

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: ASPECTOS RELEVANTES



<https://doi.org/10.22533/at.ed.654112526027>

Data de aceite: 11/06/2025

Alex Sandro Carnaúba das Neves

Centro Universitário CESMAC
Maceió – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/4464027841345222>

Juliane Cabral Silva

Universidade Estadual de Ciências da
Saúde de Alagoas- UNCISAL
Maceió – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/3861688572722861>

Mayara Andrade de Souza

Centro Universitário Cesmac
Maceió – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/7011574518141449>

Jessé Marques da Silva Júnior Pavão

Centro Universitário CESMAC
Maceió – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/2811263859126204>

RESUMO: A energia fotovoltaica é considerada como sustentável, limpa e renovável. Essa revisão tem como objetivo apresentar os impactos ambientais que o descarte incorreto dos módulos fotovoltaicos podem provocar e alertar sobre a necessidade da sua reciclagem. Este estudo é composto por uma revisão narrativa de literatura acerca dos módulos

fotovoltaicos, seus tipos, composição e gerações, impactos ambientais e reciclagem. A pesquisa foi realizada no período de fevereiro a dezembro de 2024 por meio de informações catalogadas em bases de dados de sites acadêmicos, utilizando-se dissertações de mestrado, teses de doutorados e artigos científicos publicados como critério de inclusão; e resumos e anais de conferências como critérios de exclusão. Os módulos fotovoltaicos são classificados em três gerações, sendo os de primeira geração formados por células fotovoltaicas de silício cristalino (c-Si), subdividindo-se em silício monocristalino (m-Si), o mais antigo e eficaz, que detém 60% de domínio do mercado e silício policristalino (p-Si), menos eficiente. Já os módulos fotovoltaicos de segunda geração nasceram sob a ótica de redução do custo de fabricação no que diz respeito à matéria-prima utilizada e o consumo de energia. Os módulos fotovoltaicos de terceira geração são de uma ampla eficiência, contudo sua fabricação é de alto custo e se torna inviável a sua comercialização, a não ser que seja aproveitada em satélites. Os módulos fotovoltaicos são capazes de produzir impactos ao meio ambiente nos seguintes momentos: quando as placas

são produzidas, implantadas (instaladas) e no término de sua operação. Os módulos fotovoltaicos são considerados como resíduos perigosos por conterem substâncias nocivas à saúde, sendo imprescindível o incentivo a sua reciclagem quando inservíveis, objetivando a reinserção na cadeia produtiva de matéria-prima, resultando em economia da matéria-prima primária e redução de custos operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, impacto ecológico e Uso de Resíduos Sólidos.

PHOTOVOLTAIC MODULES: RELEVANT ASPECTS

ABSTRACT: Photovoltaic energy is considered sustainable, clean and renewable. This review aims to present the environmental impacts that incorrect disposal of photovoltaic modules can cause and warn about the need for their recycling. This study consists of a narrative review of the literature about photovoltaic modules, their types, composition and generations, environmental impacts and recycling. The research was carried out from February to December 2024 using information cataloged in databases on academic websites, using master's dissertations, doctoral theses and published scientific articles as inclusion criteria; and conference abstracts and proceedings as exclusion criteria. Photovoltaic modules are classified into three generations, with the first generation being made up of crystalline silicon (c-Si) photovoltaic cells, subdivided into monocrystalline silicon (m-Si), the oldest and most effective, which holds 60% market dominance, and polycrystalline silicon (p-Si), the least efficient. Second generation photovoltaic modules were born with the aim of reducing manufacturing costs in terms of raw materials used and energy consumption. Third-generation photovoltaic modules are highly efficient, however they are expensive to manufacture and commercially unfeasible, unless they are used in satellites. Photovoltaic modules are capable of producing impacts on the environment at the following moments: when the panels are produced, deployed (installed) and at the end of their operation. Photovoltaic modules are considered hazardous waste because they contain substances harmful to health, and it is essential to encourage their recycling when they are unusable, with the aim of reinserting them into the raw material production chain, resulting in savings on primary raw materials and reduced operational costs.

KEYWORDS: Solar energy, ecological impact and Use of Solid Waste.

1 INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica está em plena expansão, em virtude disso existe a cautela no que concerne a destinação ambientalmente adequada dos módulos fotovoltaicos inservíveis (Steiner, 2020). Entretanto, os módulos fotovoltaicos são capazes de provocar impactos ambientais com emissões de gases poluentes em seu processo de fabricação, perda de habitat, impactos visuais e os riscos do descarte inadequado de produtos tóxicos (Costa *et al.*, 2019).

Os módulos fotovoltaicos de silício são compostos por 70% de vidro, 18% de alumínio, 5,1% de polímeros etileno-acetato de vinila (EVA), 3,65% de silício, 1% de cobre e polímeros dos cabos, 0,11% de prata, chumbo, cádmio, além de outros metais (Jones, 2023).

Os módulos fotovoltaicos utilizam em sua tecnologia semicondutores para a conversão da radiação solar em eletricidade, sendo classificados em gerações, 1ª geração, 2ª geração e 3ª geração, baseados em sua composição e características (Scolla, 2020).

No Brasil, encontramos a empresa Sunr, considerada a primeira empresa de reciclagem fotovoltaica da América Latina, que desde a sua criação em 2020, já coletou mais de 160 mil módulos fotovoltaicos, equivalente a mais de 4.500 toneladas, destinados a reciclagem. A Sunr possui uma eficiência de reciclagem de mais de 80% (Sunr, 2025). Os procedimentos de reciclagem dos módulos fotovoltaicos variam a partir de conceitos químicos, físicos, térmicos ou através de laser, a depender da sua composição (Steiner, 2020).

Por fim, pelos números supracitados de módulos fotovoltaicos inservíveis que já foram coletados e destinados a reciclagem, é necessária uma atenção especial para o setor de energia fotovoltaica, com vistas a minimizar os impactos ambientais através do descarte ambientalmente adequado dos módulos fotovoltaicos e a necessidade da sua reciclagem.

2 METODOLOGIA

Este estudo é composto por uma revisão narrativa de literatura. A pesquisa foi realizada através da coleta de dados e informações obtidas através de acesso às bases de dados dos sites acadêmicos (Google Acadêmico, Scielo e Periódicos Capes), utilizando dissertações de mestrado, teses de doutorados e artigos científicos como material de análise. As buscas foram realizadas no período de fevereiro a dezembro de 2024, utilizando-se as palavras-chave: “módulos fotovoltaicos”, “impactos ambientais” e “reciclagem”.

A escolha dos artigos iniciou com uma busca na base de dados selecionada, utilizando-se como critérios de inclusão os artigos científicos publicados entre 2007 e 2024, escritos em português e inglês. Por conseguinte, foi realizada a leitura na sequência: título, resumo e trabalho completo. Os estudos foram excluídos de acordo com os seguintes critérios de exclusão: resumos e anais de conferências.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A energia fotovoltaica é a energia gerada através da conversão direta dos raios solares em eletricidade, por meio de célula fotovoltaica que atua utilizando o efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (Imhoff, 2007). A energia fotovoltaica é a segunda maior fonte de energia do Brasil, com 23,9 gigawatts (GW) gerados, um crescimento em 2022 de 64% em relação a 2021, ficando atrás apenas da fonte hídrica. Existem aproximadamente 1,6 milhão de sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil, sendo 79% sistemas residenciais

para autoconsumo local. Atualmente, existem 75,2 milhões de imóveis aptos a integrarem o sistema de energia solar, porém, apenas 2,2% desses, se beneficiam com esse sistema (Absolar, 2023).

Os módulos fotovoltaicos são formados por células fotovoltaicas, definida como sendo “um semicondutor no formato de *wafer* estruturado para formar um campo elétrico (positivo de um lado e negativo do outro). Um conjunto de células fotovoltaicas dispostas numa estrutura é um módulo fotovoltaico”, abaixo temos a representação pela figura 1 (Dias, 2015).

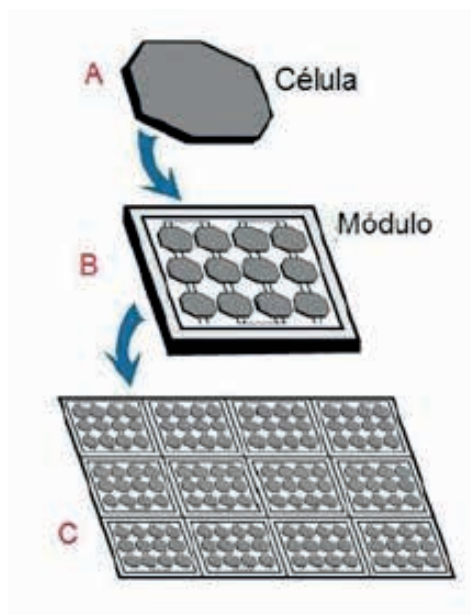


Figura 1 – Composição de células de um módulo fotovoltaico.

Fonte: Dias (2015).

Os módulos fotovoltaicos, em sua estrutura, são compostos por vidro temperado, moldura de alumínio, polímeros EVA e pelas células fotovoltaicas, consoante figura 2 abaixo.

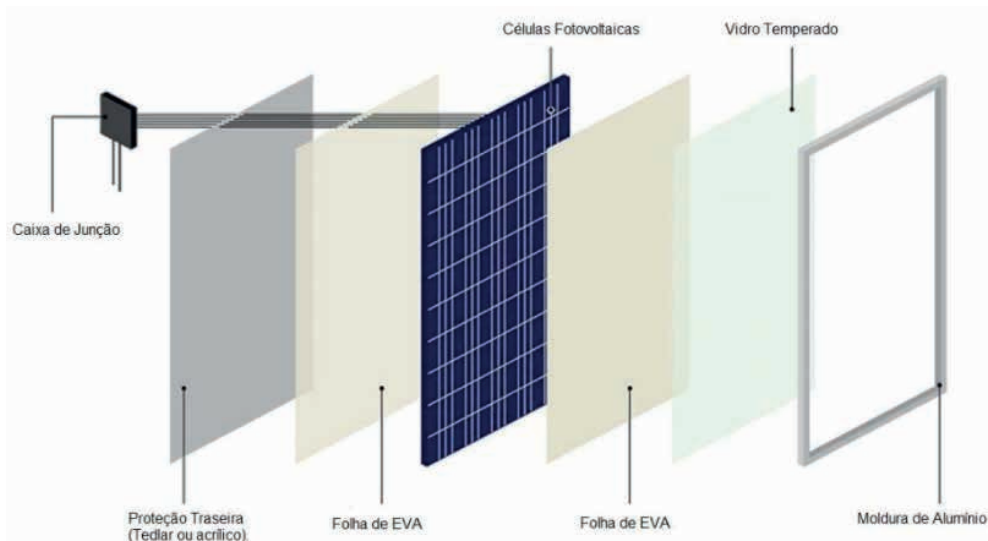


Figura 2 – Estrutura de módulo fotovoltaico.

Fonte: Adaptado de Energês (2020).

Os módulos fotovoltaicos são classificados em três gerações, distinguindo-se de acordo com o semicondutor utilizado em cada uma delas (Bettanin, 2017). Na 1ª geração é utilizado o silício como semicondutor da célula fotovoltaica; na 2ª geração encontramos dois diferentes semicondutores que são utilizados, o disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe); na 3ª geração temos como semicondutores células orgânicas, concentradores fotovoltaicos (CPV), silício cristalino avançado (c-Si avançado), *Dry-sensitised solar cell* (DSSE) e células híbridas, como também as suas participações no mercado, de acordo com a figura 3, (Scolla, 2020).

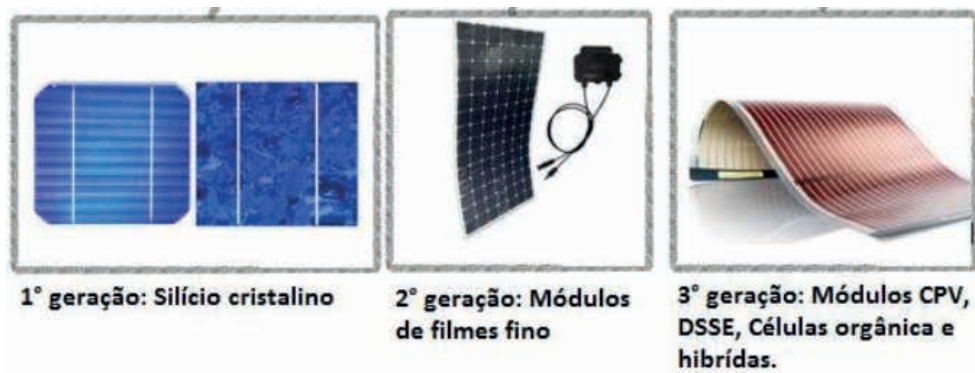


Figura 3 – Gerações de módulos fotovoltaicos.

Fonte: Scolla (2020).

De acordo com a tabela 1, há a projeção para que os módulos fotovoltaicos de 1ª geração percam mercado, de 73,3% para 44,8%, principalmente para os módulos de 3ª geração que utilizam o silício cristalino avançado (c-Si avançado) como semicondutor, de 8,7% para 25,6% (Finger, 2019).

Geração	Tipo	2010	2015	2020	2030	Eficiência
Silício	Monocristalino	86%	92%	73,3%	44,8%	23%
	Multicristalino					18,5%
	Fita					16%
	a-Si					10%
Thin film	CIGS	1%	2%	5,2%	6,4%	18%
	CdTe	13%	5%	5,2%	4,7%	16%
	CPV			1,2%	0,6%	17-24%
Outros	Orgânico/dye-sensitised	-	1%	5,8%	8,7%	10%
	c-Si avançado			8,7%	25,6%	20%
	CIGS alternativo, perovskita, multifuncionais					
	III-V			0,6%	9,3%	15%

Tabela 1 – Participação das gerações de módulos fotovoltaicos no mercado.

Fonte: Finger (2019).

3.1.1 MÓDULOS DE 1ª GERAÇÃO

Os módulos fotovoltaicos de 1ª geração utilizam o silício cristalino (c-Si) como semicondutor da célula fotovoltaica, subdividindo-se em silício monocristalino (m-Si), mais eficaz e possui um desgaste mais lento a altas temperaturas; e o silício policristalino (p-Si), menos eficiente e desgaste maior, conforme figura 4 e tabela 2 (Bettanin, 2017).

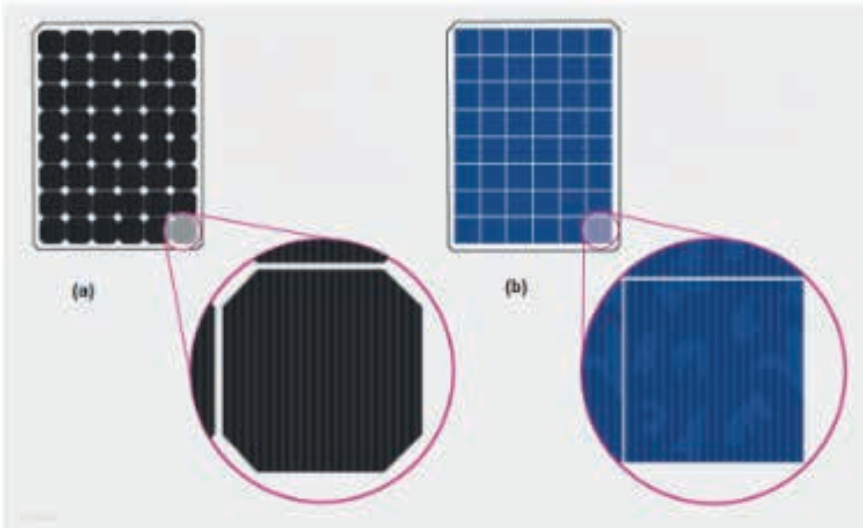


Figura 4 – Silícios monocristalino (esquerda) e policristalino (direita) em detalhe.

Fonte: Anami (2017).

	SILÍCIO MONOCRISTALINO	SILÍCIO POLICRISTALINO	REFERÊNCIAS
Custo (R\$/W)	1,010 a 1,734	0,831 a 1,105	(ENKHARDT, 2018)
Eficiência (%)	14 a 21	13 a 17,5	(MAIA, 2016)
Técnica de purificação	Czochralski	Siemens	(ROCHA, 2017)
Formato da seção	Circular	Quadrado	(PORTAL SOLAR, 2018)
Tempo de vida útil (anos)	20 a 30	20 a 30	(GARCIA, 2014)
Outras vantagens	Necessita menor área para produzir mesma energia, em relação ao policristalino. Seu desgaste é mais lento em altas temperaturas.	Processo mais simples de produção. Menor perda de material no processo industrial.	(SENDY, 2017)

Tabela 2 – Características de módulos fotovoltaicos de silício cristalino.

Fonte: Pupin (2019).

Os módulos fotovoltaicos de silício cristalino (c-Si) são os mais comuns no mercado, onde o de silício monocristalino (m-Si) é o mais antigo e o que detém 60% de domínio do mercado, figura 5 abaixo (Minatto *et al.*, 2023).

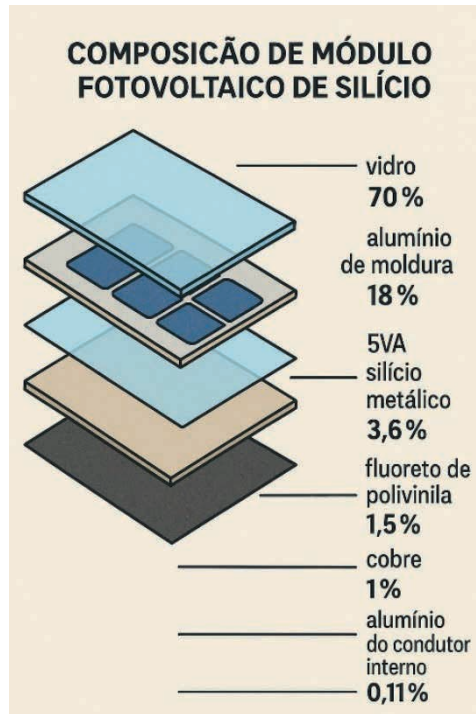


Figura 5 – Composição de módulo fotovoltaico de silício.

Fonte: Adaptado Jones (2023).

Os módulos de silício possuem o custo mais elevado de fabricação por terem a melhor eficiência (Anami, 2017). Como vantagens dos módulos de primeira geração: fatura do silício, proporciona maior eficácia, tecnologia de seu desenvolvimento consolidada e vida útil elevada. Como desvantagem apresenta o elevado preço de purificação do silício (Scolla, 2020).

3.1.2 MÓDULOS DE 2ª GERAÇÃO

Os módulos fotovoltaicos de 2ª geração nasceram sob a égide da redução do custo do processo de fabricação no que diz respeito ao semicondutor utilizado, bem como diminuir o consumo de energia nesse processo. Essa geração tem por característica marcante o uso de células de filme mais fina (*thin film solar cell* – TFSC), com espessura de $1\ \mu\text{m}$ (um micrômetro), ao invés dos $200\ \mu\text{m}$ (duzentos micrômetros) da primeira geração, consoante figura 6 a seguir (Dienstmann, 2009).



Figura 6 – Módulos fotovoltaicos de 2ª geração.

Fonte: Anami (2017).

Os módulos fotovoltaicos de 2ª geração estão subdivididos em dois subtipos no que concerne a composição, módulos de telureto de cádmio (CdTe) e módulos de disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) (Finger, 2019). O quadro 1 apresenta as composições dos módulos fotovoltaicos de 1ª e 2ª gerações, cuja principal diferença está na elevada capacidade de absorção da radiação pelas células filme da 2ª geração (Anami, 2017).

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

Quadro 1 – Composição dos módulos fotovoltaicos de primeira e segunda gerações.

Fonte: Oliveira (2021).

O procedimento de produção da 2ª geração é mais simples e automatizado em comparação aos módulos de 1ª geração, podendo ser fabricados em grande proporção, contudo tem como desvantagens uma baixa eficácia em conformidade aos módulos de silício monocristalino (Ghizoni, 2016).

3.1.3 MÓDULOS DE 3ª GERAÇÃO

Módulos fotovoltaicos de 3ª geração são “aqueles que apresentam uma utilização com maior eficiência da luz solar e baixo custo”. Os módulos fotovoltaicos de 3ª geração utilizam alguns dos seguintes semicondutores: células orgânicas, concentradores fotovoltaicos (CPV), silício cristalino avançado (c-Si avançado), DSSC e células híbridas (Scolla, 2020). Esses módulos são de uma ampla eficiência, contudo sua fabricação é de alto custo e se torna inviável a sua comercialização, porém, são bem aproveitados em satélites (Pupin, 2019).

A finalidade dos módulos fotovoltaicos de 3ª geração é alcançar alta eficiência com preços de fabricação similares aos módulos de 1ª e de 2ª gerações. Abaixo a figura 7 representa o módulo de 3ª geração (Scolla 2020).

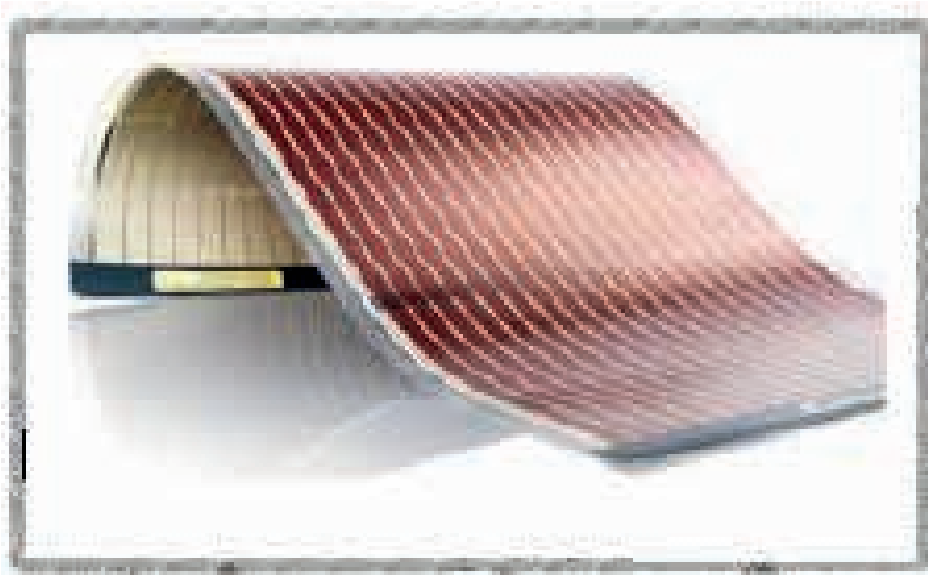


Figura 7 – Módulo fotovoltaico de 3ª geração.

Fonte: Coelho (2018).

3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A energia fotovoltaica é tida como sustentável, entretanto, alerta-se a respeito da capacidade dos módulos fotovoltaicos de provocar impactos ao meio ambiente quando são produzidos, implantados (instalados) e no término de operação (Oliveira, 2021).

São relacionados como impactos ao meio ambiente provocados pela produção de módulos fotovoltaicos de silício cristalino as emissões de gases do efeito estufa: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), clorofluorcarbono (CFC), óxido de enxofre (SO_x) e óxido de nitrogênio (NO_x), emissões essas que ocorrem na purificação do silício (Anami, 2017). Há emissões também de arsênio, chumbo, gálio e cádmio, além da elevada utilização de água, plástico e vidro. A figura 8 representa uma fábrica de módulos fotovoltaicos (Takii, 2019).



Figura 8 – Fábrica de módulos fotovoltaicos.

Fonte: Portal Solar (2017).

No que tange a fase de implantação do sistema fotovoltaico, haverá impactos ao meio ambiente em sistemas volumosos (usinas solares fotovoltaicas). Esses impactos são descritos como de ordens visuais, deformações paisagísticas do local onde será implantada e ao seu redor, com a supressão da vegetação, degradação do ecossistema local, podendo acarretar em desequilíbrio na fauna e flora. A figura 9 representa a usina solar de Pirapora, Minas Gerais, uma das maiores da América Latina (Oliveira, 2021).



Figura 9 – Usina solar de Pirapora, Minas Gerais, uma das maiores da América Latina.

Fonte: Jones (2023).

Na fase término de operação, existem dois momentos distintos, o primeiro diz respeito ao módulo fotovoltaico produzido, porém, danificado ou com defeito de fabricação, sendo, portanto, inservível para implantação, devendo ser descartado antes mesmo do início do seu uso; o segundo trata da baixa eficiência energética, inferior a 80% da sua capacidade, o qual também deverá ser substituído (Soares, 2017).

A empresa Sunr, em funcionamento desde 2020, já coletou mais de 160 mil módulos fotovoltaicos, equivalente a mais de 4.500 toneladas, que foram destinados a reciclagem (Sunr, 2025). O gráfico 1 abaixo representa a estimativa de perda precoce de módulos fotovoltaico até 2050 (Jones, 2023).

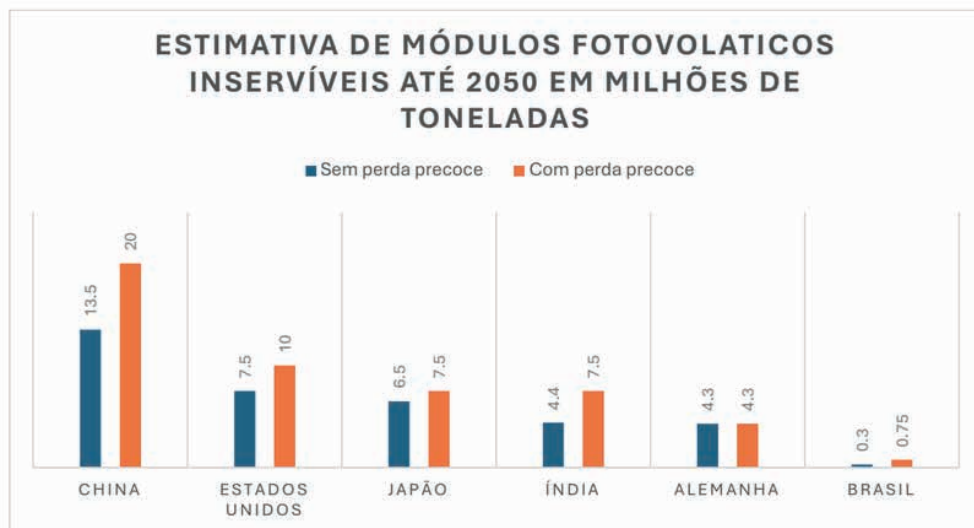


Gráfico 1 – Estimativa de módulos fotovoltaicos inservíveis até 2050.

Fonte: Adaptado Jones (2023).

Um número expressivo de módulos fotovoltaicos inservíveis já é realidade, a estimativa, em milhões de toneladas, para perda precoce de módulos fotovoltaicos no Brasil até 2050 é de 0,75 milhão de toneladas e de 0,3 milhão de toneladas sem perda precoce, contudo esse número pode ser maior (Jones, 2023).

Posto isto, é imperioso destinar de forma correta e responsável os módulos fotovoltaicos quando inservíveis ao uso, necessitando de descartes e tratamentos adequados, caso contrário ocorrerão impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana (Véronique Monier, 2011).

3.3 DESCARTE E RECICLAGEM DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A energia fotovoltaica está em plena expansão, contudo já foram coletados e destinados a reciclagem mais de 160 mil módulos fotovoltaicos, equivalente a mais de 4.500 toneladas (Sunr, 2025). Os módulos fotovoltaicos gerarão, ainda, uma quantidade significativa de resíduos sólidos, contudo deve-se ter a precaução com os módulos descartados que não foram destinados a reciclagem, sob pena de impactos ambientais. Abaixo a figura 10 representa um cemitério módulos fotovoltaicos (Véronique Monier, 2011).



Figura 10 – Cemitério de módulos fotovoltaicos.

Fonte: Jones (2023).

Reciclagem é conceituada como “uma via para reduzir a procura de matérias-primas primárias ao gerar fluxos secundários de materiais” (Gil, 2019). Existem duas destinações para módulos fotovoltaicos inservíveis, serem descartados ou reciclados. Módulos fotovoltaicos são considerados resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos-REEE, na modalidade resíduos sólidos. Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos-PNRS destacam-se o reaproveitamento, reuso e redução dos resíduos sólidos eletroeletrônicos (Dias, 2015).

É preciso desenvolver planos de ações que objetive destinar de forma correta os módulos fotovoltaicos inservíveis, principalmente para que seja reinserido na cadeia produtiva e sirva de matéria-prima para novos produtos, abaixo a figura 11 demonstra o passo a passo da reciclagem (Soares, 2017).

O passo a passo da reciclagem

Módulos fotovoltaicos obsoletos são queimados, triturados e passam por processos químicos para serem reaproveitados

1. O primeiro passo é recuperar o cobre utilizado nos fios e cabos e o alumínio presente na moldura



2. O restante é levado ao forno, entre 500 e 600 °C, para queima, em ambiente controlado, do composto usado no encapsulamento das células



3. Em seguida, o material é moído, com o uso de peneiras, ventilação e outros métodos, para a separação do vidro



4. O que sobra, basicamente pedaços de células solares, é submetido a processos químicos, principalmente para a remoção da prata dos contatos das células



5. Ao final, ainda resta o silício, que passa novamente por um processo de purificação para poder ser reutilizado

Figura 11 – Passo a passo da reciclagem.

Fonte: Jones (2023).

O passo a passo da reciclagem é exemplificado de forma geral na figura 11 acima, tendo como seu início a recuperação do cobre e alumínio, presentes nos cabos e molduras respectivamente, posteriormente a queima dos encapsulantes das células, com o seu moimento e separação do vidro, as células solares são submetidas a processos químicos a remoção da prata a purificação do silício (Jones, 2023).

Empresas que trabalham com módulos fotovoltaicos designaram pontos de coletas para essa espécie de resíduo sólido eletroeletrônico, conhecida como logística reversa, porém o problema está nos módulos fotovoltaicos pós-consumo, quando estarão inservíveis ao uso, fase na qual os consumidores não se preocupam em procurar pontos de coletas existentes para sua destinação final, descartando-os de maneira incorreta e gerando prejuízos de ordem econômica, com a não reinserção dos resíduos na cadeia produtiva e de ambiental, com os impactos que já foram explanados anteriormente (Pupin, 2019).

No que concerne à reciclagem, é imprescindível que haja a reinserção na cadeia produtiva de matéria-prima resultante da reciclagem para redução de preços de fabricação, assim como o aumento da competitividade dos novos produtos, além da conservação de matéria-prima primária (Ghizoni, 2016).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar é uma energia sustentável, renovável e limpa em relação as demais. Os módulos fotovoltaicos têm em sua composição substâncias químicas nocivas à saúde e a natureza, em virtude disso provocam impactos ao meio ambiente com emissões de gases do efeito estufa e de produtos tóxicos, quando são produzidos; supressão da vegetação com a degradação do ecossistema local, acarretando em desequilíbrio na fauna e flora, com a instalação das usinas solares; na fase fim de operação, já é realidade nacional que mais de 160 mil módulos fotovoltaicos, equivalente a mais de 4.500 toneladas, foram coletados e encaminhados a reciclagem. Existe a estimativa que o Brasil terá uma perda precoce de módulos fotovoltaicos na casa de 0,75 milhão de toneladas, até 2050.

No que tange ao descarte dos módulos fotovoltaicos inservíveis ao uso é importante destacar que esse tipo de produto não pode ser rejeitado de qualquer forma, nem tão pouco ser inserido ao lixo comum. Imperioso alertar para estudos futuros acerca do descarte apropriado dos módulos fotovoltaicos inservíveis ao uso, visando assegurar que os materiais tóxicos compostos nesse tipo de resíduo eletroeletrônico não sejam inseridos indevidamente na natureza, contaminando principalmente o lençol freático.

Por fim, imprescindível o incentivo a reciclagem dos módulos fotovoltaicos inservíveis, objetivando a sua reinserção na cadeia produtiva como matéria-prima, resultando em economia da matéria-prima primária e redução de custos operacionais.

5 REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Energia solar é a 2ª maior fonte energética do país: Como ter em casa? Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-e-a-2a-maior-fonte-energetica-do-pais-como-ter-em-casa/>. Acesso em: 02 jan. 2024.

ALPHASOLAR. Módulo monocristalino x policristalino: entenda as diferenças. Disponível em: <https://alphasolar.com.br/modulo-monocristalino-x-policristalino-entenda-as-diferencas/>. Acesso em: 08 abr. 2025.

ANAMI, André Massayoshi. **Painel fotovoltaico - perspectivas e desafios**. 2017. Dissertação (Curso Superior de Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

BETTANIN, Andrea. **O uso de tiossulfato para a recuperação de prata na reciclagem de módulos fotovoltaicos**. 2017. Trabalho de conclusão de curso— Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2017.

COELHO, Thays Fernandes; SERRA, Juan Carlos Valdés. **Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos: Impactos Ambientais**. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, [S. l.], v. 15, n. 7, 2018. DOI:10.22292/mas.v15i7.820. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioambiente/article/view/820>. Acesso em: 02 dez. 2022.

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

DIENSTMANN, Gustavo. **Energia Solar**. 2009. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009).

Energês. Guia completo do módulo fotovoltaico. Disponível em: <https://energes.com.br/guia-completo-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 08 abr. 2025.

FINGER, Daniela Negri. **Impactos ambientais e possibilidade de reciclagem dos resíduos de painéis fotovoltaicos**. 2019. Dissertação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

GHIZONI, Joana Pauli. **Sistemas fotovoltaicos: Estudo sobre reciclagem e logística reversa para o Brasil**. 2016. Dissertação (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

GIL, Luís; ISIDRO, João. **O fim de vida dos módulos fotovoltaicos**. 2019. *Renováveis magazine*. Dossier sobre solar fotovoltaico, n.39. 2019.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

JONES, Frances. **O destino dos painéis solares ao fim da vida útil: descarte e reciclagem de painéis solares fotovoltaicos trazem desafios ambientais e oportunidades no contexto da transição energética**. 2023. *Revista Pesquisa Fapesp*, São Paulo, Edição 330, ago. 2023, p. 69-73. 2023.

MINATTO, Lucas Dario. **Estudo de caso: sistema fotovoltaico para residência Unifamiliar**. 2023. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

OLIVEIRA, Elaine Vieira de. **Processo de reciclagem de módulos fotovoltaicos de primeira geração**. 2021. Dissertação (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

PORTAL SOLAR. Maior fábrica de placa solar no Brasil é inaugurada no interior de São Paulo. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/materias/maior-fabrica-de-energia-solar-do-pais-e-inaugurada-no-interior-de-sao-paulo>. Acesso em: 08 abr. 2025.

PEREIRA, Enio Bueno; et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PUPIN, Priscila Carvalho. **Avaliação dos impactos ambientais da produção de painéis fotovoltaicos através de análise de ciclo de vida**. 2019. Dissertação (Mestre em Engenharia de Energia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

SCOLLA, Minéia. **Avaliação do ciclo de vida de sistemas de geração de energia fotovoltaica: uma análise sob a ótica de fatores ambientais**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2020.

SOARES, Rebeca Araújo. **Logística reversa dos módulos solares fotovoltaicos de silício cristalino no Brasil**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

STEINER, Kátia Helena. **Estudo sobre o impacto ambiental decorrente da utilização e descarte de placas fotovoltaicas**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2020.

SUNR. Logística reversa de módulos fotovoltaicos. Disponível em: <https://sunr.com.br/logistica-reversa-de-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 08 abr. 2025.

TAKII, Laryssa Akemi. **Avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida de painéis solares fotovoltaicos usando a metodologia de ACV**. 2019. Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão de Curso de Especialização de Engenharia de Produção. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

VÉRONIQUE MONIER (France). **European Commision. Study on Photovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for a Recast of the WEEE Directive**. Paris, 2011.