

IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO CICLO DE VIDA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS¹

Higor Rodrigues Silva Costa²
Pedro Luiz Teixeira de Camargo
Felipe da Silva Alves

RESUMO

O crescimento econômico aliado ao aumento pela demanda de energia provocou alto crescimento nas taxas de emissão de gases do efeito estufa, visto que as principais matrizes energéticas para geração de eletricidade são oriundas de combustíveis fósseis. Buscando a solução desses problemas, a geração de energia por meio de fontes renováveis ganhou ampla relevância no cenário mundial, possibilitando a matriz energética fotovoltaica, que consiste na conversão direta da luz em eletricidade, alcançar posição de destaque em relação a outras fontes. Os módulos fotovoltaicos têm vida útil entre 25 a 30 anos e possuem uma grande diversidade de materiais em sua composição. Sendo assim, a presente pesquisa realizou um estudo a respeito dos impactos ambientais causados pelos painéis fotovoltaicos. Seus dados foram provenientes de pesquisas bibliográficas que relatam acerca do tema em questão ocasionados pela produção, instalação, operação e descarte inadequado de painéis fotovoltaicos. Após a coleta dos dados, foram desenvolvidas tabelas, com a identificação e classificação dos impactos apontados pelos principais autores. Baseado nos tópicos discutidos ao longo do trabalho, concluiu-se que a energia fotovoltaica, apesar de seus conhecidos benefícios, apresenta impactos relevantes ao meio ambiente.

Palavras-chave: Eletricidade. Módulos. Matriz energética.

ENVIRONMENTAL IMPACTS GENERATED BY LIFE CYCLE OF PHOTOVOLTAIC PANELS

ABSTRACT

Economic growth combined with increased energy demand has raised greenhouse gas emission rates, since the main energy matrices for electricity generation come from fossil fuels. Seeking a solution to this problem, the generation of energy through renewable sources has gained wide relevance on the world stage, enabling the photovoltaic energy matrix, which is the direct conversion of light into electricity, to reach a prominent position in relation to other sources. Photovoltaic modules have a useful life between 25 and 30 years and have a great diversity of materials in their composition. Therefore, the present research carried out a study on the environmental impacts caused by photovoltaic panels. Its data came from

¹ **Como citar este trabalho:** COSTA, H. R. S.; CAMARGO, P. L. T.; ALVES, F.S. Impactos ambientais causados pelo ciclo de vida de painéis fotovoltaicos. **ForScience**, Formiga, v. 11, n. 1, e01210, jan./jun. 2023. DOI: [10.29069/forscience.2023v11n1.e1210](https://doi.org/10.29069/forscience.2023v11n1.e1210).

² **Autor correspondente:** Higor Rodrigues Silva Costa, e-mail: higorcosta882@gmail.com

bibliographic which report on the subject in question derived from the production, installation, operation and inappropriate disposal of photovoltaic panels. After collecting the data, tables were produced, with the identification and classification of the impacts pointed out by the main authors. Based on the topics discussed in the present work, it was concluded that photovoltaic energy, despite its known benefits, has relevant impacts on the environment.

Keywords: Electricity. Modules. Energy matrix.

1 INTRODUÇÃO

A demanda pelo consumo de eletricidade cresceu nas últimas décadas, em decorrência dos processos de industrialização e expansão demográfica. A perspectiva para os próximos anos é que países em desenvolvimento experimentarão crescente aumento populacional e consumo energético, esse crescimento tende a ser superior à oferta de energia (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2008).

Pereira *et al.* (2017), abordam no Atlas Brasileiro de Energia Solar que a irradiação solar anual média no território brasileiro varia entre 3500 a 6250 Wh/m² (*watt* por hora por metro quadrado), esse fato demonstra que, a implantação de sistemas fotovoltaicos, é uma interessante alternativa para geração de eletricidade no país. O aproveitamento desse tipo de energia é passível de ser usado em todo território nacional, mesmo em local que a radiação solar se encontra abaixo da média (SIMIONI, 2017).

Em abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), publicou a Resolução Normativa nº 482, estabelecendo “as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica” (ANEEL, p. 1, 2012), esse regulamento possibilitou a muitos consumidores gerarem sua própria energia.

Em novembro de 2015, foi publicado pela ANEEL a Resolução Normativa nº 687/2015 que modifica e aprimora os conceitos estabelecidos na resolução 482 de 2012, criando incentivos como a possibilidade de gerar créditos quando a quantidade de energia gerada for superior à quantidade consumida.

Em decorrência dessas resoluções, houve expressivos aumentos na busca pela instalação de micro usinas fotovoltaicas em residências e comércios, mesmo com os elevados investimentos iniciais, o crescimento no emprego dessa tecnologia deve-se as linhas de financiamentos atrativas, o tempo de retorno estimado em torno de 5 a 6 anos e a redução do valor na conta de luz (OLIVEIRA, 2018).

A tendência para os próximos anos é que este setor cresça ainda mais, por isso, é de extrema importância refletir sobre as possíveis formas de degradação do meio ambiente devido ao uso dessa fonte, de acordo com Miranda, Leandro e Silva (2019), assim como qualquer outro empreendimento gerador de energia elétrica, os sistemas fotovoltaicos promovem múltiplos impactos durante o seu ciclo de vida, em variadas magnitudes.

A Resolução Conama nº 001, de 23 de janeiro de 1986 (p. 1), estabelece que impacto ambiental se configure como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

A utilização de fontes renováveis não é uma garantia que ela seja uma fonte de geração limpa, então o uso de sistemas fotovoltaicos não garante a redução do impacto ambiental no âmbito de produção de energia (KONZEN, 2020).

Os módulos possuem vida útil de 25 a 30 anos, considerando o crescimento do setor e a capacidade energética do país, é visível seu enorme potencial para contribuir com a geração de grandes volumes de resíduos para as próximas décadas (MIRANDA; LEANDRO; SILVA, 2019).

O descarte dos resíduos derivados dos sistemas fotovoltaicos ainda é um grande problema, devido à falta de tecnologia adequada para sua recuperação. Outra preocupação está relacionada com a eliminação desses objetos de maneira inadequada, pois promove a perda de materiais que poderiam ser reciclados e reutilizados e a liberação de substâncias altamente tóxicas como chumbo e cádmio, contaminando as águas e solos (COELHO; SERRA, 2018).

Diante disto, este trabalho propõe realizar um levantamento bibliográfico a respeito de painéis fotovoltaicos, buscando apresentar os principais impactos ambientais gerados pela produção, instalação, operação e descarte inadequado desses elementos.

2 METODOLOGIA

2.1 Classificação da pesquisa

Esta pesquisa é classificada como sistemática, visto que seu propósito é a propagação do conhecimento sobre o assunto estudado, com o intuito de apresentar informações antes

desconhecidas pelo autor e proporcionar o aprimoramento de ideias (ERCOLE; MELO; ALCOFORADO, 2023).

Sua abordagem é considerada como qualitativa; Silva e Menezes (2005, p. 20), dissertam que a pesquisa qualitativa:

Considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.

O procedimento técnico deste trabalho classifica-se como revisão bibliográfica. Esse tipo de pesquisa é constituído pelo levantamento de obras já publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, teses e artigos científicos, que abordam sobre o tema, servindo como instrumento para direcionar o pesquisador no estudo e análise de seu trabalho (GIL, 2007).

O estudo a respeito de impactos ambientais provenientes de painéis fotovoltaicos se fundamenta como um instrumento que investiga maneiras de prevenir, reduzir e mitigar seus efeitos adversos sobre o meio ambiente (MILANI, 2017). Estudos com esse tipo de abordagem são extremamente importantes para auxiliar na avaliação e elaboração das estratégias de expansão da oferta de energia no médio e no longo prazo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2017).

2.2 Delimitação do tema

A presente pesquisa realizou um estudo sobre os impactos ambientais oriundos de painéis fotovoltaicos, sendo que os dados foram derivados de pesquisas bibliográficas feita em livros, artigos científicos, dissertações, manuais e fichas técnicas em português e inglês, que dissertam sobre o tema em questão, levando em conta a fase de produção, instalação, operação e descarte inadequado. Para a busca desses referenciais, foram utilizadas as plataformas *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO), *Google Acadêmico* e *ScienceDirect*, utilizando-se das palavras-chave painéis fotovoltaicos, matriz energética, impactos ambientais e energia solar. Os impactos obtidos foram avaliados e classificados quanto:

- Tipo de impacto;
- Categoria do impacto;
- Área de abrangência;
- Duração ou temporalidade;
- Reversibilidade;
- Prazo de manifestação;
- Magnitude.

A classificação quanto ao tipo de impacto, estabelece que este pode ser direto ou indireto, sendo, geralmente, os impactos indiretos decorrentes de desdobramentos oriundos dos impactos diretos (RODRIGUES, 2013).

A natureza do impacto é um atributo que determina se o impacto é negativo ou positivo (CONAMA, 1986), expressando as alterações provocadas ao meio ambiente devido a ação oriunda de um empreendimento (SÁ, 2010).

A área de abrangência determina o espaço de influência, ou seja, o local afetado de forma direta ou indireta por um determinado empreendimento. Essa área de abrangência pode ser compreendida como local, onde os efeitos acontecem somente na área de influência direta; regional, sendo que os impactos se manifestam na área de influência indireta e estratégico, quando os danos se propagam para regiões que extrapolam as áreas de influência, no entanto, não são capazes de ampliá-las (INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA, 2017).

A duração classifica um impacto ambiental em relação ao tempo em que ele se manifesta, podendo ser temporário, quando o seu tempo de manifestação é conhecido ou permanente, no qual seus efeitos continuam mesmo após cessada a ação originadora (SÁ, 2010).

A reversibilidade avalia a possibilidade de um impacto ser revertido de forma a eliminar suas implicações ou irreversível, quando não pode ser reparado, onde os efeitos perduram por longos períodos, como aponta a Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal (2018).

O prazo de manifestação indica quanto tempo os danos ambientais levam para se manifestarem, podendo acontecer de forma imediata, quando o efeito se apresenta paralelamente ao início das ações que lhe originaram; de médio prazo, apresentando-se

posteriormente ao início das ações desencadeadoras; e, longo prazo ocorrendo após um grande período (AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO DISTRITO FEDERAL, 2018).

A magnitude considera a força de como o impacto se manifesta, podendo ser classificada em fraca, média, forte ou variável (RODRIGUES, 2013). Ela pode ser considerada de forma objetiva, com intuito de obter uma classificação quantitativa, com representação em uma escala numérica, ou então, de forma qualitativa, em que os danos ambientais não são passíveis de serem mensurados, promovendo a essa categorização, elevado grau de subjetividade (FARIA, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de energia elétrica a partir de usinas e micro usinas fotovoltaicas, assim como qualquer outra, não está livre de causar degradação ao meio ambiente. Portanto, nesta avaliação foi identificada e apresentada individualmente cada fase do ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos, na qual são previstas a realização de uma série de atividades, correlacionando-se os diversos impactos associados a cada etapa. As fases para a análise realizada neste estudo apresentam-se da seguinte forma:

- Fase de produção, englobando o processo de extração de matéria prima, beneficiamento e a elaboração do produto final;
- Fase de instalação, consiste na execução da estrutura de fixação, montagem e interligação elétrica dos módulos;
- Fase de operação, o sistema encontra-se em funcionamento gerando energia elétrica;
- Fase de descarte, etapa na qual os painéis tornam-se um resíduo.

3.1 Identificação e classificação dos impactos ambientais na fase de produção

A produção de componentes fotovoltaicos envolve diversas etapas e a utilização de vários produtos químicos tóxicos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente (SUMMERS; RADDE, 2003).

A extração de matéria prima é a primeira etapa para a fabricação de módulos fotovoltaicos e isso acarreta o crescimento temporário da densidade demográfica na região do empreendimento, aumento da arrecadação tributária, bem como o fluxo de veículos e de

resíduos sólidos e líquidos originários das movimentações para a área de mineração (BARBOSA FILHO *et al.*, 2015).

Os painéis fotovoltaicos de primeira geração têm como principal elemento de sua composição o silício cristalino. Yabuta (2016) explica que para chegar ao nível de uso em um painel fotovoltaico, o silício necessita passar por diversas etapas, o processo inicia-se com a extração da sílica, segue pela produção de silício metalúrgico, purificação, processamento do dispositivo e, por fim, o encapsulamento para se obter uma maior pureza possível. Essas etapas provocam múltiplos impactos, ressaltam Yabuta (2016) e Coutinho (2019):

- Degradação da paisagem, devido à retirada da fauna e flora que recobrem as minas, seus arredores e o desmonte dos perfis do relevo, ocasionando a redução da mata nativa e deslocamento da vida selvagem;
- Tráfego intenso de veículos pesados devido à necessidade de transportar a matéria prima, resultando na emissão de gases, poeiras, ruídos e atropelamento de animais;
- Poeira e gases provenientes da perfuração, explosão das rochas e transporte do material, isso causa a alteração da qualidade do ar.

Monteiro (2016) relata que quando a sílica passa pelo processo metalúrgico de refino para atingir a pureza necessária para ser usado nas células fotovoltaicas, são empregadas grandes quantidades de energia. Yabuta (2016) e Coutinho (2019) explicam que durante esses processos, o elemento emite o pó de sílica, que pode causar silicose.

Para limpar as pastilhas semicondutoras das células fotovoltaicas são necessários diversos compostos químicos, como ácido fluorídrico e ácido sulfúrico. Essa etapa é extremamente importante, pois a limpeza é fundamental para a remoção de possíveis danos e para produzir a textura correta da superfície. Entretanto, esses ácidos apresentam grandes riscos aos trabalhadores, já que são capazes de corroer os tecidos e descalcificar os ossos, segundo Thomas (2019).

Na produção de células de Telureto de cádmio (CdTe) são usados compostos de cádmio na forma de pó e líquida. Isso gera, como perigo, a inalação de material particulado ou ingestão acidental desses elementos pelos trabalhadores. Além disso, essas partículas podem ser absorvidas pelos pulmões e causar câncer, edemas pulmonares e, até mesmo a morte (MARKVART; CASTANER, 2003).

O cádmio é um metal encontrado na natureza associado aos minérios de zinco, cobre e chumbo, assim como no caso do silício, é preciso minerar e beneficiar esses materiais. Como consequência, ocorre a degradação do meio ambiente, poluição das águas e do ar atmosférico (ANSELMO, 2019).

Para a utilização nas células fotovoltaicas de filme fino é realizada a fundição de chumbo com zinco para a obtenção do cádmio, os maiores riscos à saúde humana desses compostos ocorrem principalmente nos locais das atividades de mineração e fundição, já que este processo pode liberar vapores tóxicos (MULVANEY, 2019).

Na fabricação de células de disseleneto de cobre (Gálio) e índio (CIS e CIGS) é depositado uma camada de disseleneto de cobre, índio e gálio (Cu(In, Ga)Se_2), sobre um substrato revestido com molibdênio e, logo em seguida é colocada uma fina camada de sulfeto de cádmio (CdS) e óxido de zinco dopado com alumínio (ZnO:Al). A oxidação desses elementos pode afetar as membranas mucosas do sistema respiratório (SUMMERS; RADDE, 2003).

A seguir, na Tabela 1, são identificados e classificados os impactos ambientais originários do processo de produção. Essa etapa compreende os maiores e mais significativos danos de todo o ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos. Isso é importante para mostrar que por trás de uma geração de energia considerada limpa existem diversos potenciais impactos ambientais.

Tabela 1: Planilha de classificação e identificação dos impactos ambientais para a fase de produção

FASE DE PRODUÇÃO			TIPO		NATUREZA		ÁREA DE ABRANGÊNCIA			REVERSIBILIDADE		DURAÇÃO		PRAZO DE MANIFESTAÇÃO			MAGNITUDE				
Atividade	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Direto	Indireto	Positivo	Negativo	Local	Regional	Estratégico	Reversível	Irreversível	Temporário	Permanente	Imediato	Médio Prazo	Longo Prazo	Fraca	Média	Forte	Variável	
Extração da matéria prima, explosão de rochas	Degradação da paisagem devido a remoção da fauna e flora	Remoção da mata nativa	x			x		x			x		x	x						x	
		Deslocamento da vida selvagem		x		x		x				x		x	x						x
Transporte da matéria prima	Tráfego de veículos pesados	Risco de atropelamento de animais silvestres	x			x		x		x			x	x					x		
Refinamento do silício	Emissão de pó de sílica	Silicose	x			x	x				x		x			x					x
Limpeza de pastilhas	Uso de produtos químicos corrosivos	Corrosão de tecidos e descalcificação dos ossos	x			x	x				x		x	x							x
Produção de células de CIS e CIGS	Oxidação de CdS e ZnO:Al	Causar danos as membranas mucosas do sistema respiratório	x			x	x			x	x	x	x	x	x						x
Produção de células de cádmio	Inalação e ingestão acidental de compostos de cádmio	Câncer de pulmão, edemas pulmonares e morte	x			x	x			x		x	x			x					x

Fonte: Autores (2022).

As atividades de mineração provocam diversos danos como a remoção da mata nativa, geração de poeiras e ruídos causado pela explosão de rochas, devido a necessidade de desmonte de relevos para a exploração dos minérios, resultando na perda de habitats da região, o que desencadeia outro problema, o deslocamento da fauna local para outras áreas.

A remoção da mata nativa foi avaliada como um dano direto e negativo, por causar prejuízos ao bioma (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2007). É de abrangência regional, pela necessidade de retirada da vegetação tanto no local de exploração quanto para execução de estradas para o acesso ao empreendimento. Sua manifestação é imediata, configura-se como irreversível, permanente e de forte magnitude considerando as alterações ao ambiente.

Em decorrência da erradicação da vegetação nativa e da perda de habitats, animais pertencentes a essa região são obrigados a se reestabelecerem em outras áreas. Esse panorama implica que esse impacto seja de natureza adversa e do tipo indireto, por ser resultante do desdobramento originado a partir de outro impacto direto. Consiste em um problema de acometimento regional, manifestação imediata, com extensão permanente e irreversível, devido a impossibilidade de retorno ao seu habitat original. Sua magnitude é forte por proporcionar incômodos e alterações bruscas no ritmo de vida desses seres.

As estradas funcionam como uma armadilha para a fauna, estes locais compreendem caminhos mais fáceis para o deslocamento; as aves podem usar o cascalho das vias para ajudar na digestão, alguns seres vivos podem ser atraídos a ela para se alimentar de outros animais atropelados (IEMA, 2017).

O intenso tráfego de veículos pesados para o transporte da matéria prima pode ocasionar o atropelamento de animais silvestres, impacto este, que se configura como direto e de natureza negativa. Sua abrangência é regional, devido suas consequências compreenderem as regiões próximas à zona de mineração. A sua manifestação inicia-se paralelamente ao começo dos processos de transportes. Trata-se de um dano irreversível e permanente, considerando que a exploração desses minérios se entenderá por décadas, em função desses aspectos, foi classificado como de média magnitude.

O refinamento do silício promove a silicose, uma doença pulmonar grave e irreversível adquirida pela exposição e inalação do pó de sílica, caracterizada por ocasionar lesões nos pulmões e não possuir tratamento específico (TERÁN, 2010).

A silicose pode se difundir em três maneiras diferentes, aguda, acelerada e crônica, no caso agudo a doença se manifesta em alguns meses após a exposição inicial, no segundo cenário os sintomas aparecem entre cinco e dez anos. O acometimento crônico se desenvolve

num prazo maior que dez anos após o primeiro contato com o elemento, podendo evoluir de forma rápida, levando o paciente a óbito em poucos meses ou anos (TERRA FILHO; SANTOS, 2006).

Diante do que foi exposto, compreendeu-se que o impacto se caracteriza por ser direto, negativo e de difusão local, já que atinge o território de uso. Sua manifestação é de longo prazo, devido ao tempo de desencadeamento da doença; a duração é permanente e seu quadro é irreversível, pois a enfermidade não tem cura, portanto, a magnitude foi definida como forte em razão dos diversos problemas proporcionados.

O emprego de elementos como ácido fluorídrico e ácido sulfúrico é essencial para a limpeza das pastilhas semicondutoras das células fotovoltaicas. Cardoso, Gonella e Orgaes (2012) dissertam que o ácido fluorídrico e ácido sulfúrico em contato com a pele pode proporcionar queimaduras de nível grave devido uma reação de desidratação, decompondo proteínas, carboidratos e lipídios presentes na pele e nos músculos.

Portanto, esses danos que causam a perda da integridade da saúde dos prestadores de serviço, foram identificados como direto, negativo e de área abrangente local, visto a possibilidade de ocorrência nas imediações da realização das atividades de limpeza das pastilhas das células solares. A manifestação apresenta-se de forma imediata e sua duração é permanente, não sendo possível sua reversibilidade, considerando as sérias alterações aos corpos dos indivíduos afetados, por isso, sua magnitude consiste em grau forte.

A produção de células de CIS e CIGS promove a oxidação de sulfeto de cádmio (CdS) e óxido de zinco dopado com alumínio (ZnO:Al), evento este, que provoca danos nas membranas mucosas do sistema responsável pela hematose³ humana, esses prejuízos podem ser caracterizados como imediatos caso incluam, por exemplo, a irritação e a obstrução do trato respiratório, acometendo, em quadros mais graves, traqueíte, bronquite e bronquiolite, os quais demandam mais tempo para se manifestarem (LARA, 2020).

Constatou-se que este impacto é de natureza negativa e direta, tendo abrangência local, foi considerado reversível, temporário e imediato em casos de irritação e obstrução do trato respiratório e irreversível, permanente e com médio prazo de manifestação. A magnitude foi considerada forte, em consequência dos graves problemas ocasionados à saúde.

A inalação ou ingestão acidental de compostos de cádmio pode ocasionar o câncer nos pulmões, uma enfermidade caracterizada pelo aumento celular descontrolado nos tecidos pulmonares (SOUZA, 2012). Diagnosticado precocemente e realizando tratamento adequado

³ Consiste no processo onde o oxigênio presente nos alvéolos pulmonares é transferido para os capilares e dióxido de carbono da corrente sanguínea é encaminhado à estrutura alveolar (SILVA, 2007).

a doença é passível de ser curada, no entanto, caso a patologia evolua e sofra metástase, que consiste no espalhamento do câncer a outras partes do corpo, as chances de cura são praticamente nulas. Assim, o tratamento passa a ter o intuito de controlar a enfermidade e aumentar o tempo de vida do indivíduo (INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER, 2022).

O acometimento pela doença pode ocorrer anos depois da exposição ao cádmio (PEREIRA, 2014), por isso seu prazo de manifestação foi determinado de longo prazo e sua magnitude foi considerada forte devido aos danos causados à saúde humana. Trata-se de um dano negativo e direto, tendo abrangência local, pois a exposição aos contaminantes se dá no local de descarte. Foi considerado que este problema é reversível, já que existem tratamentos para a doença. Sua duração foi entendida como temporária caso o diagnóstico seja precoce e o tratamento efetivo, levando a extinção da enfermidade e permanente, se a identificação ocorrer em estágio avançado da doença, não sendo possível a cura.

3.2 Identificação e classificação dos impactos ambientais na fase de instalação e operação

Durante as fases de instalação e operação dos sistemas fotovoltaicos, alguns resíduos são gerados, prejudicando e poluindo o meio ambiente. Esses impactos são listados a seguir:

- Resíduos da construção, pois durante o período de montagem dos sistemas solares, ocorre a geração de entulho proveniente das embalagens dos painéis e dos outros componentes do sistema, pedaços de cabos e, até mesmo placas quebradas devido ao transporte ou manuseio incorreto;
- Ruídos, gerados pela utilização de equipamentos como furadeiras, parafusadeiras, elementos necessários para a execução das atividades desta etapa;
- Impacto visual, os sistemas fotovoltaicos podem ocupar grande área dos telhados, alterando a visualização de sua superfície.
- Contaminação das águas, consiste na água utilizada para a limpeza dos painéis;
- O uso em larga escala de telhados com sistemas fotovoltaicos, o que altera o balanço energético⁴ da cidade e assim afeta o clima urbano (XIAOLONG *et al.*, 2020).

Identificados os impactos ambientais relacionados a estas fases, a seguir é apresentada a Tabela 2, contendo sua classificação, devidamente justificada.

⁴ A alteração do balanço energético pelo telhado fotovoltaico constitui na redução da temperatura em alturas de até 2 metros próximas a superfície do solo, durante o dia essa variação pode atingir entre 0,12 e 0,23 °C e a noite de 0,21 a 0,60 °C (FERREIRA, 2020; XIAOLONG *et al.*, 2020).

Tabela 2: Planilha de classificação e identificação dos impactos ambientais para a fase de instalação e operação

FASE DE INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO			TIPO		NATUREZA		ÁREA DE ABRANGÊNCIA			REVERSIBILIDADE		DURAÇÃO		PRAZO DE MANIFESTAÇÃO			MAGNITUDE				
Atividade	Impacto Ambiental	Impacto Ambiental	Direto	Indireto	Positivo	Negativo	Local	Regional	Estratégico	Reversível	Irreversível	Temporário	Permanente	Imediato	Médio Prazo	Longo Prazo	Fraca	Média	Forte	Variável	
Retirada das embalagens dos componentes do sistema fotovoltaico	Geração de resíduos sólidos	Contaminação do solo	x			x	x			x		x		x							x
Fixação de painéis e componentes do sistema	Geração de ruídos	Incômodos à População	x			x	x			x		x		x				x			
Instalação dos painéis	Alteração da paisagem	Impacto visual	x			x	x						x	x				x			
Limpeza dos painéis fotovoltaicos	Águas residuais	Contaminação das águas	x			x	x			x		x		x				x			
Funcionamento do sistema	Alteração do balanço energético	Alteração do microclima da região	x		x			x					x	x				x			

Fonte: Autores (2022).

A geração de resíduos sólidos oriundos da retirada das embalagens dos componentes do sistema fotovoltaico pode causar a contaminação do solo (OLIVEIRA, 2021) e, por isso, foi classificada como de natureza negativa e direta, de abrangência local e reversível, uma vez que suas embalagens são compostas de plásticos e papelões, é possível a aplicação de medidas como o destino desses resíduos para os centros de reciclagem. Considerando que o risco passará a existir a partir do início da instalação do sistema e apenas acontece até o final desse processo, ele foi descrito como imediato e temporário, sua magnitude foi considerada variável em concordância com o tamanho do empreendimento.

Considerando que os incômodos à população oriundos da geração de ruídos, são compreendidos em atividades específicas e de curta duração ao longo do processo de instalação (IEMA, 2017), caracterizou-se esse impacto como negativo e direto com abrangência local, já que afeta apenas a comunidade vizinha ao empreendimento. Quanto a reversibilidade e duração, deve ser classificado como reversível e temporário, uma vez que ao fim da instalação os ruídos são cessados. O prazo de manifestação tem caráter imediato, pois o impacto evidencia-se a partir do início do processo construtivo, sua magnitude foi definida como fraca, visto que estes danos não causam transtornos relevantes nas imediações do local de implementação dos sistemas.

O impacto visual foi classificado como direto, de natureza negativa, pois altera a paisagem e considerada área de abrangência local. Como este impacto se estenderá durante toda a vida útil do sistema, foi caracterizado como irreversível e de duração permanente, sua manifestação é imediata, visto que se inicia a partir do momento que o sistema é instalado. Considerando que não haverá incômodos significativos às comunidades mais próximas, foi determinado que a magnitude se enquadra como fraca.

De acordo com Gaio e Campos (2017), é ideal a realização da limpeza dos painéis fotovoltaicos a cada seis meses, para que o desempenho do sistema não seja prejudicado; assim, a duração foi entendida como temporária e de prazo de manifestação imediato, além de poder ser considerado reversível, visto que, ao final do processo de limpeza a contaminação da água é interrompida, portanto, possui magnitude fraca. Este impacto também foi classificado como direto, de natureza negativa e área de abrangência local, pois se restringe apenas a área onde o sistema foi instalado.

A alteração do microclima da região foi avaliada como direta e de área de abrangência regional, pois afeta o clima em zonas onde se percebe uma larga escala de sistemas fotovoltaicos em funcionamento, foi considerada positiva, pois contribui para o resfriamento

dos centros urbanos. Este dano foi estabelecido como permanente e irreversível em consequência de se persistir ao longo de toda a vida do empreendimento. Sua manifestação acontece em um prazo imediato após o início de seu funcionamento e, possui magnitude fraca, devido à baixa variação na temperatura.

3.3 Identificação e classificação dos impactos ambientais na fase de descarte

Em relação ao fim de vida dos painéis solares fotovoltaicos, Hestin e Monier (2011) explicam que se os resíduos desses sistemas forem descartados inadequadamente, podem causar diversos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana, como a lixiviação do chumbo e do cádmio, perda de materiais convencionais, principalmente vidro e alumínio e de metais raros, como prata, índio, gálio e germânio.

Leccisi, Raugei e Fthenakis *et al.* (2016) dissertam que a lixiviação do chumbo está ligada principalmente aos módulos de silício cristalino (c-Si) de 1ª geração, se descartados indevidamente, podem se acumular no meio ambiente causando a perda da biodiversidade, diminuição das taxas de crescimento e reprodução em plantas e animais. Além disso, de acordo com Hestin e Monier (2011), ela causa sérios problemas à saúde humana, caso ingerido, se distribuindo por todo o corpo através do sangue e se acumulando nos ossos, podendo afetar o sistema nervoso, a função renal, o sistema reprodutivo e o sistema cardiovascular.

O cádmio, além de ser um elemento cancerígeno de alta toxicidade, tem alto potencial de acúmulo nos organismos vivos e sua lixiviação, proveniente dos painéis fotovoltaicos de filme fino de 2ª geração, pode causar sérias alterações fisiopatológicas sob condições de exposição repetida, grave inflamação pulmonar e fibrose contam Hestin e Monier (2011) e Ramos *et al.* (2018).

A *backsheet* (o fundo do painel) e os encapsulantes dos painéis fotovoltaicos são fabricados a partir de frações de polímero que consistem em plásticos fluorados e reticulados que não podem ser reciclados (RATHORE; PANWAR, 2022). Prakash *et al.* (2015) dissertam que os elementos não passíveis de serem reciclados são incinerados acarretando sérios problemas de saúde liberando gases tóxicos.

Na Tabela 3, abaixo, são apresentados os aspectos ambientais e seus impactos, ocasionados pela atividade de descarte de painéis fotovoltaicos.

Tabela 3: Planilha de classificação e identificação dos impactos ambientais para a fase de descarte

FASE DE DESCARTE			TIPO		NATUREZA		ÁREA DE ABRANGÊNCIA			REVERSIBILIDADE		DURAÇÃO		PRAZO DE MANIFESTAÇÃO			MAGNITUDE				
Atividade	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Direto	Indireto	Positivo	Negativo	Local	Regional	Estratégico	Reversível	Irreversível	Temporário	Permanente	Imediato	Médio Prazo	Longo Prazo	Fraca	Média	Forte	Variável	
Descarte	Lixiviação do chumbo	Afeta o sistema nervoso, reprodutivo, cardiovascular e a função renal	x			x	x				x		x			x				x	
		Perda da biodiversidade	x			x	x			x			x			x					x
	Lixiviação do cádmio	Grave inflamação e fibrose pulmonar	x			x	x			x			x		x					x	
	Perda de materiais recicláveis como alumínio e vidro	Contaminação do solo e de águas subterrâneas		x		x		x		x			x	x							x
	Perda de metais raros como a prata, índio, gálio e germânio	Contaminação do solo e de águas subterrâneas		x		x		x		x			x	x							x
	Incineração de polímeros fluorados e reticulados	Liberação de gases tóxicos, alteração da qualidade do ar	x			x	x			x			x		x						x
	Deposição de polímeros fluorados e reticulados em aterros sanitários	Contaminação do solo e de águas subterrâneas	x			x		x				x		x			x				x

Fonte: Autores (2022).

A intoxicação com chumbo ataca o sistema nervoso causando encefalopatia em crianças e adultos, doença que pode causar interferência na função cerebral e mobilidade reduzida. Na infância, o contato com esse elemento pode gerar implicações permanentes como deficiência cognitiva (MOREIRA; MOREIRA, 2004).

A contaminação por chumbo causa ao sistema reprodutor masculino a diminuição da libido, espermatogênese anormal (motilidade e número reduzido), falhas cromossômicas, infertilidade e modificações nos níveis de testosterona e, nas mulheres, os problemas acometidos são a infertilidade, aborto espontâneo, pré-eclâmpsia e parto prematuro (ROCHA; PEZZINI; POETA, 2017).

De acordo com Moreira e Moreira (2004), estudos clínicos evidenciam que a exposição ao chumbo acomete o sistema cardiovascular causando lesões cardíacas, anormalidades eletrocardiográficas e aumentos na pressão sanguínea.

A exposição intensa e prolongada ao chumbo pode gerar insuficiência renal progressiva e irreversível, que consiste na perda da capacidade dos rins executarem suas funções básicas, podendo desencadear quadros de hipertensão (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011). A presença desse elemento no solo pode perdurar por décadas e sua área de manifestação compreende aos locais de desenvolvimento desse processo (KEDE, 2006).

Diante do que foi exposto acima, estes danos que afetam a saúde humana foram identificados como negativos, diretos e com abrangência local. A magnitude foi considerada forte e irreversível devido aos efeitos adversos dessas enfermidades, como consequência, trata-se de uma duração permanente e, seu prazo de manifestação foi avaliado como longo, visto que essas doenças podem levar anos para se desenvolverem.

Outro dano oriundo deste aspecto ambiental consiste na perda da biodiversidade, diminuindo as taxas de crescimento e reprodução em plantas e animais, sendo assim este impacto, foi classificado como direto, negativo e de magnitude variável, levando em consideração a quantidade de resíduos depositado no local. Trata-se de impacto local, visto que se restringe à área onde foram descartados esses elementos. Sua manifestação se dá a longo prazo e sua duração é permanente e irreversível.

A lixiviação do cádmio pode causar a fibrose pulmonar que consiste em uma doença que ataca os pulmões em sua forma crônica e progressiva, acomete o tecido responsável por envolver os sacos aéreos dos pulmões tornando-os mais espessos, bloqueando a transferência do oxigênio para a corrente sanguínea, o que proporciona gradativamente o aumento da falta

de ar. A doença não tem cura, porém realizando o tratamento adequado é possível reverter as alterações provocadas (KAMINOSONO, 2020; WÜNSCH, 2020).

A partir disso, é possível aferir que este impacto se enquadra como negativo e direto. Sua área de abrangência foi avaliada como local, já que a possibilidade de contaminação ocorre no espaço de deposição dos elementos dos sistemas fotovoltaicos. Ela foi considerada reversível devido a possibilidade de tratamento, entretanto, sua duração é permanente, já que a doença não tem cura. A manifestação dessa patologia se dá a médio prazo após a exposição, possui magnitude forte, por causar graves problemas a saúde de indivíduos infectados.

O descarte inadequado de painéis fotovoltaicos gera a perda de materiais recicláveis como alumínio, vidro e a perda de metais raros como a prata, índio, gálio e germânio, isso implica na geração de resíduos sólidos, que, por sua vez, causam a contaminação do solo e de águas subterrâneas, durante sua degradação e acarreta também, prejuízos financeiros, uma vez que estes resíduos poderiam ser novamente comercializados gerando renda.

Considerando esses fatores, este impacto foi classificado como indireto, negativo e com área de abrangência regional, devido a contaminação poder atingir áreas além das delimitações do local de deposição. Este dano ambiental pode ser entendido como reversível e de duração temporária analisando a possibilidade de aplicação de tecnologias para a reciclagem desses elementos e quando esses materiais permanecem no lugar de descarte até sua decomposição sem nenhum tratamento, deve ser avaliado como irreversível e de duração permanente e, portanto, sua magnitude deve ser apontada como de grau forte.

A incineração de polímeros fluorados e reticulados promove a liberação de gases tóxicos que alteram a qualidade do ar, por isso foi caracterizado como um impacto do tipo direto e de natureza negativa. Sua abrangência foi considerada regional, já que estas emissões se espalham com as correntes de ar, atingindo maiores áreas. A manifestação enquadra-se como imediata, visto que a projeção de gases à atmosfera começa paralelamente ao início dessa atividade. Este dano foi avaliado com efeito temporário e reversível, pois assim que o ato de queima desses elementos termina essa liberação de poluentes é cessada, sendo assim, a magnitude foi compreendida como forte.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, é possível aferir que os objetivos traçados foram alcançados, pois apresentou-se, para cada etapa do ciclo de vida de um painel fotovoltaico, as diversas atividades envolvidas e suas consequências ao meio ambiente.

Por meio deste estudo, ficou evidente que a fase de produção do painel fotovoltaico é a etapa que causa os maiores e mais severos problemas ao meio ambiente e a saúde humana, pois promove a degradação da fauna e flora, altera a qualidade do ar, contamina solos e águas, além de colocar em risco a saúde de trabalhadores e população próximas ao empreendimento, podendo acarretar diversas doenças.

Os impactos ambientais correlacionados com atividades pertencentes às etapas de instalação e operação dos sistemas fotovoltaicos foram os que apresentaram menor potencial para causar danos, dentre todo o ciclo de vida dos painéis.

É essencial destacar que, para as próximas décadas, são projetados que muitos painéis solares chegarão ao final de sua vida útil, se tornando resíduos e, se estes forem descartados de maneira incorreta, poderão causar graves problemas ao meio ambiente.

Foi possível perceber que a fase final de vida dos painéis fotovoltaicos também compreende sérios danos ao meio ambiente, à saúde humana e também prejuízos financeiros. Grande parte dos componentes desses elementos pode ser recuperada e reciclada, entretanto, falta investimento em tecnologias para a realização desses processos. Fica evidente a necessidade da criação de políticas públicas e normativas específicas para a gestão desse tipo de resíduo.

Baseado nos tópicos discutidos ao longo do artigo, concluiu-se que a energia fotovoltaica apesar de seus conhecidos benefícios, apresenta impactos relevantes ao meio ambiente. Embora seja uma tecnologia promissora, é importante que em seu desenvolvimento sejam adotadas práticas que amenizem os problemas aqui elencados.

Espera-se que este manuscrito sirva como ferramenta de difusão da informação a respeito dos impactos ambientais gerados pela produção, instalação, operação e descarte inadequado de painéis fotovoltaicos a partir dos resultados apresentados e discutidos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Estudo de impacto ambiental**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.terracap.df.gov.br/index.php/componentattached/?task=download&id=6652>. Acesso em: 13 nov. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482 de 2012:** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. ANEEL, Brasília, Brasil, 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687 de 2015:** Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os módulos 1 e 3 dos procedimentos de distribuição. ANEEL, Brasília, Brasil, 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.

ANSELMO, A. H. **Reciclagem ou destinação final dos painéis fotovoltaicos aplicados em geração de energia ao final do ciclo de vida.** 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/35049>. Acesso em: 21 jun. 2022.

BARBOSA FILHO, W. P. *et al.* Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 4, p. 628-642, 2015. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4663692/mod_resource/content/1/Solar.pdf. Acesso em: 12 out. 2022.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia:** de indivíduos a ecossistemas. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

CARDOSO, L.; GONELLA, H. A.; ORGAES, F. S. Estudo epidemiológico das queimaduras químicas dos últimos 10 anos do CTQ-Sorocaba/SP. **Revista Brasileira de Queimaduras**, Goiânia, v. 11, n. 2, p. 74-79, 2012. Disponível em: <http://rbqueimaduras.org.br/details/105-pt-BR/estudo-epidemiologico-das-queimaduras-quimicas-dos-ultimos-10-anos-do-ctq-sorocaba-sp>. Acesso em: 12 out. 2022.

COELHO, T. F.; SERRA, J. C. V. Tecnologias para reciclagem de sistemas fotovoltaicos: impactos ambientais. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba. v. 15, p. 83-99, 2018. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/820>. Acesso em: 13 nov. 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986.** Diário Oficial da União, 1986. Disponível em: <http://www.ima.al.gov.br/wizard/docs/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20N%C2%BA001.1986.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.

COUTINHO, F. J. **Uso de energia fotovoltaica em edificação:** vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional. 2019. 89 f. 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 em: 21 jun. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026).** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da

[%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF%5B1%5D.pdf](#). Acesso em: 13 nov. 2022.

ERCOLE, F. F.; MELO, L. S.; ALCOFORADO, C. L. G. C. Revisão integrativa versus revisão sistemática. **Revista Mineira de Enfermagem**, Belo Horizonte, v. 18, n. 1, p. 8-11, 2023. DOI <http://dx.doi.org/10.5935/1415-2762.20140001>. Disponível em: <https://www.reme.org.br/artigo/detalhes/904>. Acesso em: 09 jan. 2023.

FARIA, I. D. **Compensação ambiental**: os fundamentos e as normas, a gestão e os conflitos. Senado Federal, Consultoria Legislativa, Centro de Altos Estudos, 2008. Disponível em: <https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/2008%20Textos%20para%20Discuss%C3%83%C2%A3o%2043%20-%20IvanDutraFaria.pdf>. Acesso em: 08 set. 2022.

FERREIRA, R. M. B. **Impacto de elevada cobertura de painéis solares no microclima urbano**. 2020. 51 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2020. Disponível em: https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/45413/1/ulfc126022_tm_Ricardo_Ferreira.pdf. Acesso em: 12 out. 2022.

GAIO, J. N.; CAMPOS, K. M. A. **Determinação do tempo ótimo para limpeza de painéis fotovoltaicos para obtenção da melhor produtividade**: estudo de caso dos SFVCR's implantados na UTFPR. 2017. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10082/1/CT_COELE_2017_1_15.pdf. Acesso em: 12 out. 2022.

HESTIN, M.; MONIER, V. **European Commission. 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 em: 04 maio 2022.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Avaliação dos Impactos Ambientais. *In*: Relatório Técnico. [s. l.], [s. n.], p. 561-623, 2017. Disponível em: https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/RIMAS/RIMAS_2017/Estudos%20Ambientais/2018.03.06%20-%202008%20-%20An%C3%A1lise%20dos%20Impactos%20Ambientais.pdf. Acesso em: 13 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Câncer de pulmão**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/tipos/pulmao>. Acesso em: 12 out. 2022.

KAMINOSONO, A. N. **O acesso ao tratamento da fibrose pulmonar idiopática e a sustentabilidade da política de doença rara no estado do Pará**. 2020. 125 f. Dissertação (Mestrado em Assistência Farmacêutica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2020. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/586338/2/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20AGNES%20NAMI%20KAMINOSONO.pdf>. Acesso em: 08 set. 2022.

KEDE, M. L. F. M. **Comportamento do chumbo em latossolos após aplicação de rocha fosfatada brasileira**: subsídio para remediação ambiental de áreas contaminadas. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio

Arouca/Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:

[https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/](https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/5373/maria_luiza_f%c3%a9lix_marques_kede_ensp_mest_2006.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

[5373/maria_luiza_f%c3%a9lix_marques_kede_ensp_mest_2006.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/5373/maria_luiza_f%c3%a9lix_marques_kede_ensp_mest_2006.pdf?sequence=2&isAllowed=y). Acesso em: 12 out. 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 em: 13 nov. 2022.

LARA, A. R. **Lesão por inalação de gás irritante**. Manual MSD. 2020. Disponível em:

<https://www.msdmanuals.com/pt-br/profissional/dist%C3%BArbios-pulmonares/doen%C3%A7as-pulmonares-ambientais/les%C3%A3o-por-inala%C3%A7%C3%A3o-de-g%C3%A1s-irritante>. Acesso em: 08 set. 2022.

LECCISI, E.; RAUGEI, M.; FTHENAKIS, V. The energy and environmental performance of ground-mounted photovoltaic systems: timely update. **Energies**, Dallas, v. 9, n. 8, p. 622, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/9/8/622>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MARKVART, T.; CASTANER, L. **Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications**. Londres ed: Elsevier, 2003.

MILANI, V. G. **A importância do estudo de impacto ambiental e do relatório de impacto ambiental nos licenciamentos do estado de São Paulo**. 2017. 205 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em:

https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-14032018-114413/publico/Vivian_Galvao_Milani_versao_revisada.pdf. Acesso em: 13 nov. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Insuficiência renal crônica**. 2011. Disponível em:

<https://bvsm.sau.gov.br/insuficiencia-renal-cronica/#:~:text=Insufici%C3%Aancia%20renal%20C3%A9%20a%20condi%C3%A7%C3%A3o,%C3%A9%20lenta%2C%20progressiva%20e%20irrevers%C3%ADve>. Acesso em: 12 out. 2022.

MIRANDA, R. T.; LEANDRO, F. S.; SILVA, T. C. Gestão do fim de vida de módulos fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, 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_FOTOVOLTAIICOS/links/5daa02f092851c577eb840d5/GESTAO-DO-FIM-DE-VIDA-DE-MODULOS-FOTOVOLTAICOS.pdf. Acesso em: 13 nov. 2022.

MONTEIRO, M. C. **Células fotovoltaicas de silício cristalino: tecnologias e processos de fabricação**. 2016. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016. Disponível em:

<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/18685/M%C3%94NICA%20DA%20COSTA%20MONTEIRO%20%20TCC%20ENG.%20EL%20EL%20RICA%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/rpsp/v15n2/20821.pdf>. Acesso em: 12 out. 2022.

MULVANEY, D. **Solar power: innovation, sustainability, and environmental justice**. Okland: University of California Press, 2019.

OLIVEIRA, E. V. **Processos de reciclagem de módulos fotovoltaicos de primeira geração**. 2021. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Energias Renováveis) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/65187/1/2021_tcc_evoliveira.pdf. Acesso em: 09 jan. 2023.

OLIVEIRA, L. H. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de energia elétrica**. 2018. 63 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica.) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23228/1/DimensionamentoSistemaFotovoltaico.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.

PEREIRA, C. A. C. **Introdução aos sistemas fotovoltaicos**. [s. l.], 2014. Disponível em: http://drpereira.com.br/?page_id=27. Acesso em: 15 nov. 2022.

PEREIRA, E. P. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. 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 em: 13 nov. 2022.

PRAKASH, A. *et al.* Challenges in manufacturing and end-of-life recycling or disposal of solar PV panels. **IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering**, Londres, v. 10, n. 3, p. 71-87, 2015. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol10-issue4/Version-3/M010438187.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2022.

RAMOS, C. *et al.* **Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Brasília: Sebrae, 2018. 364 f. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/estudo%20energia%20fotovoltaica%20-%20baixa.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

RATHORE, N.; PANWAR, N. L. Strategic overview of management of future solar photovoltaic panel waste generation in the Indian context. **Waste Management & Research**, Manchester, v. 40, n. 5, p. 504-518, 2022. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X211003977>. Acesso em: 21 jun. 2022.

ROCHA, R.; PEZZINI, M. F.; POETA, J. Fontes de contaminação pelo chumbo e seus efeitos tóxicos na saúde ocupacional. **Ciência em Movimento**, Porto Alegre, v. 19, n. 39, p. 23-32, 2017. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-ipa/index.php/CMBS/article/view/567/492>. Acesso em: 12 out. 2022.

RODRIGUES, M. C. C. **Avaliação de impacto ambiental da fazenda Nossa Senhora da Aparecida**. Ananás - TO, 2013. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/Media/iema/Download>

[s/RIMAS/RIMAS_2017/Estudos%20Ambientais/2018.03.06%20-%2008%20-%20An%C3%A1lise%20dos%20Impactos%20Ambientais.pdf](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/12345_6789/103172/243969.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 13 nov. 2022.

SÁ, T. D. **Relatório de impacto ambiental - RIMA**. Fortaleza - Ceará, 2010. Disponível em: https://sudema.pb.gov.br/consultas/downloads/arquivos-eia-rima/lord/rima/lord_vol_ii_rima.rar/view. Acesso em: 12 out. 2022.

SILVA, D. M. **Sistema para ensaio de desempenho de ventiladores pulmonares**. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/12345_6789/103172/243969.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 08 set. 2022.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <http://www5.eesc.usp.br/portaldeconhecimentos/index.php/por/Conteudo/Metodologia-da-pesquisa-e-elaboracao-de-dissertacao>. Acesso em: 13 nov. 2022.

SIMIONI, T. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil**. 2017. 222 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/T%C3%A1ssio_Simioni.pdf. Acesso em: 13 nov. 2022.

SOUZA, M. C. **Câncer de pulmão: tendências de mortalidade e fatores associados à sobrevivência dos pacientes do Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva**. 2012. 191 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca/Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/iciet/14354/609.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 out. 2022.

SUMMERS, K.; RADDE, J. **Potential health and environmental impacts associated with the manufacture and use of photovoltaic cells**, EPRI, Palo Alto, CA, and California Energy Commission, Sacramento, CA: 2003.

TERÁN, J. E. C. **Educação em saúde: silicose**. 2010. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Atenção Básica em Saúde da Família) - Universidade Federal de Minas Gerais, Polo Corinto, Corinto, 2010. Disponível em: <https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/imagem/2543.pdf>. Acesso em: 08 set. 2022.

TERRA FILHO, M.; SANTOS, U. P. Silicose. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 32, p. S41-S47, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/9df97NqpCcC8svNRJgBTGYP/?lang=pt>. Acesso em: 12 out. 2022.

THOMAS, L. **The environmental impacts of photovoltaic technology**. 2019. Disponível em: <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=831>. Acesso em: 21 jun. 2022.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma perspectiva. **Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, p. 47-69, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/nec/a/HHYKXDgchzv4n4gNfRhqnwK/?lang=pt>. Acesso em: 21 jun. 2022.

WÜNSCH, B. F. **Efeitos do tratamento com frutose-1, 6-bisfosfato sobre o perfil celular de fibroblastos de pacientes com fibrose pulmonar idiopática**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufcspa.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1770/1/%5BDISSERTA%C3%87%C3%83O%5D%20W%C3%BCnsch%2C%20B%C3%A1rbara%20Feij%C3%B3.pdf>. Acesso em: 12 out. 2022.

XIAOLONG, H. *et al.* Simulação do impacto de telhados solares fotovoltaicos no ambiente térmico urbano e oferta e demanda de energia. **Acta Meteorology**, Chicago, v. 78, n. 2, p. 301-316, 2020. Disponível em: http://html.rhhz.net/qxxb_cn/html/2020015.htm#zz. Acesso em: 08 set. 2022.

YABUTA, Y. F. **Impacto ambiental da fabricação do silício fotovoltaico**. 2016. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (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%20FERRER%20A%20YABUTA%20-%20TCC%20ENG.%20EL%20C3%89TRICA%202016.pdf?sequence=1>. Acesso em: 08 set. 2022.

DADOS DOS AUTORES:

Higor Rodrigues Silva Costa

E-mail: higorcosta882@gmail.com

Curriculum lattes: <http://lattes.cnpq.br/3693944338904317>

Graduado em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - Campus Avançado Piumhi.

Pedro Luiz Teixeira de Camargo

E-mail: pedro.camargo@ifmg.edu.br

Curriculum lattes: <http://lattes.cnpq.br/4123026034662869>

Doutor em Ciências Naturais e Mestre em Sustentabilidade pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), especialista em Gestão Ambiental, Gestão Pública, bem como em Planejamento e Gestão da Educação a Distância pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e graduação em Geografia, Pedagogia e Ciências Biológicas UFOP. Atualmente é professor no IFMG - Campus Ouro Preto onde é orientador de alunos no Mestrado em Sustentabilidade e Geografia, coordena o Grupo de Pesquisa em Ciências Ambientais, Econômicas e Sustentabilidade e participa como colaborador do Grupo de Estudos em Infraestrutura Produtiva e Logística para o Desenvolvimento Local Sustentável. Área de atuação: Economia Ambiental e Ecológica; Manejo Florístico e Reflorestamento; Biogeodiversidade; Sensoriamento Remoto; Ensino à Distância; Gestão e Educação Ambiental.

Felipe da Silva Alves

E-mail: felipe.alves@ifmg.edu.br

Curriculum lattes: <http://lattes.cnpq.br/0529058706502267>

Doutorado e mestrado em Engenharia Civil na área de Geotecnia Clássica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e graduação em Engenharia Civil com Ênfase em Mecânica dos Solos pela UFRJ. Atualmente é professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - Campus Avançado Piumhi.