



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil

Paulo de Tarso Dantas Lima¹, Manoel Mariano Neto², Raphael Abrahão³

¹ Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Mestre em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba. E-mail: paulolimad@gmail.com (autor correspondente). ² Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: marianop.paiva2@gmail.com. ³ Doutor em Engenharia Química e do Meio Ambiente, Professor do Departamento de Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba. E-mail: raphael@cear.ufpb.br.

Artigo aceito em 03/12/2021 e aceito em 18/04/2022

RESUMO

A geração de eletricidade por sistemas fotovoltaicos vem crescendo exponencialmente em todo o mundo. A implantação desse tipo de atividade requer a elaboração de diversos estudos, dentre eles, a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). Logo, é imperativo o aperfeiçoamento dessa ferramenta, por ser o principal instrumento para a promoção do desenvolvimento sustentável no segmento. Desta forma, este trabalho tem por objetivo identificar os impactos benéficos e adversos, decorrentes da geração de energia fotovoltaica, a partir da organização temporal das avaliações de impacto ambiental, elaboradas no Nordeste brasileiro, no período de 2012 a 2019. Para tanto, empregou-se a análise documental de 41 Estudos de Impacto Ambiental, permitindo identificar 3.381 impactos, subdivididos nas fases de planejamento, implantação, operação e desativação dos projetos. Verificou-se que 75% dos impactos são previstos para ocorrer ao longo da implantação dos empreendimentos. Ao analisar os compartimentos ambientais, percebe-se que 82% e 76,5% dos impactos incidentes sobre os meios bióticos e abióticos, respectivamente, são negativos. Já no meio socioeconômico, 72,2% se mostram positivos. A quantificação histórica dos impactos ambientais pode ser utilizada para avaliar o benefício da atividade nas cidades e regiões, e, pontuar os impactos de maior relevância. Também foi possível identificar que alguns impactos referenciados na literatura internacional não estão previstos nas avaliações de impacto ambiental no Brasil, fato que pode comprometer a tomada de decisão por parte do poder público.

Palavras-chave: estudo de impacto ambiental, energia fotovoltaica, energia solar.

Analysis of environmental impact assessment processes in photovoltaic power plants in Northeast Brazil

ABSTRACT

Electricity generation by photovoltaic systems has been growing exponentially all over the world. The implementation of this type of activity requires the preparation of several studies, including the Environmental Impact Assessment (EIA). Therefore, it is imperative to improve this tool, as it is the main instrument in ensuring the promotion of sustainable development in the segment. Thus, this work aims to identify the beneficial and adverse impacts arising from the generation of photovoltaic energy, based on the temporal organization of environmental impact assessments, prepared in the Brazilian Northeast, in the period 2012 to 2019. the documentary analysis of 41 Environmental Impact Studies, allowing the identification of 3,381 impacts, subdivided into the planning, implementation, operation and deactivation phases of the projects. It was found that 75% of the impacts are expected to occur during the implementation of the projects. When analyzing the environmental compartments, it is noticed that 82% and 76.5% of the impacts incident on biotic and abiotic environments, respectively, are negative. In the socioeconomic environment, 72.2% are positive. The historical quantification of environmental impacts can be used to assess the benefit of the activity in cities and regions, and to score the most relevant impacts. It was also possible to identify that some impacts referenced in the international literature are not foreseen in environmental impact assessments in Brazil, a fact that can compromise decision-making by the government.

Keywords: environmental impact study, photovoltaics, solar energy.

Introdução

As energias renováveis estão em ascensão, visando, principalmente, a redução da dependência dos combustíveis fósseis e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas (IPCC, 2011; Azêvedo et al., 2017). Nesse contexto, a energia fotovoltaica contribui para a redução da emissão de gases do efeito estufa e consome menos água, permitindo reduzir o potencial do aquecimento global, a acidificação dos ecossistemas, a toxicidade humana e o consumo de recursos hídricos (Wang e Fan, 2021).

A geração de eletricidade a partir da luz solar vem crescendo exponencialmente (IPCC, 2018), atingindo a marca de 500 GW de potência instalada no mundo em 2019 (IRENA, 2019) e de 707 GW em 2021 (IRENA, 2021). As estimativas de geração de eletricidade a partir da fonte fotovoltaica para 2025 são ainda mais impressionantes, uma vez que se espera atingir cerca de 1.513 GW em escala global (IEA, 2020).

No Brasil, esse segmento acompanha a tendência global, passando de 4,2 GW para 7,4 GW, no período de 2019 e 2020, embora ainda possua uma baixa representatividade (de 1,7%) na matriz energética do país (MME, 2021). Em 2021, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2021), a potência instalada total no país alcançou 8,47 GW dos quais, aproximadamente, 39% derivam da geração centralizada e 61% da geração distribuída.

Esses quantitativos ainda se mostram muito baixos quando comparados a outras fontes energéticas. Todavia, tem apresentado rápida disseminação e ampla variedade de aplicações, o que permite inferir que será uma das fontes mais utilizadas no futuro (Oliveira e Araújo Filho, 2021).

Ao passo que a energia fotovoltaica se expande com intensa rapidez, é imperativo o aperfeiçoamento da aplicação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) enquanto uma ferramenta de alavancagem do desenvolvimento sustentável da atividade, sob os pilares econômico, ambiental e social. Desta forma, demonstrar com clareza os impactos benéficos e adversos ao longo da operação de usinas fotovoltaicas é uma questão ainda mais emergente.

Ao tratar dos impactos oriundos da energia fotovoltaica, as abordagens consideram principalmente os efeitos e a importância sobre o ambiente natural e os segmentos econômicos, associados à vulnerabilidade nas fases de construção e operação das usinas fotovoltaicas (Zarzavilla et al., 2022).

As ações mais agressivas dizem respeito à presença de máquinas, a terraplanagem e o tráfego de veículos durante a construção. Enquanto na etapa de operação, ocorre a alteração e eliminação de habitats de fauna, intrusão visual e efeitos na qualidade da paisagem (Zarzavilla et al., 2022).

Pelo viés social, nota-se que a expansão desse setor permite, dentre outros elementos, o desenvolvimento industrial e regional, assim como o desenvolvimento e exploração de uma fonte de energia limpa (Chang et al., 2021).

Diante dos impactos adversos, faz-se necessário elencar possíveis medidas mitigadoras, que podem incluir o monitoramento periódico da fauna, a análise prévia do ofuscamento causado pelos painéis, uso de cabos subterrâneos, a priorização de áreas com relevo plano e a instalação de barreiras de proteção (Sreenath et al., 2020).

Desde sua origem, a AIA se estabeleceu como um procedimento de gestão ambiental aceito mundialmente, seja para avaliar as consequências ambientais de determinada decisão, para implementar políticas e planos ambientais ou para iniciar o desenvolvimento de projetos. Essa ferramenta tem sido aceita em diversos países, incluindo o Brasil, com diferentes níveis de aplicação, e vem evoluindo ao longo do tempo com metodologias mais sofisticadas (Sánchez, 2015).

A AIA é descrita por Braga et al. (2005) como o processo para identificar as prováveis consequências no ambiente biofísico, na saúde e no bem-estar humano, advindas da implementação de determinada atividade, compilando essas informações de maneira que os responsáveis pela tomada de decisão possam aprovar ou não determinado projeto.

De acordo com Caldas (2019), também deve analisar os efeitos socioeconômicos, objetivando a avaliação completa do projeto e suas relações. Entretanto, a maior deficiência da maioria das avaliações de impacto ambiental consiste em estabelecer o período em que cada impacto é provável de ocorrer (Sánchez, 2015).

A dificuldade de estabelecer o período de ocorrência de cada impacto em relação à fase do projeto geralmente acarreta incertezas no processo de avaliação de impacto ambiental. A incerteza na previsão pode ser reduzida a partir da pesquisa, apesar de ser um componente inevitável em qualquer estudo de previsão. Na AIA, o objetivo é fornecer informações das mudanças (impactos) que ocorrerão a partir da implementação de determinada atividade ou projeto (Garcia, 2014).

Mediante tais discussões, esse trabalho busca refletir sobre as seguintes hipóteses: os impactos associados às usinas de energia fotovoltaica, sobretudo os mais danosos aos ecossistemas, tendem a se concentrar ao longo da etapa de instalação; e os impactos de caráter social e econômico se sobressaem em detrimento aos demais em termos quantitativos, e por impactarem positivamente o meio.

O presente trabalho teve por objetivo identificar os impactos benéficos e adversos decorrentes da geração de energia fotovoltaica, a partir da organização temporal das avaliações de impacto ambiental, elaboradas no Nordeste brasileiro, no período de 2012 a 2019. Dessa forma, buscou-se quantificar a ocorrência dos impactos previstos nas fases de planejamento, implantação, operação e desativação, para os meios físico, biótico e socioeconômico desses empreendimentos.

Material e métodos

O processo de previsão de impactos adotado neste estudo compreende duas etapas. Primeiramente, foi realizada a triagem dos impactos ambientais em busca de identificar a melhor forma de descrever o efeito e, portanto, definir como prevê-lo. Em seguida, a segunda etapa, definida como estudos de base, que consiste na coleta de dados das atividades necessárias para o desenvolvimento da geração de eletricidade fotovoltaica.

A coleta de dados teve início na identificação e localização das usinas fotovoltaicas (UFV) cadastradas no Sistema de Informação Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL) da Agência

Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2020) (Figura 1). As informações foram coletadas a partir de um modelo conceitual proposto pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2016), que consiste na estruturação dos dados, considerando a tipologia da atividade, o empreendimento, as fases, os componentes, os meios e os impactos ambientais.

A quantificação histórica dos impactos ambientais da atividade de geração de eletricidade fotovoltaica foi realizada utilizando a metodologia da lista de verificação (Tabela 1).

Nesse trabalho optou-se por utilizar a listagem de verificação simples, apenas distinguindo a natureza positiva ou negativa do impacto ambiental. A partir da listagem de verificação simples, foram catalogados 41 estudos ambientais, desenvolvidos entre 2012 e 2019, em usinas fotovoltaicas de geração centralizada, situadas no Nordeste brasileiro.

Após relacionar todos os impactos ambientais no modelo apresentado na Tabela 1, estes foram categorizados em 3 grupos (meios) de ocorrência, conforme indicou cada estudo ambiental. Por fim, os grupos foram divididos em positivos ou negativos nos 15 subgrupos (componentes). Consequentemente, foi quantificada a ocorrência de cada impacto ambiental por ano e, finalmente, indicada a frequência relativa em que cada grupo (meio) e subgrupo (componente) foram afetados no período avaliado. Também foi quantificada a ocorrência dos impactos nas fases de planejamento, implantação, operação e desativação.

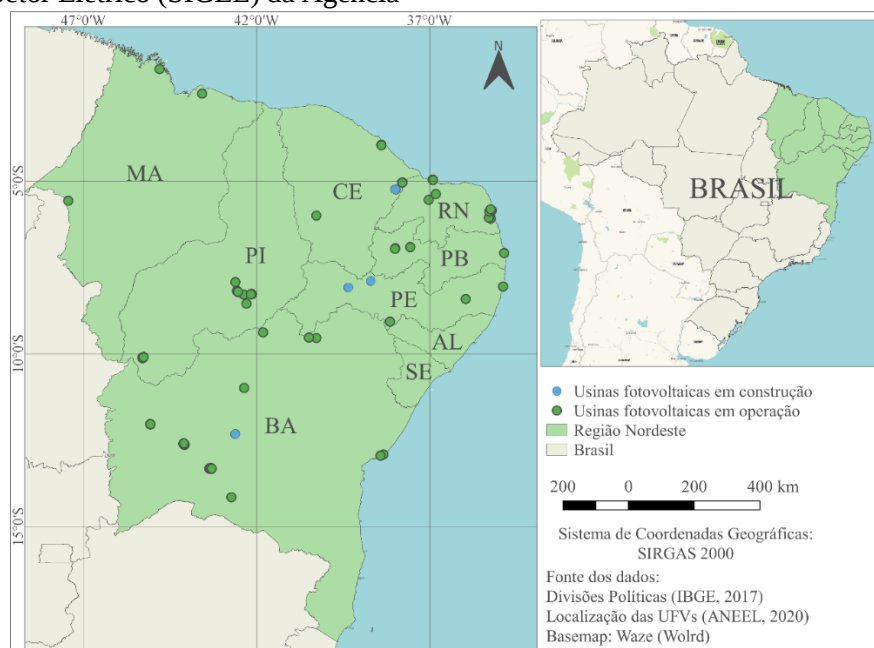


Figura 1. Mapa de localização das usinas fotovoltaicas em operação e em construção no Nordeste do Brasil no ano de 2020.

Tabela 1. Lista de verificação utilizada para coleta e parametrização dos dados ambientais.

GRUPO (meios)	SUBGRUPO (componentes)	NATUREZA	CATEGORIA
Meio biótico	Fauna (FA)	Negativo	1
		Positivo	2
	Flora (FL)	Negativo	3
		Positivo	4
Meio físico	Solo (SO)	Negativo	5
		Positivo	6
	Geo/Geom (GEO)	Negativo	7
		Positivo	8
	Clima/Ar (CQA)	Negativo	9
		Positivo	10
	Recursos hídricos (RH)	Negativo	11
		Positivo	12
	Paisagem (PA)	Negativo	13
		Positivo	14
Meio socioeconômico	Arrecadação tributária (AT)	Negativo	15
		Positivo	16
	Economia local e regional (ELR)	Negativo	17
		Positivo	18
	Empregos (EM)	Negativo	19
		Positivo	20
	Saúde e segurança da população (SSP)	Negativo	21
		Positivo	22
	Ordenamento territorial e energia (OTE)	Negativo	23
		Positivo	24
	Aspectos sociais e infraestrutura local (ASIL)	Negativo	25
		Positivo	26
	Saúde e segurança no trabalho (SST)	Negativo	27
		Positivo	28
	Impactos genéricos sem classificação (IGSC)	Negativo	29
		Positivo	30

Fonte: IBAMA (2016).

Resultados e discussão

Catologação e categorização das AIAs de usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil

Os 41 estudos ambientais analisados e suas AIAs estão organizados em 34 Relatórios Ambientais Simplificados (RAS), 2 Estudos de Impacto Ambiental com seus Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e 5 Relatórios de

Impacto Ambiental (RIMA). Desses, 33 estudos foram realizados no estado do Rio Grande do Norte, 6 no Ceará e 2 na Bahia. Os estudos foram elaborados nos anos de 2012 a 2019, sendo 2 em 2012, 5 em 2013, 2 em 2014, 9 em 2015, 7 em 2016, 7 em 2017, 4 em 2018 e 3 em 2019 (Tabela 2).

Tabela 2. Relação das avaliações ambientais de usinas fotovoltaicas por estado do Nordeste, tipo de estudo e ano de elaboração.

Estado	Tipo de estudo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RN	RAS	1	5	4	7	6	5	1	2
	EIA/RIMA	-	-	-	1	-	1	-	-
	RIMA	-	-	-	-	-	-	-	-
CE	RAS	1	-	-	-	-	1	-	-
	EIA/RIMA	-	-	-	-	-	-	-	-
	RIMA	-	-	-	-	1	-	2	1
BA	RAS	-	-	-	1	-	-	-	-
	EIA/RIMA	-	-	-	-	-	-	-	-
	RIMA	-	-	-	-	-	-	1	-

Esses estudos ambientais foram elaborados por 20 empresas distintas e envolveram 240 profissionais das mais variadas áreas. Dos profissionais envolvidos na elaboração dos estudos analisados, 40 estavam ligados à avaliação de impacto ambiental, 56 foram relacionados como responsáveis pelo meio físico, 78 trabalharam no meio biótico e 66 atuaram no meio socioeconômico.

Foram identificados 3.381 impactos ambientais, subdivididos em 4 fases: planejamento, implantação, operação e desativação (Figura 2). Todas as usinas fotovoltaicas (UFV) catalogadas constam na base de dados do SIGEL/ANEEL, o que significa que os estudos ambientais avaliados nesse trabalho foram analisados em seus

respectivos órgãos e aprovados, pelo menos, em nível prévio de licenciamento.

Dos 3.381 impactos identificados na amostra, 114 possuem enunciados genéricos sem descrição suficiente para se enquadrar em um dos 3 grupos (meios) ou 15 subgrupos (componentes). Alguns desses impactos estão descritos apenas como “pesquisa e monitoramento” ou “levantamento de parâmetros” sem nenhuma informação adicional, fato que dificultou a quantificação em algum dos meios ou componentes. O meio biótico concentrou 366 impactos ambientais; no meio físico foram identificados 957; e o meio socioeconômico reuniu a maior parte, com 1944 impactos ambientais (Figura 3).

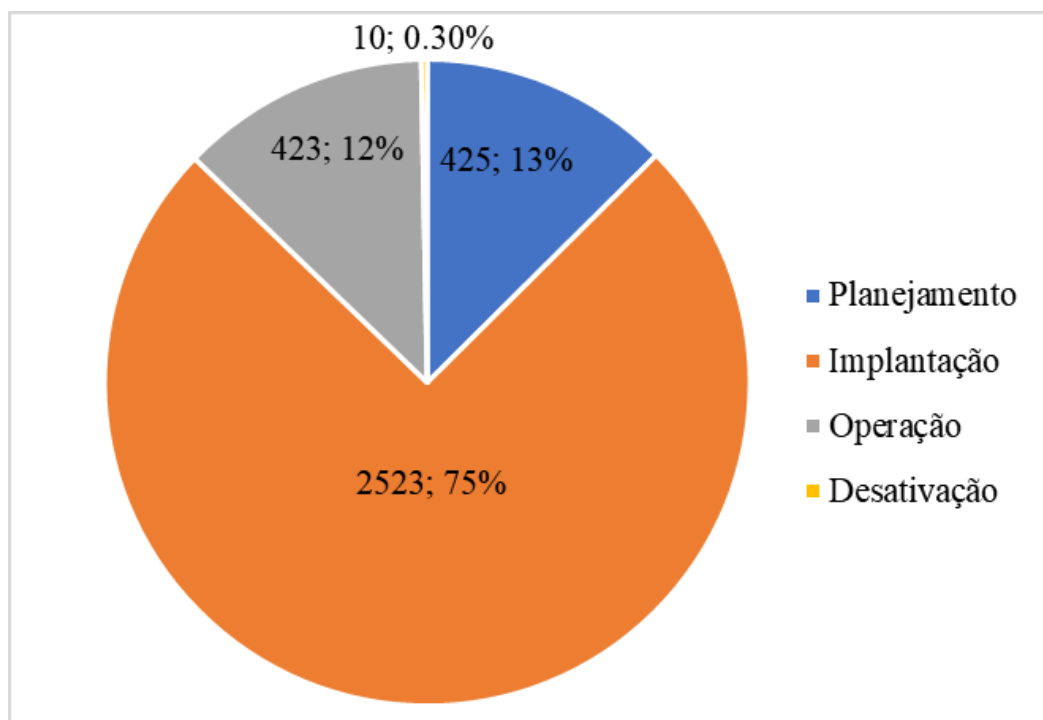


Figura 2. Quantitativo e porcentagem dos impactos ambientais por etapa do empreendimento fotovoltaico na região Nordeste.

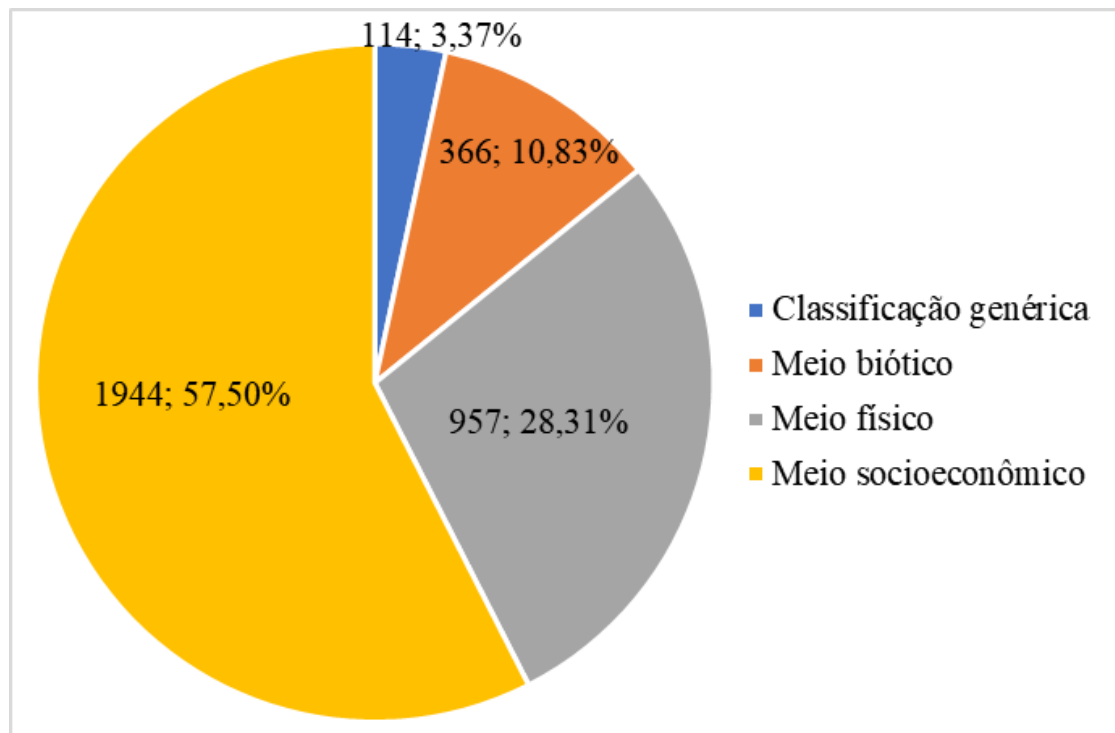


Figura 3. Quantitativo e porcentagem dos impactos ambientais por meio.

Meio biótico

O levantamento quantitativo realizado neste trabalho demonstrou que 240 impactos prognosticados (65,57%) recaem sobre a fauna de forma negativa e 60 (16,39%) impactaram negativamente o componente flora. Quanto aos impactos positivos, foram identificados 41 (11,2%) e 25 (6,83%), sobre os componentes fauna e flora, respectivamente (Figura 4). A amostra utilizada neste estudo demonstrou que os impactos no meio biótico representaram 10,83% do total.

Quando analisada sob o ponto de vista das fases do empreendimento em relação ao grupo do

meio biótico, os dados apontaram para maior impacto na fase de implantação (Figura 5). Dos 240 impactos negativos sobre a fauna, 87 (43,38%) possuem enunciados e descrição ligados a “acidentes com a fauna”, especialmente durante a atividade de supressão vegetal para implantação da usina fotovoltaica. Sobre o componente flora, e de forma negativa, 45 (91,80%) dos impactos remetem a “perda da cobertura vegetal”, sendo que 14 (31,90%) desses possuem enunciados que fazem referência à perda de vegetação com alteração de habitat.

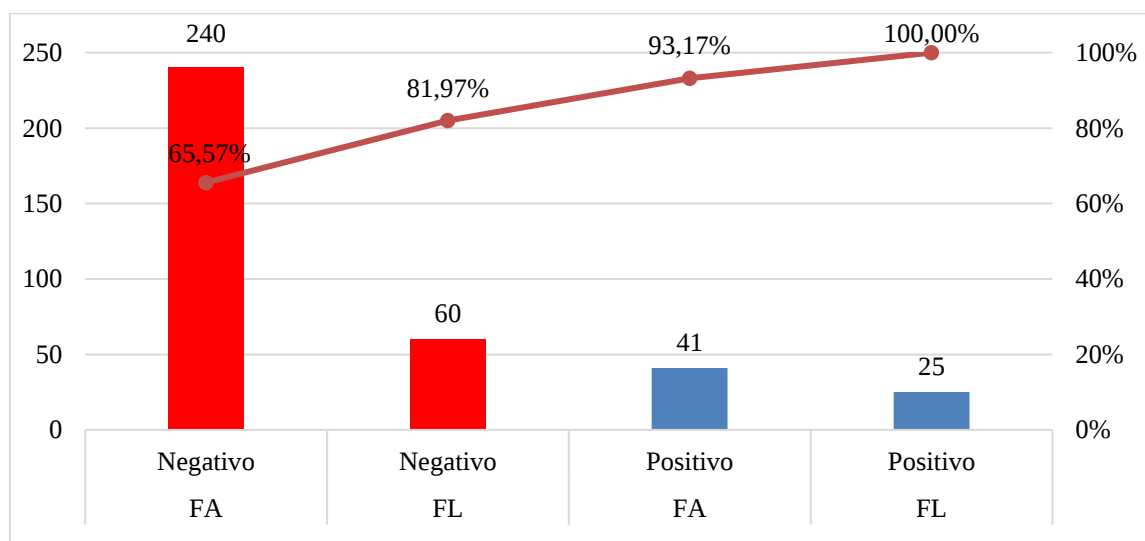


Figura 4. Quantitativo dos impactos ambientais das usinas fotovoltaicas da região Nordeste por componente para os subgrupos fauna e flora.

FA = Fauna. FL = Flora.

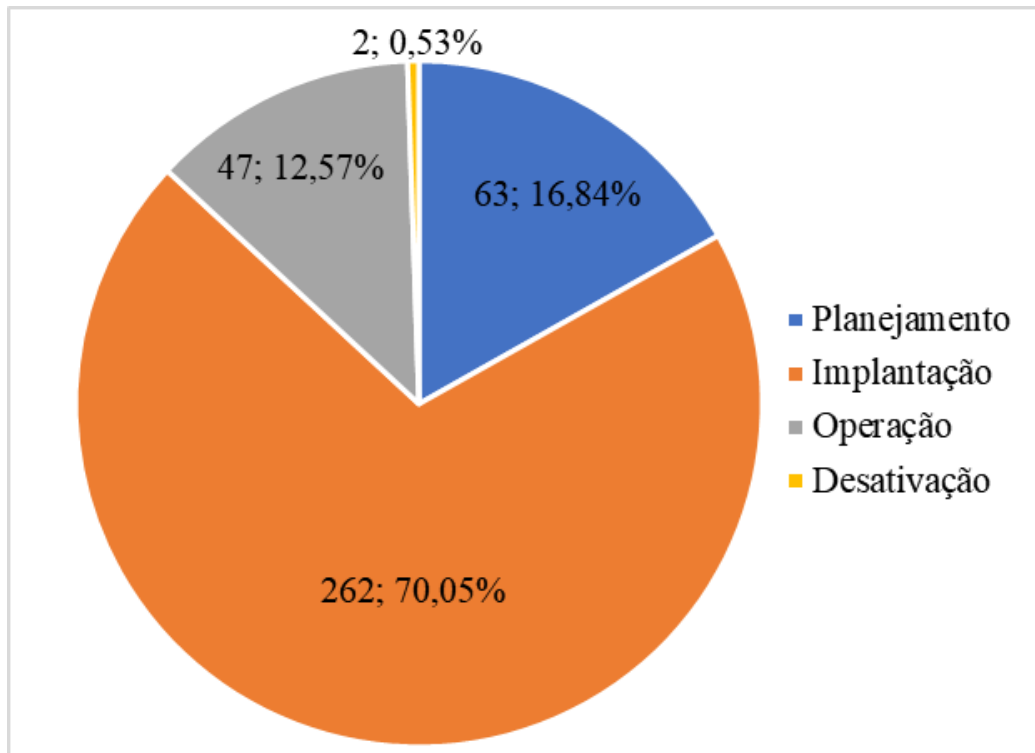


Figura 5. Impactos ambientais das usinas fotovoltaicas do Nordeste prognosticados para o meio biótico por fase.

São poucos os estudos que quantificam impactos diretos causados pela geração de eletricidade fotovoltaica na biodiversidade, especialmente em ambientes naturais com baixo nível de antropização (Lovich e Ennen, 2011; Cameron et al., 2012). Contudo, as instalações de produção de energia solar resultam em impactos diretos e de diferentes escalas nos habitats locais e seus arredores, principalmente quando se trata de usinas solares de grande porte que demandam a supressão de grande volume da vegetação nativa, impactando indiretamente a vida selvagem (Aman et al., 2015; Hosenuzzaman et al., 2015; Moore-O'leary et al., 2017).

Face a tais aspectos, 9,7% das instalações fotovoltaicas, em construção e em operação, situadas no estado da Califórnia (EUA) são classificadas como incompatíveis, devido à implantação em habitat de espécies ameaçadas e em perigo. Como consequência, nota-se a fragmentação do habitat natural resultando em problemas ecológicos diretos e indiretos, que podem incluir maior isolamento e invasões de espécies não nativas e o comprometimento do potencial de movimento de espécies em resposta aos distúrbios ambientais (Hernandez et al., 2015).

Condições semelhantes também são verificadas na Romênia, especificamente na Planície do Baixo Danúbio, onde quase 45% das usinas fotovoltaicas estão localizadas a menos de 2

km de florestas. Esse cenário evidencia o risco de os ecossistemas florestais serem afetados pelos sistemas solares em processo de instalação e também durante os serviços de manutenção e reparação (Vrînceanu et al., 2019). Ainda em conformidade com os autores, a distribuição espacial das linhas de transmissão também pode ter impactos ecológicos negativos, relacionados à fragmentação do habitat, deslocamento de vida selvagem e remoção da cobertura vegetal.

Ao analisar o impacto direto sobre a fauna, são estimados entre 16.200 e 59.400 fatalidades de aves por ano nas instalações de usinas fotovoltaicas somente no sul da Califórnia (EUA). Afirma-se ainda que em todas as instalações, em operação ou em construção nos Estados Unidos, esse quantitativo pode variar entre 37.800 e 138.600 mortes de pássaros por ano (Walston Jr et al., 2016). Ao encontro dessa questão, estudos realizados em New South Wales, Austrália, revelaram que as aves são o grupo mais afetado pelas usinas fotovoltaicas, seguido da microfauna e dos insetos (Guerin, 2017).

Conforme Ho (2016), o principal fator que explica a mortandade de pássaros são as colisões, responsáveis por até 81% das fatalidades, e a incineração, devido às grandes quantidades de energia refletidas pelos painéis solares. No caso dos insetos, em especial as espécies aéreas, a ocorrência mais agravante também é a incineração.

Dada a elevada demanda por terras, uma das alternativas encontradas para reduzir a competição dos sistemas fotovoltaicos com outras atividades econômicas é o aproveitamento dos espelhos d'água dos reservatórios superficiais. Contudo, tal prática pode ocasionar a redução dos níveis de oxigênio nos corpos hídricos e assim afetar os habitats aquáticos, proporcionar mudanças na cor e sabor da água e promover a redução das taxas de crescimento de vida marinha (Cuce et al., 2022).

Aspectos positivos também são relatados. Pesquisas recentes, desenvolvidas em parques solares na Inglaterra, com ênfase na sinergia entre a produção de eletricidade fotovoltaica e serviços ecossistêmicos, revelam que o aprimoramento das populações de abelhas polinizadores em parques solares oferece potencial uso da terra, serviço ecossistêmico e cobenefícios econômicos, aplicáveis em todo o mundo (Armstrong et al., 2021).

Meio Físico

A amostra revelou que 957 (28,31%) dos impactos prognosticados aconteceram no meio físico, sendo a maior parte concentrada no subgrupo solo, com 277 (28,94%) negativos e 85 (8,88%) positivos. O subgrupo clima e qualidade do ar figurou como o segundo mais impactado, com 134 (14,00%) alterações negativas e 33 (3,45%) positivas, seguido por intervenções no subgrupo dos recursos hídricos com 123 (12,85%) negativas e 35 (3,66%) positivas (Figura 6).

A maior parte dos impactos previstos nos estudos ambientais analisados, para o grupo do meio físico, ocorreram na etapa de implantação onde foram detectados 1007 (82%); seguido pela

etapa de planejamento, com 113 (9,20%); e operação 104 (8,47%) (Figura 7). Dos impactos prognosticados para a etapa de implantação, 888 (72,31%) são negativos e 206 (27,69%) foram classificados como positivos. A etapa de planejamento apresentou 100% dos impactos do meio físico como positivos sempre os ligando a “geração de conhecimento técnico-científico” nos 5 subgrupos (componentes).

Os sistemas fotovoltaicos permitem uma diversidade de impactos, tanto positivos quanto negativos. Exemplos clássicos quanto aos benefícios desses empreendimentos são o aproveitamento de áreas degradadas e a redução da emissão de gases do efeito estufa durante a operação (Rabaia et al., 2021). Contudo, também se faz necessário elencar os fatores adversos, como a erosão e contaminação do solo; ocorrência de poluição dos corpos hídricos; poluição térmica, sonora e luminosa; o surgimento de efeitos de campo eletromagnético e as mudanças no microclima (Vrînceanu et al., 2019).

Diante dessas questões, nota-se que a geração fotovoltaica tende a se concentrar nas terras áridas do planeta (Hernandez et al., 2014) onde, geralmente, ocorrem altas taxas de transporte eólico de sedimentos, como areia e poeira. Parte do sedimento que o vento transporta é retido pela vegetação presente na região, entretanto, a instalação de usinas fotovoltaicas requer modificação quase completa do uso do solo, com alterações ligadas a remoção da vegetação, terraplanagem, compactação do solo e construção de acessos internos e externos, resultando no aumento da perda de solo pela ação do vento e da chuva (Field et al., 2010; Munson et al., 2011).

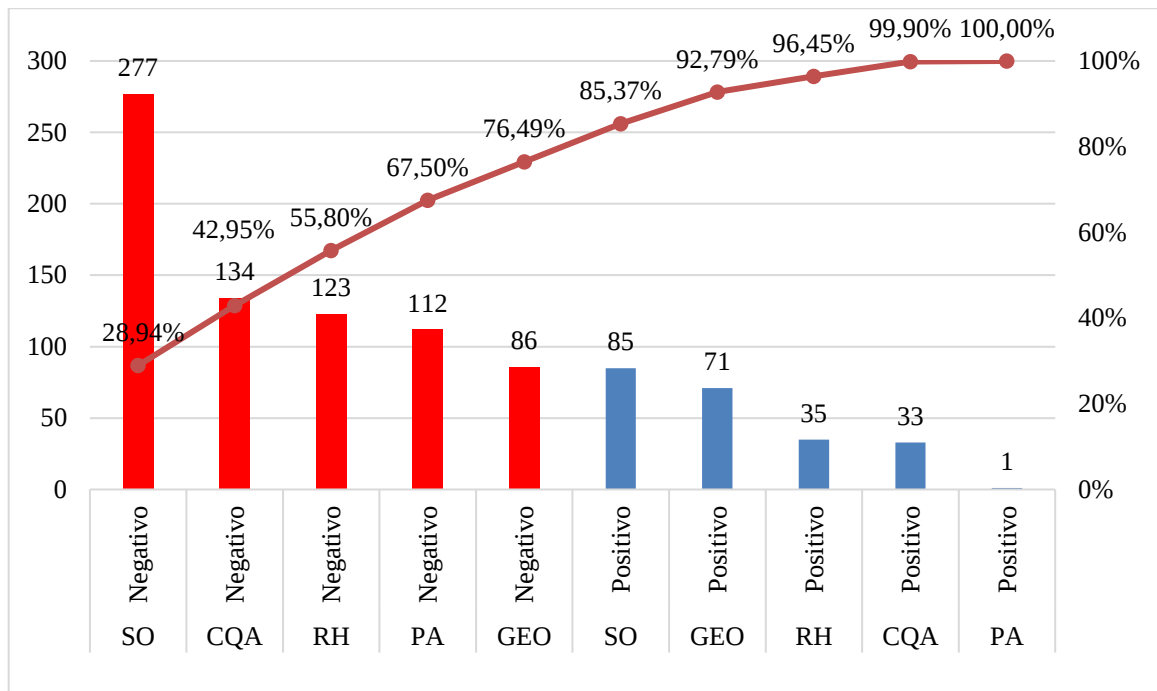


Figura 6. Quantitativo dos impactos ambientais das usinas fotovoltaicas da região Nordeste por componente para o meio físico.
SO = Solo. CQA = Clima e Qualidade do Ar. RH = Recursos Hídricos. PA = Paisagem. GEO = Geologia e Geomorfologia.

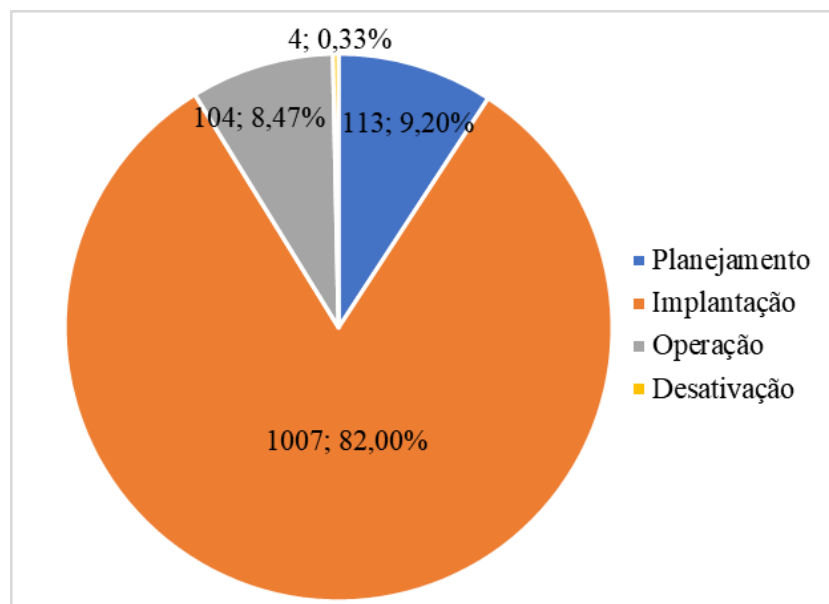


Figura 7. Impactos ambientais das usinas fotovoltaicas do Nordeste prognosticados para o meio físico em relação às fases da atividade.

Devido a sua variada composição, a emissão de poeira, a partir das modificações do solo, impacta uma variedade de componentes ambientais tais como o ciclo hidrológico e o clima local (Painter et al., 2010; Ravi et al., 2011). Por sua vez, para minimizar a produção de poeira, de modo a evitar a deposição sobre os módulos fotovoltaicos, podem ser implementados sistemas de irrigação, responsáveis pelo aumento do

consumo de água para aspersão sobre o solo exposto (Munson et al., 2011).

Em conformidade com Dhar et al. (2020), esses impactos adversos, de maneira direta ou indireta, influenciam nas propriedades físicas e químicas do solo. Logo, devido à redução da infiltração tende a ocorrer a diminuição da recarga dos mananciais de água subterrânea, a perda de carbono orgânico do solo e o aumento da carga de sedimentos nos corpos hídricos superficiais. Os

autores Dhar et al. (2020) afirmaram que a impermeabilização do solo aumenta a probabilidade de inundações além de causar alterações no clima. Isso ocorre devido ao desequilíbrio causado no balanço de energia, especialmente no que concerne à evapotranspiração.

Como os módulos fotovoltaicos não contêm partes móveis ou giratórias, não há poluição sonora significativa produzida durante a operação. Por sua vez, durante a fase de construção muitas máquinas e veículos pesados operam no local, o que causa poluição sonora para residências, viajantes e vida selvagem (Tawalbeh et al., 2021).

Ao discutir os impactos visuais, Guerin (2017) afirmou que uma usina fotovoltaica estudada no leste da Austrália já podia ser vista a 16 km de distância, mesmo situada numa área envolta por floresta. O autor ainda fez referência à linha de transmissão que possui altura superior à vegetação. Todavia, trata-se de um impacto de baixa magnitude, uma vez que não resultou em reclamações durante ou após a implantação.

A geração de eletricidade fotovoltaica utiliza pouca água (0,02 m³/MWh), especialmente quando comparada à fonte solar térmica (3,07 m³/MWh), e concentra o seu uso apenas para limpeza dos painéis e para supressão de poeira entre os módulos (Fthenakis e Kim, 2010; Aman et al., 2015). Atualmente, o uso de água para limpeza de painéis é a forma mais comum para remoção de poeira em usinas fotovoltaicas, representando cerca de 40% do volume utilizado na fotovoltaica enquanto a aspersão de água para controle de poeira representa de 60-99% do total (Ravi et al., 2011).

Estudos recentes demonstraram que o consumo de água, durante a etapa de operação das usinas solares, pode aumentar devido à necessidade de resfriamento dos painéis. Esse aspecto pode ser explicado pelo aumento expressivo da temperatura que, por sua vez, reduz substancialmente o rendimento das células fotovoltaicas. Contudo, é possível minimizar o consumo hídrico a partir da recirculação da água no sistema (Tawalbeh et al., 2021; Rabaia et al., 2021).

Dos 3381 impactos ambientais catalogados, nenhum cita o consumo de água como sendo um problema a se considerar em nenhuma das fases da atividade de geração de eletricidade fotovoltaica. Os impactos ambientais que se referem aos recursos hídricos estão ligados diretamente ao risco de contaminação ou poluição e a eventual interação prejudicial de alguma estrutura do empreendimento nos corpos d'água presentes na área. Escoamento, assoreamento e

alteração de regime hídrico são os impactos mais citados nos 41 estudos ambientais analisados.

Meio Socioeconômico

Os dados estudados nesse trabalho demonstraram que o meio socioeconômico é o segmento sobre o qual incide a maior quantidade de impactos face às atividades e etapas atreladas aos empreendimentos de geração de eletricidade fotovoltaica no Nordeste do Brasil. Dos 3381 impactos, 1779 (52,62%) foram prognosticados pelos especialistas como sendo alterações incidentes no meio socioeconômico, sendo o subgrupo economia local e regional o mais impactado positivamente, com 562 (28,91%) nos 41 estudos ambientais analisados (Figura 8).

Apesar da grande expressividade dos impactos positivos, o subgrupo saúde e segurança da população chama a atenção por ser o segundo mais citado da amostra e por predominar impactos de natureza negativa, com 324 (16,67%) contra 51 (2,62%) positivos. Os impactos de natureza negativa, em números, são maiores, inclusive, do que no subgrupo (componente) emprego, que foram quantificados em 245 (12,60%) impactos positivos. Os impactos de geração de emprego, geralmente, são apresentados como o maior benefício de grandes empreendimentos.

Os estudos, em sua maioria, apontaram como maior causador de impacto no meio socioeconômico a etapa de implantação, com 1254 dos 3381 (70,49%) (Figura 9). As etapas de operação e planejamento aparecem em seguida com 272 (15,29%) e 249 (14,00%), respectivamente.

As usinas de energia solar fotovoltaica fornecem amplos benefícios socioeconômicos, como maior independência energética regional ou nacional, maiores oportunidades de trabalho, fornecimento de energia diversificada e segura, menor custo social e promoção da eletrificação rural em países em desenvolvimento (Dhar et al., 2020).

Em aldeias na Índia, onde o acesso à rede elétrica possui uma série de inviabilidades de caráter técnico e econômico, percebeu-se que a implementação de sistemas solares trouxe consigo benefícios socioeconômicos diversos, como a facilitação das atividades econômicas das famílias beneficiárias, melhora no desempenho acadêmico das crianças, melhora nas condições de saúde e saneamento das famílias, incrementos na comunicação e acesso ao entretenimento e à cultura (Mishra e Behera, 2016).

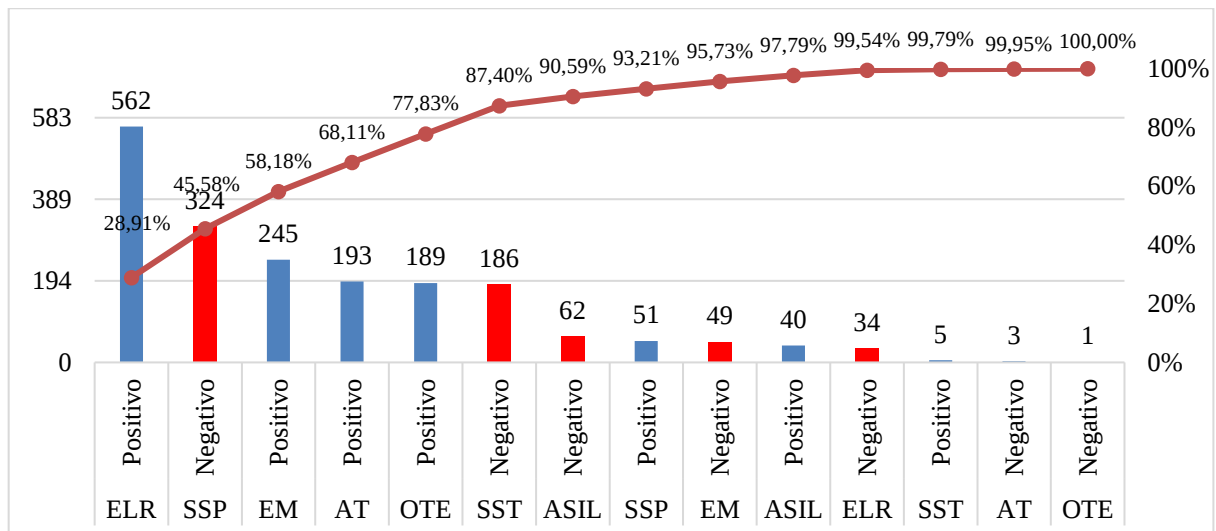


Figura 8. Quantitativo dos impactos ambientais das usinas fotovoltaicas da região Nordeste por componente para o meio socioeconômico.

ELR = Economia Local e Regional. SSP = Saúde e Segurança da População. EM = Empregos. AT = Arrecadação Tributária. OTE = Ordenamento Territorial e Energia. SST = Saúde e Segurança do Trabalhador. ASIL = Aspectos Sociais e Infraestrutura Local.

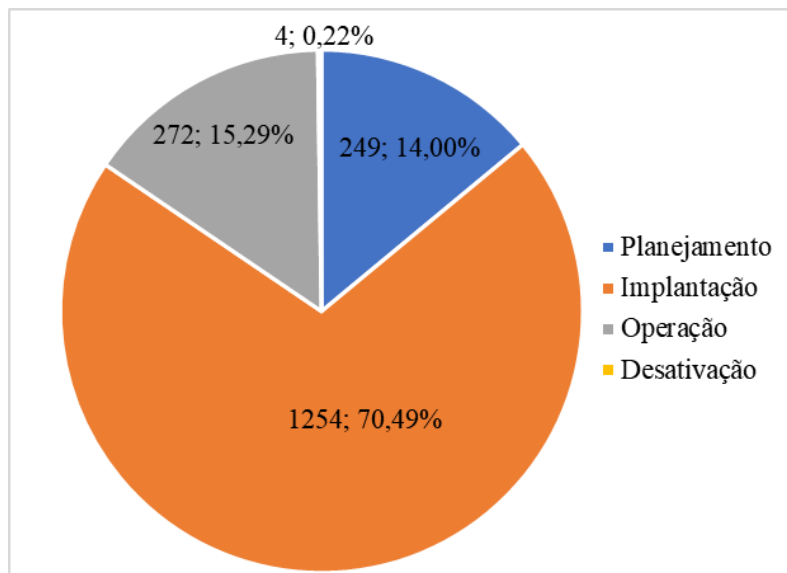


Figura 9. Impactos ambientais das usinas fotovoltaicas do Nordeste prognosticados para o meio socioeconômico, em relação às fases do empreendimento.

Condições semelhantes foram descritas para famílias residentes em comunidades rurais situadas no sul da Etiópia, onde os sistemas fotovoltaicos propiciaram acesso a eletricidade de qualidade, levando a reduções substanciais no consumo de querosene, utilizado para promover a iluminação; melhorias quanto à produtividade dos pequenos empreendimentos; prolongamento do tempo de estudo (Wassie e Adaramola, 2021).

Dentre os fatores econômicos, nota-se que devido a demanda por grandes áreas, a instalação de usinas solares tende a desencadear conflitos pelo uso da terra, principalmente com as atividades agrícolas. Esse aspecto pode ser entendido como um fator adverso no segmento de ordenamento do

território (Vrînceanu et al., 2019). Em países com territórios pequenos e com grandes populações, observa-se que este é um grande impasse que reverbera diretamente na questão econômica, devido aos preços elevados das propriedades e a pouca disponibilidade de áreas (Aman et al., 2015).

Quanto à saúde da população, as projeções de Hosenuzzaman et al. (2015) indicaram que muitas doenças graves estão associadas à presença de NOX e SO₂ na atmosfera, em especial aquelas que recaem sobre os sistemas cardiovascular e respiratório, emitidos em grandes quantidades com a queima de combustíveis fósseis, como o carvão, a gasolina, o diesel e o querosene. Logo, por não promover o lançamento desses poluentes, a

geração da energia solar traz significativos benefícios à saúde humana.

Entretanto, a redução da qualidade do ar, devido à dispersão de partículas de poeira ou compostos tóxicos gera impactos à saúde dos funcionários em diferentes estágios de instalação, operação e manutenção. Também podem ocorrer riscos devido à contaminação dos corpos hídricos, fator resultante do aumento do carreamento de sedimentos (Vrinceanu et al., 2019).

Segundo os 41 estudos ambientais analisados, a economia local e regional é uma das mais beneficiadas quando se implanta uma UFV, e isso contribui para a tipologia do empreendimento ser aceito, até mesmo solicitado em algumas regiões. Essa aceitação é descrita por Vanclay et al. (2015) como fundamental para evitar o conflito de interesse entre as comunidades afetadas, empreendedores e outros atores do processo sob pena de causar a não implantação do empreendimento.

Os estudos ambientais analisados apontaram para o aquecimento da economia local e regional durante a fase de implantação dos empreendimentos fotovoltaicos como sendo o principal ganho socioeconômico, gerando dinamização econômica no comércio e no setor de serviço local, especialmente a partir da população flutuante que as cidades recebem.

Conclusões

O crescimento exponencial da geração de eletricidade fotovoltaica, integrada ao meio ambiente – que compreende a natureza e a sociedade –, é fundamental para o desenvolvimento sustentável especialmente quando consideramos o papel da energia renovável na transição para uma economia mais inclusiva do ponto de vista social e eficiente na sua relação com o meio ambiente, bem como nas soluções de questões globais fundamentais como segurança energética, pobreza e mudança climática.

Nesse contexto, a AIA exerce papel fundamental na instalação de novos empreendimentos de geração de eletricidade fotovoltaica, visto que a partir da correta identificação das possíveis alterações benéficas e adversas, incluindo aquelas de caráter cumulativo e sinérgico, permite contribuir para o processo de tomada de decisão por determinar a viabilidade ambiental dos empreendimentos e indicar possíveis caminhos para mitigação dos impactos negativos.

Os dados históricos demonstraram que os componentes ambientais mais impactados negativamente são a fauna, o solo, a saúde e a segurança da população e dos trabalhadores. Na

opinião dos especialistas que elaboraram os 41 estudos ambientais analisados, as referidas UFVs ocasionaram mais impactos no componente saúde e segurança da população do que no componente emprego. Isso evidencia a pressão sobre os serviços públicos e no cotidiano dos habitantes locais, devido à população flutuante trazida por empreendimentos de grande porte.

Este trabalho demonstrou que a quantificação dos impactos ambientais causados pela geração de eletricidade fotovoltaica pode ser utilizada para avaliar o benefício da atividade. Pode também permitir a identificação dos impactos negativos de maior relevância, baseado na opinião dos profissionais que elaboram os estudos ambientais e nas aprovações conferidas pelos órgãos ambientais.

Ainda foi possível identificar que alguns impactos referenciados na literatura internacional não foram previstos nas avaliações de impacto ambiental analisadas, como por exemplo, o consumo de água utilizado para implantação desse tipo de empreendimento e a dispersão de poluentes atmosféricos ao intervir em solos que outrora foram utilizados na agricultura intensiva. A ausência dessas previsões pode comprometer a tomada de decisão por parte dos órgãos reguladores e licenciadores desses empreendimentos.

A estruturação de uma base de dados contendo os impactos ambientais na atividade de geração de eletricidade fotovoltaica pode auxiliar também as empresas que pretendem implantar UFVs, fornecendo uma visão ampla de quais impactos foram prognosticados para determinada região, e, permitindo a condução dos estudos ambientais, econômicos e sociais de forma mais assertiva.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do projeto 308753/2021-6.

Referências

- ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2021. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 09 mai. 2021.
- Aman, M. M., Solangi, K. H., Hossain, M. S., Badarudin, A., Jasmon, G. B., Mokhlis, H.,

- Kazi, S. N., 2015. A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1190-1204.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020. Sistema de Informações de Geração da ANEEL. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 02 out. 2020.
- Armstrong, A., Brown, L., Davies, G., Whyatt, J. D., Potts, S. G., 2021. Honeybee pollination benefits could inform solar park business cases, planning decisions and environmental sustainability targets. *Biological Conservation*, 263, 109332.
- Azevêdo, V. W. B., Candeias, A. L. B., Tiba, C., 2017. Location study of solar thermal power plant in the state of Pernambuco using geoprocessing technologies and multiple-criteria analysis. *Energies*, 10(7), 1042.
- Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. G. L., Mierzwa, J. C., de Barros, M. T. L., Spencer, M., Eiger, S., 2005. Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável. Pearson Prentice Hall.
- Caldas, R. M., 2019. Gerenciamento dos aspectos e impactos ambientais. Pearson Education do Brasil.
- Cameron, D. R., Cohen, B. S., Morrison, S. A., 2012. An approach to enhance the conservation-compatibility of solar energy development. *PloS one*, 7(6), e38437.
- Chang, I. S., Liu, H., Wu, J., Zhou, C., Zheng, L., 2021. Process analysis of poverty eradication in China: A case study on photovoltaic projects for poverty alleviation. *Environmental Impact Assessment Review*, 90, 106630.
- Cuce, E., Cuce, P. M., Saboor, S., Ghosh, A., Sheikhejad, Y., 2022. Floating PVs in Terms of Power Generation, Environmental Aspects, Market Potential, and Challenges. *Sustainability*, 14(5), 2626.
- Dhar, A., Naeth, M. A., Jennings, P. D., El-Din, M. G., 2020. Perspectives on environmental impacts and a land reclamation strategy for solar and wind energy systems. *Science of The Total Environment*, 718, 134602.
- Field, J. P., Belnap, J., Breshears, D. D., Neff, J. C., Okin, G. S., Whicker, J. J., Reynolds, R. L., 2010. The ecology of dust. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(8), 423-430.
- Fthenakis, V., Kim, H. C., 2010. Life-cycle uses of water in US electricity generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2039-2048.
- Garcia, K. C., 2014. Avaliação de Impactos Ambientais. InterSaber.
- Guerin, T., 2017. A case study identifying and mitigating the environmental and community impacts from construction of a utility-scale solar photovoltaic power plant in eastern Australia. *Solar Energy*, 146, 94-104.
- Hernandez, R. R., Hoffacker, M. K., & Field, C. B., 2014. Land-use efficiency of big solar. *Environmental science & technology*, 48(2), 1315-1323.
- Ho, C. K., 2016. Review of avian mortality studies at concentrating solar power plants. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1734, No. 1, p. 070017). AIP Publishing LLC.
- Hosenuzzaman, M., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A. A., Nahar, A., 2015. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renewable and sustainable energy reviews*, 41, 284-297.
- IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2016. Avaliação de impacto ambiental: caminhos para o fortalecimento do Licenciamento Ambiental Federal. Brasília: Ibama.
- IEA. International Energy Agency, 2020. Renewables 2020: Analysis and Forecasts to 2025. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/1a24f1fe-c971-4c25-964a-57d0f31eb97b/Renewables_2020-PDF.pdf. Acesso em: 23 jan. 2021.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2011. Summary for Policy Makers. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policy-makers/>. Acesso em: 23 jan. 2021.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018. Summary for Policy Makers. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf. Acesso em: 23 jan. 2021.
- IRENA. International Renewable Energy Agency, 2019. Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. Abu Dhabi. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic>. Acesso em: 09 mai. 2021.
- IRENA. International Renewable Energy Agency, 2020. Renewable Capacity Statistics 2021. Abu Dhabi. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>. Acesso em: 20 de jul. de 2021.

- Lovich, J. E., Ennen, J. R., 2011. Wildlife conservation and solar energy development in the desert southwest, United States. *BioScience*, 61(12), 982-992.
- MME. Ministério De Minas e Energia, 2021. Resenha Energética Brasileira. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ResenhaEnergéticaExercício2020final.pdf>. Acesso em: 15 ago 2021.
- Mishra, P., Behera, B., 2016. Socio-economic and environmental implications of solar electrification: Experience of rural Odisha. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 953-964.
- Moore-O'Leary, K. A., Hernandez, R. R., Johnston, D. S., Abella, S. R., Tanner, K. E., Swanson, A. C., Lovich, J. E., 2017. Sustainability of utility-scale solar energy—critical ecological concepts. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(7), 385-394.
- Munson, S. M., Belnap, J., Okin, G. S., 2011. Responses of wind erosion to climate-induced vegetation changes on the Colorado Plateau. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(10), 3854-3859.
- Oliveira, E. A. F., Araújo Filho, J. G., 2021. Perspectivas da geração e aplicação da energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão da literatura (2015-2019). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(5), 435-450.
- Painter, T. H., Deems, J. S., Belnap, J., Hamlet, A. F., Landry, C. C., Udall, B., 2010. Response of Colorado River runoff to dust radiative forcing in snow. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(40), 17125-17130.
- Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Elsaid, K., Chae, K. J., Wilberforce, T., & Olabi, A. G., 2021. Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Science of The Total Environment*, 754, 141989.
- Ravi, S., D'Odorico, P., Breshears, D. D., Field, J. P., Goudie, A. S., Huxman, T. E., ... & Zobeck, T. M., 2011. Aeolian processes and the biosphere. *Reviews of Geophysics*, 49(3).
- Sánchez, L. E. (2015). Avaliação de impacto ambiental. Oficina de Textos.
- Sreenath, S., Sudhakar, K., Yusop, A. F., 2020. Solar photovoltaics in airport: Risk assessment and mitigation strategies. *Environmental Impact Assessment Review*, 84, 106418.
- Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., Alkasrawi, M., 2021. Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, 143528.
- Vanclay, F., Esteves, A. M., Aucamp, I., Franks, D. M., 2015. Social Impact Assessment: Guidance for assessing and managing the social impacts of projects.
- Vrinceanu, A., Grigorescu, I., Dumitraşcu, M., Mocanu, I., Dumitrică, C., Micu, D., Mitrică, B., 2019. Impacts of photovoltaic farms on the environment in the Romanian Plain. *Energies*, 12(13), 2533.
- Walston Jr, L. J., Rollins, K. E., LaGory, K. E., Smith, K. P., Meyers, S. A., 2016. A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States. *Renewable Energy*, 92, 405-414.
- Wang, Z., Fan, W., 2021. Economic and environmental impacts of photovoltaic power with the declining subsidy rate in China. *Environmental Impact Assessment Review*, 87, 106535.
- Wassie, Y. T., Adaramola, M. S., 2021. Socio-economic and environmental impacts of rural electrification with Solar Photovoltaic systems: Evidence from southern Ethiopia. *Energy for Sustainable Development*, 60, 52-66.
- Zarzavilla, M., Quintero, A., Abellán, M. A., Serrano, F. L., Austin, M. C., Tejedor-Flores, N., 2022. Comparison of Environmental Impact Assessment Methods in the Assembly and Operation of Photovoltaic Power Plants: A Systematic Review in the Castilla—La Mancha Region. *Energies*, 15(5), 1926.