Em uma primeira tentativa de busca utilizaram-se as expressões “resíduos fotovoltaicos” e “reciclagem fotovoltaica”, porém não se localizou nenhum material. Certamente, isto decorre do fato de as placas fotovoltaicas pós-consumo serem consideradas resíduos/lixo de equipamentos elétricos e eletrônicos<sup>11</sup>, mesma categoria utilizada para equipamentos como televisores e celulares (BRASIL, 2019). Mediante a isso, adotou-se a palavra-chave “lixos eletrônicos”. Os projetos de lei foram encontrados a partir dos critérios de análise descritos no Quadro 2.

**Quadro 2:** Critérios de análise dos PL sobre Resíduos de sistemas fotovoltaicos no Brasil.

Variáveis	Descrição
Número	Número do PL.
Ano de apresentação do PL	Data de sua apresentação
Apensação	Instrumento que permite a tramitação conjunta de proposições que tratam de assuntos similares. Quando uma proposta apresentada é semelhante a outra que já está tramitando, é determinado que a mais recente seja apensada à mais antiga.
Autoria	Câmara dos Deputados; e Senado Federal.
Situação da tramitação	Arquivada; Proposição Inadequada; Em Tramitação; Aguardando Retorno do Senado; Transformada em Norma; Vetada Totalmente
Assunto geral	Descrição da ementa.

**Fonte:** Autoria própria a partir de Gomes (2005; 2006); Reis, Carvalho e Gomes (2009).

O tratamento dos dados deu-se a partir do uso de análise de conteúdo (documental), que segundo Bardin (2006, p. 38) consiste em “um conjunto de técnicas de análise que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos com o propósito de possibilita ao pesquisador “compreender criticamente o sentido das comunicações, seu conteúdo manifesto ou latente, as significações explícitas ou ocultas” (CHIZZOTTI, 2006, p. 98).

A segunda etapa foi desenvolvida mediante revisão bibliográfica em periódicos nacionais com intuito de identificar os desafios em âmbito nacional para que haja destinação

<sup>11</sup> Os equipamentos eletroeletrônicos, são considerados todos aqueles produtos cujo funcionamento depende do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos. Eles podem ser divididos em quatro categorias amplas (Logística reversa em equipamentos eletroeletrônicos, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, Análise de Viabilidade Técnica, 2012. p14.).

correta dos resíduos fotovoltaicos. Essa busca ocorreu mediante as palavras-chave: “resíduos” AND “fotovoltaicos”.

A terceira etapa, consistiu em realizar uma revisão sistemática. Esta investigação envolveu a busca de artigos que possuísem como descritores os termos “waste AND photovoltaic AND government”, em seu título, resumo ou palavras-chave. Como critério de seleção, estes estudos necessariamente deveriam se relacionar ao tema “resíduos fotovoltaicos”. Essa busca foi efetuada nas bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*, com foco prioritário em analisar artigos de alto impacto publicado internacionalmente. Utilizou-se o operador booleano “AND” com o intuito de cruzar os termos entre si, conforme postulado de Chueke e Amatucci (2015).

Inicialmente foram encontrados um total de 55 artigos: *Scopus* (20 artigos), *Science Direct* (21 artigos), *Web Of Science* (14 artigos). Após retirada de duplicidade e realização de análise preliminar para confirmar a relação dos artigos com o tema de estudo, restaram 17 artigos, os quais constituíram a base para análise da revisão sistemática (etapa três desta pesquisa).

#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção apresentam-se os resultados da pesquisa, divididos em três partes: (i) apresentação e análise dos projetos de lei referente ao descarte de resíduos FV no Brasil; (ii) identificação dos desafios a serem superados para que haja uma correta destinação destes resíduos no país e (iii) indicar algumas possibilidades para mitigar tais desafios.

##### 4.1 Análise das regulamentações que orientam a destinação de resíduos FV no Brasil

A partir da realização desta pesquisa foi possível identificar 15 regulamentações entre Leis (6,67%), Projeto de Lei (53,33%) e Decretos (40%) que orientam, para o descarte correto dos lixos fotovoltaicos. O Quadro 3 apresenta os resultados obtidos nas buscas realizadas por projetos de lei federal apresentado para aprovação no Congresso Nacional.

**Quadro 3:** Regulamentações que orientam a destinação correta de resíduos FV no Brasil.

	Tipo	Autor	Situação em tramitação	Assunto geral
1	Lei 12.305/2010 Congresso Nacional	Governo federal	Aprovada, encontra-se em vigor.	Institui a PNRS, dispondo sobre seus princípios, objetivos e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos.
2	Decreto 7.404/2010 Congresso Nacional	Governo federal	Revogado pelo Decreto 10.936/2022	Este Decreto estabelece normas para execução da PNRS, de que trata a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010.
3	PDC 352/2011 Câmara dos Deputados	Laercio Oliveira - PR/SE	Sujeita à Apreciação do Plenário	Altera o art. 3º do Decreto nº 7.404, de 2010, que institui a PNRS, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.

4	PL 2433/2011 Câmara dos Deputados	Jhonatan de Jesus - PRB/RR	Aguardando Parecer 12	Acrescenta o § 9º ao art. 33 da Lei nº 12.305, de 2010. Sobre obrigatoriedade dos fabricantes e importadores dos produtos geradores de resíduos sólidos que demandem sistemas de logística reversa, após o uso pelo consumidor.
5	PL 2551/2011 Câmara dos Deputados	Jhonatan de Jesus - PRB/RR	Arquivada	Dispõe sobre a dedução do Imposto de Renda Pessoa Física das despesas efetuadas com a coleta e entrega de produtos geradores de resíduos sólidos que demandem logística reversa em postos de coleta específica.
6	PL 2940/2015 Câmara dos deputados	Felipe Bornier - PSD/RJ	Apensado ao PL 2045/2011	Institui normas para o gerenciamento e destinação final do lixo eletrônico.
7	Decreto 9.177/ 2017 Executivo	Governo federal	Revogado pelo Decreto 10.936/2022	Regulamenta o art. 33 da Lei nº 12.305/2010 e complementa os art. 16 e art. 17 do Decreto nº 7.404, de 2010 e dá outras providências.
8	PL 7652/2017 Câmara dos Deputados	Fábio Faria (PSD-RN)	Apensado ao PL 5007/2016	Dispões sobre a implantação de postos de recolhimento de lixo eletrônico e seus componentes, categoria que os resíduos fotovoltaicos se encaixam.
9	PL 8040/2017 Câmara dos Deputados	André Fufuca-PP/MA	Apensado ao PL 3732/2015	Acrescenta o §9º ao artigo 33 da Lei nº 12.30/2010. Os fabricantes, comerciantes e fornecedores dos produtos descritos nesta lei ficam obrigados a estabelecer política de desconto, na aquisição de novos produtos, aos consumidores que entregarem as mercadorias inúteis descritas nesta lei que Institui a PNRS.
10	PLS 90/2018 Senado Federal	Rose de Freitas (MDB/ES)	Em tramitação	Altera a PNRS para determinar a destinação de percentual mínimo dos materiais recicláveis descartados a cooperativas de catadores ou organizações da sociedade civil que deem aproveitamento econômico a tais materiais.
11	PL 5406/2019 Câmara dos deputados	Vavá Martins - Republic/PA	Apensado ao PL 3153/2019	Dispõe sobre as responsabilidades dos grandes geradores de resíduos sólidos na gestão desses resíduos
12	Decreto 48090/ 2020	Assembleia Legislativa de Minas Gerais.	Aprovada, encontra-se em vigor.	Isenção de ICMS sobre Coleta e da Armazenagem de Resíduos de Produtos Eletrônicos e seus Componentes.
13	Decreto 10240/2020 Senado Federal	Governo federal	Não consta revogação expressa	Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305 de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177 de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico.
14	PL 2936/2021 Câmara dos deputados	Alexandre Frota - PSDB/SP	Apensado ao PL 2045/2011	Estabelece normas para descarte de lixo eletrônico em condomínios residenciais, empresariais e comerciais e dá outras providências".
15	Decreto 10936/2022 Senado Federal	Governo federal	Aprovada, encontra-se em vigor.	Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2010, que institui a PNRS.

**Nota:** Projeto de lei do Senado Federal (PLS). Projeto de Decreto Legislativo (PDC).

**Fonte:** Autoria própria com base no resultado da pesquisa (2022).

Em relação à situação da tramitação, nota-se que 20% das regulamentações encontram-se em vigor, 13,33% apresentam-se como revogados, ou seja, tornaram-se sem efeito. Outros 6,67% foram arquivados, 6,67% estão em tramitação, 6,67% aguardam parecer, 6,67% estão sujeitas a apreciação do plenário e 33,33% estão apensados a outros PL no Congresso Nacional (cinco PL), ou seja, significa que o outro projeto possui um conteúdo similar. Nota-se que 13,33% das regulamentações foram apresentadas no ano de 2010, 20% no ano de 2011, 6,67% no ano de 2016, 20% no ano de 2017 e 40% entre o ano de 2018 a 2022.

Dentre as regulamentações citadas, cabe destaque à Lei 12.305/2010 que foi considerada como marco regulatório a destinação correta de resíduos sólidos. Anteriormente a esta lei, o

<sup>12</sup> Aguardando Parecer do Relator na Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS).

descarte de lixo eletrônico, como é o caso dos resíduos fotovoltaicos, era dispensado em “lixões” ou aterros destinados aos rejeitos impróprios. A partir de sua criação, as células fotovoltaicas passam a ser intituladas de lixo eletrônico e o artigo 33 orienta sobre as práticas de seu descarte e reciclagem mediante o uso de Logística Reversa e da Responsabilidade Compartilhada. Segundo esta lei:

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: VI – Produtos eletroeletrônicos e seus componentes. § 1º Na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmado entre o poder público e o setor empresarial, os sistemas previstos no caput serão estendidos a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.

§ 2º A definição dos produtos e embalagens a que se refere o § 1º considerará a viabilidade técnica e econômica da logística reversa, bem como o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.

§ 6º Os fabricantes e os importadores darão destinação ambientalmente adequada aos produtos e às embalagens reunidos ou devolvidos, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada, na forma estabelecida pelo órgão competente do SISNAMA e, se houver, pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

§ 8º Com exceção dos consumidores, todos os participantes dos sistemas de logística reversa manterão atualizadas e disponíveis ao órgão municipal competente e a outras autoridades informações completas sobre a realização das ações sob sua responsabilidade (BRASIL, 2010, n.p).

A partir da PNRS/2010, foi criado, ao longo dos anos, algumas leis e Decretos com o intuito de promover um avanço desta lei (12.305/2010). A PL 2433/2011, por exemplo, Acrescenta o § 9º ao art. 33 na Lei 12.305/2010, que determina que:

9º Os fabricantes e importadores dos produtos geradores de resíduos sólidos que demandem sistemas de logística reversa, após o uso pelo consumidor, deverão fazer constar, nos rótulos ou embalagens desses produtos, texto informativo sobre a obrigatoriedade e a importância ambiental de sua entrega em postos de coleta específicos, incluindo a indicação de como localizá-los (BRASIL, 2011, p. 2).

Enquanto a PL 8040/2017 orienta para a necessidade deste mesmo fornecedor estabelecer políticas de descontos na aquisição de novos produtos, aos consumidores que entregarem as mercadorias inúteis ao ponto de coleta. Em consonância, a PL 2551/2011, a fim de estimular a colaboração do consumidor no processo de coleta de resíduos sólidos, dispõe sobre: “a dedução do Imposto de Renda Pessoa Física das despesas efetuadas com a coleta e entrega de produtos geradores de resíduos sólidos que demandem logística reversa em postos de coleta específica definido pelo fabricante”, entretanto, essa PL encontra-se arquivada.

Apesar de não estar citado no Quadro 3, haja vista não ter sido localizado pela pesquisa via *LexML*, é pertinente destacar o importante papel do Acordo Setorial de Eletroeletrônicos

de 2019, que especifica os resíduos fotovoltaicos (painéis FV, baterias e módulos inversores) em seu anexo V, incluindo-os a sua área de abrangência (BRASIL, 2019a). Além disso este acordo vem reforçar algumas orientações advinda da lei PNRs/2010, que obriga a implementação de sistemas de logística reversa a fabricantes, distribuidores e comerciantes de Produtos Eletroeletrônicos, considerando a participação do consumidor para o retorno dos produtos após o uso (BRASIL, 2019a, p. 2). Segundo este Acordo, o gerenciamento correto da logística reversa dos produtos eletroeletrônicos descartados deve atender as seguintes etapas:

- I. Descarte, pelos consumidores, dos produtos eletroeletrônicos nos pontos de recebimento;
- II. Recebimento e armazenamento temporário dos produtos eletroeletrônicos descartados em pontos de recebimento ou dos recebidos em pontos de consolidação, conforme o caso;
- III. Transporte dos produtos eletroeletrônicos dos pontos de recebimento ou dos pontos de consolidação até a destinação final ambientalmente adequada. Alternativamente, transporte dos produtos eletroeletrônicos descartados dos pontos de recebimento até os pontos de consolidação e, em seguida, até a destinação final ambientalmente adequada; e
- IV. Destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2019b, p. 9).

Sendo este Acordo regulamentado pelo decreto federal Nº 10.240/2020 para a Logística Reversa de Eletroeletrônicos (incluindo os painéis fotovoltaicos- Anexo I) e reforça metas e responsabilidades a serem cumpridas pelos fabricantes, distribuidores, importadores e varejistas. Neste sentido, havendo abstenção de responsabilidade, a parte infratora tende a ser penalizada mediante sanções previstas em leis (BRASIL, 2020).

Apesar de ambas as regulamentações: PNRs/2010, Acordo de 2019, Decreto 10240/2020 e Decreto 10936/2022 orientarem as empresas a se responsabilizarem pelos resíduos advindos dos produtos que comercializam, mediante a criação de ponto de coletas-denominada logística reversa, nota-se pouca aderência por parte dos consumidores em se deslocarem a estes postos para descartarem os resíduos dos produtos que utilizaram, como consequência, observa-se um grande volume de resíduos eletrônicos descartado indevidamente (PUPIN, 2019).

Neste sentido, para que a correta gestão dos resíduos fotovoltaicos se efetive, faz-se necessário que o usuário se comprometa em descartar corretamente os painéis ao fim da sua vida útil e que os fabricante e/ou distribuidor se responsabilizem pela reciclagem e/ou reutilização destes materiais (PUPIN, 2019). Como forma de motivar o comprometimento do usuário, o Decreto 10240/2020, em seu artigo 11 evidencia a possibilidade das organizações e entidades gestoras adotarem mecanismos de incentivos direcionados aos usuários que descartem os produtos eletroeletrônicos nos pontos de recebimento.

A partir desta análise, constata-se a existência de diversas regulamentações ( ver Quadro 3) que tendem a orientar para a correta destinação de lixos fotovoltaicos, com destaque a PNRS de 2010 que trouxe ao Brasil diversas inovações relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos (IBAMA, 2022), ao Acordo de 2019 que buscou especificar os resíduos fotovoltaicas e o Decreto 10240/2020 que formalizou e fortaleceu o acordo de 2019 bem como as orientações de logística reversa e deveres dos fabricantes ora já citada em outros Decretos.

#### **4.2 Desafios para a correta reciclagem de resíduos FV no Brasil**

Apesar da existência de algumas regulamentações e métodos de reciclagem utilizados com fins de destinação correta dos resíduos fotovoltaicos, nota-se a existência de alguns desafios importantes a serem superados, dentre os quais se destacam, conforme a literatura identificada pela revisão primária de literatura:

(i) Falta de incentivos ou subsídios que incentivem a política de devolução e a reciclagem fotovoltaica (GUIMARÃES *et al.*, 2021);

(ii) Ausência de fiscalização por parte do poder público (KOZEN; PEREIRA, 2020);

(iii) Necessidade de redução do custo de reciclagem dos módulos FV como opção de gestão de fim de vida (MIRANDA, 2019). Segundo a autora, “o custo da reciclagem dos módulos FV como opção de gestão de fim de vida é claramente maior que as receitas obtidas. Em geral, esses custos superam em quase 3 vezes as receitas com a provável comercialização dos materiais recuperados no processo” (MIRANDA, 2019, p. 4);

(iv) Falta de conhecimento e acesso de informação pela sociedade no que tange às corretas alternativas de descarte deste resíduo (KOZEN; PEREIRA, 2020); de forma geral, os consumidores apresentam pouca consciência sobre os resíduos gerados pelo sistema fotovoltaico e sua correta gestão (NAIN; KUMAR, 2022);

(v) Precária capacidade institucional e de gerenciamento da política em diversos municípios brasileiros, em especial, os de pequeno porte (HEBER; SILVA, 2014);

(vi) Pouca aderência do setor privado (fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes) em assumir sua responsabilidade, dando pouca ou nenhuma ênfase à temática da logística reversa (CNM, 2020), apesar do artigo 33 da lei 12.305/2010, do artigo 1º do Decreto 1020/2020 e do artigo 28 do Decreto 10936/2022 obrigarem as empresas a realizarem este procedimento; e,

(vii) Necessidade de se criarem políticas claras voltadas ao descarte de resíduos fotovoltaicos no Brasil, posto que, no atual cenário não há regulamentações específicas para o processo de reciclagem deste equipamento (MIRANDA *et al.*, 2019).

### 4.3 Possíveis soluções identificadas

Frente aos desafios para a gestão eficaz dos resíduos FV e, em função das leis existentes no Brasil não serem suficientes para mitigar tais situações, realizou-se uma revisão sistemática no intuito de indicar um caminho norteador para cada um dos desafios descritos na subseção 4.2. No Quadro 4 estão descritos o achados desta pesquisa.

**Quadro 4:** Artigos selecionados para a revisão sistemática.

N.	Ano	Autores	Título
1	2022	Tasnim <i>et al.</i>	Current challenges and future perspectives of solar-PV cell waste in Bangladesh.
2	2022	Li <i>et al.</i>	Recycling schemes and supporting policies modeling for photovoltaic modules considering heterogeneous risks.
3	2022	Liu <i>et al.</i>	Employing benefit-sharing to motivate stakeholders' efficient investment in waste photovoltaic module recycling.
4	2022	Rabaia, Semeraro e Olabi	Recent progress towards photovoltaics' circular economy.
5	2022	Naim e Kumar	A state-of-art review on end-of-life solar photovoltaics.
6	2022	Gautan, Shankar e Vrat	Managing end-of-life solar photovoltaic e-waste in India: A circular economy approach.
7	2021	Yu e Tong	Producer vs. local government: The locational strategy for end-of-life photovoltaic modules recycling in Zhejiang province.
8	2021	Khawaja, Ghaith e Alkhalidi	Public-private partnership versus extended producer responsibility for end-of-life of photovoltaic modules management policy.
9	2021	Majewiski <i>et al.</i>	Recycling of solar PV panels- product stewardship and regulatory approaches
10	2021	Sheoran, Sharma e Kumar	A novel policy to tackle life span reassessment of existing bulk and thin-film photovoltaic materials.
11	2020	Nnorom e Odeyingbo	Electronic waste management practices in Nigeria.
12	2020	Farrel <i>et al.</i>	Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules.
13	2020	Li <i>et al.</i>	Conception and policy implications of photovoltaic modules end-of-life management in China
14	2019	Wu, Zangh e Xu	Research on China's photovoltaic modules recycling models under extended producer responsibility.
15	2019	Mahmoudi, Huda e Bhenia	Photovoltaic waste assessment: Forecasting and screening of emerging waste in Australia.
16	2017	D'dalmo, Miliacca e Rosa	Economic feasibility for recycling of waste crystalline silicon photovoltaic modules.
17	2017	Domínguez e Geyer	Photovoltaic waste assessment in Mexico

**Fonte:** Autoria própria com base nos resultados da pesquisa (2022).

### **(i) Ausência de incentivos e subsídios para a devolução dos resíduos FV a serem reciclados**

A regulamentação brasileira em seu Decreto N° 10240/2020, artigo 11, descreve sobre a possibilidade das empresas ou unidades gestoras de criarem mecanismos de incentivos direcionados aos usuários para que eles possam realizar o correto descarte dos resíduos eletroeletrônicos. Porém, neste decreto não são identificados incentivos ou subsídios governamentais direcionados aos consumidores (pessoas físicas assim como as empresas).

Quanto ao consumidor, a coleta domiciliar gratuita é apresentado como uma alternativa para estimulá-lo ao descarte correto (NNOROM; ODEYINGBO, 2020). Para que a coleta seja realizada, os consumidores devem entrar em contato com os centros de coletas para providenciar a retirada dos materiais obsoletos. Esses centros devem ser de propriedade governamental, as taxas de transporte, a princípio, devem ser cobertas pelos governos e os consumidores devem disponibilizar gratuitamente os seus módulos fotovoltaicos (KHAWAJA *et al.*, 2021).

Em relação aos fabricantes, a criação de incentivos governamentais para reciclagem, concedidos a estes fabricantes, certamente estimularia a adesão à correta gestão de resíduos fotovoltaicos (NAIN; KUMAR, 2022). Além disso, Liu *et al.* (2022) mencionam a possibilidade de o governo criar estratégia a partir da combinação de mecanismo de preços e de intervenção governamental, quando for necessário, com o intuito de auxiliar as partes interessadas a obterem melhor lucratividade.

### **(ii) Falta de fiscalização por parte do poder público**

A fiscalização tende a se tornar ativa à medida que a legislação específica vier a ser aprovada no Brasil. Li *et al.* (2020) orientam para a obrigatoriedade de números exclusivos de séries em todos os componentes FV, de modo que os produtos possam ser rastreados no decorrer de seu ciclo de vida.

### **(iii) Redução de custos de reciclagem de FV**

As diminuições destes custos tendem a ser influenciados pela criação de subsídios oferecidos aos fabricantes por sua capacidade reciclada. A implementação destes subsídios, além de reduzir o impacto negativo e o nível de risco da reciclagem, influencia na robustez do mercado fotovoltaico (LI *et al.*, 2022).

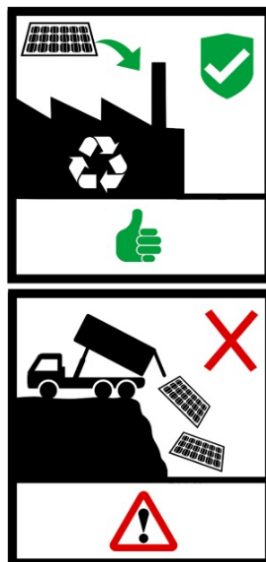


Estima-se que o benefício econômico da reciclagem de módulos fotovoltaicos gere em torno de 5% do lucro líquido o que causa pouco entusiasmo nas empresas de fabricação (WU *et al.*, 2019). Yu e Tong (2021) orientam para otimização prévia do layout das infraestruturas de logística reversa por parte dos fabricantes, haja vista este item (logística reversa) ser responsável por uma grande proporção do custo total da reciclagem fotovoltaica.

**(iv) Falta de conhecimento e informação por parte dos consumidores sobre a correta gestão dos resíduos fotovoltaicos**

O governo pode exigir que os fabricantes adicionem uma etiqueta informativa de aviso na parte traseira dos módulos com o intuito de (i) informar os possíveis perigos advindos do descarte incorreto destes equipamentos e (ii) orientar sobre o formato correto de descarte (KHAWAJA *et al.*, 2021). Os autores sugerem um formato da etiqueta a ser utilizada (Figura 3).

**Figura 3:** Modelo de etiqueta de advertência a ser anexada no módulo fotovoltaico.



Fonte: Khawaja *et al.* (2021).

A conscientização deve ser pensada e disseminada em todos os níveis da sociedade, mediante o uso de diversos mecanismos: mídias sociais, televisão, oficinas e campanhas de reciclagem (KHAWAJA *et al.*, 2021), sendo o governo considerado como um dos principais atores para promover essa conscientização no público-alvo (MAHMOUDI *et al.*, 2021).

**(v) Precária capacidade institucional e de gerenciamento dos municípios brasileiros:**

Khawaja *et al.* (2021) orienta para a criação de Parceria-Público-Privada, onde o Estado forneça terrenos para que as instalações de reciclagem sejam construídas, enquanto os investidores se responsabilizem pelos materiais e equipamentos necessários à realização da

reciclagem dos resíduos fotovoltaicos. Outra possibilidade que cabe destaque é a criação de centros conjuntos de coleta de resíduos fotovoltaicos (SHEORAN *et al.*, 2021).

Além disso, alguns autores sugerem o desenvolvimento de estratégias baseadas na economia circular (GAUTAN *et al.*, 2022; FARREL *et al.*, 2020; MAHMOUDI *et al.*, 2019). Espera-se que, a partir da matéria prima recuperada sejam produzidos novos painéis fotovoltaicos ou utilizados na fabricação de um novo produto (MAHMOUDI *et al.*, 2019), haja vista estes resíduos apresentarem potenciais de serem utilizados em indústria da construção civil e de revestimentos cerâmicos (MAHMOUDI *et al.*, 2021).

#### **(vi) Pouca aderência do setor privado (fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes) em assumir sua responsabilidade frente à logística reversa**

No Brasil, a legislação brasileira (lei 12.305/2010, Decreto N° 10240/2020 e Decreto N° 10936/2022) obrigam os fabricantes a darem um destino correto aos produtos eletroeletrônicos (categoria que se enquadra os resíduos fotovoltaicos). Apesar disso, nota-se pouca aderência por partes dos fabricantes em adotar efetivamente os moldes de reciclagem correta, isto decorre dos custos de reciclagem ser altos.

Neste sentido, o Estado pode atuar, mediante o uso de poder de polícia afim de exigir o cumprimento das normas estabelecidas na PNRS/2010 e demais legislações vigentes (SILVA, 2015). Segundo a Confederação dos Municípios (2020) torna-se importante a atuação em conjunto dos gestores municipais com os Ministérios Públicos Estaduais, com o intuito de promover ação de notificação e responsabilização da esfera empresarial, frente sua escusa em cumprir a lei.

Apesar das sanções serem importantes, é preciso que o governo crie mecanismo para auxiliar as indústrias fotovoltaicas a realizarem sua transição, de um modelo de negócios unidirecional para um modelo de negócios sustentável, ou seja, para a adoção da economia circular de energia fotovoltaica (RABAIA *et al.*, 2022), posto que o envolvimento dos diversos setores na gestão de resíduos fotovoltaicos depende prioritariamente de políticas e incentivos adequados (D'ADAMO *et al.*, 2017).

Além disso, é preciso que o governo invista em PeD sobre tecnologia de reciclagem e crie linhas de créditos que possibilite aos fabricantes adotarem tecnologia adequada de reciclagem. Segundo Domínguez e Geyer (2017), havendo a utilização de equipamentos apropriados, a reciclagem de metais preciosos presentes nos módulos fotovoltaicos poderiam ser melhor aproveitados (estima-se que um painel FV contenha em torno de 10 elementos

metálicos: prata, ouro, cobre, níquel, zinco e alumínio). “Por exemplo, se o ouro pudesse ser recuperado com um rendimento de reciclagem de 50% em vez dos 36% reais, um adicional de 40% de ouro seria recuperado” (DOMÍNGUEZ; GEYER, p. 37, 2017).

#### (vii) **Necessidade da criação de políticas específicas sobre resíduos fotovoltaicos no Brasil**

Apesar de o Brasil apresentar regulamentações avançadas, o país ainda carece de uma legislação específica para a correta destinação de resíduos FV. Até o presente momento apenas a UE e o Reino Unido têm legislação em vigor para lidar com a reciclagem de painéis solares fotovoltaicos e países como Japão e Austrália estão desenvolvendo este tipo de legislação (MAJEWSKI *et al.*, 2020).

Portanto, é imprescindível a formulação adequada deste tipo de políticas (TASNIM *et al.*, 2022), uma vez que sua criação é tido como uma importante ferramenta para a redução de lixo descartado indevidamente. O acúmulo de resíduos fotovoltaicos sem tratamento correto são prejudiciais ao ecossistema, logo, há a necessidade de haver um plano rigoroso para a sua gestão (SHEORAN *et al.*, 2021). Porém isso só será possível a partir de uma legislação clara e específica.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo desta pesquisa foi o de analisar as políticas públicas relacionadas (existentes e/ou em construção) à destinação final dos resíduos fotovoltaicos no Brasil. A partir de sua realização, foi possível identificar que, apesar de o país dispor de algumas regulamentações voltado a destinação de resíduos FV, sua atuação é ineficiente, nota-se um cenário de aumento de resíduos FV, e existências de desafios que necessitam ser sanado para que, de fato, a destinação corretas destes equipamento em fim de vida útil seja realizado.

Dentre os desafios identificados no Brasil estão: (i) ausência de incentivos e subsídios para incentivar a devolução dos resíduos fotovoltaicos para serem reciclados, (ii) falta de fiscalização por parte do poder público, (iii) redução de custos de reciclagem de FV, (iv) falta de conhecimento e informação por parte dos consumidores sobre a correta gestão dos resíduos fotovoltaicos, (v) precária capacidade institucional e de gerenciamento dos municípios brasileiros, (vi) pouca aderência do setor privado (fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes) em assumir sua responsabilidade frente à logística reversa e (vii) necessidade da criação de políticas específicas sobre resíduos fotovoltaicos no Brasil.

Este cenário reforça a necessidade urgente da criação de políticas específicas para a reciclagem de resíduos FV, tal como ocorre em alguns países europeus. Isto certamente

contribuiria para a mitigação de tais desafios e proporcionaria aos consumidores e fabricantes ter uma melhor percepção de como reciclar, quais benefícios que isto os trariam bem como que sanções sofreriam caso se **abstivesse** de suas responsabilidades.

Como contribuição, além de ampliar a literatura sobre o tema, esta pesquisa avança a medida que descreve tais regulamentações e elenca alguns desafios com possíveis alternativas a sua mitigação. Para pesquisa futuras, sugere-se identificar que ações já desenvolvidas em países que dispõem de regulamentação específicas poderiam ser ajustada e implantada no Brasil.

## REFERÊNCIAS

AZEUMO, M. F.; GERMANA, C.; IPPOLITO, N. M.; FRANCO, M.; LUIGI, P.; SETTIMIO, S. Photovoltaic module recycling, a physical and a chemical recovery process. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, versão online, [S.l.], v. 193, s.n., p. 314-319, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024819300510?via%3Dihub>>. Acessado em: Dez. 2022.

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

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acessado em: Jan. 2023.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 2.433 de 28 de Setembro de 2011**. 2011. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=522137>>. Acessado em: Jan. 2023.

BRASIL. **Acordo Setorial Eletroeletrônicos**. 2019a. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br>>. Acessado em: Jan. 2023.

BRASIL. **Boletim setembro 2019**. Ministério de Minas e Energia. Boletins de monitoramento do Sistema Elétrico. 2019b. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>>. Acessado em: Fev. 2023.

CANAL ENERGIA. **Custo da energia solar será 60% menor até 2050, diz estudo**. 2019. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53118850/custo-da-energia-solar-sera-60-menor-ate-2050-diz-estudo>> Acessado em: Nov. 2022.

CAPELLA, A. C. N. **Formulação de políticas públicas**. 2018. p. 152 Disponível em: <<https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/3332>>. Acessado em: Jan. 2023.

CAPELLA, A. C. N. Perspectivas teóricas sobre o processo de formulação de políticas públicas. **Políticas públicas no Brasil**. Rio de Janeiro: Fiocruz, v. 1, p. 87-124, 2007.

CARPIO, L. G. T. Mitigating the risk of photovoltaic power generation: A complementarity model of solar irradiation in diverse regions applied to Brazil. **Utilities Policy**, versão online,

[S.l.], v. 71, s.n., 2021. **Disponível em:** <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957178721000795?via%3Dihub>>. Acessado em: Nov. 2023.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais** (8a ed.). São Paulo: Cortez, 2006.

CHOWDHURY, M. D. S. *et al.* An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. **Energy Strategy**, versão online, [S.l.], v. 27, s.n., 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19301245>>. Acessado em: Fev. 2023.

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. **O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. Internext**, versão online, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 1-5, 2015. Disponível em: <<https://internext.espm.br/internext/article/view/330>>. Acessado em: Jan. 2023.

CIRNO, A. L.; SILVA, L. N. da; MELO, J. R. R. **Compreendendo a agenda-setting e o modelo dos múltiplos fluxos de John Kingdon**. Revista do Instituto de Políticas Públicas de Marília, versão online, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 119-132, 2021. Disponível em: <<https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/RIPPMAR/article/view/11704>>. Acessado em: Jan. 2023.

**CNM- Confederação Nacional de Municípios**. 10 anos da PNRS: importância da logística reversa nos Municípios brasileiros. 2020. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br>>. Acessado em: Fev. 2023.

CORDEIRO, A.M. *et al.* **Revisão sistemática: Uma revisão narrativa**. Revista do Colégio

Brasileiro de Cirurgiões, versão online, [S.l.], v. 34, n. 6, p. 428–431, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rcbc/a/CC6NRNtP3dKLGLPwcmV6Gf/?lang=pt>>. Acessado em: Nov. 2022.

CZAJCZYŃSKA, D. *et al.* Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. **Thermal Science and Engineering Progress**, versão online, [S.l.], v. 3, s.n., p. 171-197, 2017. Disponível em: <[sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904917300690](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904917300690)>. Acessado em: Nov. 2022.

DAVIS, G.; HERAT, S. Electronic waste: The local government perspective in Queensland, Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, versão online, [S.l.], v. 52, n. 8-9, p. 1031-1039, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344908000554>>. Acessado em: Jan. 2023.

D'ADAMO, I.; MILIACCA, M.; ROSA, P. Economic feasibility for recycling of waste crystalline silicon photovoltaic modules. **International journal Photoenergy**, versão online, [S.l.], v. 2017, s.n., 2017. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/ijp/2017/4184676/>>. Acessado em: Dez. 2022.

DOMÍNGUEZ, A.; GEYER, R. Photovoltaic waste assessment in Mexico. **Resources, Conservation and Recycling**, versão online, [S.l.], v. 127, s.n., p. 29-41, 2017. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/eee/recore/v127y2017icp29-41.html>>. Acessado em: Jan. 2023.

EPE- Empresa de Pesquisa Energética. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Nota Técnica DEA 19/14. Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acessado em: Nov. 2022.

EPE- Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: 2012, p. 64 (Nota técnica EPE). Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acessado em: Nov. 2022.

GUZZO, D. *et al.* Analysis of national policies for Circular Economy transitions: Modelling and simulating the Brazilian industrial agreement for electrical and electronic equipment. **Waste Management**, versão online, [S.l.], v. 138, s.n., p. 59-74, 2021. Disponível: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34871882/>>. Acessado em: Jan. 2023.

FAIRCLOTH, C. C. *et al.* The environmental and economic impacts of photovoltaic waste management in Thailand. **Resources, Conservation and Recycling**, versão online, [S.l.], v. 143, s.n., p. 260-272, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919300084?via%3Dihub>>. Acessado em: Dez. 2022.

FARREL, C. C. *et al.* Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, versão online, [S.l.], v. 128, s.n., p. 109911, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120302021>>. Acessado em: Jan. 2023.

GAUTAN, A.; SHANKAR, R.; VRAT, P. Managing end-of-life solar photovoltaic e-waste in India: A circular economy approach. **Journal of Business Research**, versão online, [S.l.], v. 142, s.n., p. 287-300, 2020. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/eee/jbrese/v142y2022icp287-300.html>>. Acessado em: Jan. 2023.

GELINSKI, C. R. O. G.; SEIBEL, E. J. Formulação de políticas públicas: questões metodológicas relevantes. **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, v. 42, n. 1, p. 227-240, 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/revistacfh/article/view/2178-4582.2008v42n1-2p227>>. Acesso em: Jan. 2023.

GUIMARÃES, E. C. *et al.* dos. Solar energy paradigms and waste generation. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 6, p. 59923-59940, 2021. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/31485>>. Acessado em: Jan. 2023.

HEBER, F.; SILVA, E. M. da. Institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos: dilemas e constrangimentos na Região Metropolitana de Aracaju (SE). **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 4, p. 913-937, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rap/a/LydszDxFJhzVWHmgqH4ppXn/abstract/?lang=pt>>. Acessado em: Jan. 2023.

IBAMA- Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010**. 2022. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/residuos/control-de-residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>>. Acessado em: Jan. 2023.

KHAWAJA; M. K.; GHAITH, M.; ALKHALIDI, A. Public-private partnership versus extended producer responsibility for end-of-life of photovoltaic modules management policy. **Solar Energy**, versão online, [S.l.], v. 222, s.n., p. 193-201, 2021. Disponível

em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X21003856>>. Acessado em: Dez. 2022.

KINGDON, J. W. **Agendas, alternativas and public policies**. 2. ed. Ann Arbor: University of Michigan, 2003.

KONZEN, B. A. D. V.; PEREIRA, A. F. Gestão de resíduo fotovoltaico: revisão bibliográfica sobre o cenário de fim de vida do sistema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2020, Fortaleza. **Anais [...]**, Fortaleza: CBENS, 2020. P. 1-10. Disponível em:<<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1011>>. Acessado em: Jan. 2023.

DELEON, P. Public policy termination: an end and a beginning. **Policy Analysis**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 1976. Disponível em:<<https://www.rand.org/pubs/papers/P5827.html>>. Acessado em: Nov. 2022.

LIMA, L. C. de; ARAÚJO, L. F. de; LIMA MORAIS, F. H. B. de. Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. **Energy for Sustainable Development**, versão online, [S.l.], v. 37, s.n., p. 79–85, 2017. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082616308742?via%3Dihub>>. Acessado em: Fev. 2023.

LI, Y. *et al.* Recycling schemes and supporting policies modeling for photovoltaic modules considering heterogeneous risks. **Resources, Conservation and Recycling**, versão online, [S.l.], v. 180, s.n., p. 106165, 2022. Disponível em:<<https://pubag.nal.usda.gov/catalog/7630801>>. Acessado em: Dez. 2022.

LI, Y. *et al.* Conception and policy implications of photovoltaic modules end-of-life management in China. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, versão online, [S.l.], v.10, n. 1, p. e38, 2020. Disponível em:<<https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wene.387>>. Acessado em: Jan. 2023.

LIU, C. *et al.* Employing benefit-sharing to motivate stakeholders' efficient investment in waste photovoltaic module recycling. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, versão online, [S.l.], v. 51, s.n., p. 101877, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138821008912?via%3Dihub>>. Acessado em: Dez. 2022.

MAJEWSKI, P. *et al.* Recycling of solar PV panels- product stewardship and regulatory approaches. **Energy Policy**, versão online, [S.l.], v. 149, s.n., p. 112062, 2021. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421520307734>>. Acessado em: Dez. 2022.

MAHMOUDI, S.; HUDA, N.; BEHNIA, M. Multi-levels of photovoltaic waste management: A holistic framework. **Journal of Cleaner Production**, versão online, [S.l.], v. 294, s.n., p. 126252, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621004728?via%3Dihub>>. Acessado em: Dez. 2022.

MAHMOUDI, S.; HUDA, N.; BEHNIA, M. Photovoltaic waste assessment: Forecasting and screening of emerging waste in Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, versão online, [S.l.], v. 146, s.n., p. 192-205, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919301454?via%3Dihub>>. Acessado em: Dez. 2022.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos da metodologia científica. MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Métodos Científico**, v. 5, s.n., p. 309 2003. Disponível em: <[http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy\\_of\\_historia-i/historia-ii/china-e-india/view](http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/view)>. Acessado em: Nov. 2022.

MIRANDA, R. T.; LEANDRO, F. da S.; SILVA, T. C. gestão do fim de vida de módulos fotovoltaicos. **Revista Brasileira de energias renováveis**, Paraná, v. 8, n.1, p. 364- 383, 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/53355>>. Acessado em: Jan. 2023.

MME- Ministério de Minas e Energia. **Boletim mensal de monitoramento do setor elétrico – dezembro de 2016**. Brasília: MME, 2017.

NAIN, P.; KUMAR, A. Understanding manufacturers' and consumers' perspectives towards end-of-life solar photovoltaic waste management and recycling. **Environment, Development and Sustainability**, versão online, [S.l.], v. 343, s.n., p. 1-21, 2022. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-022-02136-6>>. Acessado em: Dez. 2022.

NNOROM, I. C. *et al* (org). Handbook of Electronic Waste Management. Butterworth-Heinemann, 2020. p. 323-354. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128170304000140?via%3Dihub>>. Acessado em: Jan. 2023.

PUPIN, P. C. **Avaliação dos impactos ambientais da produção de painéis fotovoltaicos através de análise de ciclo de vida**. 2019. 111f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Energia)- Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

RABAIA, M. K. H.; SEMERARO, C.; OLABI, A. G. Recent progress towards photovoltaics' circular economy. **Journal of Cleaner Production**, versão online, [S.l.], v. 373, s.n., p. 33864, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622034394?via%3Dihub>>. Acessado em: Nov. 2022.

REDLINGER, M.; EGGERT, R.; WOODHOUSE, M. Evaluating the availability of gallium, indium, and tellurium from recycled photovoltaic modules. **Solar Energy Materials e Solar Cells**, versão online, [S.l.], v. 138, p. 58-71, 2015. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024815000884?via%3Dihub>>. Acessado em: Nov. 2022.

RIGO, P. D. *et al*. Competitive business model of photovoltaic solar energy installers in Brazil. **Renewable Energy**, versão online, [S.l.], v. 181, s.n., p. 39-50, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014812101329X?via%3Dihub>>. Acessado em: Nov. 2022.

ROSA, C. B. *et al*. Mathematical modeling for the measurement of the competitiveness index of Brazil south urban sectors for installation of photovoltaic systems. **Energy Policy**, versão online, [S.l.], v. 136 2020. Disponível em: < <https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v136y2020ics0301421519306354.html>>. Acessado em: Nov. 2022.

SECCHI, L. **Políticas Públicas: conceitos, esquemas de análise e casos práticos**. São Paulo: Cengage. 2013.



SHEORAN, M.; SHARMA, S.; KUMAR, P. A novel policy to tackle life span reassessment of existing bulk and thin-film photovoltaic materials. **International Journal of Environment and Sustainable Development**, versão online, [S.l.], v. 20, n. 3-4, p. 316-330, 2021. Disponível em: <<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJESD.2021.116859>>. Acessado em: Fev. 2023.

SILVA, R. M. D. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado. (Texto para Discussão n. 166), 2015. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166>>. Acessado em: Fev. 2023.

TAO, M. *et al.* Major challenges and opportunities in silicon solar module recycling. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, versão online, [S.l.], v. 28, n. 10, p. 1077–1088, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.3316>>. Acessado em: Fev. 2023.

TASNIM, S. S. *et al.* Current challenges and future perspectives of solar-PV cell waste in Bangladesh. **Heliyon**, versão online, [S.l.], v. 8, n. 2, p. e08970, 2022. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844022002584>>. Acessado em: Fev. 2023.

TSANAKAS, I. *et al.* Towards a circular supply chain for PV modules: Review of today's challenges in PV recycling, refurbishment and re-certification. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, versão online, [S.l.], v. 28, n. 6, p. 454-464, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.3193>>. Acessado em: Jan. 2023.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

WECKEND, S.; WADE, A.; HEATH, G. A. **End of Life Management: Solar Photovoltaic Panels**. 2016. Disponível em: <<https://www.osti.gov/biblio/1561525>>. Acessado em: Jan. 2023.

WU, J.; ZHANG, Q.; XU, Z. Research on China's photovoltaic modules recycling models under extended producer responsibility. **International Journal of Sustainable Engineering**, versão online, [S.l.], v. 12, n. 6, p. 423-432, 2019. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19397038.2019.1674940>>. Acessado em: Fev. 2023.

XU, Y. *et al.* Global status of recycling waste solar panels: a review. **Waste Management**, versão online, [S.l.], v. 75, s.n., p. 450–458, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X18300576?via%3Dihub>>. Acessado em: Fev. 2023.

YU, H.; TONG, X. Producer vs. local government: The locational strategy for end-of-life photovoltaic modules recycling in Zhejiang province. **Resources, Conservation and Recycling**, versão online, [S.l.], v. 169, s.n., p. 105484. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344921000914?via%3Dihub>>. Acessado em: Fev. 2023.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de estudo e de pesquisa em administração**. Florianópolis: Departamento de ciências da administração. UFSC. Brasília: CAPES, UAB, 2009. Disponível em: <[http://paginapessoal.utfpr.edu.br/mansano/downloads-para-disciplina-de-metodologia-da-pesquisa-uab/downloads/UAB\\_Metod\\_Livro\\_Base.pdf](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/mansano/downloads-para-disciplina-de-metodologia-da-pesquisa-uab/downloads/UAB_Metod_Livro_Base.pdf)>. Acessado em: Jan. 2023.