

IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Higor Rodrigues Silva Costa ¹; Pedro Luiz Teixeira de Camargo ²; Felipe da Silva Alves ³

1 Discente de Engenharia Civil, IFMG Campus Avançado Piumhi, Piumhi - MG; higorcosta882@gmail.com.

2 Orientador; Pesquisador do IFMG, Campus Avançado Piumhi; pedro.camargo@ifmg.edu.br.

3 Coorientador; Pesquisador do IFMG, Campus Avançado Piumhi; felipe.alves@ifmg.edu.br.

RESUMO

Durante os últimos anos houve um aumento exponencial no consumo de energia elétrica em todo o mundo, o que proporcionou grande aumento da concentração de gases do efeito estufa tendo em vista que as principais matrizes energéticas de geração de energia elétrica são provenientes de combustíveis fósseis. No Brasil, esse quadro é um pouco diferente, já que sua principal matriz energética é proveniente de recursos hídricos, entretanto, esse setor sofre com um cenário de sequentes quadros de crises hídricas e aumentos excessivos nas tarifas de energia, o que tem feito, progressivamente, que consumidores procurem formas alternativas de geração de energia, nesse âmbito as micro usinas de energia fotovoltaicas veem se destacando. A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, os módulos fotovoltaicos tem vida útil entre 25 a 30 anos. Esse tipo de geração de energia é conhecido como uma alternativa limpa e sustentável, mas esses aspectos se referem a operação desses painéis fotovoltaicos após a instalação nos locais de geração. Sendo assim a presente pesquisa visa identificar os impactos ambientais causados pelo ciclo de vida dos sistemas fotovoltaicos e as implicações de seu fim de vida. Para se obter os impactos ambientais mais relevantes, realizou-se pesquisas bibliográficas em livros, artigos, fichas técnicas, manuais e publicações sobre o tema. Após os dados coletados foram executadas tabelas, contendo os impactos levantados pelos principais autores, com auxílio do *software Microsoft Excel*. A partir da revisão bibliográfica constatou-se a existência de grandes impactos ambientais na fase de produção dos painéis solares, pois é necessário a extração da matéria prima, que é responsável pela alteração do relevo no local, onde se tem a necessidade de transporte dessa matéria prima bem como o seu beneficiamento, o que libera no meio ambiente elementos contaminadores. Outro aspecto importante, é que nas próximas décadas muitos painéis atingirão o final de sua vida útil e se ocorrer descarte inadequado, substâncias perigosas podem causar graves problemas ao meio ambiente e ameaçar a saúde humana.

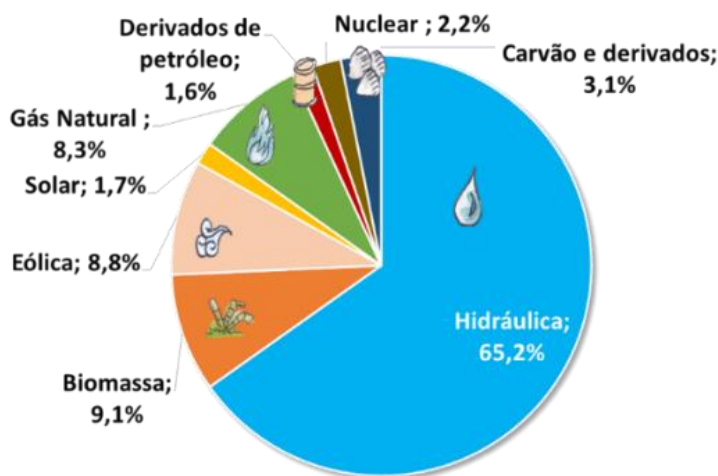
Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, sistemas fotovoltaicos, painéis fotovoltaicos, impactos ambientais.

INTRODUÇÃO:

A demanda pelo consumo de energia elétrica sofreu um crescimento exponencial nas últimas décadas, o que proporcionou grande aumento da concentração de gases do efeito estufa, tendo em vista um cenário mundial onde as matrizes energéticas predominantes para geração de energia elétrica são provenientes de combustíveis fósseis, compostas principalmente por petróleo, carvão mineral, gás natural e termoelétricas, de acordo com a *International Energy Agency* (2021).

O relatório consolidado do Balanço Energético Nacional – BEN (2021) que documenta e publica, anualmente, pesquisas e contabilidades relativas à oferta e consumo de energia no Brasil, mostra que principal matriz elétrica brasileira, é proveniente de recursos hídricos (Figura 1), mesmo sendo uma fonte de energia renovável, esse tipo de produção de energia implica na devastação de grandes áreas para a implementação de seus reservatórios de água, e além disso, “está sujeita à influência de fatores climáticos de modo que a energia armazenada (representada pelo nível de água acumulada no reservatório) em períodos de seca pode atingir valores críticos sob o ponto de vista de segurança energética” (PEREIRA, E. P.; et. al, 2017, p. 11).

Figura 1 - Matriz energética brasileira (2020).



Fonte: BEN (2021).

“O Brasil atravessa a pior crise de estiagem dos últimos 80 anos, o que teve reflexo direto na queda da capacidade de geração nas usinas hidroelétricas, isso obrigou o operador Nacional do Sistema Elétrico a ligar as usinas térmicas para suprir o fornecimento de energia” (RELLA, 2017, p. 9), o que proporcionou consecutivos aumentos nas tarifas de energia, isso promoveu aos consumidores a possibilidade de busca por outras fontes de fornecimento de energia elétrica, um destaque se dá para as micro usinas fotovoltaicas. Devido sua localização intertropical, o território brasileiro “possui um alto índice de radiação solar durante todo ano” (ABREU e SILVA, 2017, p. 30), o que se torna muito propício a adoção dos sistemas de energia solar fotovoltaicas no país, uma vez que, essa fonte de energia é renovável e abundante.

No Brasil, a energia fotovoltaica é regulamentada pela Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), esta resolução estabelece em seu artigo 1º “as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica” (ANEEL, 2012, p. 1).

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão da luz em eletricidade. Galdino e Pinho (2014, p. 40), em seu livro Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, disserta que “a energia é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, o chamado efeito fotovoltaico”.

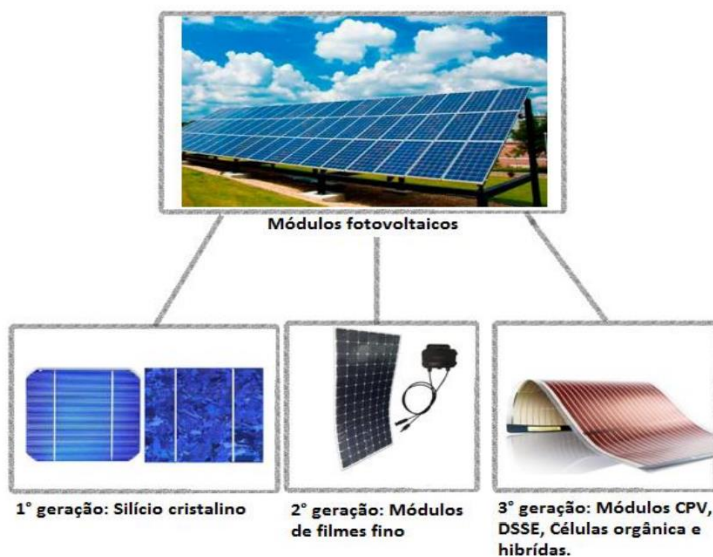
Budel (2017, p. 3 apud *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*, 1999.), explica que:

Há dois tipos de sistemas utilizados atualmente: *grid-connected* (conectado à rede) e *stand-alone* (isolado). No caso dos conectados à rede, a energia produzida é introduzida na rede pública de energia elétrica ou consumida na casa onde o sistema está instalado. Já nos sistemas isolados, a energia produzida é armazenada em uma bateria separada do mesmo, podendo ficar contida nela por um longo período de tempo.

“O painel é composto por um arranjo de várias de células fotovoltaicas, que por sua vez formam os módulos solares. Estes módulos possuem um encapsulamento que lhes confere propriedades necessárias para suportar o ambiente externo e eventuais esforços nos quais ele pode ser submetido” (PUPIN, 2019, p.16). Quando agrupados em determinados arranjos, resultam no painel fotovoltaico. Unido a componentes como inversores, dispositivos de proteção CC, dispositivos de proteção CA, medidor bidirecional, cabeamentos, disjuntores entre outros, os painéis são instalados nos locais desejados para a produção de energia elétrica, atendendo as normas necessárias.

Os módulos fotovoltaicos possuem “3 principais tecnologias utilizadas na sua produção” (PORTAL SOLAR, 2019) e estes são classificados em três grupos: os de 1ª, 2ª e 3ª geração (Figura 2).

Figura 2 - Células fotovoltaicas de 1º, 2º e 3º geração.



Fonte: Adaptado de SOLAR, 2019.

A primeira geração de módulos fotovoltaicos corresponde a tecnologia com silício cristalino, esta é dividida em células de silício monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si). De acordo com (GALDINO e PINHO, 2014, p. 50 e 51) esses módulos “representam mais de 85% do mercado, por ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável, e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível”. “Os sistemas fotovoltaicos filme fino, considerados de segunda geração, são a tipologia mais moderna e mais leve, de custo mais baixo, mas também menos eficiente” (KONZEN, 2020, p. 27). “Os módulos de terceira geração são os módulos de CPV (*concentrator photovoltaics*), os módulos DSSC (*Dry-sensitised solar cell*), as células orgânicas e as células híbridas” (COELHO e SERRA, 2018, p. 89).

O crescimento do setor fotovoltaico aliado ao potencial energético do país, mostra que o setor tem um enorme potencial contribuinte para a geração de grandes volumes de resíduos para as próximas décadas. Diante disso, deve ser levado em conta a questão de que usar energia renovável, não necessariamente é usar uma fonte de geração “limpa”. “Assim, o emprego de sistemas de energia solar fotovoltaica, portanto, de fonte renovável, não garante a diminuição do impacto ambiental no âmbito de geração de energia” (KONZEN, 2020, p. 14 e 15).

“A expectativa de vida útil dos módulos é da ordem de 25 a 30 anos” (MIRANDA, LEANDRO e SILVA, 2019, p. 370), levando em conta o crescimento no desenvolvimento e utilização desse recurso é importante compreender que “uma das principais questões para o descarte das placas são, a falta de tecnologia adequada de recuperação e o risco de liberação de substâncias perigosas que podem contaminar o meio ambiente e ameaçar a saúde humana, se a fase de fim de vida não for gerenciada sagazmente” (COELHO e SERRA, 2018, p. 84 apud KIDDEE et al., 2013).

Sendo assim, o presente trabalho visa identificar os impactos ambientais causados pela fabricação e instalação de painéis fotovoltaicos, bem como, as implicações decorrentes de seu descarte inadequado na natureza.

METODOLOGIA:

Este estudo, de caráter descritivo, foi desenvolvido no primeiro semestre de 2022, a partir da realização de pesquisas bibliográficas em livros, artigos, fichas técnicas, manuais e publicações sobre o tema, com intuito de compreender quais os impactos ambientais são causados pela utilização, em todo o seu ciclo de vida, dos materiais que compõem os painéis fotovoltaicos.

Como apresentado anteriormente os painéis solares são constituídos do arranjo de módulos, que por sua vez são oriundos da união das células fotovoltaicas. De acordo com Coelho e Serra (2018, p. 91), “os painéis possuem substâncias como prata, índio, gálio, germânio, chumbo, cádmio”. Alguns desses metais são prejudiciais à saúde humana e também causam degradação ao meio ambiente, contaminando o solo e até mesmo o lençol freático se descartados de maneira incorreta.

Inicialmente foram apresentadas informações a respeito do cenário energético mundial e nacional, para contextualizar o tema estudado, em seguida, abordou-se conceitos sobre a energia solar e sobre os principais componentes dos painéis fotovoltaicos, com a finalidade de proporcionar um amplo conhecimento do assunto abordado, por fim, realizou-se uma análise sobre os impactos ambientais provenientes da produção, instalação e descarte inadequados de painéis fotovoltaicos, através da elaboração de tabelas, com auxílio do *software Microsoft Excel*, para resumir as informações coletadas dos referenciais estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

É sabido que para chegar ao nível de uso em um painel fotovoltaico, o silício necessita passar por diversos processos. De acordo com Yabuta (2016, p. 34), esses processos compreendem a “extração da sílica, produção de silício metalúrgico, purificação, processamento do dispositivo e, finalmente, o encapsulamento com o intuito de se obter uma maior pureza possível”. Para os outros componentes dos painéis solares não é diferente, todos precisam passar por um certo grau de beneficiamento para que possam ser utilizados. Sendo assim, ao passar por todas essas fases de produção os painéis fotovoltaicos acabam gerando diversos impactos ambientais. Inatomi e Udaeta (2005, p.198), afirmam que “o impacto ambiental mais significativo do sistema fotovoltaico para geração de energia solar é provocado durante a fabricação de seus materiais e construção”.

Visto esses aspectos elaborou-se uma tabela contendo os diversos impactos gerados pela produção e instalação de painéis solares fotovoltaicos abordado pelos principais autores pesquisados (Tabela 1).

Tabela 1 – Impactos Ambientais provenientes da produção e instalação de Painéis Fotovoltaicos.

Autor	Impactos Ambientais
Coutinho, F. J. 2019.	<ul style="list-style-type: none"> – Extração do silício pode ocasionar degradação da paisagem, poluição da água e geração de rejeitos. – Procedimento de transformação em silício metalúrgico e refino em grau solar, que emitem material particulado prejudicial ao homem e gases tóxicos e de efeito estufa. – Degradação da paisagem, que varia conforme o porte e o local da instalação. – Circulação de veículos e máquinas pode gerar poeira e gases durante a obra, alterando a qualidade do ar nesse período.
Yabuta, Y. F. 2016.	<ul style="list-style-type: none"> – Degradação da paisagem devido a retirada da fauna e flora e o desmonte dos perfis do relevo. – Poluição da água que é causada principalmente por lama e produtos solúveis. A formação de lama se dá pela própria necessidade de desmonte de quantidades significativas de terras. A contaminação química acontece por efluentes que se dissolvem na água usada no tratamento do minério ou na água que passa pela área de mineração. – Tráfego de veículos com a necessidade de transportar a matéria prima para processamentos e posterior entrega para isso é preciso a utilização de veículos pesados, resultando em um tráfego intenso. – Poeira e Gases causados pela perfuração e explosão das rochas, passando pelo transporte do material e indo até seu beneficiamento, o que resulta em um grande impacto na saúde dos seres vivos como um todo. – Purificação do silício um dos impactos nesse processo se dá pela utilização do gás silano (SiH₄), que é extremamente explosivo e apresenta um grande risco potencial para os trabalhadores e comunidades do entorno. – Emissão do hexafluoreto de enxofre (SF₆), um gás de efeito estufa extremamente potente, que é usado para limpar os reatores utilizados na produção do silício. Onde sua reação pode resultar emissões de dióxido de enxofre (SO₂), propiciando a ocorrência de chuva ácida.

Inatomi e Udaeta (2005 apud Tolmasquim, 2004)	– Emissões de produtos tóxicos durante o processamento da matéria-prima para a produção dos módulos e componentes periféricos, tais como ácidos e produtos cancerígenos, além de CO ₂ , SO ₂ , NO _x , e particulados.
	– Impactos visuais, que podem ser minimizados em função da escolha de áreas não-sensíveis.
	– Riscos associados aos materiais tóxicos utilizados nos módulos fotovoltaicos (arsênico, gálio e cádmio) e outros componentes, ácido sulfúrico das baterias (incêndio, derramamento de ácido, contato com partes sensíveis do corpo).
	– Necessidade de se dispor e reciclar corretamente as baterias (geralmente do tipo chumbo-ácido, e com vida média de quatro a cinco anos) e outros materiais tóxicos contidos nos módulos fotovoltaicos e demais componentes elétricos e eletrônicos, sendo a vida útil média dos componentes estimada entre 20 e 30 anos.

Fonte: Autor (2022).

Através das informações presentes na Tabela 1, observou-se que impactos ambientais mais significativos estão relacionados a parte de extração da matéria prima e beneficiamento, principalmente do silício, o elemento mais empregado atualmente na produção das células fotovoltaicas.

Outro ponto importe a ser ressaltado diz respeito ao fim da vida útil destes sistemas fotovoltaicos, se não forem descartados adequadamente podem causar graves problemas ao meio ambiente e à saúde humana. Hestin e Monier (2011, p. 18), apontam os seguintes problemas originários dos descartes inadequados:

- Lixiviação de chumbo;
- Lixiviação de cádmio;
- Perda de recursos convencionais, principalmente vidro e alumínio;
- Perda de metais raros, notadamente prata, índio, gálio e germânio.

A Tabela 2, a seguir, mostra os efeitos que a lixiviação do chumbo e do cádmio traz ao meio ambiente e a saúde humana de acordo estes autores:

Tabela 2 – Danos à saúde humana e ao meio ambiente devido ao Chumbo e Cádmio.

Elemento	Danos à Saúde Humana	Danos ao Meio Ambiente
Chumbo	<ul style="list-style-type: none"> – Se ingerido, se distribui por todo o corpo através do sangue e se acumula nos ossos. – Pode afetar o sistema nervoso, a função renal, o sistema imunológico, o sistema reprodutivo e o sistema cardiovascular. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ecossistemas próximos a fontes de chumbo demonstram uma série de efeitos adversos, incluindo perdas na biodiversidade, diminuição das taxas de crescimento e reprodução em plantas e animais.
Cádmio	<ul style="list-style-type: none"> – Elemento cancerígeno – Pode causar sérias alterações fisiopatológicas sob condições de exposição repetida. 	<ul style="list-style-type: none"> – Toxicidade ao meio ambiente. – Acumulação na cadeia trófica.

Fonte: Autor (2022).

“A lixiviação de chumbo está principalmente ligada a painéis fotovoltaicos de silício cristalino (c-Si) de 1ª geração. Enquanto a lixiviação de cádmio é um risco específico para painéis fotovoltaicos de película fina de 2ª geração, particularmente tecnologias CdTe e CIGS” (HESTIN e MONIER, 2011, p. 18).

Diante desta abordagem, observou-se, que além dos graves impactos ambientais e os riscos à saúde humana, o descarte inadequado proporciona, também, prejuízos financeiros.

CONCLUSÕES:

A geração de energia elétrica oriunda da radiação solar, vem crescendo e se consolidando no mercado, se tornando gradativamente mais acessível a população. Desse modo, evidencia-se que essa tecnologia empregada nos sistemas fotovoltaicos é um avanço no campo das fontes energéticas alternativas. Mas é necessário levar em conta as consequências ambientais desse processo.

A partir da revisão bibliográfica e da apresentação dos resultados é notório que painéis solares fotovoltaicos, tem grande potencial de geração de impactos ambientais e também para a saúde humana. Como mencionado no decorrer do trabalho existem diversos materiais empregados como matéria prima para a produção das células fotovoltaicas, que constituem a parte principal do sistema de conversão de energia, e atualmente, o material mais utilizado para esse fim é o silício, que precisa passar por vários processos de refinamento até que possa ser utilizado nos painéis. Este elemento por si só não é um material perigoso, no entanto, quando combinado a outros elementos químicos pode se tornar excessivamente tóxico, além disso, seu processo de refino requer um grande gasto energético e libera no meio ambiente elementos contaminadores.

É importante ressaltar que nas próximas décadas muitos painéis solares chegarão ao final de sua vida útil, e se estes forem descartados de maneira incorreta, poderão causar graves problemas ao meio ambiente.

Espera-se que este trabalho sirva como um instrumento de difusão da informação a respeito dos impactos ambientais que podem ser causados pela produção e descartes indevidos dos painéis solares fotovoltaicos, mediante aos resultados aqui demonstrados e discutidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABREU, E. J.; SILVA, B. M. **Análise de Viabilidade da Implantação de uma Micro Usina Fotovoltaica em Residência Unifamiliar**. 2017. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Faculdades Integradas de Caratinga, Caratinga, 2017. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/469/1/TCC%20Bruno%20Ernandes.pdf>. Acesso: 25 de abril de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº482**. 17 abr. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso: 23 abril de 2022.

BUDEL, D. **Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos em Residências**. 2017. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/11686>. Acesso: 23 de abril de 2022.

COELHO, T. F.; SERRA, J. C. V. **Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos: Impactos Ambientais**. Curitiba. v. 15, p. 83-99, 2018. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/820>. Acesso: 22 de abril de 2022.

COUTINHO, F. J. **Uso de energia fotovoltaica em edificação – Vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional**. 2019. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10029432.pdf>. Acesso: 23 de abril de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional (BEN)**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso: 23 de abril de 2022.

HESTIN, M; MONIER, V. **European Commision. Study on Photovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for a Recast of the WEEE Directive**. Paris, 2011. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/weee/Study%20on%20PVs%20Bio%20final.pdf>. Acesso: 23 de abril de 2022.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia Dentro do Planejamento Integrado de Recursos.** p. 189-205, 2005. Disponível em: https://scholar.google.com.br/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=xyGjcrQAAAAJ&citation_for_view=xyGjcrQAAAAJ:9yKSN-GCB0IC. Acesso: 23 de abril de 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Matriz Elétrica Mundial.** 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/databrowser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElectricityGeneration>. Acesso: 21 de abril de 2022.

KONZEN, B. A. D. V. **Avaliação do Ciclo de Vida de painel fotovoltaico: análise dos impactos ambientais e fim de vida em estudo de caso no sul do Brasil.** 2020. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/39197/3/2020-DISSERTACAO-BARBARAKONZEN.pdf>. Acesso: 22 de abril de 2022.

MIRANDA, R. T.; LEANDRO, F. S.; SILVA, T. C. **Gestão do Fim de Vida de Módulos Fotovoltaicos.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.8, n.1, p. 364- 383, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Tatiane-Silva-17/publication/332049550_GESTAO_DO_FIM_DE_VIDA_DE_MODULOS_FOTOVOLTAICOS/links/5daa02f092851c577eb840d5/GESTAO-DO-FIM-DE-VIDA-DE-MODULOS-FOTOVOLTAICOS.pdf. Acesso: 25 de abril de 2022.

PEREIRA, E. P.; et. al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2ª Edição. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf. Acesso: 25 de abril de 2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>. Acesso: 22 de abril de 2022.

PUPIN, P. C. **Avaliação dos impactos ambientais da produção de painéis fotovoltaicos através de análise do ciclo de vida.** 2019. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1939/dissertacao_2019054.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso: 21 de abril de 2022.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso: 21 de abril de 2022.

RELLA, R. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.** Revista de Iniciação Científica, Criciúma, v. 15, n. 1, 2017 | ISSN 1678-7706. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/iniciacaocientifica/article/view/2937/3530>. Acesso: 21 de abril de 2022.

YABUTA, Y. F. **Impacto Ambiental da Fabricação do Silício Fotovoltaico.** 2016. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/18702/YUKIO%20FERREIRA%20YABUTA%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202016.pdf?sequence=1>. Acesso: 25 de abril de 2022.