




**POLÍTICA REVERSA DE PLACAS FOTOVOLTAICAS: DESAFIOS DO  
DESCARTE SUSTENTÁVEL E REAPROVEITAMENTO**

**REVERSE POLICY OF PHOTOVOLTAIC PLATES: CHALLENGES OF  
SUSTAINABLE DISPOSAL AND REUSE**

**POLÍTICA INVERSA PARA PANELES FOTOVOLTAICOS: DESAFÍOS DE LA  
ELIMINACIÓN Y REUTILIZACIÓN SOSTENIBLES**

 <https://doi.org/10.56238/levv17n61-012>

**Data de submissão:** 02/05/2026

**Data de publicação:** 02/06/2026

**Marcio de Aquino**

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

E-mail: marcio.aquino@ufms.br

**Denise Barros de Azevedo**

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

E-mail: denise.azevedo@ufms.br

---

**RESUMO**

O atual cenário nacional e o crescimento esperado da geração fotovoltaica mostram a necessidade de se fazer uma avaliação com mais profundidade dos impactos que essa nova forma de geração produz. O objetivo principal foi analisar como as políticas reversas podem ser estruturadas e implementadas, destacando os desafios do descarte sustentável e as oportunidades para o reaproveitamento de componentes. Optou-se pelo método qualitativo, exploratório e descritivo de natureza bibliográfica com base nas informações disponíveis em artigos acadêmicos, relatórios governamentais e publicações de instituições ligadas à energia e ao meio ambiente, dos últimos 10 anos (entre 2014 e 2023). O estudo mostrou que, ao avaliar o impacto ambiental de uma central solar fotovoltaica, é fundamental ter em conta vários fatores que abrangem todo o seu ciclo de vida, desde a fabricação dos painéis solares até a sua instalação, operação e desmontagem, pois cada etapa apresenta um conjunto diferente de influências no ecossistema circundante e no planeta como um todo. Destacou, ainda, que, tendo em vista o atual cenário nacional e o crescimento esperado da geração fotovoltaica é preciso fazer uma avaliação com mais profundidade dos impactos que essa nova forma de geração produz. Os desafios devem ser enfrentados com a implementação das estratégias recomendadas e com a implementação de políticas públicas ambientais de proteção ao ecossistema. De todo o ciclo de vida da energia solar, o impacto ambiental da pode ser mitigado e gerenciado de forma eficaz, atendendo aos imperativos da segurança energética, econômica prosperidade e sustentabilidade ambiental.

**Palavras-chave:** Energia Fotovoltaica. Sustentabilidade. Reciclagem. Resíduos.

**ABSTRACT**

The current national scenario and the expected growth of photovoltaic generation show the need to make a more in-depth assessment of the impacts that this new form of generation produces. The reason was to analyze how reverse policies can be structured and implemented, highlighting the challenges of sustainable disposal and the opportunities for reusing components. The qualitative, exploratory and descriptive method of bibliographic nature was chosen based on information available in academic

articles, government reports and publications from institutions linked to energy and the environment, from the last 10 years (between 2014 and 2023). The study showed that, when assessing the environmental impact of a photovoltaic solar plant, it is essential to consider several factors that cover its entire life cycle, from the manufacture of the solar panels to their installation, operation and dismantling, as each stage presents a different set of influences on the surrounding ecosystem and the planet as a whole. He also highlighted that, given the current national scenario and the expected growth of photovoltaic generation, it is necessary to make a more in-depth assessment of the impacts that this new form of generation has. The challenges must be faced by implementing the recommended strategies and by implementing public environmental policies to protect the ecosystem. Throughout the life cycle of solar energy, the environmental impact of solar energy can be mitigated and managed effectively, meeting the imperatives of energy security, economic security, prosperity and environmental sustainability.

**Keywords:** Photovoltaic Energy. Sustainability. Recycling. Waste.

## **RESUMEN**

El escenario nacional actual y el crecimiento previsto de la generación fotovoltaica demuestran la necesidad de una evaluación más exhaustiva de los impactos producidos por esta nueva forma de generación. El objetivo principal fue analizar cómo se pueden estructurar e implementar las políticas de logística inversa, destacando los desafíos de la eliminación sostenible y las oportunidades para la reutilización de componentes. Se optó por un método bibliográfico cualitativo, exploratorio y descriptivo, basado en la información disponible en artículos académicos, informes gubernamentales y publicaciones de instituciones energéticas y ambientales de los últimos 10 años (entre 2014 y 2023). El estudio mostró que, al evaluar el impacto ambiental de una planta de energía solar fotovoltaica, es esencial considerar varios factores que abarcan todo su ciclo de vida, desde la fabricación de los paneles solares hasta su instalación, operación y desmantelamiento, ya que cada etapa presenta un conjunto diferente de influencias en el ecosistema circundante y en el planeta en su conjunto. Además, enfatizó que, considerando el escenario nacional actual y el crecimiento previsto de la generación fotovoltaica, es necesaria una evaluación más profunda de los impactos producidos por esta nueva forma de generación. Es necesario abordar los desafíos mediante la implementación de estrategias recomendadas y políticas públicas ambientales para proteger el ecosistema. A lo largo de todo el ciclo de vida de la energía solar, el impacto ambiental puede mitigarse y gestionarse eficazmente, cumpliendo así con los imperativos de seguridad energética, prosperidad económica y sostenibilidad ambiental.

**Palabras clave:** Energía Fotovoltaica. Sostenibilidad. Reciclaje. Residuos.

## 1 INTRODUÇÃO

A descoberta do efeito fotovoltaico, entendido como a produção de corrente elétrica entre dois materiais expostos à radiação eletromagnética, foi documentada pela primeira vez, em 1839, por Edmond Becquerel. No entanto, só no final do século XIX, quando Heinrich Hertz observou, pela primeira vez, o efeito fotoelétrico, do qual dependem, atualmente, as células solares, e que seria explicado por Albert Einstein, em 1905 (Bihouix, 2014).

Somente em 1954, é que as primeiras células comerciais de silício começaram a ser fabricadas nos Laboratórios Bell (EUA), e, desde então, a posição do silício no mercado de células solares é hegemônica, em grande parte graças aos avanços da indústria microeletrônica. A partir desse momento, ocorreram vários acontecimentos que aceleraram o desenvolvimento e o aperfeiçoamento dos painéis solares: a corrida espacial, quando a energia solar foi utilizada para alimentar satélites, bem como a primeira (1973) e a segunda (1979) crise do petróleo, que provocou uma importante mudança na política energética mundial, colocando novamente o foco nas incipientes tecnologias solares. (Teske; Lins; Muth, 2013)

A energia solar fotovoltaica tem crescido exponencialmente como uma alternativa sustentável às fontes de energia convencionais e no respeito ao ecossistema, pois toda a vida na Terra depende do Sol e, cada vez mais, a energia elétrica que se necessita e utiliza-se no dia a dia provém de uma fonte renovável como a energia fotovoltaica, com um peso superior a 10% na produção total de energia elétrica no país (Absolar, 2023).

O crescimento acentuado que se observa no Brasil, nos últimos 4 anos, deve-se à promoção do autoconsumo, a ajudas e a subsídios das principais entidades europeias, estatais e regionais em torno da geração de energias renováveis. A esse impulso advindo dos objetivos de descarbonização, definidos pela Europa, soma-se a diminuição do custo de produção. Convém destacar que o custo de instalação evoluiu, nos últimos 10 anos, de US\$ 4.104/kW, em 2011, para US\$ 857/kW, em 2021. A diminuição que se tem observado no preço médio (por kW) permite obter uma maior rentabilidade das instalações, incentivando, assim, a sua instalação. A tecnologia utilizada, hoje, vem principalmente da China, que há vários anos domina o mercado mundial de painéis fotovoltaicos e investidores dessa tecnologia, que permite períodos de retorno cada vez mais reduzidos (SPE, 2021)

Vale ressaltar que, junto com a diminuição dos custos, houve também um aumento contínuo na eficiência das células solares, de 6%, nas primeiras, para um aumento superior a 20%, e, em geral, uma melhoria na tecnologia que cresce cada vez mais.

No entanto, à medida que a adoção de placas solares aumenta, surge a questão do descarte e do reaproveitamento dessas tecnologias ao final de sua vida útil, assim como, também, as políticas públicas (Bihouix, 2014). É nesse sentido que a política reversa de placas fotovoltaicas busca lidar com o destino adequado desses equipamentos, minimizando impactos ambientais e promovendo a

reutilização de materiais, dada a durabilidade das placas, que pode chegar a 25-30 anos, é fundamental que haja uma estrutura sólida para sua reciclagem e reaproveitamento. (Blevision, 2018)

A pergunta-problema a ser analisada é: “Quais são os desafios e as oportunidades na implementação de políticas reversas para o descarte e reaproveitamento de placas fotovoltaicas no Brasil, e como o setor público pode contribuir para sua efetividade?”

O objetivo geral consiste em analisar os desafios e oportunidades da política reversa de placas fotovoltaicas no Brasil, com foco no descarte sustentável e no reaproveitamento de materiais, complementando com os objetivos específicos: Identificar as práticas de descarte e reaproveitamento de placas fotovoltaicas adotadas internacionalmente, Investigar os desafios enfrentados na implementação de políticas reversas no Brasil, Propor estratégias de gestão pública para promover o descarte sustentável e o reaproveitamento de placas fotovoltaicas.

Percebe-se que o tema é altamente relevante, considerando a tendência mundial de transição energética e o crescente uso de tecnologias limpas, contudo, o desafio do descarte sustentável das placas fotovoltaicas ainda é pouco explorado em muitos países, incluindo o Brasil. Espera-se que a presente pesquisa contribua para o debate sobre a economia circular e a gestão de resíduos tecnológicos no setor público.

## **2 CRESCIMENTO E IMPACTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

A mudança climática e a degradação ambiental converteram-se em um dos maiores desafios mundiais. Para combatê-las, a Europa desenvolveu o Pacto Verde Europeu, uma estratégia que converterá a economia em uma economia circular, competitiva, eficiente em recursos e climaticamente neutra. É interessante lembrar que, desde o início da existência, a energia solar sempre esteve vinculada com o processo da evolução, sendo responsável pelo ciclo da água, da fotossíntese, etc. No caso do ser humano, representa um grande papel como impulsionadora de novas civilizações mediante a evolução de técnicas de aproveitamento de energia. Essas técnicas, inicialmente passivas, conseguiram um aproveitamento térmico e, finalmente, fotovoltaico (Who, 2021).

No que se refere às recomendações da ONU, a Conferência sobre Mudanças Climáticas, COP26, realizada em Glasgow, Reino Unido, em 2021, chegaram a um acordo por meio dos representantes dos 197 países, e concordaram em avançar para a redução da dependência de fontes de carvão e combustíveis fósseis. (Who, 2021). Além disso, a Conferência declarou que as várias oportunidades para os governos priorizarem a saúde e a equidade no movimento climático internacional e na agenda de desenvolvimento sustentável. (Hunter; Salzman; Zaelke, 2021)

Atualmente, tomando dados de 2021, a energia solar fotovoltaica está entre as tecnologias renováveis mais importantes do mundo, com uma potência instalada de 940 GW. O seu crescimento anual posiciona-a como a primeira tecnologia renovável (em grande parte devido à menor

complexidade de instalação e processamento), passando dos 70,47 GW, instalados em 2011, para 940 GW, em 2021. Nos últimos cinco anos, a potência fotovoltaica instalada cresceu, em âmbito global, mais de 200%, dos 306,5 GW, instalados em 2016. (SPE, 2022).

De acordo com Teske, Lins e Muth (2013), que mesmo que a energia solar cause poucos impactos ao meio ambiente, ela é reconhecida como:

[...] uma fonte renovável, com capacidade de se regenerar naturalmente ou através de processos humanos em uma escala de tempo razoável, não se esgotando com o uso e podendo ser utilizada de forma contínua sem causar danos irreversíveis ao meio ambiente. É, portanto, um tipo de fonte reabastecida por processos naturais a um ritmo igual ou superior à sua utilização (Teske; Lins; Muth, 2013, p. 35).

No Brasil, segundo Guimarães *et al.* (2021), o setor de energia fotovoltaica se posiciona como pilar fundamental do plano nacional de transição da energia e do processo de descarbonização de sua matriz energética. A crise hídrica sofrida no País deixou clara a necessidade de promover novas fontes de geração de energia elétrica. Nesse contexto, apresenta-se o setor da energia fotovoltaica que espera receber investimentos e atrair novos projetos-chave de desenvolvimento de infraestruturas.

Atualmente, a matriz energética brasileira depende fortemente das hidrelétricas, que representam 60% da geração. No âmbito do último Plano Decenal de Energia (PDE 2031), o Governo pretende reduzir essa dependência por meio do incentivo a outras fontes de energia renováveis, principalmente a fotovoltaica.

É válido comentar que desde 2012, o setor fotovoltaico acumulou mais de 17,5 gigawatts (GW) em operação; mais de 90 bilhões de reais investidos em infraestrutura e novos projetos; 524 mil novos empregos gerados; arrecadação de impostos no valor de 24,6 bilhões de reais e mais de 25 milhões de toneladas de CO2 economizadas. (Pereira *et al.*, 2017)

Segundo Sampaio e González (2017, p. 591):

[...] energia fotovoltaica é uma forma de geração de eletricidade que utiliza células solares para converter a luz do sol diretamente em eletricidade. Esse processo, conhecido como efeito fotovoltaico, tem sido objeto de pesquisa e desenvolvimento desde o século XIX, com Alexandre Edmond Becquerel realizando descobertas pioneiras em 1839. Desde então, avanços significativos permitiram o uso comercial da energia fotovoltaica.

O potencial de crescimento dessa fonte de energia no domínio da geração distribuída pode ser de grande interesse para as empresas do setor. A instalação de painéis solares, tanto na indústria como no setor residencial, torna o seu crescimento nos próximos anos muito promissor. Atualmente, no Brasil, 98% da energia de geração distribuída é de origem fotovoltaica e existem 1.146.595 sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede (Prado, 2018)

Vale dizer que, hoje, a energia renovável, a fotovoltaica, é mais barata do que a energia convencional em grande parte do mundo. As principais tecnologias renováveis estão a reduzir

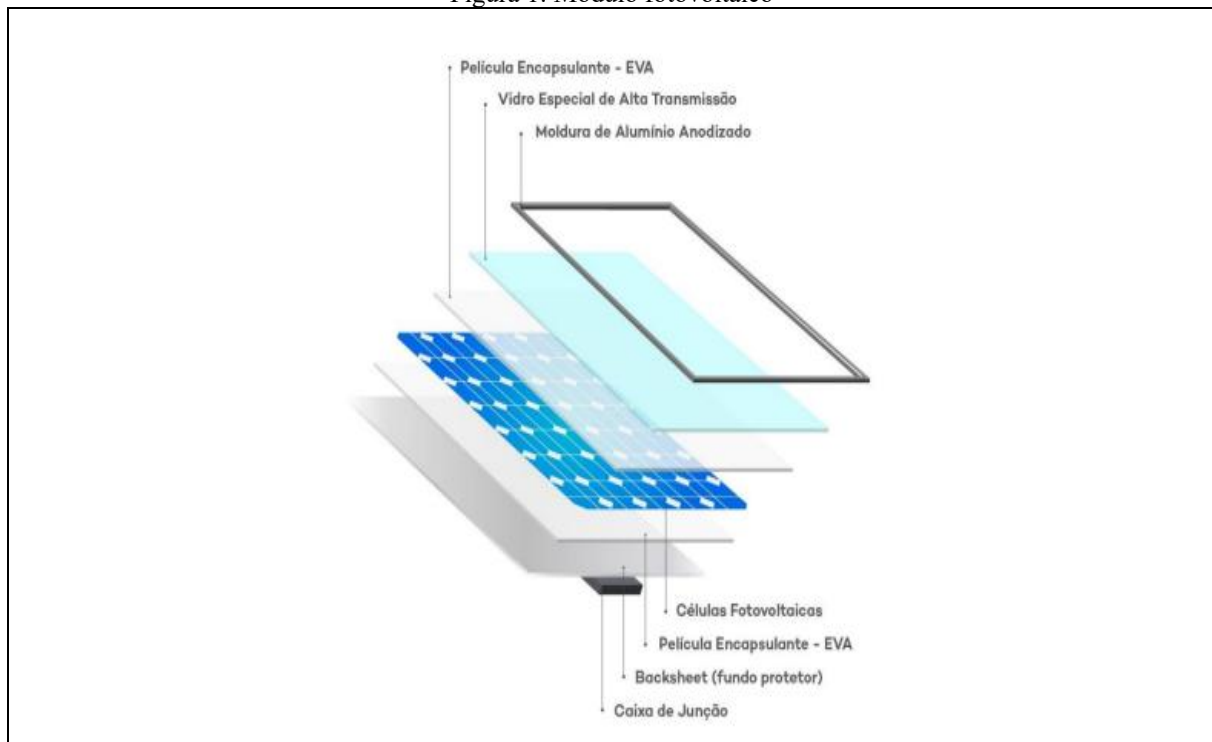
drasticamente os seus custos, de modo que já são totalmente competitivas com as tecnologias convencionais num número crescente de locais. As economias de escala e a inovação tornaram as energias renováveis a solução mais sustentável, não só ambientalmente, mas também economicamente, para movimentar o mundo.

A energia solar fotovoltaica é uma energia autóctone, disponível em praticamente todo o planeta, que contribui para reduzir as importações de energia e criar riqueza e emprego localmente. Por todas essas razões, a produção de eletricidade por intermédio da energia fotovoltaica e a sua utilização eficiente contribuem para o desenvolvimento sustentável.

## 2.1 VIDA ÚTIL E DESCARTE DE PLACAS FOTOVOLTAICAS

No caso do setor das energias renováveis, os resíduos gerados apresentam uma complexidade particular, as suas características tornam os processos de reciclagem, reprocessamento e valorização de materiais especialmente complexos, fundamentalmente pela composição dos elementos que compõem essas infraestruturas. Os painéis fotovoltaicos, baterias e algumas partes dos aerogeradores são constituídas por materiais complexos, como resinas, fibras, polímeros, compostos químicos e materiais preciosos, cuja separação para tratamento independente é difícil e dispendiosa apenas com as tecnologias disponíveis.

Figura 1: Módulo fotovoltaico



Fonte: NeoSolar, 2023

Os principais componentes de um painel fotovoltaico são o silício, o alumínio, o vidro e o cobre, e o seu fabrico não envolve um processo particularmente poluente, exigindo medidas de proteção e segurança superiores às de um processo industrial convencional (Figura 1).

A usina solar em operação mais antiga tem mais de 60 anos. Embora a maioria dos fabricantes anuncie hoje uma vida útil garantida de 25 anos, mas a maioria continua produzindo energia elétrica após esse período. Contudo, o cerne do problema não está na durabilidade física dos painéis solares, uma vez que praticamente não existem componentes defeituosos. A estrutura metálica é muito durável e as células são cobertas por uma camada protetora de *plexiglass* (Irena, 2018). Portanto, o risco de danos mecânicos ou impacto negativo das condições climáticas é muito baixo.

Nesse cenário, os painéis fotovoltaicos modernos são cada vez mais eficientes, pelo que, em condições normais, o tempo que um painel demora a gerar a energia utilizada na sua produção é estimado em cerca de dois anos, com uma vida útil superior a 40/50 anos, durante os quais continuará a gerar energia tendo a luz solar como único combustível, limpa, gratuita e inesgotável.

Diniz (2023), por meio de seu estudo, nos lembra que por se tratar de uma fonte relativamente nova de energia:

[...] as tecnologias envolvidas nos sistemas de geração fotovoltaica estão em constante desenvolvimento. Isso faz com que tenham módulos mais eficientes a cada ano, mão de obra mais especializada e abundante, uma potência maior por metro quadrado de instalação, e um número maior de indústrias que manufaturem os equipamentos. Todos esses fatores fazem com que a energia solar se torne uma fonte mais eficiente, com tecnologias sempre atuais, e mais acessíveis financeiramente (Diniz, 2023, p. 17)

Entretanto, é válido observar que a potência dos painéis diminui de forma gradativa devido à degradação das células fotovoltaicas. Uma vez esgotada a sua vida útil, os componentes dos painéis fotovoltaicos são classificados como resíduos não perigosos e são valorizáveis a taxas muito elevadas, que podem ir até mais de 95%, o que permite uma utilização mais sustentável das matérias-primas utilizadas e reduz o volume de resíduos.

Segundo dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2018), estima-se que até o ano de 2050 serão descartados ao redor do mundo cerca de 78 milhões de toneladas de resíduos de painéis solares.

Assim, tendo em vista o crescimento aprofundado do mercado de energia solar na atualidade, infere-se que esse refugo acontecerá também de forma marcante e inesperada (Bluvision, 2018). Em referência a isso, Diniz (2023) pondera que os

[...] painéis de energia solar fotovoltaica descartados são classificados na mesma categoria que o lixo eletrônico, o que se torna mais um empecilho para gestão de resíduos, pois significa que se faz necessário o emprego de tecnologias mais avançadas. Cerca de 70% do lixo eletrônico mundial era destinado à China até o ano de 2018, quando foi promulgada uma lei chinesa que proíbe o recebimento de qualquer resíduo proveniente de outras nações. (Diniz, 2023, p. 29)

Diante disso, convém ressaltar que a gestão de resíduos fotovoltaicos, depois de sua vida útil, adquiriu um papel importante na preocupação futura devido ao impacto ambiental que provocará. Uma eliminação inadequada desses dispositivos implica a seu armazenamento em aterros não sanitários. Trata-se de locais onde os resíduos se encontram a descoberto, em contato com o ar e com a água. Em outras palavras, estão em condições muito desfavoráveis devido à falta de controles técnicos, o que, certamente, é uma preocupação dos governos.

As maiores emissões de carbono causadas pela utilização de painéis fotovoltaicos são aquelas associadas à produção de módulos. Grandes quantidades de energia são usadas para converter areia de sílica no silício de alta pureza necessário para *wafers* fotovoltaicos. A montagem dos módulos fotovoltaicos é uma etapa que consome muitos recursos, com a adição de esquadrias de alumínio de alta energia e telhados de vidro (Diniz, 2023)

O primeiro passo no processo de reciclagem do painel solar é desmontar a instalação. Isso significa desligar cabos e outros dispositivos e depois cortar ou esmagar os painéis. Os materiais individuais são separados e passam por processos de descarte adequados. O descarte de painéis solares é dividido na transformação de componentes individuais: o vidro e o alumínio são até 90% a 100% reciclados e derretidos em matérias-primas para produção posterior; até 80% dos *wafers* de silício são normalmente reutilizáveis após ataque ácido e enriquecimento; os *wafers* danificados são derretidos e usados para a produção de novos painéis solares; os componentes restantes são fundidos a 500°C para evaporar os elementos plásticos. (Anselmo, 2019)

A reciclagem de painéis solares de película fina é um pouco diferente. Trituradores especiais cortam elementos inteiros em frações de aproximadamente 5mm. O vidro é recuperado a um nível semelhante de 90%, enquanto os metais sólidos e líquidos são separados por meio de uma centrífuga. Como pode ser visto, com a tecnologia certa, o descarte de painéis solares permite a reciclagem da maioria dos materiais (Bluvision, 2018).

Segundo especialistas, como Santos e Sousa (2022) e Anselmo (2019), estamos atualmente numa fase de crescente interesse em painéis solares. Contudo, a maioria dos sistemas instalados será utilizada durante os próximos 20 a 30 anos. Dessa forma, teremos que enfrentar uma utilização em maior escala apenas dentro de algumas décadas. No entanto, já estão sendo criadas instalações especializadas apenas para a reciclagem de painéis solares. Percebe-se, assim, que não só a capacidade de processamento vem se desenvolvendo, mas também a própria tecnologia.

Na verdade, a implantação de painéis solares pode ser planejada estrategicamente para minimizar a perturbação dos habitats e dos ecossistemas naturais. Ao utilizar terrenos degradados ou subutilizados, por exemplo, para a instalação de painéis solares, o impacto na biodiversidade e na paisagem envolvente pode ser eficazmente mitigado.

Dessa maneira, ressalta-se que quando os painéis fotovoltaicos chegam ao fim de sua vida útil, eles podem ser reutilizados, reciclados ou descartados em aterros sanitários, reaproveitando os componentes das placas fotovoltaicas, como o vidro, os metais e os semicondutores (Irena, 2018). Recomenda-se, assim, a sua reciclagem para reaproveitar os materiais e minimizar a contaminação do meio ambiente, assim como o uso de tecnologias emergentes que, certamente, trará vantagens econômicas em comparação ao descarte.

## 2.2 PANORAMA DA GESTÃO REVERSA NO MUNDO

Verifica-se que o descarte dos painéis fotovoltaicos é considerado uma questão complexa, que envolve trâmites burocráticos, tecnológico e até mesmo políticas públicas. O Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos consiste em um acordo global com 53 nações signatárias, que foi realizado na Convenção de Basileia, onde foram definidos os critérios para a movimentação transfronteiriça de resíduos perigosos, onde estão inseridos nesse grupo os resíduos eletroeletrônicos. Nota-se que alguns países da América latina, África e Sudeste Asiático não colocaram em suas agendas políticas a questão sobre resíduos eletroeletrônicos (Shittu; Williams; Shaw, 2021)

A União Europeia (EU) é considerada uma das organizações que se encontra na vanguarda no que tange a preocupações e ações desenvolvidas e implementadas, onde a EU incluiu os resíduos de origem fotovoltaica no rol dos resíduos de produtos eletrônicos, que estão presentes na diretiva dedicada ao tema Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos- WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) (Miranda; Leandro; Silva, 2019).

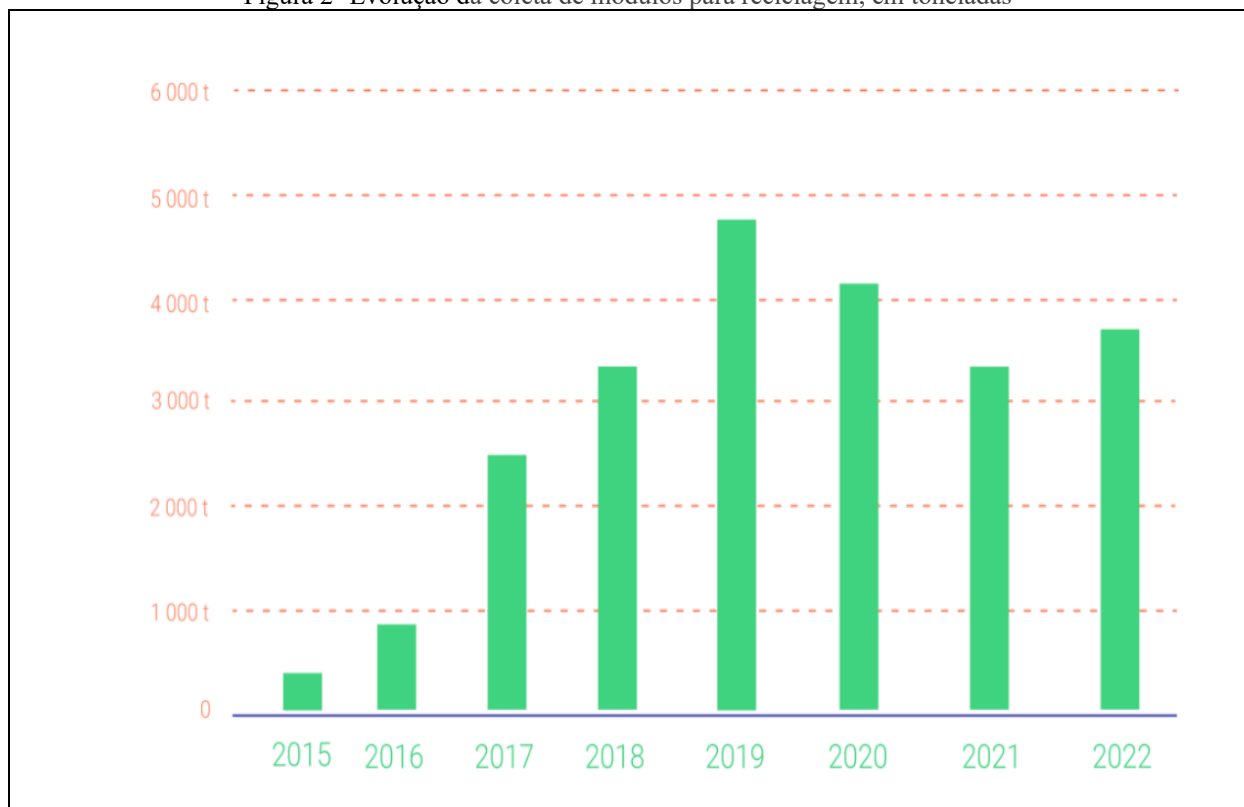
Os principais aspectos do descarte de placas solares na UE são: Responsabilidade do fabricante, onde eles devem os produtos sejam coletados e reciclados adequadamente, financiando esse processo; devem se registrar em sistemas nacionais de gestão de resíduos eletrônicos. Nota-se que a UE conta com instalações especializadas para reciclagem de painéis solares, que recuperam materiais como vidro, alumínio, silício e metais raros. Alguns módulos fotovoltaicos podem ser reaproveitados em sistemas de menor exigência energética antes da reciclagem total. Dessa forma a UE incentiva a pesquisa para desenvolver tecnologias de reciclagem mais eficientes (Sousa, 2021).

Observa-se que a legislação da UE exige que pelo menos 85% do peso do painel seja recuperado, com um mínimo de 80% sendo reutilizado em novos produtos. O aumento do volume de painéis descartados nos próximos anos demanda infraestrutura mais robusta de reciclagem e incentivam pesquisas que buscam aprimorar processos para recuperar materiais como prata e silício de forma mais eficiente. A UE é um dos líderes mundiais na implementação de um sistema sustentável para a gestão de resíduos fotovoltaicos, promovendo a reciclagem e minimizando impactos ambientais (União Europeia, 2016).

O Reino Unido e a Alemanha transformaram em lei a diretiva da UE, sendo que na Alemanha os fabricantes e/ou fornecedores de módulos são registrados pela lei local de resíduos elétricos e eletrônicos, pois somente após o registro os produtos poderão ser vendidos, e ao término da vida útil dos módulos, estes devem ser recolhidos pelos devidos fabricantes para que seja feito o devido tratamento e reciclagem. Tal procedimento também foi adotado de forma parcial pelo Reino Unido (Miranda, Leandro; Silva, 2019).

Segundo dados da organização Francesa Soren, em 2022 comercializados mais de 10 milhões de painéis solares no mercado Francês, demonstrando um aumento de 25% se comparado a 2021 sendo que esse aumento equivale a cerca de 233.000 toneladas. Em relatório de atividades (2021) foram identificadas 3.848 toneladas de painéis em fim de vida que foram recuperados, sendo 3.103 toneladas na França Metropolitana, e 745 toneladas em regiões ultramarinas francesas. Verifica-se que em 2022 o número de painéis processados passou das 5.005 toneladas, sendo 4.210 toneladas enviadas para reciclagem, 609 toneladas para descarte e 186 toneladas para valorização energética (Deboutte, 2023).

Figura 2- Evolução da coleta de módulos para reciclagem, em toneladas



Fonte: Deboutte (2023).

Corroborando, Helman (2021) informa que a Agência Internacional de Energia Renovável estima que aproximadamente 78 milhões de toneladas de painéis atinjam seu ciclo final de durabilidade em 2050, onde no decorrer desse período será desenvolvido cerca de 6 milhões de toneladas/ ano de resíduos eletrônicos solares novos.

Em janeiro de 2024 foi criado um consorcio europeu, contando com 11 empresas de diversas áreas, tais como industrias, organizações sem fins lucrativos, academias, onde lançou-se um projeto de 3 anos, com orçamento no valor de € 9 milhões de euros, objetivando demonstrar a viabilidade na exploração do processo de reciclagem dos painéis fotovoltaicos. Esse projeto recebeu o nome de Fostering A Recycled European Silicon Supply (FORESi), e em seu escopo foram pontuados os aspectos econômicos, técnicos e ambientais do processo de reciclagem e/ou reutilização dos módulos. Os membros do consórcio incluem Recma, com sede na Bélgica, Latvijas Tehnologiskais Centrs Nodibinajums, com sede na Letônia, Bay Zoltan Alkalmazott Kutatasi Kozhasznu Nonprofit Kft, com sede na Itália, Slovenska Technicka Univerzita V Bratislave, com sede na Eslováquia, juntamente com várias entidades, incluindo Boralex, Mondragon Assembly France, Carbon, Hespul Association e Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) (Thompson, 2024).

### 2.3 POLÍTICAS PÚBLICAS GESTÃO REVERSA E ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL

No Brasil, Lei n 1.305/2-10, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, alterando a Lei nº 9605/1008, e dando providências (Brasil, 2010). A partir de 2019, foram gerados decretos ou leis para melhorar os incentivos e facilitar o estabelecimento de projetos de geração de fontes de energia renováveis não convencionais.

Nesse contexto, encontra-se a necessidade de optar por uma política reversa (PR), visto que, segundo Diniz (2023), ela possibilita o retorno dos resíduos da indústria madeireira ao ciclo produtivo. Essa política já é utilizada com sucesso em outros setores, como a dos eletroeletrônicos. Dessa forma, poderia ser utilizada para o setor de energia fotovoltaica, com as necessárias adaptações, visando, também, a promoção de uma economia circular, em especial nos setores de alta tecnologia.

Vale lembrar que o país também avança na liberalização do setor elétrico. Uma das principais causas do alto custo da energia elétrica no Brasil é a falta de diversidade no fornecimento, que deverá ser solucionada com o projeto de lei PL 414/2021. Atualmente, apenas as empresas que ultrapassam a demanda mínima de energia elétrica podem se cadastrar no mercado livre de energia e escolher entre opções de preço e diferentes condições de mercado. Para o consumidor médio, isso ainda não é uma realidade.

A legislação sobre energia solar provém tanto de leis criadas e desenvolvidas pelo Governo Federal, quanto de resoluções da ANEEL, órgão regulador de energia elétrica. Compreender a legislação brasileira de energia solar é essencial para empreendedores que desejam investir em uma nova fonte de energia em sua indústria ou empresa (ANEEL, 2015)

Em 2006, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) criou uma linha de financiamento para intervenções que contribuam para a economia de energia ou para a substituição de combustíveis fósseis. Em 2007, o Plano Energético Nacional 2030, para um

planejamento energético abrangente, tem objetivos de longo prazo, promovendo estudos e estabelecendo a necessidade de criação de bases de dados com indicadores de eficiência energética para tomada de ações e análise de seu impacto (EPE, 2021).

Nesse contexto, também foi criado o Selo Casa Azul, como classificação ambiental voluntária (bronze, prata e ouro) dos empreendimentos habitacionais financiados pela Caixa Econômica Federal. Na eficiência energética são avaliadas a redução do consumo de gás natural e eletricidade e a utilização de equipamentos mais eficientes. É importante comentar que a regulamentação para instalação, geração e distribuição de energia solar é caracterizada por diferentes resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que, por sua vez, seguem as diretrizes estabelecidas por leis aprovadas pelo Congresso Nacional, bem como por decretos aprovados pelo Governo Federal Brasileiro. (ANEEL, 2015)

Em 2022, foi aprovado o novo Marco Legal Solar no Brasil, por meio da Lei 14.300/22. De acordo com essa lei, que desenvolve micro e minigeração de energia, os consumidores poderão produzir sua própria eletricidade provenientes de fontes renováveis. A lei define as regras que prevalecerão até 2045 e quais serão as normas aplicáveis durante o período de transição. (Portal Solar, 2023)

Nesse sentido, dentro das políticas regulatórias assim como na de preços, podem-se distinguir diferentes instrumentos destinados a *stakeholders*, instalações de grande escala, geração distribuída e mecanismos de promoção de energias renováveis de forma descentralizada e que poderão beneficiar toda a população sem prejuízos ao ambiente.

### 3 METODOLOGIA

Optou-se, neste estudo, pela análise qualitativa dos textos selecionados auxiliou na identificação de práticas bem-sucedidas de política reversa e os desafios na implementação dessas políticas no contexto brasileiro. (Marconi; Lakatos, 2003)

Foi realizado um levantamento bibliográfico e documental com base nas informações disponíveis em fontes acadêmicas e institucionais, assim como artigos acadêmicos, relatórios governamentais, estudos de casos internacionais e publicações de instituições ligadas à energia e ao meio ambiente, publicados nos últimos 10 anos (entre 2014 e 2023), no Google Acadêmico, Scielo, Web of Science, e bases de dados especializadas em energia, sustentabilidade e políticas públicas, com foco em fontes disponíveis, em português e inglês.

Utilizamos critérios de Inclusão e de Exclusão: sendo incluídos estudos que abordam a política reversa, o reaproveitamento de placas fotovoltaicas e as práticas de descarte sustentável, com ênfase em políticas públicas. Foram excluídos textos que não continham abordagem específica sobre o tema.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desde o domínio da gestão pública, as entidades nacionais e municipais, por meio de diversas políticas e medidas, buscam uma transição energética, que considerem a inclusão e a sustentabilidade. No entanto, Diniz (2023) assegura que nem sempre há coordenação e articulação entre as políticas internacionais e nacionais, nem com os atores locais, beneficiários diretos ou indiretos, das iniciativas ou propostas. Maior interação e complementaridade entre eles favoreceria o progresso rumo a uma política abrangente e à co-construção territorial.

É relevante contribuir para encontrar soluções energéticas adequadas e formas eficazes e econômicas de organizar a implementação e a manutenção de sistemas inclusivos e sustentáveis de geração de energia elétrica distribuída e solar térmica.

A década de 1990 começou com grandes mudanças na Agenda Internacional. O ponto de viragem foi a Cúpula da Terra, realizada no Rio de Janeiro em 1992, onde foram lançadas as bases para uma nova visão mundial de desenvolvimento sustentável mediante convenções como a diversidade biológica e as alterações climáticas. Dessa forma, a abertura de espaços para o desenvolvimento sustentável esteve intimamente ligada à evolução da situação, da agenda e dos desafios ambientais na última década e com as profundas mudanças que a região tem vivido, particularmente desde a intensificação do processo de globalização. (EPE, 2021)

Com isso, a produção de eletricidade utilizando painéis solares resulta numa diminuição substancial das emissões de dióxido de carbono e outros gases com efeito estufa, contribuindo diretamente com os esforços globais para limitar os efeitos adversos do aumento das temperaturas e da instabilidade ambiental.

Na análise desse benefício significativo, Pupin (2019) consolida ainda mais a posição da energia solar como pioneira na transição para sistemas energéticos de baixo carbono e na diminuição dos efeitos potencialmente catastróficos das alterações climáticas não mitigadas. Para essa autora, como para Prado (2018), além dos seus benefícios operacionais, a sustentabilidade global das centrais solares fotovoltaicas pode ser melhorada mediante estratégias de gestão de fim de vida responsáveis e eficazes e uma política pública eficiente e responsável, com impactos mais minimizados. Sobre isso, Diniz (2023, p. 22) colabora com esta discussão ao pontuar que

[...] os impactos gerados na gestão de resíduos são significativamente menores que os impactos gerados na manufatura, e dependem do tipo de processo utilizado sendo a reciclagem, o processo menos nocivo, mas que ainda pode gerar resíduos ao final do processo, e emissões de gases durante as etapas da reciclagem

Ao reduzir significativamente a emissão de poluentes e o consumo de água, as centrais solares fotovoltaicas desempenham um papel fundamental no avanço da transição para métodos de produção de energia mais limpos e sustentáveis. Isso inclui a reciclagem eficaz e a eliminação adequada dos

painéis solares, que são fundamentais para minimizar a geração de resíduos eletrônicos e maximizar a utilização de materiais valiosos.

Segundo análise de Cavalcante *et al.* (2022), quando comparada às fontes convencionais de geração de energia, como as que utilizam combustíveis fósseis, a tecnologia fotovoltaica não traz os graves problemas ambientais que essas fontes causam durante a geração, como mudanças climáticas, aquecimento global, poluição do ar, chuva ácida e assim por diante.

Percebe-se, ainda, que, de acordo com investigações de Pereira *et al.* (2012), ao integrar e otimizar os princípios de uma economia circular, onde os materiais e os recursos são continuamente reciclados e utilizados, as credenciais ambientais das centrais solares fotovoltaicas podem ser reforçadas, garantindo que o seu impacto em longo prazo permaneça inerentemente compatível com os princípios do desenvolvimento sustentável e gerenciamento ambiental. Esses autores complementam que isso se deve à aplicação da logística reversa

Sampaio e Gonzalez (2017) referem que os estudos relacionados encontrados sobre a energia solar fotovoltaica são todos técnicos, criando, assim, a necessidade de futuras pesquisas sobre a viabilidade econômica, a coordenação da cadeia de suprimentos, a análise de barreiras e os incentivos à energia solar fotovoltaica, como, também, estudos mais aprofundados sobre os fatores que influenciam a posição de tais tecnologias no mercado.

Sem dúvida, a ascensão da energia solar como eixo da transição global para sistemas energéticos sustentáveis e limpos baseia-se não apenas na sua eficácia operacional e viabilidade econômica, mas também no seu firme compromisso com os ideais de gestão ambiental e da mitigação das alterações climáticas.

Conforme descrito no Portal Solar (2023), com a exploração exaustiva das múltiplas dimensões do impacto ambiental de uma central fotovoltaica, a energia solar surge como um modelo de geração de energia sustentável e responsável, incorporando uma capacidade distinta e inequívoca de prevenir a degradação ambiental e promover os imperativos ambientais do equilíbrio ecológico global e a preservação dos recursos naturais.

Assim, por intermédio de uma abordagem criteriosa e consciente, realizada por Teske, Lins e Muth (2013), de todo o ciclo de vida da energia solar, desde o fabrico e instalação até a operação e eventual desativação, o impacto ambiental da energia solar pode ser mitigado e gerenciado de forma eficaz, gerando um futuro em que os imperativos da segurança energética, econômica, prosperidade e sustentabilidade ambiental encontram-se num alinhamento harmonioso e inexpugnável.

## 5 CONCLUSÃO

Como se observou na análise realizada neste estudo, a geração de resíduos procedentes de energias renováveis é, atualmente, baixa. As instalações são relativamente novas e ainda não chegaram



ao final de sua vida útil. É previsto, porém, um aumento de resíduos no futuro convertendo-se num problema de atenção imediata.

Atualmente, o mundo tem uma economia linear, que implica que os resíduos fotovoltaicos sejam descartados em aterros não sanitários ao final de sua vida útil e, portanto, a fabricação de novos produtos se realiza mediante o uso de matérias-primas novas. Esse armazenamento provoca um grande impacto ao meio ambiente devido à toxicidade produzida por seus materiais. A isso se soma o não atendimento dos requisitos legais por parte dos aterros não sanitários.

Ante essa situação, os governos começam a propor normas nas quais se decreta a obrigação do cumprimento de reciclagem dos resíduos fotovoltaicos. Essas normas, porém, só atendem à reciclagem. Assim, esses fatores provocam a busca de novas formas que facilitem a recuperação dos materiais, sobretudo para aqueles módulos que podem ser reutilizados em novas instalações.

O estudo mostrou que, ao avaliar o impacto ambiental de uma central solar fotovoltaica, é fundamental ter em conta vários fatores que abrangem todo o seu ciclo de vida. Desde a fabricação dos painéis solares até a sua instalação, operação e desmontagem, cada etapa apresenta um conjunto diferente de influências no ecossistema circundante e no planeta como um todo.

Dessa forma, tendo em vista o atual cenário nacional e o crescimento esperado da geração fotovoltaica, no Brasil, é preciso fazer uma avaliação com mais profundidade dos impactos que essa nova forma de geração produz. Os desafios devem ser enfrentados com a implementação das estratégias recomendadas e com a superação das limitações dos estudos revisados.

Sugere-se, assim, que sejam realizadas investigações mais aprofundadas sobre tema tão importante e que possam expandir o entendimento e a aplicação das melhores práticas de política reversa, economia circular e de reaproveitamento de placas fotovoltaicas.



## REFERÊNCIAS

ABSOLAR, 2023. Panorama da placa solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição PRODIST. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.

ANSELMO, Antonio Harley. Reciclagem ou destinação final dos painéis fotovoltaicos aplicados em geração de energia ao final do ciclo de vida. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais. 2019, 56 f.

BIHOUIX, Philippe. L'Âge des Low Tech: vers une civilization techniquement soutenable. 1ª ed. Editions du Seuil, 2014, 198p.

BLUEVISION. Descarte de painéis solares pode ser problema no futuro próximo. 2018. Disponível em: <https://bluevisionbraskem.com/inovacao/descarte-de-paineissolares-pode-ser-problema-no-futuro-proximo/>

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. Brasília, DF: palácio do Planalto. 2010.

CAVALCANTE, M. DE A. *et al.* Os impactos da tecnologia de energia solar On-Grid e Off-Grid para o meio ambiente e seus aspectos positivos. E-Acadêmica, v. 3, n. 3, p. e6433382, dez. 2022.

DINIZ, Marco Antônio Pompílio. Descarte de Painéis Solares no Contexto de Consolidação do Mercado Fotovoltaico Brasileiro e Mundial. Trabalho de TCC, UFPE, 2023.

DEBOUTTE, G. França reciclou 3.800 toneladas de módulos solares em 2022. PV Magazine. 18 jun, 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030). 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoesdados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao490/PDE%202030\\_RevisaoPosCP\\_rv2.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoesdados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf).

GUIMARÃES, E. C.; LEMES, T. V. D. S.; COSTA, W. H. A.; REIS, A. K. C. Energia solar paradigmas e geração de resíduos. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.6, p.59923-59940 jun. 2021.

HELMAN, C. Será que a energia eólica é realmente verde? [s.l.]: Forbes, 2021.

HUNTER, DB; SALZMAN, JE; ZAELKE, D. Glasgow Climate Summit: COP26. UCLA School of Law, Public Law Research Paper n. 22-02., 2021. Disponível em: [org/10.2139/ssrn.4005648](https://www.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4005648) doi: [org/10.2139/ssrn.4005648](https://www.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4005648)

IRENA. End-of-Life Management for Solar Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies. Report IEA-PVPS T12-10, 2018.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica - 5. ed. - São Paulo: Atlas 2003.



MIRANDA, R. T.; LEANDRO, F. D.; SILVA, T. C. Gestão do fim de vida de módulos fotovoltaicos. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 8, p. 364- 383, 2019.

NEOSOLAR. Painel Solar Fotovoltaico – UPSOLAR. 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-upsolar>.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. -- São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA, André Luiz *et al.* Logística reversa e sustentabilidade. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 192 p.

PORTAL SOLAR. Dados do mercado de energia solar no Brasil. 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>.

PRADO, P. F. A. Reciclagem de Painéis Fotovoltaicos e Recuperação de Metais. Dissertação (mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - São Paulo/SP, 2018, 136p.

PUPIN, Priscila Carvalho. Avaliação dos impactos ambientais da produção de painéis fotovoltaicos através de análise de ciclo de vida. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Universidade federal de Itajubá, Itajubá, 2019, 124f.

SAMPAIO, P. G. V.; GONZÁLEZ, M. O. A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, p. 590–601, 1 jul. 2017.

SANTOS, C. DO A.; SOUSA, T. DE P. Aplicações de sistemas fotovoltaicos On Grid e Off Grid. 2022.

SHITTU, O. S.; WILLIAMS, I. D.; SHAW, P. J. Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. *Waste Management*, n. 120, p. 549-563, 2021

SOUZA, N.M. O desafio do descarte futuro dos resíduos de sistemas fotovoltaicos no Brasil. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão- UFMA. Centro de Ciências Exatas e tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente. São Luís, 2021.

SPE - Solar Power Europe. Cumulative installed solar PV capacity worldwide from 2000 to 2021 (in megawatts). Statista Inc, 2022. Disponível em: <http://www.statista.com/statistics/280220/global-cumulative-installed-solar-pv-capacity/>

TESKE, Sven; LINS, Christine; MUTH, Josche. [R]evolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo. 2. ed. São Paulo: Greenpeace, 2013.

THOMPSON, V. Consórcio europeu visa a reciclagem de silício de painéis fotovoltaicos em fim de vida PV Magazine. 15 mar, 2024.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). [S.l.: s.n.], 2012.



UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE). Bruxelas: Jornal Oficial da União Europeia, 2012.

UNIÃO EUROPEIA. Tratado da União Europeia. Bruxelas: Jornal Oficial da União Europeia, 2016.

WHO - World Health Organization. COP26 Special Report on Climate Change and Health: The Health Argument for Climate Action. Geneva World Health Organization. 2021.