



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

MARIA EDUARDA SCHMITT GONÇALVES

**ANÁLISE DE ESTUDOS DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE USINAS
FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO**

Florianópolis

2024

MARIA EDUARDA SCHMITT GONÇALVES

**ANÁLISE DE ESTUDOS DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE USINAS
FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador(a): Tamires Liza Deboni

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora, através do Programa de
Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gonçalves, Maria Eduarda Schmitt
Análise de estudos de impactos ambientais de usinas
fotovoltaicas em operação / Maria Eduarda Schmitt
Gonçalves ; orientadora, Tamires Liza Deboni, 2024.
51 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

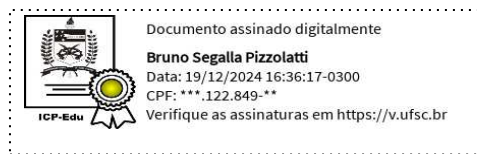
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Usinas
fotovoltaicas. 3. Estudo de Impacto Ambiental. 4. Aspectos
e Impactos Ambientais. I. Deboni, Tamires Liza. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

MARIA EDUARDA SCHMITT GONÇALVES

**ANÁLISE DE ESTUDOS DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE USINAS
FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO**

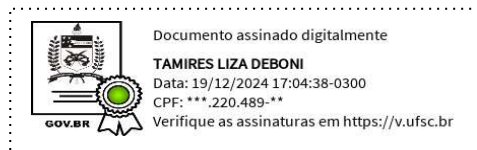
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Local Florianópolis, 12 de dezembro de 2024.

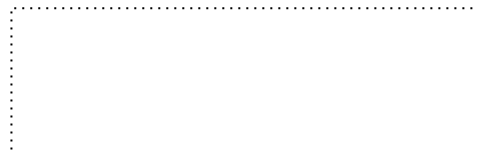


Prof. Dr. Bruno Segalla Pizzolatti
Coordenador do Curso

Banca examinadora



MS.c Tamires Liza Deboni
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientadora



Prof. Dr. Paulo Belli Filho
Universidade Federal de Santa Catarina



Eng^a. Amanda Silva Nunes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Florianópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, Marcilene e Rodrigo, por nunca medirem esforços para me proporcionar o melhor. Agradeço por sempre me incentivarem nos estudos, oferecendo todo o suporte necessário e torcendo por mim em cada uma das minhas decisões. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui. Obrigada!

Agradeço também a Deus, pela dádiva da vida e pela força que me acompanhou em cada passo dessa jornada.

À minha família, especialmente, meus avós, Maria Lourdes, Heraldo e Benjamina, a minha irmã Ana Julia e ao meu primo Everton, que sempre honraram o verdadeiro significado de família, meu sincero agradecimento.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), especialmente ao curso de saneamento, que me abriu as portas desde o ensino médio para uma educação de qualidade em uma instituição federal. Se não fosse por ele, talvez não tivesse ingressado na UFSC em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aos amigos que me acompanharam desde o IFSC até a UFSC, ao cursinho pré-vestibular Einstein Floripa, e a todos que conheci e me apoiaram na jornada do pré-vestibular, meu muito obrigado.

Um agradecimento especial a João Victor, Julia, Bruna, Lauren, Larissa, Amanda, Cecília e Gilles, minha gratidão eterna a vocês por todo apoio durante os anos de graduação.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, que sempre foi meu maior sonho. Hoje, ao me formar em uma das melhores universidades públicas do país, sinto-me realizada. Agradeço a todos os profissionais que fazem este grande instituto funcionar com excelência, especialmente a todos os professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, cuja dedicação e compromisso tornaram meu curso uma experiência enriquecedora.

Um agradecimento especial à minha orientadora, Tamires Liza Deboni, que me acolheu e guiou com maestria. Sem sua orientação, eu não teria conseguido alcançar meus objetivos; você é um exemplo de profissionalismo e tenho muito orgulho de ter sido orientada por você.

RESUMO

No Brasil, a capacidade instalada de energia solar cresceu de 1 MWp em 2011 para 14.898,84 MW em 2024, consolidando o país como líder na América Latina. O Nordeste emergiu como um importante polo para geração solar, passando de menos de 1 GW em 2017 para mais de 4,5 GW em 2021. Este estudo analisou os impactos ambientais de usinas fotovoltaicas na região, identificando tanto efeitos positivos quanto negativos. Os objetivos incluem avaliar a evolução da quantidade de usinas e potência gerada ao longo dos anos e analisar 10 Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para quantificar os impactos socioambientais. A metodologia utilizou dados da ANEEL e análise de EIA/RIMA, identificando e quantificando os principais impactos ambientais associados à instalação e operação dessas usinas. Os resultados mostram que a energia solar traz mais benefícios do que desvantagens. A maior potência registrada para uma única usina superou 1 GW, enquanto o total de impactos positivos foi de 211 e os negativos, 408. Os principais impactos negativos estão relacionados a alterações na biodiversidade, compactação do solo e uso de água, especialmente durante a fase de instalação. Contudo, esses impactos são localizados, temporários e podem ser mitigados com medidas como replantio de vegetação, monitoramento da fauna e uso eficiente dos recursos hídricos. Além disso, a instalação de usinas em áreas degradadas ou improdutivas minimiza a pressão sobre ecossistemas sensíveis. Por outro lado, os benefícios das usinas solares são significativos e de longo prazo. A geração de energia fotovoltaica não emite gases de efeito estufa durante a operação, ajudando a mitigar as mudanças climáticas. O Nordeste, com seu alto potencial solar, também se destaca pelo desenvolvimento econômico regional, criação de empregos e diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de fontes tradicionais, como hidrelétricas e termelétricas. Conclui-se que a energia solar é uma alternativa viável e sustentável para a diversificação da matriz energética brasileira, especialmente no Nordeste. Apesar dos desafios, como a necessidade de padronização de diretrizes e monitoramento contínuo, os benefícios ambientais, sociais e econômicos superam os impactos negativos. A longo prazo, a geração solar oferece um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental, consolidando-se como uma das principais soluções para um futuro energético sustentável no Brasil.

Palavras-chave: Usinas fotovoltaicas, Estudo de Impacto Ambiental, Aspectos e Impactos Ambientais.

ABSTRACT

In Brazil, the installed solar energy capacity increased from 1 MWp in 2011 to 14,898.84 MW in 2024, establishing the country as a leader in Latin America. The Northeast has emerged as an important hub for solar generation, rising from less than 1 GW in 2017 to over 4.5 GW in 2021. This study analyzed the environmental impacts of photovoltaic plants in the region, identifying both positive and negative effects. The objectives include evaluating the growth in the number of plants and generated capacity over the years and analyzing 10 Environmental Impact Studies (EIA/RIMA) to quantify socio-environmental impacts. The methodology used data from ANEEL and analysis of EIA/RIMA reports, identifying and quantifying the main environmental impacts associated with the installation and operation of these plants. The results show that solar energy offers more benefits than disadvantages. The highest capacity recorded for a single plant exceeded 1 GW, while the total positive impacts were 211, and negative impacts totaled 408. The main negative impacts are related to changes in biodiversity, soil compaction, and water use, particularly during the installation phase. However, these impacts are localized, temporary, and can be mitigated through measures such as vegetation replanting, wildlife monitoring, and efficient resource management. Additionally, installing plants in degraded or low-productivity areas reduces pressure on sensitive ecosystems. On the other hand, the benefits of solar plants are significant and long-lasting. Photovoltaic energy generation does not emit greenhouse gases during operation, helping to mitigate climate change. The Northeast, with its high solar potential, also stands out for regional economic development, job creation, and diversification of Brazil's energy matrix, reducing reliance on traditional sources such as hydropower and thermoelectric plants. It is concluded that solar energy is a viable and sustainable alternative for diversifying Brazil's energy matrix, especially in the Northeast. Despite challenges such as the need for standardized guidelines and continuous monitoring, the environmental, social, and economic benefits outweigh the negative impacts. In the long term, solar generation offers a balance between economic development and environmental preservation, establishing itself as one of the most promising solutions for a sustainable energy future in Brazil.

Keywords: Photovoltaic plants, Environmental Impact Study, Environmental Aspects and Impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fornecimento total de energia, 2019 – 2050.....	20
Figura 2: Página de acesso ao mapa de localização das usinas fotovoltaicas pelo SIGEL - ANEEL.....	29
Figura 3: Evolução da Matriz Energética Solar - 2016 a 2024	32
Figura 4: Análise de componentes principais das UFVs.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estados com maior GC	22
Tabela 2: Principais Aspectos e Impactos Ambientais.....	26
Tabela 3: População e Área dos Estados de Estudo	28
Tabela 4: Dados da Usinas estudadas.....	29
Tabela 5: Aspectos Ambientais	33
Tabela 6: Contagem (N) de impactos ambientais das UFVs na Fase de Implantação	35
Tabela 7: Contagem (N) de impactos ambientais das UFVs na Fase de Operação.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral.....	18
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	MATRIZ ENERGÉTICA GLOBAL.....	19
2.2	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	20
2.2.1	Transição Energética.....	20
2.3	ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	21
2.3.1	Irradiação Solar	21
2.3.2	Geração Centralizada (GC).....	22
2.3.3	Geração Distribuída (GD).....	23
2.4	LEGISLAÇÕES	23
2.5	ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DAS USINAS FOTOVOLTAICAS .	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	QUANTIFICAÇÃO DAS USINAS SOLARES EM OPERAÇÃO.....	28
3.2	ÁREA DE ESTUDO	28
3.3	OBTENÇÃO DOS DADOS DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS	28
3.3.1	Etapa 1: Coleta de Dados de Localização pelo SIGEL - ANEEL	29
3.3.2	Etapa 2: Coleta e Tratamento de Dados de Aspectos e Impactos	30
3.4	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	ANÁLISE DO PANORAMA DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO BRASIL.....	32
4.2	OS ASPECTOS AMBIENTAIS DAS UFV NOS ESTUDOS AMBIENTAIS	33
4.3	ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS UFV ESTUDADAS	35
4.4	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS UFVS	43
5	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica tem registrado um crescimento expressivo globalmente, impulsionada tanto pela redução nos custos de produção dos painéis solares (com uma queda média de 20,2% entre 1976 e 2019) (CHAVES, 2019.), quanto pela crescente conscientização sobre a necessidade de adotar fontes de energia sustentáveis. Segundo o relatório *World Energy Outlook 2020* da *International Energy Agency* (IEA), a capacidade instalada global de energia solar fotovoltaica aumentou de aproximadamente 40 GW em 2010 para mais de 700 GW em 2020, representando um crescimento exponencial ao longo da última década (IEA, 2020).

No Brasil, esse crescimento também é notável: a primeira usina fotovoltaica foi inaugurada em 2011, com uma capacidade de 1 MW no modelo de geração distribuída (Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014), e em 2024 o país já conta com mais de 18.000 usinas fotovoltaicas em operação, totalizando uma potência de 14.898,84 MW (ANEEL, 2024). Essa expansão rápida, posiciona o país como um dos líderes emergentes no setor de energias renováveis, segundo o estudo da *Global Market Outlook For Solar Power 2022-2026*, relatório global da *Solar Power Europe* que sinaliza que o Brasil é líder na implantação da fonte solar na América Latina e deve se tornar uma das potências globais do seguinte nos próximos anos (ABSOLAR, 2023). Seguindo esse histórico segundo recente publicação feita pela Absolar (2024) a fonte de energia solar acaba de ultrapassar a marca de 46 gigawatts (GW) de potência instalada na geração própria de pequenos sistemas e nas usinas de grande porte, o equivalente a 19,4% da matriz elétrica brasileira.

A região Nordeste do Brasil tem se consolidado como um importante centro de crescimento da geração de energia fotovoltaica, impulsionada por suas excelentes condições solares e pelo aumento de investimentos no setor. De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a capacidade instalada de energia solar na região Nordeste aumentou significativamente nos últimos anos, passando de menos de 1 GW em 2017 para mais de 4,5 GW em 2021 (ANEEL, 2021).

Estados como Bahia, Ceará e Piauí lideram esse crescimento no Nordeste, com a Bahia se destacando (mais de 1,5 GW de capacidade instalada até o final de 2021), representando um quarto do total nacional de geração solar fotovoltaica. Esse aumento na capacidade instalada tem promovido não apenas a diversificação da matriz energética, mas também a criação de

empregos e o desenvolvimento econômico regional, reforçando a importância da energia solar como motor de desenvolvimento sustentável no Nordeste brasileiro.

Como todo empreendimento gerador de energia elétrica, as usinas solares apresentam diversos impactos ambientais, positivos e negativos, ao longo de seu ciclo de vida. Para FILHO, *et al.* (2015), impacto ambiental é qualquer alteração nas características do sistema ambiental, sejam físicas, químicas, biológicas, sociais ou econômicas, causadas por ações humanas que afetem direta ou indiretamente os parâmetros do meio físico, biótico e socioeconômico.

Segundo Hernandez, *et al.* (2014), os impactos das usinas fotovoltaicas estão relacionados à localização, às características físico-climáticas do local e aos ecossistemas locais. Em uma análise geral, os impactos negativos dos sistemas fotovoltaicos são reduzidos quando comparados aos impactos positivos e às vantagens de sua implantação. Os principais impactos observados são classificados em três grupos: meio físico, meio biótico e meio socioeconômico.

Gomes *et al* (2019) aponta que a rápida criação de usinas solares tem levado à ocupação de grandes áreas, muitas vezes em regiões rurais e por se tratar de um complexo centralizado, a área ocupada é considerável, com isso a implementação de um parque solar passa a gerar preocupações ambientais, sendo inviáveis em áreas protegidas e podendo gerar conflitos com comunidades locais. Os autores pontuam que outros fatores podem gerar perturbações como mudanças na biodiversidade, uso e consumo de água, erosão do solo e a qualidade do ar.

Portanto, é muito relevante analisar esses impactos para garantir que o desenvolvimento da energia solar no nordeste brasileiro ocorra de maneira sustentável e equilibrada, considerando não apenas os benefícios ambientais e econômicos, mas também os efeitos sobre o ecossistema onde é instalada. Por essa razão, este trabalho se propõe a abordar os impactos ambientais, com foco especial no nordeste brasileiro.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os impactos ambientais decorrentes de usinas fotovoltaicas em operação na Região Nordeste, visando compreender os efeitos positivos e negativos dessa forma de geração de energia e propor cenários de melhoria para o setor.

1.1.2 Objetivos específicos

- a. Diagnosticar a partir do banco de dados da ANEEL a evolução da quantidade de UFVs no Brasil e potência de geração (kW) ao longo dos anos;
- b. Analisar 10 Estudos de Impactos Ambientais e/ou Relatórios de Impactos Ambientais (EIA/RIMA) de usinas fotovoltaicas em operação localizadas na Região Nordeste;
- c. Identificar e quantificar os principais impactos socioambientais da instalação e operação de usinas fotovoltaicas relatados nos EIAs;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

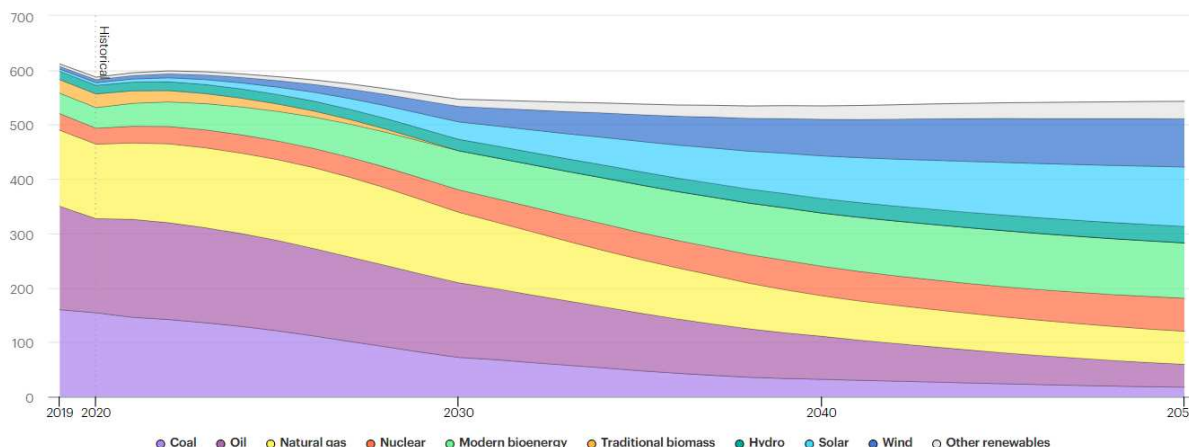
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA GLOBAL

A matriz energética global é composta por diversas fontes de energia, cada uma com características e impactos ambientais distintos. As fontes convencionais, como o carvão e o petróleo, continuam a desempenhar um papel dominante na geração de energia. O carvão, utilizado principalmente para a geração de eletricidade, é uma fonte abundante e de baixo custo, mas é também uma das mais poluentes, contribuindo significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (IEA, 2023). Já o petróleo, essencial para o setor de transporte, é uma fonte de energia altamente versátil, mas finita, e responsável por uma grande parcela das emissões globais de carbono (WORLD ECONOMIC FORUM, 2024).

Em contrapartida, as fontes de energia renováveis, como a solar e a eólica, estão em rápido crescimento. A energia solar, captada por meio de painéis fotovoltaicos, destaca-se como uma das fontes com maior crescimento global, impulsionada pela queda nos custos e avanços tecnológicos (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2022). A energia eólica, gerada pela força dos ventos, também tem se expandido significativamente, especialmente em regiões com grande potencial eólico, e ambas são consideradas fundamentais para a transição energética global rumo a uma matriz mais sustentável (REN21, 2023).

Atualmente, a matriz energética mundial é amplamente dominada por combustíveis fósseis, que respondem por cerca de 73% da demanda primária de energia mundial (IEA, 2023). No entanto, com o crescimento das fontes renováveis, especialmente solar e eólica, projeta-se que estas superem o carvão como a principal fonte de energia elétrica até 2024 (IEA, 2023). Este crescimento é impulsionado por investimentos recordes em tecnologias de energia limpa e por políticas de descarbonização que estão transformando a matriz energética global para uma mais sustentável (WORLD ECONOMIC FORUM, 2024). Projeções indicam que a energia solar e eólica juntas podem representar até um terço ou mais da matriz energética global até 2050 como apresentado na Figura 1 (IEA, 2023).

Figura 1: Fornecimento total de energia, 2019 – 2050



Fonte: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2023.

2.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O Brasil possui uma matriz energética que inclui uma parcela significativa de fontes de energia consideradas “limpas”, que não dependem de combustíveis fósseis, diferente do cenário global onde a matriz energética é predominantemente advinda de energias não renováveis. Atualmente as três maiores fontes de energia renovável que configuram a matriz energética brasileira são: 55% hídrica, 14,8% eólica, 8,4% biomassa, 9,0% gás natural, 4% derivados de petróleo, 1,75% carvão mineral (ANEEL, 2024). Esses dados indicam que a matriz energética do país é amplamente baseada em usinas hidrelétricas, embora esse sistema esteja operando próximo de seus limites.

Sem dúvida, o Brasil possui uma significativa capacidade de geração de energia, e sua diversidade permite aprimorar a matriz energética por meio da expansão de fontes renováveis. Segundo Torres, Sauaia e Koloszuk (2024), o avanço de tecnologias e a promoção de incentivos para o uso de energia “limpa”, juntamente com iniciativas de eficiência energética, impulsionado principalmente pelo crescimento dos investimentos em fontes renováveis, com especial ênfase na energia solar, certamente colocarão o Brasil em uma posição de destaque entre os geradores de energia limpa, posicionando o país como um dos menores emissores de carbono do mundo em um futuro próximo.

2.2.1 Transição Energética

A transição energética global está avançando com mais força, impulsionada pela necessidade urgente de mitigar as mudanças climáticas e reduzir a dependência de combustíveis fósseis (REN21, 2023). Esta transição envolve a substituição progressiva de fontes de energia

convencionais, como o carvão, petróleo e gás natural, que são responsáveis por grandes emissões de gás carbônico na atmosfera, por fontes renováveis, entre as quais a energia solar fotovoltaica se destaca (IRENA, 2022). Estudos apontam que essa mudança é essencial para limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C, conforme estabelecido pelo Acordo de Paris (IPCC, 2018). A transição energética, portanto, representa não apenas uma oportunidade, mas também um desafio complexo que exige coordenação entre governos, indústria e sociedade civil (IEA, 2023).

2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A luz do Sol é um bem livre, ilimitado e não excludente. Isso significa que além de estar disponível para todos, o seu uso por uns não impede o acesso ou a disponibilidade para outros (BURSZTYN, 2020). Assim a energia solar tem apresentado o maior crescimento de capacidade instalada anualmente no mundo, devido à queda nos preços, robustez tecnológica, vasto potencial técnico e operação livre de emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes (IRENA, 2022).

Segundo a ABSOLAR (2024), em 2023, estima-se que os módulos fotovoltaicos ficaram aproximadamente 50% mais baratos em comparação ao ano anterior. Essa redução significativa é amplamente atribuída ao fortalecimento das relações comerciais com parceiros internacionais e à melhoria do ambiente de negócios no país. Um fator crucial para essa queda nos preços foi o expressivo aumento da capacidade produtiva global de equipamentos no último ano.

No Brasil, essa tendência se mantém, pois o país recebe altos e uniformes níveis de radiação solar, tornando viável o desenvolvimento de projetos solares em diversas regiões. A energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa competitiva para o fornecimento de energia, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. A modularidade da tecnologia permite projetos de diferentes escalas, sendo necessário equilibrar os benefícios da geração distribuída com os ganhos de escala da geração centralizada (BRASIL, 2020).

2.3.1 Irradiação Solar

A radiação solar ou irradiância solar é o fluxo de energia emitida pelo Sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética para a Terra (Gómez *et al.* 2018). Segundo o estudo do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE2050) (BRASIL, 2020), diferente de outras fontes, a

energia solar tem seu recurso distribuído de maneira relativamente homogênea pelo território nacional, com disponibilidade praticamente infinita do recurso primário.

O Atlas Brasileiro de Energia Solar publicado em 2017, apresenta as regiões do Brasil com maior incidência de irradiação solar. A partir da análise do mapa da média de irradiação solar horizontal apresentado no Anexo 1, é possível identificar uma significativa capacidade de explorar o recurso solar, principalmente no chamado “Cinturão Solar”, que se estende do Nordeste até o Pantanal (Brasil, 2017).

Como citado por Burztyń (2020), a confiabilidade no número médio de horas de insolação anuais em cada localidade proporciona maior previsibilidade aos investimentos em energia solar, além de reduzir o risco de recorrer à geração termelétrica em momentos de crise.

2.3.2 Geração Centralizada (GC)

Segundo Gomes *et al.* (2019), a geração centralizada, de maneira geral, refere-se a grandes centrais de geração de energia com elevada capacidade instalada, voltadas para o máximo aproveitamento da irradiação solar disponível em determinada localidade. Devido à dimensão desses complexos, a área ocupada é extensa, o que levanta preocupações ambientais. Em alguns casos esses projetos podem ser inviáveis em áreas protegidas e levar a conflitos com comunidades locais. Contudo, a geração centralizada permite um melhor aproveitamento dos recursos solares de uma região, viabilizando a geração de centenas de megawatts de potência.

Dos estados brasileiros que apresentam geração centralizada de energia solar, nove se destacam com maior poder de geração segundo os dados da ANEEL (2024). Na Tabela 1 é apresentada os nove estados com a maior capacidade outorgada de energia solar.

Tabela 1: Estados com maior GC

Estado	2024 (GW)
Minas Gerais	5,84
Bahia	2,27
Piauí	2,06
Ceará	1,23
Rio Grande do Norte	1,21
Pernambuco	1,11
São Paulo	1,04
Paraíba	0,70
Tocantins	0,005

Fonte: Elaborado pela autora com base em ANEEL (2024).

2.3.3 Geração Distribuída (GD)

Souza *et al* (2022), explica que na geração distribuída, a área necessária é limitada aos espaços disponíveis, que podem incluir residências ou edificações industriais. Essas instalações, em geral, são compostas por painéis fixos e inclinados para otimizar o aproveitamento do potencial solar do local. Em sistemas isolados, ou seja, não conectados à rede, há a possibilidade de uso de baterias para armazenar a energia gerada, garantindo o fornecimento em momentos de maior demanda. No entanto, o uso de baterias eleva os custos do projeto, tanto pelo valor de aquisição quanto pela sua vida útil relativamente curta, além de exigir espaço adequado na edificação com condições mínimas de segurança. Apesar dos desafios relacionados ao aumento da complexidade do sistema, a geração distribuída oferece benefícios tanto para os consumidores quanto para as concessionárias e o sistema interligado nacional. Entre esses benefícios, destacam-se a redução dos custos de transporte, devido à proximidade dos pontos de consumo, e a viabilidade de atender áreas remotas.

2.4 LEGISLAÇÕES

A implantação de usinas fotovoltaicas no Brasil é regulamentada por uma série de resoluções federais e estaduais que visam garantir o crescimento sustentável do setor, respeitando normas técnicas, ambientais e fiscais. No âmbito federal, a Lei nº 14.300/2022 estabelece o Marco Legal da Geração Distribuída, regulamentando a geração de energia solar por micro e minigeradores conectados à rede elétrica. A lei define a compensação de energia gerada e assegura incentivos fiscais durante o período de transição até 2029 (Brasil, 2022). Esse marco é crucial para a expansão da energia solar, especialmente em sistemas de pequeno porte, mas também impacta as usinas fotovoltaicas de grande escala.

No campo ambiental, a Resolução CONAMA nº 01/1986 estabelece diretrizes e critérios específicos para o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades que possam causar significativa degradação do meio ambiente, incluindo usinas fotovoltaicas. Segundo a resolução, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) são obrigatórios para empreendimentos de grande porte e com potencial de impacto, sendo instrumentos essenciais para identificar, avaliar e comunicar os possíveis efeitos negativos sobre o meio ambiente. O RIMA, elaborado com base nos dados do EIA, tem como objetivo expor as conclusões do estudo de maneira clara e acessível à sociedade, facilitando a compreensão dos impactos e das medidas de mitigação propostas. A resolução orienta que o

processo de licenciamento considere aspectos como a preservação dos recursos naturais, a proteção das áreas de interesse ecológico e a participação pública, contribuindo para uma gestão ambiental transparente e responsável (CONAMA, 1986).

Ainda no âmbito ambiental, a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) é um dos principais instrumentos previstos pela Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938/1981, que visa preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental, assegurando condições ao desenvolvimento socioeconômico e à proteção dos recursos naturais. Essa política estabelece que a AIA deve ser realizada para identificar, prevenir e mitigar potenciais efeitos adversos de empreendimentos sobre o meio ambiente, orientando decisões sobre o licenciamento e promovendo uma gestão sustentável. Com isso, o instrumento contribui para a proteção ambiental e para o desenvolvimento de atividades que respeitem os limites dos ecossistemas (CONSELHO NACIONAL DO MEIO, 1986).

Além dessas regulamentações em âmbito nacional, os estados do Nordeste têm avançado com legislações específicas para promover a instalação de usinas solares, aproveitando o elevado potencial de radiação solar da região.

Na Paraíba, a regulamentação para usinas fotovoltaicas baseia-se amplamente em normas federais, como a Resolução CONAMA nº 01/1986, que orienta a avaliação de impacto ambiental, e o Marco Legal da Geração Distribuída (LEI Nº 14.300/2022), que regula a micro e mini-geração de energia renovável. O estado ainda não possui uma legislação estadual específica que promova incentivos ou critérios técnicos detalhados para o setor, adotando diretrizes gerais nacionais para licenciamento ambiental e isenção tributária em consonância com políticas federais.

Pernambuco conta com a Lei Estadual nº 14.249, que dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente (PERNAMBUCO, 2010), além disso destaca-se a Lei Estadual nº 14.666/2012, que institui a Política de Sustentabilidade Energética que visa promover a expansão das energias renováveis no estado (BRASIL, 2012). O estado também utiliza ferramentas como o Atlas Solar e Eólico, que identifica áreas propícias para projetos renováveis, cruzando dados geográficos e econômicos para subsidiar investidores e orientar o planejamento territorial (PERNAMBUCO, 2016).

Além disso, em 2024 entrou em vigor a Instrução Normativa 010/2024, que dispõe os principais tópicos que devem ser abordados nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA), e

também promove dois pontos importantes para o meio ambiente da região, a conversão de multas que permite que as multas por infrações ambientais sejam transformadas em ações, como projetos de recuperação ambiental, e o estabelecimento de mecanismos de monitoramento para avaliar a eficácia das ações realizadas em substituição ao pagamento das multas. A normativa é considerada favorável ao meio ambiente, pois promove ações práticas para a recuperação e preservação ambiental em vez da penalização financeira, o que pode resultar em benefícios significativos para a conservação dos recursos naturais na mitigação dos impactos causados por infrações (PERNAMBUCO, 2024).

O estado do Piauí, por sua vez, criou a Lei Estadual nº 6.947/2017, tem diretrizes para o licenciamento ambiental, incluindo usinas fotovoltaicas (PIAUI, 2017). Além da Lei nº 7.471/2021, que dispõe sobre o financiamento e aquisição facilitada de sistemas de energia solar fotovoltaico por servidores públicos, militares e pensionistas do estado (PIAUI, 2021). Em 2023, o Piauí emitiu o Decreto nº 22.499/2023 que declara a caducidade da concessão para a construção, operação, manutenção e gestão de miniusinas de geração de energia solar fotovoltaica. Essa legislação é um componente crucial para garantir que projetos de energia solar e outras atividades no Piauí sejam realizados de maneira sustentável e em conformidade com as normas ambientais (PIAUI, 2023).

No Rio Grande do Norte, a Lei Complementar Estadual nº 272/2004 estabelece as diretrizes gerais para o licenciamento ambiental no estado e é a base sobre a qual a Instrução Normativa IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte) se apoia para regular os projetos solares (RIO GRANDE DO NORTE, 2004). Para complementação da citada anteriormente foi instituída a Instrução Normativa IDEMA nº 1/2018, estabelecendo critérios e procedimentos para o licenciamento ambiental de centrais de geração de energia elétrica por fonte solar fotovoltaica no estado, como a exigência de EIA/RIMA, além da realização de audiências públicas (RIO GRANDE DO NORTE, 2018). Essas legislações são fundamentais para garantir que os projetos de energia solar no Rio Grande do Norte sejam desenvolvidos de maneira sustentável e em conformidade com as normas ambientais. A regulamentação específica ajuda a facilitar o processo de licenciamento, tornando-o mais claro e eficiente para os investidores e desenvolvedores.

Entre os estados analisados, Pernambuco e Rio Grande do Norte apresentam a legislações mais criteriosas e abrangentes, combinando incentivos fiscais, políticas de estímulo específicas e ferramentas técnicas como o Atlas Solar e Eólico. A exigência de contrapartidas

ambientais e sociais e o foco em tecnologias sustentáveis destacam os estados no cenário nacional. Por outro lado, a Paraíba é o menos criterioso, limitando-se a seguir normas federais, sem criar uma estrutura específica que promova ou regule de forma detalhada a implantação de usinas fotovoltaicas.

As legislações específicas dos estados complementam as normas federais, criando um ambiente favorável para o desenvolvimento de grandes usinas fotovoltaicas no Nordeste brasileiro. A isenção de ICMS e a simplificação dos processos de licenciamento são alguns dos principais atrativos, permitindo uma significativa redução nos custos de instalação e operação. Com essas políticas, os estados nordestinos têm se destacado como polos de atração de investimentos no setor solar, contribuindo para a diversificação da matriz energética do Brasil e a promoção de um futuro mais sustentável.

2.5 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DAS USINAS FOTOVOLTAICAS

Segundo Barbosa Filho *et al.* (2015), como qualquer empreendimento gerador de energia elétrica, as usinas solares também geram diversos impactos ambientais, tanto positivos quanto negativos, ao longo de seu ciclo de vida, em diferentes escalas e contextos. O Impacto ambiental refere-se a qualquer alteração nas características do sistema ambiental — sejam elas físicas, químicas, biológicas, sociais ou econômicas — resultante de ações humanas, que podem afetar, direta ou indiretamente, os parâmetros que integram os meios físico, biótico e/ou socioeconômico na área de influência do empreendimento. Já o conceito de aspecto ambiental para Sanchez (2013), consiste em uma característica ou atividade de uma organização que pode interagir com o meio ambiente, alterando sua qualidade ou condições, de forma positiva ou negativa, direta ou indiretamente.

Perazzoli, Gobbi e Tiepolo (2020) apontam que os principais aspectos e impactos ambientais que devem ser abordados em estudos ambientais para implantação e operação de Usinas Solares são os apresentados na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2: Principais Aspectos e Impactos Ambientais

Aspectos	Impactos
Terraplanagem e movimentação do solo	Erosão do solo pela alteração da topografia e exposição do solo
Construção de vias de acesso (não pavimentadas)	Assoreamento de cursos hídricos
Montagem das estruturas metálicas de sustentação dos módulos	Geração de resíduos da construção civil

Implantação	Conexão dos painéis, dos inversores e das estruturas de suporte, que utiliza solda e chumbo	Possível contaminação do solo
	Instalação dos módulos	
	Geração de resíduos de construção civil	
	Área ocupada pela UFV	Impacto visual (Comprometimento da paisagem)
		Alteração do uso do solo natural
		Remoção e realocação de famílias ou comunidades
	Supressão de vegetação	Perda da cobertura vegetal original
		Redução do habitat natural de espécies vegetais e animais
		Afugentamento da fauna
		Riscos de acidentes com animais
	Aumento do tráfego de veículos leves e pesados no entorno e interior da área de implantação	Redução na abundância populacional por meio do atropelamento de fauna
	Demanda por mão de obra	Geração de empregos diretos e indiretos
		Desenvolvimento da qualificação da população do entorno
	Aumento da atividade econômica	Aumento da arrecadação de impostos
		Aumento de demanda por serviços públicos (saúde, educação, infraestrutura, moradia)
		Valorização imobiliária
		Aumento do fluxo de veículos nas estradas locais
Operação	Área ocupada pela UFV	Comprometimento da paisagem, ofuscamento por reflexão da luz
	Consumo de água para limpeza dos módulos	Restrição de ocupação no entorno da UFV, para evitar sombreamento
		Aumento da susceptibilidade à erosão do solo pelo maior escoamento superficial
		Aumento do volume de escoamento superficial de água (requer construção de sistema de drenagem e contenção da água da chuva)
	Cercamento da área (segurança)	Restrição à circulação de certas espécies animais
	Sombreamento do solo pelos painéis FV	Alteração do microclima para a vegetação rasteira e pequenos animais
	Demanda por mão de obra	Geração/supressão de empregos diretos e indiretos
	Aumento da atividade econômica	Aumento da arrecadação de impostos
		Valorização imobiliária
	Geração de energia renovável	Melhoria na oferta de energia elétrica
	Complementariedade com relação a outras fontes de geração de energia elétrica (aumento da confiabilidade do sistema de geração de energia elétrica)	
	Emissões de GEE evitadas	

Fonte: Elaborado pela autora com base em Perazzoli, Gobbi e Tiepolo (2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 QUANTIFICAÇÃO DAS USINAS SOLARES EM OPERAÇÃO

O estudo iniciou pela etapa de quantificação das usinas fotovoltaicas em operação no Brasil. Para essa análise, as informações foram extraídas do Sistema de Informação de Geração da ANEEL (SIGA, 2024) por meio de uma planilha que foi filtrada apenas para usinas fotovoltaicas (UFV) declaradas com a Fase em ‘operação’. Ainda no processo de filtragem de dados de interesse, foi feita a remoção de linhas com nomes, latitudes e longitudes duplicadas e também de empreendimentos com dados incompletos, como nome de cidades, estados em branco ou dados nulos. Assim foi possível obter a planilha apenas com os dados de 470 UFVs de interesse e com isso gerar um gráfico com a quantificação das usinas fotovoltaicas em operação e a potência em kW para o período de 2016 a 2024.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo analisou os aspectos e impactos ambientais listados nos EIA/RIMA de 10 (dez) usinas fotovoltaicas localizadas em 4 (quatro) estados brasileiros na região nordeste. Na Tabela 3 são apresentados os dados do último censo demográfico realizado no ano de 2022 pelo IBGE para cada estado, contendo a população e a área de cada estado (IBGE, 2022).

Tabela 3: População e Área dos Estados de Estudo

Estado	População (hab)	Área (km²)
Paraíba	3.974.495	56 467,242
Pernambuco	9.058.931	98.312
Piauí	3.271.199	251.577
Rio Grande do Norte	3.302.279	52.797

Fonte: Elaborado pela autora com base em IBGE (2022).

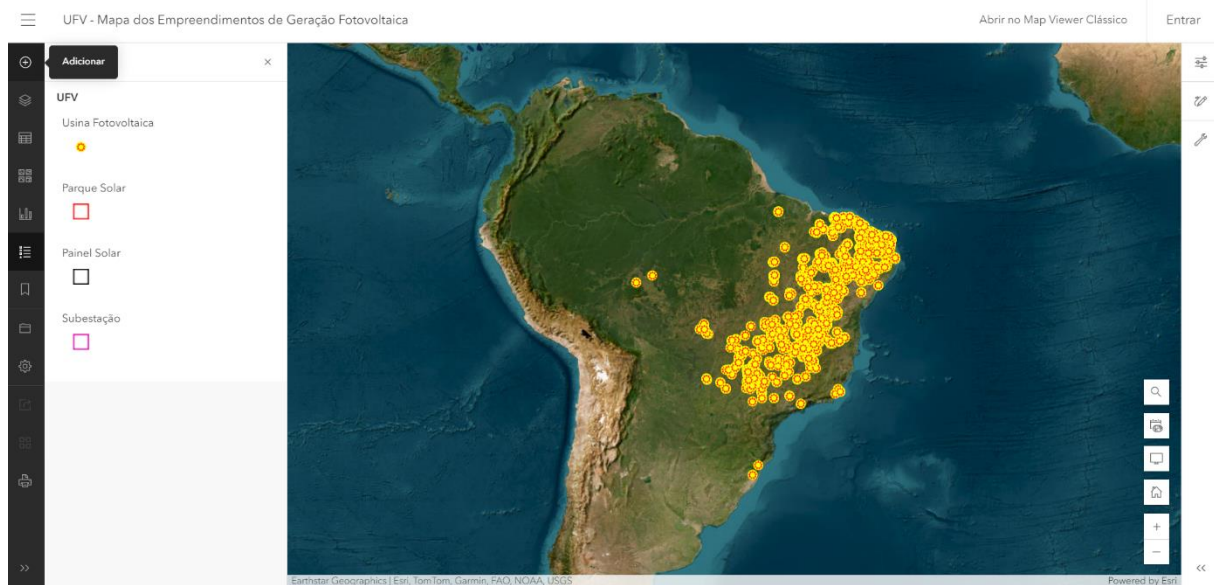
3.3 OBTENÇÃO DOS DADOS DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Para a obtenção de dados das usinas fotovoltaicas em operação, utilizou-se as bases de dados disponibilizadas nos sistemas da ANEEL. O acesso as informações ocorreram por meio do acesso em *website*. A fase de obtenção de dados foi dividida em duas etapas: na primeira etapa foram obtidos os dados de localização das dez usinas estudadas a partir do sistema da ANEEL; e, na segunda etapa, foi feita uma pesquisa sobre os estudos de aspectos e impactos ambientais, conforme detalhado nas próximas seções.

3.3.1 Etapa 1: Coleta de Dados de Localização pelo SIGEL - ANEEL

Os dados referentes a localização e nome das usinas fotovoltaicas situadas no chamado “cinturão de irradiação solar” disponibilizados pelo Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL), foram coletados na plataforma do sistema no endereço eletrônico (SIGEL, 2024). O site permite acessar de forma interativa as informações necessárias das usinas, clicando no símbolo “sol” de cada uma delas no mapa. Por meio da Figura 2, é apresentada a página inicial para coleta das informações.

Figura 2: Página de acesso ao mapa de localização das usinas fotovoltaicas pelo SIGEL - ANEEL



Fonte: SIGEL – ANEEL (2024).

Foram escolhidas nesta etapa para a realização desta pesquisa um total de 10 usinas, nomeadas da seguinte forma: Usina 1 localizada no estado da Paraíba, Usina 2 localizada no estado de Pernambuco, Usina 3 a 6 localizadas no estado do Piauí e Usinas 7 a 10 localizadas no estado do Rio Grande do Norte. A localização, o potencial de geração em MW, a fase de atividade e o tipo de estudo ambiental encontrado de cada usina utilizada no estudo foi descrito na Tabela 4 com base nos dados da ANEEL (2024).

Tabela 4: Dados da Usinas estudadas

Usinas estudadas	Cidade de localização	Estado de localização (UF)	Potencial de geração (MW)	Fase da Usina	Tipo de estudo ambiental
Usina 1	Coremas	PB	108,4	Operação	RIMA
Usina 2	Santa Luzia	PE	1.050	Operação	EIA
Usina 3	Itaueira e Floriano	PI	1.300	Operação	EIA
Usina 4	Buriti dos Lopes	PI	969,8	Operação	EIA

Usinas estudadas	Cidade de localização	Estado de localização (UF)	Potencial de geração (MW)	Fase da Usina	Tipo de estudo ambiental
Usina 5	Caldeirão Grande	PI	150	Operação	EIA
Usina 6	Caldeirão Grande	PI	211,39	Operação	EIA
Usina 7	Alto Rodrigues e Pendências	RN	422,4	Operação	EIA/RIMA
Usina 8	Pedro Avelino	RN	509,36	Operação	EIA/RIMA
Usina 9	Bodó	RN	119,74	Operação	EIA
Usina 10	Quixabá	RN	101,2	Operação	RIMA

Fonte: Elaborado pela Autora.

3.3.2 Etapa 2: Coleta e Tratamento de Dados de Aspectos e Impactos

Através da localização e do nome das usinas em operação obtidos na Etapa 1, foi realizada a busca dos estudos ambientais das 10 usinas através dos sites dos órgãos ambientais estaduais de cada estado ou diretamente nos sites dos próprios empreendimentos, para a obtenção das informações de aspectos e impactos ambientais. Foram encontrados 8 (oito) Estudos de Impactos Ambiental (EIA) e 4 (quatro) Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA) conforme a Tabela 4. Todos os estudos utilizados no escopo desta pesquisa utilizaram como referência em sua metodologia a matriz de Leopold de 1971, o método da Matriz de Leopold é uma técnica amplamente utilizada para identificar e avaliar impactos ambientais associados a projetos servindo como ferramenta de avaliação de impacto ambiental (AIA).

Após obtidos os estudos ambientais das usinas, foi utilizada a ferramenta tabela dinâmica no software EXCEL, onde as tabelas ou matrizes de aspectos e impactos foram extraídas dos arquivos PDF para o arquivo XLS. Após a extração, a ferramenta Power Query foi utilizada para padronizar as planilhas de aspectos e impactos ambientais para que fosse possível comparar as usinas estudadas entre si. Após o tratamento dos dados, os aspectos e impactos ambientais foram tabelados para serem contabilizados (contagem = N) de acordo com sua ocorrência entre os seguintes meios: biótico, físico e socioeconômico (em estudos ambientais onde foi identificado o meio “antrópico”, o termo foi substituído por “socioeconômico”).

3.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Uma Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada para analisar a relação entre a contagem de impactos e a potência de geração das 10 usinas estudadas. Foram utilizadas

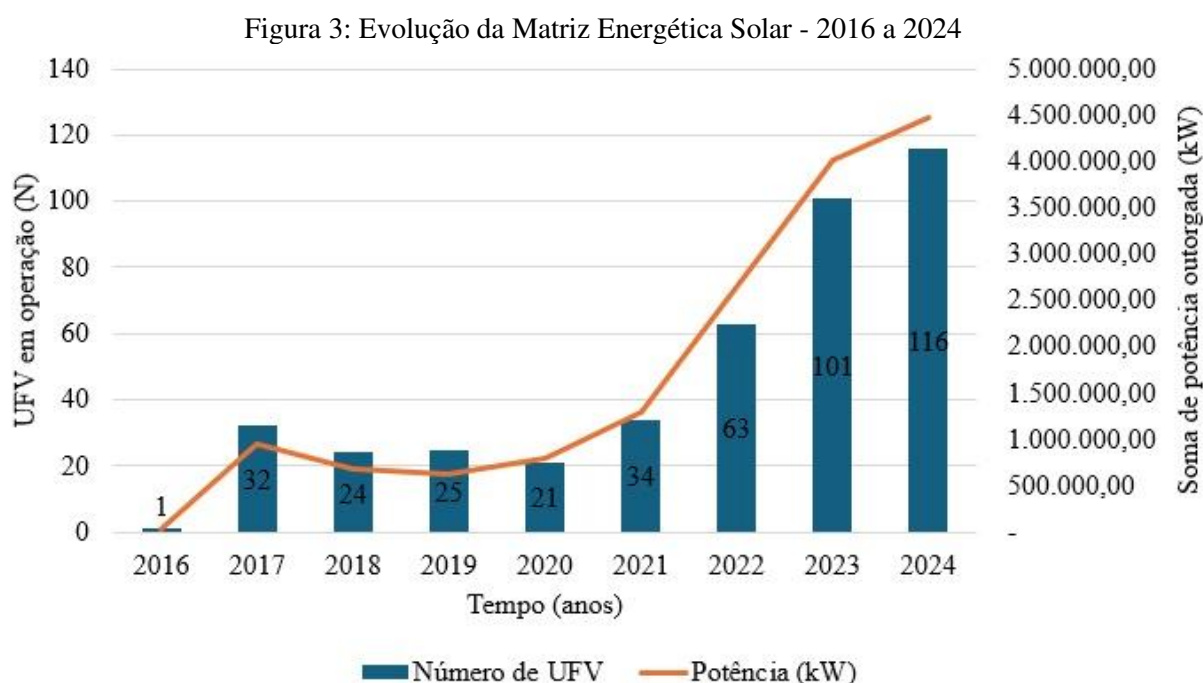
como variáveis a potência de geração de cada usina (kW) e a contagem (n°) de impactos por usinas nomeadas da seguinte forma: negativos no meio físico (denominados NF), negativos no meio biótico (NB), negativos no meio socioeconômico (NSE), positivos no meio físico (PF), positivos no meio biótico (PB) e positivos no meio socioeconômico (PSE). Foram utilizados dois agrupamentos para as contagens (n°) de impactos: grupo 1 – na fase de instalação e grupo 2 – na fase de operação.

Então, foi obtida a matriz de correlação que avalia como as variáveis estão relacionadas entre si. A partir dessa matriz, calculam-se os autovalores e autovetores, elementos essenciais para identificar os componentes principais. Os autovalores indicam a quantidade de variância explicada por cada componente principal, enquanto os autovetores definem as direções dos componentes no espaço das variáveis. O gráfico foi produzido para identificar padrões e relações entre os impactos positivos e negativos com relação a fase da usina e a sua potência de geração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DO PANORAMA DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO BRASIL

Os resultados apontaram que, no Brasil, desde o ano de 2016 a matriz energética solar vem crescendo, especialmente a partir de 2021. Enquanto em 2016 havia apenas 1 UFV no modelo de geração centralizada, o número saltou para 116 em 2024. Paralelamente, houve um aumento significativo do total de potência outorgada, que ultrapassou 4.500.000 kW em 2024 (ANEEL, 2024), essa evolução é apresentada na Figura 3, onde é evidenciado o salto dessa matriz energética no decorrer dos últimos anos.



Fonte: Elaborado pela Autora com base nos dados da ANEEL (2024).

Esse crescimento é resultado de muitos fatores, segundo o último relatório da Agência Internacional de Energia (IEA) de 2024, o aumento na demanda global por energia elétrica, principalmente por fontes renováveis, tem sido impulsionado por fatores como o crescimento econômico acelerado das economias, ondas de calor cada vez mais intensivas devido as mudanças climáticas, e o avanço da eletrificação em setores industriais, residências e de transporte.

No Brasil, segundo publicações da Empresa de Pesquisa Energética e através do Relatório Síntese de 2024, o destaque do aumento da demanda por fontes renováveis, especialmente a solar, se deve ao interesse pela redução da dependência de termelétricas

movidas a combustíveis fósseis, refletindo uma política pública voltada para a transição energética, atração de investimentos e descarbonização da economia (EPE, 2024). Ainda no âmbito das políticas públicas de incentivo, o Brasil vem alinhado aos compromissos climáticos assumidos pelo país no Acordo de Paris em 2015, como a redução das emissões de gases de efeito estufa na matriz energética através do aumento da matriz por fontes renováveis (UNFCCC, 2015). Além disso, o clima tropical e a alta incidência solar em grande parte do território nacional oferecem condições ideais para o desenvolvimento desse tipo de matriz energética.

4.2 OS ASPECTOS AMBIENTAIS DAS UFV NOS ESTUDOS AMBIENTAIS

Foram encontrados 406 aspectos ambientais para a fase de implantação e/ou operação durante a análise dos dez estudos, divididos entre os 3 três meios: Biótico, Físico e Socioeconômico. Para o meio biótico foram encontrados 151 aspectos, 131 aspectos para o meio físico e 160 aspectos para o meio socioeconômico, a apresentação da quantificação desses aspectos é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Aspectos Ambientais

Usina	Implantação			Operação		
	Físico	Biótico	Socioeconômico	Físico	Biótico	Socioeconômico
Usina 1	12	10	13	5	0	1
Usina 2	15	13	14	10	7	12
Usina 3	11	8	9	4	2	2
Usina 4	8	8	8	1	1	1
Usina 5	6	6	8	6	6	8
Usina 6	2	4	10	2	3	6
Usina 7	13	12	12	10	7	11
Usina 8	3	4	6	0	1	3
Usina 9	10	9	13	10	9	13
Usina 10	3	4	7	0	1	3
TOTAL	83	78	100	48	37	60

Fonte: Autora, 2024.

Através da Tabela 5, foi identificado que a etapa de implantação concentra 261 aspectos analisados, um número muito superior que aos 145 aspectos da etapa de operação. Esse resultado é esperado, pois durante a etapa de implantação há maiores intervenções no meio físico, biótico e socioeconômico. Tais como: movimentação de terra, remoção de vegetação, fragmentação de habitats, mudanças na paisagem e criação de empregos.

No meio físico os principais aspectos presentes nos estudos para a etapa implantação são a movimentação de terra, remoção de vegetação e construção de infraestrutura, o que gera impactos significativos no solo, qualidade do ar e drenagem, além disso o transporte de materiais e equipamentos contribuí com as emissões atmosféricas e outras alterações no meio físico como erosão do solo e assoreamento de rios.

Para o meio biótico, na implementação a retirada de vegetação e a fragmentação de habitats se destacam nos estudos, mostrando sua significância na implantação das usinas fotovoltaicas, principalmente em regiões de alta biodiversidade, onde a construção pode causar perda de flora e fauna.

Já para o meio socioeconômico, os aspectos mais abordados durante a implantação giram em torno da criação de empregos, mudanças na paisagem e conflitos pelos usos do solo e das infraestruturas públicas.

Na etapa de operação, os aspectos são considerados menores, devido a sua geração de energia ser por fonte renovável. O meio físico apresenta aspectos mais voltados pela geração de resíduos durante a limpeza e manutenção dos painéis fotovoltaicos. Já o meio biótico apresenta aspectos relacionados a mudanças no uso do solo e alterações no microclima nas regiões de operação das usinas. Os aspectos predominantes no meio socioeconômico giram em torno de empregos permanentes e a oferta de energia limpa e renovável. O menor número de aspectos na fase de operação demonstra que os estudos consideram um menor potencial de interferência ambiental e social durante essa etapa do empreendimento.

É possível também identificar que entre os estudos analisados, a Usina 2, localizada no município de Santa Luzia (PB), se destacou como a mais abrangente, com 42 aspectos identificados na fase de implantação e 29 na fase de operação, totalizando 71 aspectos analisados. Isso pode indicar que este projeto está localizado em uma área mais sensível ou com maior complexidade ambiental, exigindo mais atenção aos aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos.

Outro ponto de relevância para a maior abrangência na análise dos aspectos dessa usina é sua localização, dos estados analisados, Pernambuco se destaca sendo mais criterioso, partindo de exigências sociais e ambientais, além de fornecer legislações estaduais mais atualizadas e direcionadas para o seu ecossistema (PERNAMBUCO, 2024).

Em contrapartida, a Usina 6, localizada no Piauí, e a Usina 8 localizada no Rio Grande do Norte apresentam apenas 27 aspectos cada. A apresentação de análises mais simples pode estar relacionada com a sua localização em áreas possivelmente já antropizadas ou apenas uma abordagem menos detalhada nos seus estudos ambientais. Deve-se levar em consideração também que os estados onde essas usinas são localizadas são mais flexíveis com a implantação de usinas fotovoltaicas, facilitando seu licenciamento.

O maior número de aspectos na fase de implantação demonstra que as intervenções mais intensas ocorrem nesta fase. A transformação do solo, a alteração de habitats e a movimentação de materiais têm maior impacto no curto prazo. Por outro lado, a operação apresenta impactos contínuos, mas de menor magnitude, reforçando o caráter sustentável das usinas fotovoltaicas. Esse perfil de impacto reforça a atratividade das usinas como fontes renováveis de energia, mas também a importância de estudos ambientais robustos para minimizar os efeitos negativos, principalmente na fase de implantação e em áreas mais sensíveis, como observado na Usina 2.

4.3 ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS UFV ESTUDADAS

Foram encontrados 619 impactos, divididos entre os meios biótico, físico e socioeconômico. Para o meio biótico foram encontrados 126 impactos, 157 para o meio físico e 336 para o meio socioeconômico. A Tabela 6 apresenta a quantificação (contagem = N) dos impactos por usina na etapa de implantação por meios distinguindo os impactos de natureza positivo e negativo.

Tabela 6: Contagem (N) de impactos ambientais das UFVs na Fase de Implantação

Usina	Implantação					
	Positivos			Negativos		
	Físico	Biótico	Socioeconômico	Físico	Biótico	Socioeconômico
Usina 1	2	0	14	17	5	9
Usina 2	4	2	32	21	14	22
Usina 3	0	0	5	10	10	13
Usina 4	0	0	12	10	5	14
Usina 5	0	0	4	5	8	8
Usina 6	4	4	7	4	7	13
Usina 7	0	0	4	8	11	13
Usina 8	0	0	5	1	4	2
Usina 9	1	1	21	10	11	10
Usina 10	0	1	2	6	2	4
TOTAL	11	8	106	92	77	108

Fonte: Autora, 2024.

Através da Tabela 6, foi identificado que os impactos negativos superam significativamente os impactos positivos. Com um total de 277 impactos negativos em comparação a 125 positivos, isso representa aproximadamente 69,7% dos impactos sendo negativos, enquanto apenas 30,3% são positivos. Essa discrepância indica que a fase de implantação gera efeitos adversos expressivos sobre o meio ambiente e as comunidades locais.

Na fase de implantação, o meio socioeconômico apresenta uma dualidade significativa, refletida nos 106 impactos positivos e 108 impactos negativos identificados através dos estudos. Os impactos positivos incluem a geração de emprego e renda, que resulta diretamente da movimentação inicial das obras. A construção das usinas demanda um grande número de trabalhadores, o que não apenas cria postos de trabalho diretos, mas também impulsiona a economia local ao aumentar a demanda por serviços e produtos. O crescimento do comércio e serviços nas comunidades próximas é um efeito colateral positivo esperado, pois os trabalhadores e as empresas envolvidas nas obras necessitam de suprimentos e serviços, elevando o poder de compra da população local. Além disso, a implantação das usinas pode levar a um aumento na arrecadação tributária para os municípios, o que pode ser reinvestido em infraestrutura e serviços públicos. A expectativa de benefícios econômicos durante a fase de construção é um fator importante para a aceitação do projeto pela comunidade, gerando um clima de otimismo em relação às oportunidades que surgem.

No entanto, essa perspectiva positiva é contrabalançada pelos 108 impactos negativos que também estão presentes durante a fase de implantação. Entre esses impactos estão os riscos de acidentes, que podem ocorrer devido ao aumento do tráfego de veículos pesados nas estradas locais. Essa movimentação intensa pode resultar em acidentes não apenas envolvendo trabalhadores, mas também afetar a segurança da população local. Além disso, as interferências no cotidiano da população são uma preocupação significativa, as obras podem gerar ruídos excessivos, poeira e obstruções nas vias, impactando a qualidade de vida dos residentes. Os estudos também apontam preocupações quanto as incertezas contratuais que podem surgir em relação aos tipos de contratos utilizados para a contratação de mão de obra. As empresas podem optar por diferentes modalidades, como contratação direta ou terceirização, cada uma com suas próprias complexidades legais e riscos associados, essa situação pode resultar em um sentimento de descontentamento na comunidade, especialmente se os benefícios econômicos esperados não se concretizarem ou forem percebidos como insuficientes em comparação com os incômodos causados pelas obras.

Essa dualidade entre os impactos positivos e negativos ressalta a importância de uma abordagem equilibrada no planejamento e na execução dos projetos de usinas fotovoltaicas. Para maximizar os benefícios enquanto se mitigam os danos, é essencial implementar medidas proativas que incluam comunicação clara com as comunidades locais sobre os cronogramas das obras e as expectativas em relação aos benefícios econômicos. Além disso, estratégias como o monitoramento contínuo dos impactos sociais e econômicos podem ajudar a ajustar as operações conforme necessário, garantindo que as promessas feitas às comunidades sejam cumpridas.

A fase de implantação também gera impactos negativos significativos no meio físico, totalizando 92, que incluem poluição sonora, alteração na qualidade do ar e a produção de resíduos sólidos e efluentes. Esses impactos são comuns em projetos de grande escala, como usinas fotovoltaicas centralizadas, especialmente quando envolvem movimentação de terra e supressão de vegetação, resultando em alterações paisagísticas e processos erosivos. Por outro lado, os estudos também identificam impactos positivos (11) no meio físico, como a otimização dos aspectos paisagísticos, que ocorre quando o planejamento da implantação da usina inclui ações voltadas para a melhoria estética ou a preservação de áreas naturais de importância ecológica.

Em uma visão geral dos impactos no meio físico, observa-se que os impactos negativos representam aproximadamente 89,32% do total, enquanto os impactos positivos correspondem apenas a 10,68%. Essa grande diferença na quantidade de impactos de natureza positiva e negativa pode estar relacionada ao processo de implantação, que envolve uma série de intervenções que frequentemente alteram o ambiente físico de maneira significativa antes de qualquer possível recuperação. Isso evidencia a necessidade de atenção especial às consequências diretas sobre o ambiente físico durante a implantação das usinas.

Além disso, a ausência de impactos positivos em algumas usinas, como as Usinas 3, 4, 5, 7 e 8, sugere que as práticas de gestão ambiental e planejamento precisam ser revisadas e aprimoradas. É fundamental que as estratégias de implantação considerem não apenas os benefícios estéticos e ecológicos, mas também as medidas necessárias para mitigar os impactos negativos associados à construção das usinas. Dessa forma, será possível promover um desenvolvimento mais sustentável e equilibrado na implementação das Usinas Fotovoltaicas.

No meio biótico, os impactos associados à implantação de usinas fotovoltaicas são significativos e preocupantes, refletindo uma série de consequências que afetam a flora e a fauna locais. De acordo com os dados apresentados na Tabela 6, os impactos positivos e negativos revelam uma clara predominância dos impactos negativos, que representam cerca de 90,59% do total. Em contraste, os impactos positivos são bastante limitados, representando apenas 9,41%. Essa diferença significativa destaca a necessidade urgente de estratégias eficazes para mitigar os impactos adversos associados a implantação das usinas fotovoltaicas.

A perda de vegetação é um dos impactos negativos mais presentes nos estudos, resultante da remoção da cobertura vegetal durante a construção das usinas. Essa remoção não apenas elimina as plantas nativas, mas também compromete a fauna da região que depende dessa vegetação para abrigo e alimentação. A terraplanagem e a transformação do ecossistema local podem levar a degradação dos habitats naturais, resultando na diminuição da biodiversidade. A perda de vegetação também intensifica processos erosivos e pode causar assoreamento de cursos d'água, afetando ainda mais o ambiente. Outro impacto bastante abordado é o afugentamento da fauna, que ocorre devido à presença de atividades humanas e à alteração do ambiente natural.

A geração de ruídos, movimentação de máquinas e aumento do tráfego também estão presentes nos estudos levantando fatores como estresse dos animais locais e forçá-los a abandonar seus habitats. Esses fatores são preocupantes em áreas onde espécies ameaçadas ou vulneráveis habitam, pois, a migração forçada pode levar à diminuição das populações. Além disso, a perda de habitat através da remoção de tocas e abrigos naturais pode resultar em acidentes com animais que tentam se adaptar ao novo ambiente ou que são atropelados nas vias próximas resultando em impactos socioeconômicos além de bióticos.

Embora as Usinas 2, 6, 9 e 10 tenham apontado impactos bióticos positivos (8), como iniciativas voltadas para a preservação de áreas naturais ou melhorias estéticas no planejamento das usinas, esses benefícios são ofuscados pela magnitude dos impactos negativos. A diferença significativa entre os impactos positivos e negativos bióticos destaca a necessidade urgente de implementar práticas de gestão ambiental mais eficazes durante todas as fases do projeto. Isso inclui realizar avaliações ambientais detalhadas antes da construção, promover o replantio de espécies nativas e garantir que as comunidades locais estejam envolvidas no processo decisório.

Na fase de operação (Tabela 7), os impactos positivos representam apenas 9,03%, enquanto os impactos negativos correspondem a cerca de 90,97%. Essa diferença indica que apesar dos benefícios potenciais relacionados a operação das usinas fotovoltaicas, como a geração de energia “limpa”, os efeitos adversos ainda são muito presentes. A predominância dos impactos negativos sugere a necessidade urgente de estratégias eficazes para mitigar esses efeitos e garantir que os benefícios da energia solar sejam maximizados em relação aos danos causados ao meio ambiente e às comunidades locais. A gestão adequada dos impactos durante a operação é essencial para promover um desenvolvimento sustentável e equilibrado das Usinas Fotovoltaicas.

Tabela 7: Contagem (N) de impactos ambientais das UFVs na Fase de Operação

Usina	Operação					
	Positivos			Negativos		
	Físico	Biótico	Socioeconômico	Físico	Biótico	Socioeconômico
Usina 1	0	0	1	3	0	2
Usina 2	6	2	9	2	1	5
Usina 3	0	0	7	4	6	7
Usina 4	5	1	6	1	0	1
Usina 5	1	1	12	8	12	14
Usina 6	0	1	1	0	0	4
Usina 7	0	0	5	5	4	7
Usina 8	0	0	3	4	1	4
Usina 9	1	1	21	10	11	10
Usina 10	0	0	2	4	0	1
TOTAL	13	6	67	41	35	55

Fonte: Autora, 2024.

Durante a fase de operação o meio socioeconômico continua sendo o meio mais impactado, refletindo uma complexa interação entre benefícios e desafios. Com um total de 67 impactos positivos e 55 impactos negativos, o meio socioeconômico apresenta uma predominância de impactos benéficos, que representam aproximadamente 54,9% do total de impactos nesse meio. Esses impactos positivos incluem o aumento da arrecadação tributária, a oferta de empregos e o desenvolvimento da economia local, além da dinamização da matriz energética por meio de fontes renováveis. A geração de empregos é particularmente significativa, pois não apenas cria oportunidades diretas para os trabalhadores, mas também estimula o comércio local e melhora o poder de compra da população.

Entretanto, apesar dos impactos positivos apresentados, também existem 55 impactos negativos no meio socioeconômico, representando cerca de 45,1% do total. Entre esses

impactos negativos estão os riscos de acidentes de trabalho, que podem afetar diretamente os trabalhadores da usina durante sua operação. Embora esses riscos possam diminuir após a desmobilização da construção, eles permanecem uma preocupação constante durante a fase operacional. Além disso, a proliferação de doenças devido ao acúmulo de resíduos e efluentes é um risco significativo que pode impactar a saúde dos trabalhadores e da comunidade ao redor.

A comparação entre as quantidades de impactos positivos e negativos revela um cenário em que os benefícios socioeconômicos superam um pouco os desafios enfrentados. No entanto, a presença significativa de impactos negativos destaca a necessidade de uma gestão eficaz para garantir a segurança dos trabalhadores e mitigar os riscos associados à operação das usinas. A implementação de práticas rigorosas de saúde e segurança no trabalho, bem como uma gestão adequada dos resíduos gerados, é essencial para aumentar os benefícios enquanto se diminuem os danos.

No meio físico, a fase de operação apresenta um total de 13 impactos positivos e 41 impactos negativos. Essa contagem revela uma clara predominância dos impactos negativos, que representam aproximadamente 76,4% do total de impactos no meio físico, enquanto os impactos positivos correspondem a apenas 23,6%.

Os impactos negativos incluem fatores como poluição do ar, alteração das condições hídricas e contaminação do solo. Embora esses impactos sejam menores em comparação com os observados na fase de implantação, eles ainda são significativos, especialmente em usinas localizadas em regiões com ecossistemas mais frágeis. A poluição do ar é relacionada nos estudos com a operação de equipamentos e a manutenção das usinas, enquanto a alteração das condições hídricas pode ocorrer devido ao uso de água para limpeza dos módulos ou à modificação do fluxo natural de água nas áreas adjacentes. Já a contaminação do solo é apontada como uma preocupação contínua, especialmente se não houver um gerenciamento adequado dos resíduos gerados durante a operação.

Por outro lado, os impactos positivos no meio físico, embora mais limitados, incluem a otimização dos aspectos paisagísticos ao redor das instalações e a criação de áreas verdes. Essas ações podem melhorar a estética e a qualidade ambiental local, contribuindo para um ambiente mais agradável beneficiando a biodiversidade nas áreas ao em torno das usinas. No entanto, esses benefícios são geralmente considerados menos significativos quando comparados aos impactos negativos.

Comparando as quantidades de impactos positivos e negativos no meio físico durante a fase de operação destaca-se a necessidade de uma gestão ambiental mais eficaz. A predominância dos impactos negativos sugere que, apesar dos esforços para criar áreas verdes e melhorar a paisagem, os desafios associados à poluição e à contaminação continuam a ser questões críticas que precisam ser abordadas. Sendo assim, é essencial que as usinas fotovoltaicas implementem práticas rigorosas de monitoramento e mitigação para reduzir os efeitos adversos sobre o meio físico, garantindo assim que os benefícios da energia solar sejam plenamente realizados sem comprometer a integridade ambiental das regiões onde estão instaladas.

Na fase de operação os impactos no meio biótico são representados por 6 impactos positivos e 35 impactos negativos. Essa contagem revela uma clara predominância dos impactos negativos, que correspondem a aproximadamente 85,4% do total de impactos bióticos, enquanto os impactos positivos representam cerca de 14,6%.

Os impactos negativos incluem o afugentamento da fauna, a alteração da vegetação e a perda de habitat, que podem ocorrer ao longo do tempo devido ao funcionamento da usina. Embora esses efeitos sejam mais reduzidos em comparação com a fase de implantação, eles ainda são significativos, especialmente em usinas localizadas em regiões com ecossistemas mais frágeis. O afugentamento da fauna pode ser intensificado pela presença contínua de atividades humanas e pela alteração do ambiente natural, resultando em um impacto cumulativo na biodiversidade local. A alteração da vegetação e a perda de habitat também são preocupações contínuas, pois podem afetar as espécies que dependem desses recursos para alimentação e reprodução.

Já os impactos positivos são limitados, mas incluem a recuperação da fauna, que pode ocorrer após as fases iniciais de operação. À medida que as áreas afetadas pela implantação começam a se recuperar, algumas espécies animais podem retornar. Além disso, pode haver recuperação da vegetação em áreas previamente impactadas, especialmente quando existem políticas de preservação de áreas de vegetação nativa que são monitoradas durante a operação. Esses aspectos positivos são importantes, pois indicam que, com o tempo e a implementação adequada de medidas de conservação, é possível restaurar parte da biodiversidade local.

A comparação entre os impactos positivos e negativos no meio biótico durante a fase de operação destaca um cenário em que os desafios superam os benefícios. A alta proporção de

impactos negativos sugere que as usinas fotovoltaicas ainda têm um efeito adverso significativo sobre o meio biótico, mesmo durante a operação. Isso enfatiza a necessidade urgente de implementar práticas eficazes de controle e monitoramento ambiental para mitigar os efeitos adversos e promover a recuperação dos ecossistemas afetados.

Entre as usinas que abordaram mais impactos, destacam-se a Usina 9 e a Usina 10, localizadas no estado do Rio Grande do Norte, além da Usina 2, situada em Pernambuco. As usinas no Rio Grande do Norte apresentam uma maior diversidade de impactos, tanto sociais quanto ambientais, indicando um compromisso mais forte com a mitigação de efeitos negativos. No meio socioeconômico, os impactos são evidentes, especialmente em relação à geração de empregos, aumento do poder de compra e desenvolvimento da economia local.

Na fase de operação, a Usina 1 apresenta impactos em diferentes meios, no entanto, em comparação com as Usinas 9 e 10 que apresentam impactos mais detalhados, a Usina 1 apresenta lacunas no detalhamento dos impactos físicos e bióticos, o que sugere uma oportunidade para aprimorar os estudos ambientais.

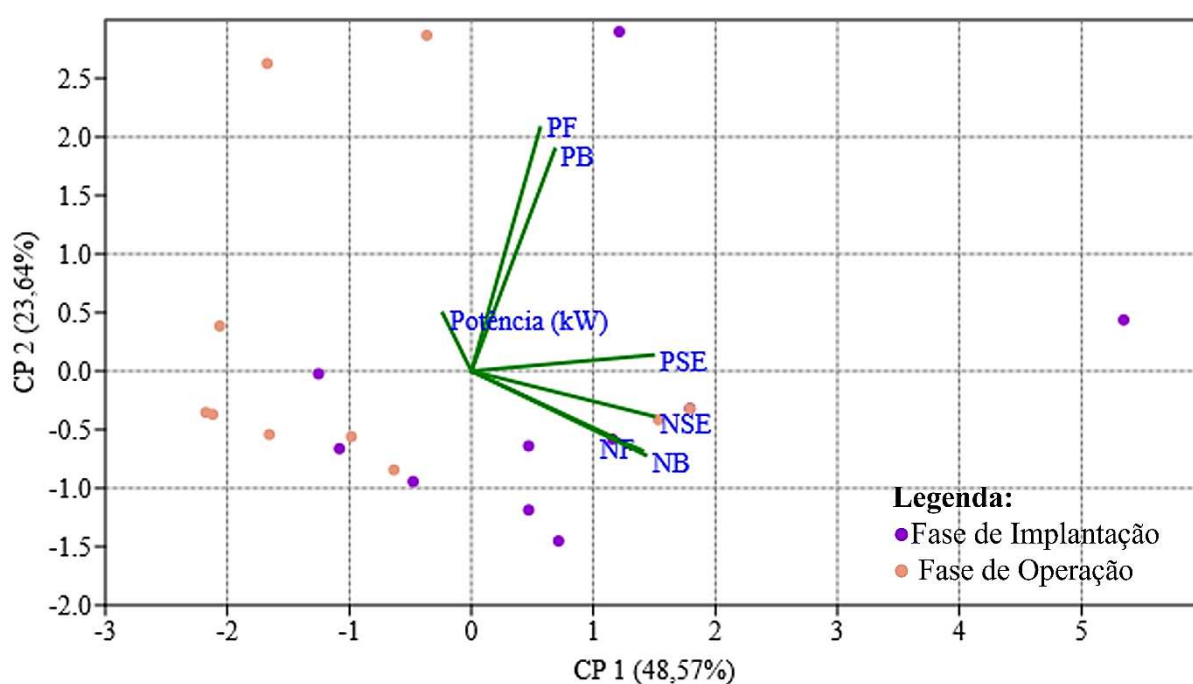
As Usinas 1, 3 e 4, localizadas na Paraíba e no Piauí, são identificadas como aquelas com estudos menos detalhados sobre os impactos ambientais. Elas tendem a focar mais nos benefícios socioeconômicos imediatos, como geração de emprego e desenvolvimento econômico, enquanto abordam de forma superficial os impactos físicos e bióticos. Essa abordagem pode indicar uma preocupação menor com os efeitos ambientais a longo prazo.

A análise dos impactos mostra que na fase de implantação o meio socioeconômico é o mais impactado, com foco predominante em benefícios sociais (positivos). Na fase de operação, os impactos predominantes continuam sendo no meio socioeconômico, mas com uma redução nas questões ambientais. As usinas que mais abordaram impactos são aquelas que consideram de forma mais profunda tanto os aspectos socioeconômicos quanto os ambientais. Em contraste, as usinas menos completas tendem a priorizar os aspectos sociais em detrimento dos impactos ambientais de longo prazo. A falta de uma avaliação mais detalhada dos impactos no meio biótico pode refletir uma prioridade menor na preservação da biodiversidade, indicando uma área para melhorias em futuros projetos de usinas fotovoltaicas.

4.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS UFVS

A Figura 4 apresenta a Análise de Componentes Principais (ACP) realizada para as variáveis relacionadas aos impactos ambientais negativos e positivos no meio físico, biótico, socioeconômico e à potência de geração das usinas estudadas, nas fases de implantação e operação. O eixo da Componente Principal 1 (CP 1), que explica 48,57% da variância total dos dados, está fortemente correlacionado com os impactos negativos no meio físico (NF), biótico (NB) e socioeconômico (NSE), além dos impactos positivos socioeconômicos (PSE).

Figura 4: Análise de componentes principais das UFVs



Fonte: Autora, 2024.

1

Já o eixo da Componente Principal 2 (CP 2), responsável por 23,64% da variância, está associado aos impactos positivos no meio físico (PF), biótico (PB) e à potência de geração (kW). A dispersão dos pontos indica que a fase de implantação está mais relacionada aos impactos negativos, enquanto a fase de operação apresenta maior relação com os impactos positivos e com a geração de energia, refletindo a transição de desafios ambientais iniciais para benefícios na operação das usinas.

¹ NF= Impactos Negativos Físicos; NB= Impactos Negativos Bióticos; NSE= Impactos Negativos Socioeconômicos; PF= Impactos Positivos Físicos; PB= Impactos Positivos Bióticos; PSE= Impactos Positivos Socioeconômicos.

A ACP revela uma relação entre os impactos positivos e negativos, uma vez que os vetores que representam os impactos negativos estão orientados em direção oposta aos vetores dos impactos positivos. Essas orientações podem indicar que a mitigação dos impactos negativos nas diferentes fases pode contribuir para o aumento dos impactos positivos, especialmente no meio físico e biótico, destacando a importância de uma gestão ambiental eficiente durante todo o ciclo de vida da usina. Além disso, a potência de geração está positivamente correlacionada com os impactos positivos no meio físico e biótico, sugerindo que usinas com maior capacidade de geração tendem a trazer mais benefícios ambientais, possivelmente relacionados à eficiência energética.

5 CONCLUSÃO

A análise de dados da ANEEL foi fundamental para compreender o crescimento das usinas fotovoltaicas (UFVs) no Brasil. Esses dados permitiram avaliar a evolução da capacidade instalada no país, relevando um crescimento expressivo no período de 2016 a 2024, quando a potência instalada ultrapassou 46 GW. Essa expansão reflete não apenas o aumento da demanda por energia limpa, mas também a relevância das UFVs como uma alternativa sustentável no setor energético nacional.

Com a comparação entre os 10 estudos analisados foi possível identificar padrões recorrentes de impactos socioambientais nas diferentes etapas dos projetos. Essa análise comparativa permite ao setor fotovoltaico antecipar impactos negativos frequentes e desenvolver estratégias mais eficazes para mitigar esses efeitos, garantindo uma operação ambientalmente responsável desde a fase de implantação.

Outro ponto relevante é a contribuição dos EIA/RIMAs para o processo de licenciamento ambiental. Esses documentos são essenciais para atender às exigências regulatórias, e o conhecimento prévio de seus conteúdos permite que novos projetos fotovoltaicos sejam mais bem planejados, aumentando a taxa de aprovação pelos órgãos ambientais e reduzindo atrasos no início das operações.

A análise de componentes principais (ACP) mostrou-se eficiente ao sintetizar o grande volume de variáveis ambientais, físicas e socioeconômicas extraídas dos estudos. A técnica permitiu reduzir a complexidade dos estudos, concentrando as informações mais relevantes em poucos componentes principais, dessa forma, foi possível identificar as variáveis que mais influenciam os impactos das UFVs.

A abordagem proposta nessa pesquisa de analisar estudos ambientais de diferentes usinas fotovoltaicas em operação com diferentes portes e potências de geração, proporcionou a possibilidade de análise dos principais aspectos e impactos dessa fonte de energia em diferentes cenários. Tal análise pode servir como base para discutir a minimização desses impactos do setor e balizar estudos futuros que comparem mais usinas identificando possíveis avanços ou retrocessos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de Informações de Geração**, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de Informações de Geração**, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw> . Acesso em: 24 ago. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **SIGEL – Sistema de Gestão de Informações de Energia Elétrica**, 2024. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/apps/mapviewer/index.html?webmap=19ef936c748f4af697f03fb8c0bb6593> . Acesso em: 05 out. 2024.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA)**, 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGE3NjVmYjAtNDZkZC00MDY4LTliNTItMTVkZTU4NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9> . Acesso em: 15 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **A evolução tecnológica fotovoltaica e seus benefícios ao Brasil**, 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/artigos/a-evolucao-tecnologica-fotovoltaica-e-seus-beneficios-ao-brasil/#:~:text=Estima%2Dse%20que%2C%20em%202023,do%20ambiente%20interno%20de%20neg%C3%B3cios> . Acesso em: 09 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Brasil estará entre a liderança do mercado solar global até 2026, aponta estudo internacional**, 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-estara-entre-a-lideranca-do-mercado-solar-global-ate-2026-aponta-estudo-internacional/> . Acesso em: 09 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Com 46 gigawatts instalados no Brasil, fonte solar já representa 19,4% da matriz elétrica**, 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/https-www-contramarco-com-post-com-46-gigawatts-instalados-no-brasil-fonte-solar-jc3a1-representa-19-5-da-matriz-elc3a9trica/> . Acesso em: 09 out. 2024.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira; FERREIRA, Wemerson Rocha; AZEVEDO, Abílio César Soares de; COSTA, Antonella Lombardi; PINHEIRO, Ricardo Brant. **Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 4, edição especial, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v4e02015628-642> . Acesso em: 04 out. 2024.

BRASIL. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2017. Disponível em: https://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html . Acesso em: 04 out. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2050**. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-523/05.03%20Energia%20Solar.pdf>. Acesso em: 22 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Institui a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos. Diário Oficial da União, Brasília, 3 set. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm Acesso em: 10 out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o Marco Legal da Geração Distribuída e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 6 jan. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2022/lei/114300.htm. Acesso em: 10 out. 2024.

BURSZTYN, Marcel. **Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas**. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (IEA), v. 34, n. 98, p. 167-186, 2020.

CHAVES, A. S. **Análise da evolução dos custos de produção de energia solar fotovoltaica**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 5, n. 2, p. 45-60, 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 01**, de 23 de janeiro de 1986. Estabelece diretrizes e procedimentos para a realização de estudos de impacto ambiental e relatórios de impacto ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, 24 jan. 1986. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745. Acesso em: 10 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Fontes renováveis atingem 49,1% na matriz energética brasileira**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/fontes-renovaveis-atingem-49-1-na-matriz-energetica-brasileira#:~:text=Fontes%20renov%C3%A1veis%20atingem%2049%2C1%25%20na%20matriz%20energ%C3%A9tica%20brasileira,-Conte%C3%BAdo%20da%20P%C3%A1gina&text=Nos%20%C3%BAltimos%20dois%20anos%2C%20a,energ%C3%A9tica%20brasileira%20era%20de%2045%25>. Acesso em: 23 nov. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese 2024: ano base 2023**. Brasília, Distrito: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf . Acesso em: 23 nov. 2024.

FILHO, J. A., et al. **Impactos Ambientais das Usinas Fotovoltaicas**. São Paulo: Editora Acadêmica, 2015. p. 89-110.

GOMES, Adjeferson Custódio; MATOS, Victor Santos; WANDERLEY, Vinícius de Souza Andrade; GONÇALVES, Giovanna Buscatti; CORTES, Luís Ricardo Cândido; SORIANO, Fabiano Rodrigues. **Análise do potencial de geração fotovoltaica no Estado da Bahia**. In:

CONGRESSO DE ESTUDOS EM ENERGIA ELÉTRICA (CEEL), 2019, Uberlândia. Anais [...]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

GÓMEZ, J. M. R.; CARLESSO, F.; VIEIRA, L. E.; DA SILVA, L. A. **A irradiância solar: conceitos básicos**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, n. 3, e3312, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/DfZGpdWH53yHvvj9kwjMqqt/#> . Acesso em: 04 out. 2024.

HERNANDEZ, R. R.; BASS, S. B., et al. **Environmental impacts of utility-scale solar energy**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 29, p. 766-779, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/> . Acesso em: 12 out. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2020**. Paris: IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>. Acesso em: 24 ago. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2023**. Paris: IEA, 2023. p. 42. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>. Acesso em: 24 ago. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2024**. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024?language=pt>. Acesso em: 22 nov. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **World Energy Transitions Outlook 2022**. Abu Dhabi: IRENA, 2022. p. 56. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2022/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>. Acesso em: 24 ago. 2024.

LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F. E.; HANSHAW, B. B.; BALSLEY, J. R. **A procedure for evaluating environmental impact**. U. S. Geological Survey, Washington: Geological Survey 1971. 13p. Circular 645. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/cir645>. Acesso em: 29 out 2024.

MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. São Paulo: Editora Técnica, 2014. p. 120.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Sumário para formuladores de políticas. In: **RELATÓRIO ESPECIAL SOBRE AQUECIMENTO GLOBAL DE 1,5 °C**. Genebra: IPCC, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2024.

PERNAMBUCO. **Atlas Solar e Eólico de Pernambuco**. 2016. Disponível em: <http://www.atlaseolicosolar.pe.gov.br/> . Acesso em: 12 out. 2024.

PERNAMBUCO. **Instrução Normativa CPRH nº 1, de 30 de outubro de 2023.** Estabelece procedimentos administrativos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia a partir de fonte solar fotovoltaica, em superfície terrestre. Diário Oficial [do] Estado de Pernambuco, Recife, 31 out. 2023. Disponível em:

[https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-](https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2024/10/SEI_57713394_GOVPE_Instrucao_Normativa-1.pdf)

[content/uploads/2024/10/SEI_57713394_GOVPE_Instrucao_Normativa-1.pdf](https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2024/10/SEI_57713394_GOVPE_Instrucao_Normativa-1.pdf). Acesso em: 28 nov. 2024.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.249, de 28 de dezembro de 2010.** Dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado de Pernambuco, Recife, 29 dez. 2010. Disponível em:

http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Lei%20Est%2014249;141010;20101228.pdf. Acesso em: 28 nov. 2024.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.666, de 18 de maio de 2012.** Institui a Política de Sustentabilidade Energética e dá outras providências, 2012. Disponível em:

https://www.sefaz.pe.gov.br/Legislacao/Tributaria/Documents/legislacao/Leis_Tributarias/2012/Lei14666_2012.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2014.666%2C%20DE%2018,do%20Estado%20de%20Pernambuco%20%E2%80%93%20PESUSTENT%C3%81VEL. . Acesso em: 10 out. 2024.

PERAZZOLI, D. L.; GOBBI, E. F.; TIEPOLO, G. M. **Proposta de critérios norteadores e requisitos mínimos para licenciamento ambiental de usinas fotovoltaicas no Brasil.**

Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 2, p. 333-344, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S1413-41522020187883>. Acesso: 05 out. 2024.

PIAUI. **Decreto nº 22.499, de 3 de abril de 2023.** Dispõe sobre as diretrizes do licenciamento ambiental estadual, estabelece os prazos e procedimentos para a emissão de licenças, declarações e autorizações ambientais e dá outras providências. Diário Oficial Estado do Piauí, Teresina, 3 abr. 2023.

PIAUI. **Lei nº 6.947, de 18 de agosto de 2017.** Dispõe sobre as diretrizes do licenciamento ambiental estadual, estabelece os prazos e procedimentos para a emissão de licenças, declarações e autorizações ambientais e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado do Piauí, Teresina, 18 ago. 2017.

PIAUI. **Lei nº 7.471, de 23 de agosto de 2021.** Dispõe sobre financiamento e aquisição facilitada do sistema de energia solar fotovoltaica por servidores públicos efetivos, ativos e inativos, militares e pensionistas do Estado do Piauí, com pagamento de parcelas mensais por meio de consignação em folha e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado do Piauí, Teresina, 24 ago. 2021.

REN21. **Renewables 2023 Global Status Report.** Paris: REN21 Secretariat, 2023.

Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 24 ago. 2024.

RIO GRANDE DO NORTE. **Atlas Solar e Eólico do Rio Grande do Norte.** Disponível em:

<http://atlaseolicosolarn.com.br/>. Acesso em: 12 out. 2024.

RIO GRANDE DO NORTE. Instrução Normativa nº 1, de 15 de janeiro de 2018. Estabelece diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de atividades e empreendimentos

no Estado do Rio Grande do Norte. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, 15 jan. 2018.

RIO GRANDE DO NORTE. Lei Complementar nº 272, de 26 de janeiro de 2004.

Regulamenta os artigos 150 e 154 da Constituição Estadual, revoga as Leis Complementares nº 140, de 26 de janeiro de 1996, e nº 148, de 26 de dezembro de 1996, dispõe sobre a política e o sistema estadual do meio ambiente, as infrações e sanções administrativas ambientais, as unidades estaduais de conservação da natureza, institui medidas compensatórias ambientais e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, 26 jan. 2004.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Disponível em:

https://repositorio.usp.br/directbitstream/b5f8d784-dfa9-40de-8857-add664ab3f88/Sanchez-2013-Avalia%C3%A7%C3%A3o_de_impacto_ambiental.pdf. Acesso em: 09 nov. 2024.

SOUZA, Samuel Fernando Machado Alves; SILVA, Jeferson Sousa da; NOVAIS, Renato Lima; CARNEIRO, Rafael Kotchetkoff; HEDIM, Pedro Lopes Ismerim Medina. **Uma análise visual das principais praças de produção de energia solar no estado da Bahia**. Research, Society and Development, v. 11, n. 5, e32111528240, 2022.

TORRES, Maykow; SAUAIA, Rodrigo; KOLOSZUK, Ronaldo. **A evolução tecnológica fotovoltaica e seus benefícios ao Brasil**. Fotovolt, São Paulo, 26 jun. 2024. Disponível em:

<https://www.absolar.org.br/artigos/a-evolucao-tecnologica-fotovoltica-e-seus-beneficios-ao-brasil/>. Acesso em: 21 set .2024.

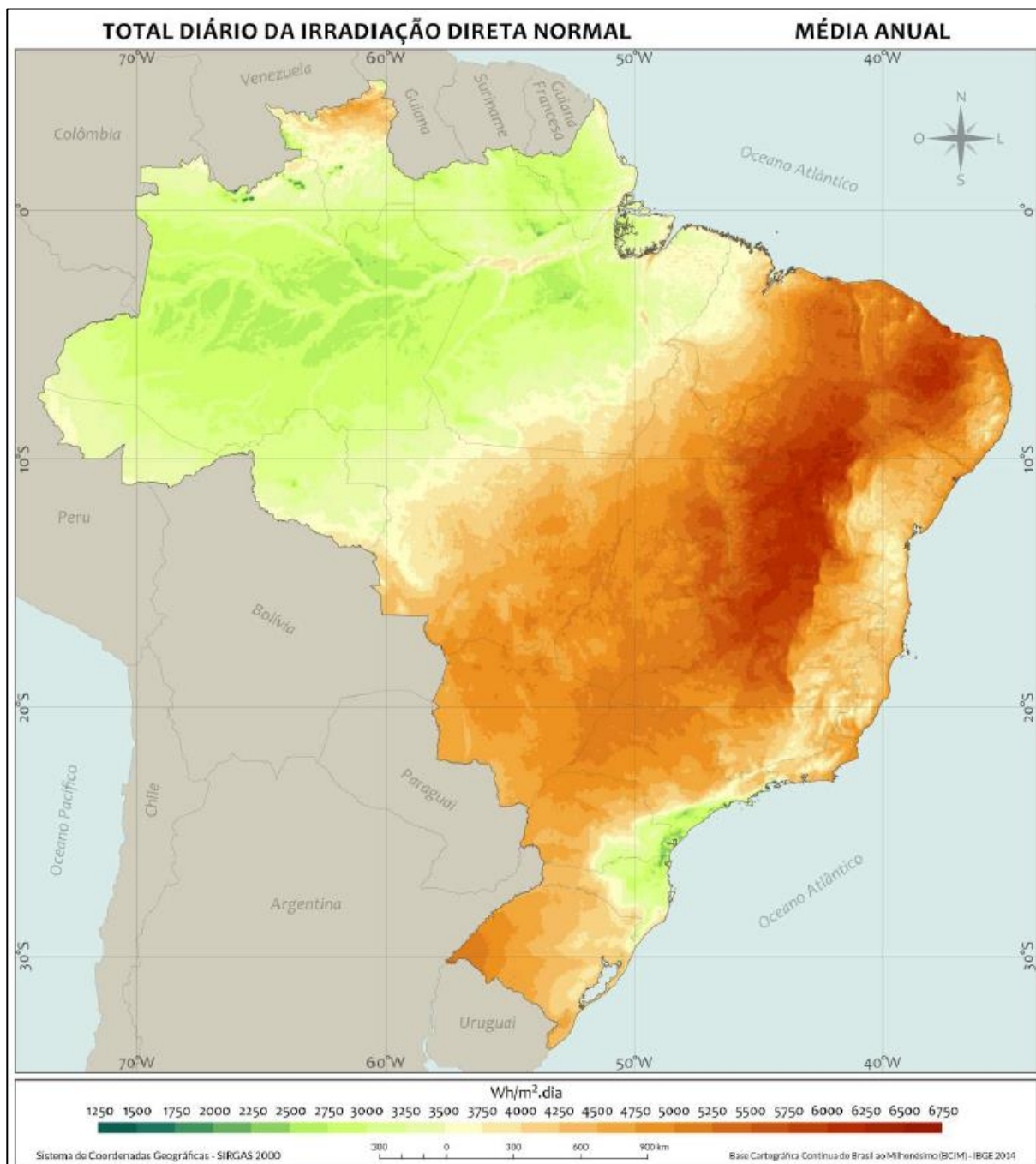
UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Adoption of the Paris Agreement**. Paris: UNFCCC, 2015. Disponível em:

<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2024.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **Green energy is set to match the world's growing electricity demand - IEA report**. World Economic Forum, 2024. p. 15. Disponível em:

<https://www.weforum.org/agenda/2024/green-energy-iea-report/>. Acesso em: 24 ago. 2024.

ANEXO 1 – MÉDIA DE IRRADIAÇÃO SOLAR HORIZONTAL



Fonte: BRASIL, 2017.