



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

EMANUELA IEDA CHAGAS

**ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE DE USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS PELO
INDICADOR *FINAL YIELD*: ESTUDO DE CASO DA UNIVERSIDADE FEDERAL
RURAL DO SEMIÁRIDO - UFERSA**

CARAÚBAS/RN

2023

EMANUELA IEDA CHAGAS

**ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE DE USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS PELO
INDICADOR *FINAL YIELD*: ESTUDO DE CASO DA UNIVERSIDADE FEDERAL
RURAL DO SEMIÁRIDO - UFERSA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Daniel Carlos de Carvalho Crisóstomo

CARAÚBAS/RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C433a Chagas, Emanuela Ieda.
Análise de produtividade de usinas solares
fotovoltaicas pelo indicador final yield: estudo
de caso da universidade federal rural do
semiárido - UFERSA / Emanuela Ieda Chagas. - 2023.
62 f. : il.

Orientador: Daniel Carlos de Carvalho
Crisóstomo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. Energia solar fotovoltaica. 2.
Produtividade. 3. Eficiência. 4.
Sustentabilidade. 5. Semiárido. I. Crisóstomo,
Daniel Carlos de Carvalho, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

EMANUELA IEDA CHAGAS

**ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE DE USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS PELO
INDICADOR *FINAL YIELD*: ESTUDO DE CASO DA UNIVERSIDADE FEDERAL
RURAL DO SEMIÁRIDO - UFERSA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Defendida em: 06 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Daniel Carlos De Carvalho Crisóstomo, Prof. Me. (UFERSA)
Presidente

Allyson Arilson Lima Filgueira, Me. (UFERSA)
Membro Examinador

Glauco Fonsêca Henriques, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pela Sua força, inspiração e orientação ao longo de todo este processo. Por me dar a capacidade de perseverar e vivenciar cada etapa desta jornada.

Agradeço profundamente à minha família, com um carinho especial para os meus pais, Francisco Manoel e Elita Maria, que sempre estiveram ao meu lado, constituindo a base sólida da minha vida acadêmica e pessoal. Eles me proporcionaram um apoio inabalável e nunca deixaram de acreditar no meu potencial. Além disso, gostaria de expressar minha gratidão às minhas irmãs, Elândia Priscilla e Elainey Isabelita, que foram meu refúgio seguro, minhas confidentes e um constante estímulo para seguir em frente. Não posso deixar de mencionar meu namorado, Jayro Vinicius, que compreendeu as horas de estudo e pesquisa, mesmo quando não pude estar presente, e que tem sido meu apoio constante, alguém que sempre acreditou em mim.

Agradeço a meu orientador, o Prof. Me. Daniel Carlos, pelos valiosos ensinamentos ao longo de sua trajetória como meu professor e por proporcionar a oportunidade de realizar esta pesquisa sob sua orientação. Sua disposição em me guiar foi fundamental, e destaco sua capacidade excepcional de atender minhas necessidades, demonstrando paciência e dedicação constante em cada etapa das orientações.

Agradeço ao meu primo e fiel companheiro de curso, Nadson Daniel. Sua presença ao meu lado ao longo dos desafios acadêmicos foi inestimável. Desde o começo até o final desta jornada, ele esteve sempre presente, compartilhando o peso dos desafios de forma excepcional. Sua parceria incrível e constante apoio não apenas tornaram essa caminhada acadêmica mais suportável, mas também fortaleceram nossa amizade. Sou profundamente grato por tê-lo ao meu lado.

Agradeço a minha amiga e parceira de curso, Bruna Gabriela, por sempre estar ao meu lado, compartilhando conhecimento, ideias e risadas, tornando essa jornada mais leve.

Agradeço a minha amiga Marília Gurgel, que foi um pilar de amizade fiel e um constante estímulo ao longo desta jornada. Agradeço também aos meus valorosos amigos e colegas de curso, em particular, Gustavo Ferreira, Mariane Ferreira, Joilson Félix, Wagner Dutra e Nathan Vieira, por compartilharem desafios e conquistas, tornando os dias de estudo mais produtivos e divertidos. Suas contribuições foram fundamentais para o nosso crescimento acadêmico e a construção de memórias preciosas, a amizade que cultivamos ao longo do curso tornou esta jornada acadêmica inesquecível.

Descobrir consiste em olhar para o que
todo mundo está vendo e pensar uma coisa
diferente.

Roger Von Oech

RESUMO

A energia solar fotovoltaica converte radiação solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, sendo uma fonte limpa e renovável. A produtividade de usinas solares refere-se à eficiência na geração de eletricidade, influenciada por fatores como localização, orientação dos painéis e condições climáticas. É evidente que, sobretudo no Rio Grande do Norte, estão ocorrendo crescentes investimentos na exploração dessa fonte de energia renovável. No entanto, não há muitos estudos relacionados à avaliação da eficiência dos sistemas fotovoltaicos nas universidades da região. Assim, esta pesquisa apresenta a análise da produtividade das usinas solares fotovoltaicas localizadas na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), utilizando o indicador de desempenho conhecido como *Final Yield*. O objetivo é avaliar a eficiência operacional dessas usinas, considerando variáveis como condições climáticas, eficiência dos equipamentos, manutenção e operação dos sistemas. A metodologia incluiu a coleta e análise de dados de produção de energia solar ao longo de um período determinado, com a aplicação do índice *yield* para avaliar o desempenho em relação à capacidade instalada. Os resultados obtidos oferecem informações cruciais para otimizar o uso da energia solar, identificar oportunidades de melhoria e contribuir para a sustentabilidade energética da UFERSA e sua comunidade. Este estudo avança no entendimento do desempenho das usinas solares fotovoltaicas, promovendo a eficiência e a responsabilidade ambiental no contexto da produção de energia renovável.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica; produtividade; eficiência; sustentabilidade; semiárido.

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy converts solar radiation into electricity through photovoltaic cells, being a clean and renewable source. The productivity of solar plants refers to the efficiency in generating electricity, influenced by factors such as location, panel orientation and weather conditions. It is evident that, especially in Rio Grande do Norte, there are increasing investments in the exploration of this source of renewable energy. However, there are not many studies related to evaluating the efficiency of photovoltaic systems in universities in the region. Thus, this research presents an analysis of the productivity of solar photovoltaic plants located at the Universidad Federal Rural Semi-Arid (UFERSA), using the performance indicator known as Final Yield. The objective is to evaluate the operational efficiency of these plants, considering variables such as weather conditions, equipment efficiency, maintenance and operation of the systems. The methodology included the collection and analysis of solar energy production data over a determined period, with the application of the yield index to evaluate performance in relation to installed capacity. The results obtained offer crucial information to optimize the use of solar energy, identify opportunities for improvement and contribute to the energy sustainability of UFERSA and its community. This study advances the understanding of the performance of photovoltaic solar plants, promoting efficiency and environmental responsibility in the context of renewable energy production.

Keywords: photovoltaic solar energy; productivity; efficiency; sustainability; semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Total diário de irradiação no plano inclinado na latitude – média anual.	17
Figura 2 - Matriz Elétrica Brasileira.....	19
Figura 3 - Evolução da Fonte de Solar Fotovoltaica no Brasil.....	20
Figura 4 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.....	21
Figura 5 – Tipos de sistema e seus componentes	22
Figura 6 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	25
Figura 7 - Sistemas Isolados (Off Grid)	25
Figura 8 - Sistema Híbrido	26
Figura 9 - Usina de solo	27
Figura 10 - Usina de telhado	28
Figura 11 - Usina fotovoltaica flutuante.....	29
Figura 12 - Usina Fotovoltaica Flutuante.....	29
Figura 13 - Usinas UFERSA	32
Figura 14 - Fluxograma da metodologia	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Yield das usinas campus Caraúbas	399
Gráfico 2 - Yield das usinas campus Angicos	41
Gráfico 3 - Yield das usinas campus Mossoró	433
Gráfico 4 - Yield das usinas do Campi.....	455
Gráfico 5 - Yield das usinas do Campi.....	477

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das usinas campus Caraúbas	388
Tabela 2 – Dados usinas campus Angicos.....	40
Tabela 3 - Dados usinas campus Mossoró.....	42
Tabela 4 – Dados das usinas do Campi	44
Tabela 5 – Dados das usinas por campus	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CE	Centro de Engenharias
DPS	Dispositivos de Proteção Contra Surtos
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Raios Infravermelhos
PR	<i>Perfomance Ratio</i>
SFRC	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UV	Raios Ultravioletas
YF	<i>Final Yield</i>
CRB	Caraúbas
PDF	Pau dos Ferros
MSR	Mossoró
AGC	Angicos

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	14
1.1.Objetivos.....	15
1.1.1.Geral.....	15
1.1.2.Específicos....	15
2.ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ASPECTOS GERAIS	17
2.1. Energia Solar Fotovoltaica No Brasil	17
2.2.Princípio De Funcionamento	21
2.3.Sistemas Fotovoltaicos.....	22
2.3.1.Componentes.....	22
2.3.2.Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede (Sfcr)	24
2.3.3.Sistema Fotovoltaico Isolado (Off Grid)	25
2.3.4.Sistema Fotovoltaico Híbrido.....	26
2.4.Tipos De Usinas Fotovoltaicas	26
2.4.1.Sistema Fotovoltaico De Solo.....	27
2.4.2.Sistema Fotovoltaico De Telhado.....	27
2.4.3.Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes	28
2.5.Normativos.....	30
2.6.Usinas Fotovoltaicas Da Ufersa	31
3.ÍNDICES DE MÉRITO	33
3.1.Fator De Capacidade.....	33
3.2.Produtividade.....	34
3.3.Taxa de Desempenho ou <i>Performance ratio</i> (PR)	35
4.METODOLOGIA.....	36
5.ANÁLISE DE DADOS.....	38
5.1.Análises por campus.....	38
5.1.1.Campus Caraúbas	38
5.1.2.Campus Angicos	40
5.1.3.Campus Mossoró	42
5.2.Análise por período de instalação	44
5.2.1.Período de 2016 a 2018	44
5.2.2.Período de 2019 a 2021	46
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, a busca por fontes de energia limpas e sustentáveis vem se tornando cada vez mais importante em todo o mundo. Diante dos desafios enfrentados em relação às mudanças climáticas e à necessidade de reduzir nossa dependência de energias não renováveis, a energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa promissora e viável. Seu uso tem aumentado consideravelmente, com um foco especial na geração distribuída, que permite produzir eletricidade localmente, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa e fortalecendo a resiliência das redes elétricas (ABSOLAR, 2022). O uso de técnicas de células fotovoltaicas para transformar energia solar em eletricidade é considerado uma tecnologia futurista porque usa o sol, uma fonte inesgotável e sustentável (FADIGAS, 2012).

A matriz elétrica brasileira refere-se à composição e diversidade das fontes de geração de energia elétrica utilizadas no Brasil para atender à demanda crescente por eletricidade em diversos setores da economia e na vida cotidiana. O Brasil possui uma matriz elétrica bastante diversificada, composta por diferentes fontes de geração, tais como hidrelétricas, termelétricas, eólicas, solares e nucleares, cada uma com suas particularidades e contribuições para o suprimento energético nacional. A predominância histórica das hidrelétricas, devido ao potencial hídrico abundante, conferiu ao país uma posição de destaque no cenário global de produção de energia limpa e renovável. Nas últimas décadas, houve um esforço significativo para diversificar a matriz elétrica, visando aumentar a participação de fontes alternativas e sustentáveis, como a energia eólica e solar, como parte de uma estratégia para mitigar os impactos ambientais e promover a redução das emissões de gases de efeito estufa.

No Brasil, a marca de 26 GW de potência instalada na fonte solar fotovoltaica, somando as usinas de grande porte e os sistemas de geração própria em telhados, fachadas e pequenos terrenos, corresponde a 11,6% da matriz energética instalada no país (ABSOLAR, 2023). Segundo o “*Global Market Outlook for Solar Power 2022-2026*” o relatório de referência para os avanços do mercado de energia solar no mundo divulgado no ano de 2022, mais de 200 GW deveria ser instalado até o final do ano e, até 2025, alcançará a 2 TW (NEOSOLAR ENERGIA, 2022).

A energia solar fotovoltaica representa uma das tecnologias mais promissoras no amplo campo das energias renováveis, e sua importância tem crescido de forma constante como uma opção sustentável para a geração de eletricidade. No entanto, para avaliar com precisão a eficácia e a qualidade dos sistemas fotovoltaicos, torna-se imperativo empregar indicadores de desempenho que permitam a comparação entre diferentes soluções e a identificação das

alternativas mais vantajosas. A análise desses indicadores de desempenho viabiliza a avaliação do funcionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, considerando variadas configurações e tecnologias, bem como distintos locais de implantação. Isso, por sua vez, possibilita determinar se um sistema fotovoltaico está operando de maneira otimizada ou se pode ser reconfigurado para maximizar sua eficiência (BENEDITO, 2009).

A energia solar fotovoltaica representa uma das tecnologias mais promissoras no campo das energias renováveis, e sua crescente importância na matriz energética mundial é indiscutível. Em consonância com essa tendência global, a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) tem desempenhado um papel significativo ao implementar usinas solares fotovoltaicas como parte de sua estratégia para a geração de energia elétrica sustentável.

1.1. Objetivos

1.1.1. Geral

O objetivo geral desse trabalho é avaliar a produtividade das usinas solares fotovoltaicas da UFERSA por meio da análise do indicador *Final Yield*, buscando compreender o desempenho global desses sistemas de geração de energia.

1.1.2. Específicos

- Realizar um levantamento detalhado das usinas solares fotovoltaicas da UFERSA, incluindo informações sobre capacidade instalada, localização e especificações técnicas.
- Coletar dados de produção de energia ao longo de um período de tempo representativo, registrando variáveis como irradiação solar, temperatura e outras condições ambientais relevantes.
- Calcular o indicador *Final Yield* para cada usina solar fotovoltaica, utilizando a metodologia adequada, a fim de determinar sua eficiência energética.
- Identificar e analisar fatores que afetam a produtividade das usinas, como possíveis falhas técnicas, manutenção inadequada, sombreamento e variações climáticas.
- Comparar os resultados da análise de produtividade entre diferentes usinas solares fotovoltaicas da UFERSA, destacando aquelas que apresentam um desempenho superior e as que podem ser aprimoradas.

- Propor recomendações e estratégias para melhorar a eficiência e a produtividade das usinas solares fotovoltaicas da UFERSA com base nos resultados da análise.

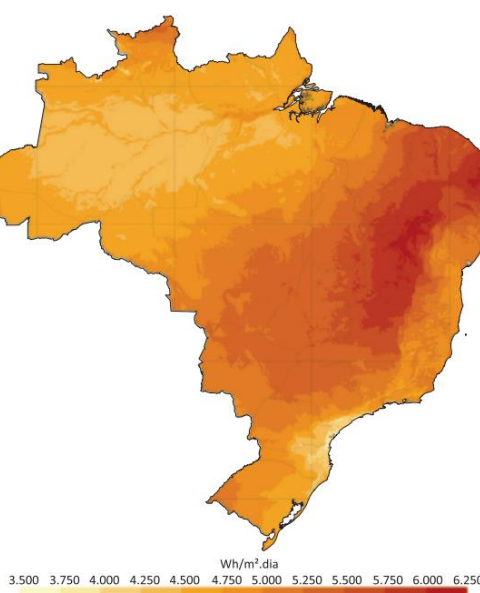
2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ASPECTOS GERAIS

A energia solar fotovoltaica é uma energia renovável que tem recebido crescente atenção e popularidade nos últimos anos. Utiliza a radiação solar para gerar eletricidade de forma limpa e sustentável. Ao converter a luz solar em eletricidade, os painéis fotovoltaicos tornam-se a principal ferramenta nesse processo.

2.1. Energia Solar Fotovoltaica No Brasil

O Sol é uma estrela composta principalmente de hidrogênio e hélio. Ele emite uma quantidade imensa de energia na forma de radiação eletromagnética, incluindo luz visível, raios ultravioletas (UV) e raios infravermelhos (IR). Quando essa radiação solar alcança a Terra, pode ser aproveitada para gerar energia limpa e sustentável. No Brasil, os índices de incidência solar variam muito em cada região. Isso porque o país é extenso e diversificado geograficamente, resultando em relevos, altitudes, latitudes e climas diferentes. Em 2017, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE publicou o Atlas Brasileiro de Energia Solar que dispõe os dados, em termos de valores, médios anuais da irradiação solar no Brasil (Figura 1). Com o estudo do gráfico, pode-se perceber as áreas com maior incidência solar estão localizadas principalmente nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do país.

Figura 1 – Total diário de irradiação no plano inclinado na latitude – média anual.



Fonte: PEREIRA, *et al* (2017).

De acordo com Villalva e Gazoli (2012), a irradiância, também conhecida como irradiação, é a grandeza utilizada para medir a radiação solar, sendo expressa em unidades de W/m^2 (Watt por metro quadrado).

Villalva e Gazoli (2012, p. 45) relata que

A irradiância de 1000 W/m^2 é adotada como padrão na indústria fotovoltaica para a especificação e avaliação de células e módulos fotovoltaicos. Assim como a massa de ar AM1, 5, a irradiância de 1000 W/m^2 é mencionada em praticamente todos os catálogos de fabricantes de dispositivos fotovoltaicos. A medida da irradiância em W/m^2 é muito útil para avaliar a eficiência dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos. Com o valor padrão de 1000 W/m^2 , as eficiências das células e módulos fotovoltaicos de diversos fabricantes podem ser especificadas e comparadas com base numa condição padrão de radiação solar.

A irradiação solar, conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 10899 (2023), é conceituada como a integral da irradiância solar ao longo de um período de tempo especificado, geralmente 1 hora ou um dia. Essa grandeza, simbolizada por "I" quando integrada durante uma hora ou "H" quando integrada ao longo de um dia, é medida em unidades de Watt-hora por metro quadrado ou joules por metro quadrado. A norma ABNT NBR 10899 (2023) define claramente essa importante medida para quantificar a energia solar disponível, fornecendo uma base essencial para estudos e aplicações relacionados à energia solar.

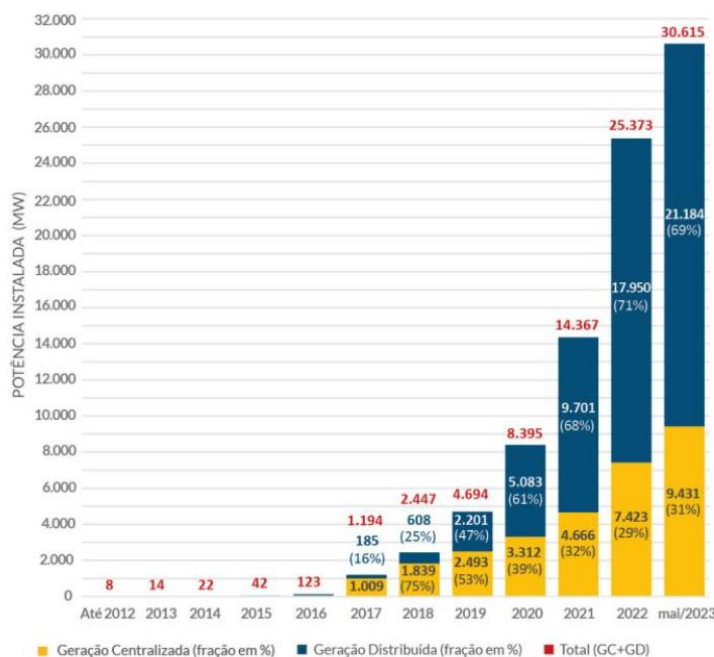
Baseia-se no denominado efeito fotoelétrico, através do qual determinados materiais são capazes de absorver fótons (partículas luminosas) e liberar elétrons, gerando corrente elétrica (IBERDROLA, 2023).

No Brasil, há uma grande diversidade de geração de energia, o que contribui para um sistema energético robusto e sustentável. Além da energia solar, existem outras fontes importantes de geração de energia no país, como também a hídrica, eólica, gás natural, biomassa, etc. A Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL (2023) registrou nos primeiros dias de março que o Brasil ultrapassou a marca de 190 gigawatts (GW) de capacidade instalada centralizada na matriz elétrica para uso de toda a população conectada ao Sistema Interligado Nacional. Ainda de acordo com a ANEEL, 83,44% da geração de energia do país é considerada renovável. A Figura 2 mostra de acordo com os dados da ANEEL e ABSOLAR, a matriz elétrica brasileira.

Figura 2 - Matriz Elétrica Brasileira

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2023

A fonte solar fotovoltaica tem apresentado um crescimento expressivo e promissor no Brasil nas últimas décadas. O país possui um grande potencial solar devido à sua localização geográfica privilegiada, próxima à linha do equador. Desde do ano de 2017, a capacidade da geração de energia solar sofreu ampliação significativa, atingindo a marca de 30,615 MW de potência em maio de 2023. Observa-se um significativo aumento na geração distribuída (representada pelo azul) em comparação à geração centralizada (indicada pelo amarelo). (Figura 3).

Figura 3 - Evolução da Fonte de Solar Fotovoltaica no Brasil

Fonte: Aneel/Absolar, 2023.

Dados da Absolar mostram que em janeiro deste ano, a energia fotovoltaica alcançou um incrível marco, ocupando a segunda posição na matriz elétrica brasileira, ultrapassando a eólica e ficando atrás apenas da fonte hídrica, totalizando 11,2% de representação, com aproximadamente 24 GW de potência instalada.

A energia solar no Brasil tem experimentado um crescimento significativo nos últimos anos, impulsionado por diversos fatores, como a disponibilidade abundante de luz solar em todo o país, a redução nos custos dos sistemas solares e incentivos governamentais.

O território brasileiro, como um todo, possui alto potencial para captação de energia solar. Comparativamente, a região que apresenta a maior disponibilidade energética é a Nordeste, seguidas pelo Centro-Oeste e Sudeste. A região Norte, também bem posicionada nesse sentido, recebe menos incidência solar, por ter características climáticas e geográficas que reduzem o alcance da radiação.

De maneira geral, o número de instalações de energia solar cresceu 95% no Nordeste em 2022, mostram dados da Aneel apurados pelo Portal Solar. A região encerrou o ano com 311 mil sistemas fotovoltaicos na modalidade de geração distribuída (GD). O número de consumidores beneficiados pela tecnologia apresentou avanço de 90%, chegando a 445 mil.

A energia gerada por luz solar é uma energia limpa, que não produz resíduo ou poluição. Com o aumento da demanda por essa forma de energia, torna-se cada vez mais importante avaliar o desempenho das usinas solares fotovoltaicas e determinar a eficiência da

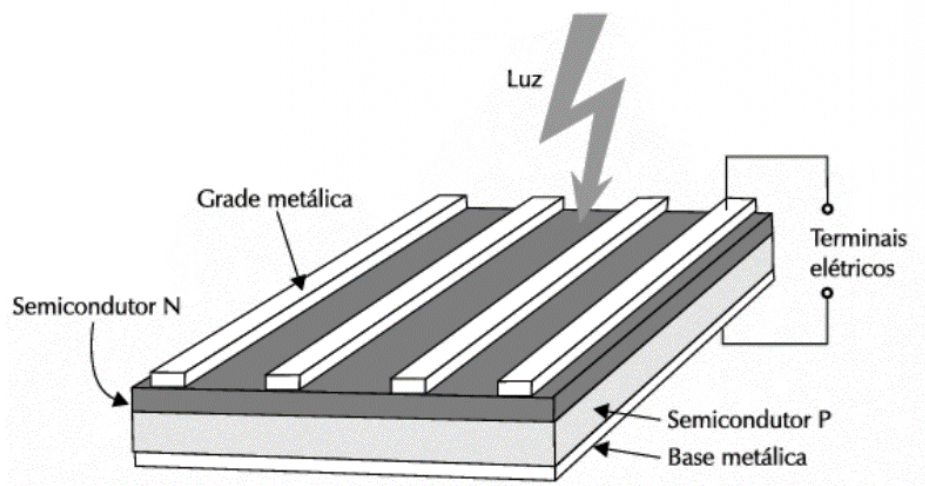
conversão de energia solar em eletricidade (Brandão, 2022). A eficiência das usinas solares fotovoltaicas pode variar significativamente de acordo com diversos fatores, tais como a qualidade dos materiais utilizados na construção dos painéis solares, as condições climáticas locais e a eficiência dos inversores utilizados para converter a energia elétrica produzida em corrente alternada.

2.2. Princípio De Funcionamento

O efeito fotovoltaico é um fenômeno físico que ocorre quando a luz solar incide sobre um material semicondutor, gerando a produção de eletricidade. Esse efeito é a base do funcionamento dos painéis solares fotovoltaicos, que convertem a energia solar em energia elétrica. Foi descoberto por um físico francês chamado Alexandre-Edmond Becquerel em 1839. Esse fenômeno ocorre quando a luz, ou radiação eletromagnética do Sol, incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas.

Na Figura 4 ilustra a estrutura de uma célula composta por duas camadas de material semicondutor P e N.

Figura 4 - Estrutura de uma célula fotovoltaica



Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

As células fotovoltaicas são organizadas em módulos solares, que podem ser instalados em telhados, terrenos ou em outras estruturas para capturar a luz solar. Os módulos solares são conectados em série ou em paralelo para aumentar a voltagem ou a corrente, conforme necessário.

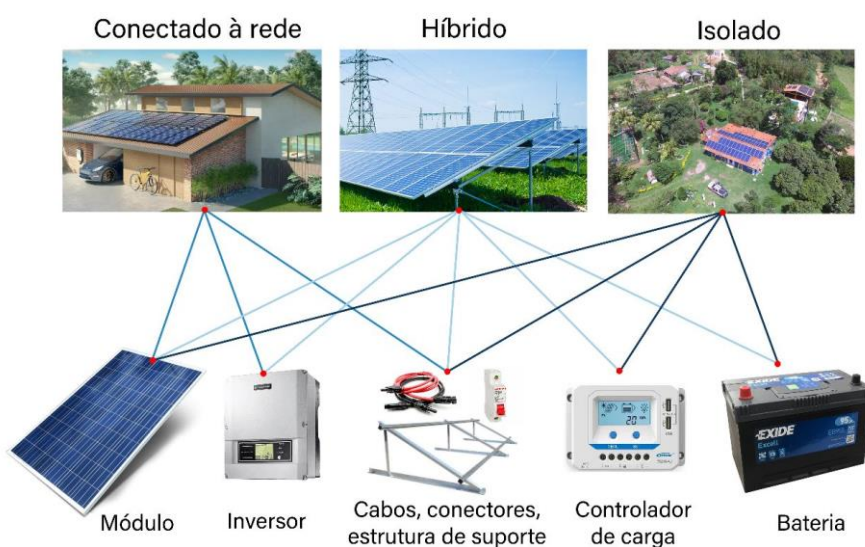
A corrente elétrica produzida pelos módulos solares é sempre do tipo corrente contínua (CC). No entanto, para uso prático em residências, empresas e na rede elétrica convencional, a

corrente contínua precisa ser convertida em corrente alternada (CA) por meio de um inversor solar. O inversor converte a eletricidade gerada pelos painéis solares em CA, que pode ser utilizada para alimentar eletrodomésticos, iluminação, equipamentos eletrônicos e outros dispositivos (GEPEA, 2021).

2.3. Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos oferecem uma variedade de soluções para capturar a energia do sol e convertê-la em eletricidade útil. Existem diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos (Figura 5), incluindo os conectados à rede, os isolados, e os híbridos. Cada um desses sistemas possui características distintas e é projetado para atender a diferentes necessidades, desde a redução da dependência da rede elétrica até o fornecimento de energia em áreas remotas. Esses sistemas são compostos por uma variedade de componentes, como painéis solares, inversores, baterias e sistemas de monitoramento. Esses componentes trabalham em conjunto para garantir a eficiência e a confiabilidade da geração de energia solar. (VIAN *et al*, 2021).

Figura 5 - Tipos de sistema e seus componentes



Fonte: adaptado de Tolmasquim, 2016.

2.3.1. Componentes

- Painel Solar (Módulo Fotovoltaico)

Um painel solar, também conhecido como módulo fotovoltaico, é um dispositivo composto por células fotovoltaicas que convertem a luz solar em eletricidade. Esses painéis são

a base dos sistemas de energia solar, capturando a energia do sol e transformando-a em energia elétrica utilizável.

As células fotovoltaicas são o principal componente dos painéis solares e existem diversas tecnologias disponíveis no mercado. O silício monocristalino é conhecido por sua pureza excepcional, sendo fabricado a partir de um único cristal de silício altamente puro. Possui eficiência de célula entre 14% e 21% e vida útil de aproximadamente 30 anos. O silício policristalino é composto por vários cristais, resultando em um preço mais acessível. Sua eficiência de célula varia entre 13% e 17%, e também possui uma vida útil estimada de 30 anos. As células de filme fino, como CdTe e CIGS, são caracterizadas por sua versatilidade e menor consumo de materiais. As células orgânicas (OPV) utilizam materiais orgânicos, permitindo a fabricação flexível e em larga escala. As células de *perovskita* têm alta eficiência potencial e baixo custo de produção, enquanto as células também são compostas por múltiplas camadas de semicondutores para absorção de uma ampla faixa de comprimentos de onda. Os avanços tecnológicos estão focados em aumentar a eficiência, melhorar a estabilidade e reduzir os custos de produção das células fotovoltaicas (SOLAR INOVE, 2021).

- Inversor

É responsável por converter a corrente contínua (CC) produzida pelos painéis solares em corrente alternada (CA), que é a forma utilizada na maioria das residências. Os sistemas FV que interagem com a rede precisam de inversores capazes de interagir com a rede de distribuição de energia elétrica (BALFOUR; SHAW; NASH, 2019).

- Baterias

Em sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia, as baterias são usadas para armazenar a eletricidade produzida pelos painéis solares para uso posterior, quando não há luz solar suficiente disponível.

As baterias para uso fotovoltaico costumam ser de chumbo-ácido ou de níquel-cádmio. As baterias de níquel-cádmio suportam descargas maiores e tem maior vida-útil, mas seu alto custo e baixa disponibilidade as tornam viáveis em sistemas muito específicos que necessitam de alta confiabilidade.

- Cabos e Conectores

Inclui cabos, conectores e disjuntores que interligam todos os componentes do sistema, permitindo o fluxo de eletricidade entre eles de forma segura e eficiente.

- Sistema de Monitoramento

Em um sistema fotovoltaico é uma parte importante para acompanhar o desempenho, a eficiência e a produção de energia ao longo do tempo. Ele permite aos proprietários ou operadores do sistema obter informações detalhadas sobre a geração de energia, identificar problemas ou falhas no sistema e tomar medidas corretivas.

- Estrutura de Suporte

É o sistema de montagem que mantém os painéis solares em posição e os protege contra condições climáticas adversas. Pode ser uma estrutura fixa no solo, um sistema de montagem em telhado ou outros tipos de estruturas.

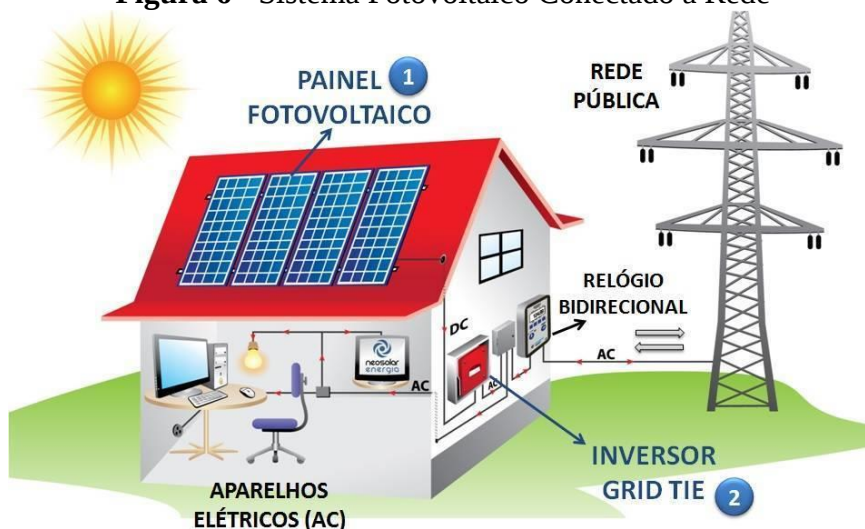
- Disjuntores e Dispositivo de Proteção

São componentes importantes em um sistema fotovoltaico para garantir a segurança elétrica e proteger os equipamentos. Os disjuntores são dispositivos de proteção elétrica que desligam automaticamente a corrente elétrica em caso de sobrecarga ou curto-circuito. Eles são instalados em locais estratégicos do sistema fotovoltaico, como na caixa de junção dos painéis solares, no inversor e no painel de distribuição elétrica. Os surtos de tensão, como descargas atmosféricas ou flutuações na rede elétrica, podem danificar os componentes eletrônicos do sistema fotovoltaico. Os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) são projetados para desviar esses surtos de tensão para a terra, protegendo assim os equipamentos. Eles são instalados no painel de distribuição elétrica ou próximos aos equipamentos sensíveis, como o inversor.

2.3.2. Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede (Sfcr)

É tido que os módulos fotovoltaicos são unidades básicas estruturadas por um complexo de células fotovoltaicas, que estão relacionadas eletricamente e encapsuladas, tendo como objetivo a geração de energia elétrica (NBR 10899, 2013).

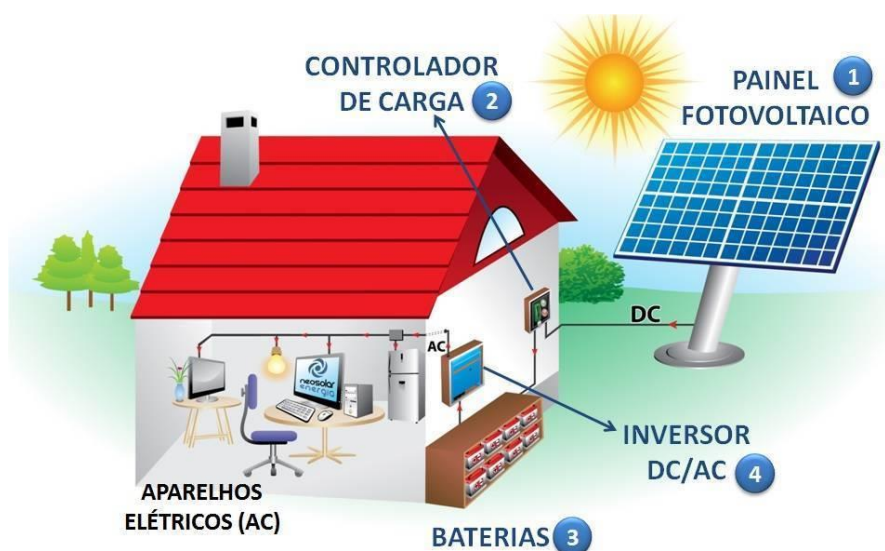
Os sistemas conectados à rede, eles estão conectados à rede elétrica pública e usam os painéis solares para gerar eletricidade que é enviada diretamente para a rede. Esses sistemas não armazenam energia, mas aproveitam a eletricidade da rede quando a demanda é maior do que a produção solar. Por outro lado, quando a produção solar excede a demanda, o excesso de eletricidade é enviado de volta à rede, muitas vezes resultando em créditos de energia, como ilustrado na figura 6.

Figura 6 - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Fonte: NEOSOLAR ENERGIA, 2023

2.3.3. Sistema Fotovoltaico Isolado (Off Grid)

O sistema isolado ou autônomos, são usados em áreas remotas onde não há acesso à rede elétrica pública. Esses sistemas são independentes e não estão conectados à rede. Eles são compostos por painéis solares, baterias e um sistema de controle de carga. A eletricidade gerada pelos painéis solares é armazenada nas baterias e usada para alimentar equipamentos e dispositivos diretamente, a figura 7 ilustra como é feito esse processo.

Figura 7 - Sistemas Isolados (Off Grid)

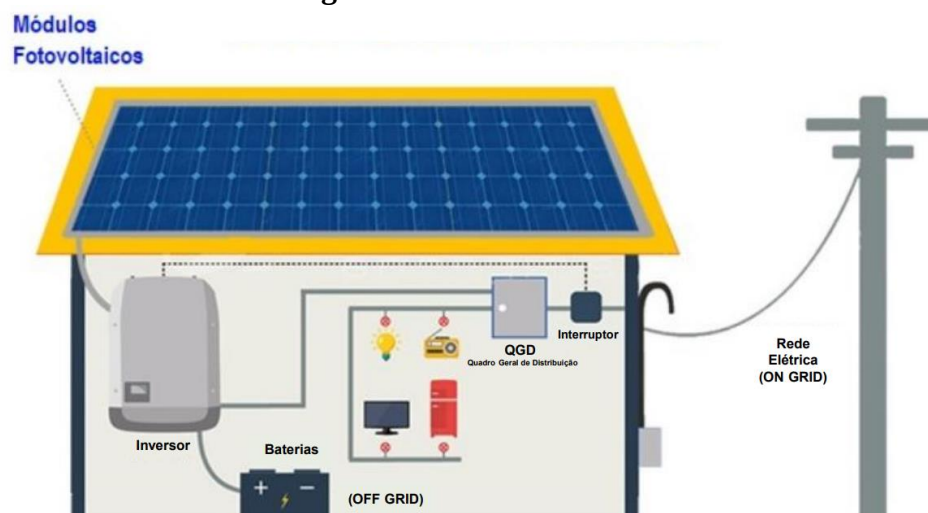
Fonte: NEOSOLAR ENERGIA, 2023

O excedente de eletricidade gerada pelos painéis solares pode ser armazenado em baterias para uso durante a noite ou em dias nublados. Além disso, quando um sistema de energia solar está conectado à rede elétrica convencional, o excesso de eletricidade pode ser injetado de volta na rede, permitindo que os proprietários de sistemas solares recebam créditos ou compensações pela eletricidade gerada.

2.3.4. Sistema Fotovoltaico Híbrido

Os sistemas fotovoltaicos híbridos combinam energia solar com outras fontes de energia, como geradores a diesel ou turbinas eólicas. Esses sistemas são projetados para aumentar a confiabilidade e a eficiência energética. A energia solar é usada como a principal fonte de energia, mas outras fontes são usadas como backup em caso de baixa produção solar ou alta demanda, como mostra na Figura 8.

Figura 8 - Sistema Híbrido



Fonte: Oca Energia, 2021.

2.4. Tipos De Usinas Fotovoltaicas

Diversos tipos de usinas fotovoltaicas têm surgido para atender às diferentes demandas e contextos. As usinas fotovoltaicas de solo, de telhado e flutuantes representam diferentes abordagens para a geração de energia solar, cada uma adaptada às condições e necessidades específicas do local. Em conjunto, esses tipos de usinas fotovoltaicas desempenham um papel crucial na transição para um futuro energético mais sustentável e resiliente.

2.4.1. Sistema Fotovoltaico De Solo

As usinas de solo, também conhecidas como usinas solares terrestres, são instalações de energia solar fotovoltaica em grande escala que são construídas em áreas abertas de terra, em oposição a serem instaladas em telhados ou estruturas existentes. As usinas de solo são projetadas para maximizar a geração de energia, geralmente por meio do uso de estruturas de montagem que permitem que os painéis solares sejam inclinados em um ângulo ótimo para capturar a maior quantidade possível de radiação solar (Figura 9). Essas estruturas podem ser fixas ou de rastreamento solar, permitindo que os painéis sigam o movimento do sol ao longo do dia para otimizar a produção de energia.

Figura 9 - Usina de solo



Fonte: DURASOL ENERGY, 2023.

2.4.2. Sistema Fotovoltaico De Telhado

Uma usina de telhado, também conhecida como sistema solar fotovoltaico de telhado (Figura 10), é uma instalação de geração de energia solar que é montada diretamente no telhado de edifícios ou estruturas existentes. Esses sistemas são projetados para aproveitar o espaço disponível nos telhados para a instalação de painéis solares e a produção de eletricidade a partir da energia solar. Os sistemas fotovoltaicos de telhado podem ser divididos em duas categorias principais: sistemas fotovoltaicos de telhado inclinado e sistemas fotovoltaicos de telhado plano.

Figura 10 - Usina de telhado



Fonte: UFERSA, 2023.

2.4.2.1. Sistemas Fotovoltaicos De Telhado Inclinado

Esses sistemas são instalados em telhados inclinados, comumente encontrados em casas e edifícios residenciais. Os painéis solares são montados em suportes ou estruturas fixas que são fixados diretamente no telhado inclinado. Eles são posicionados de maneira a capturar a maior quantidade possível de luz solar ao longo do dia. Esses sistemas podem ser facilmente integrados à arquitetura do edifício e geralmente requerem menos espaço disponível em comparação com sistemas de telhado plano.

2.4.2.2. Sistemas Fotovoltaicos De Telhado Plano

Esses sistemas são instalados em telhados planos ou levemente inclinados, comuns em edifícios comerciais e industriais. Os painéis solares são montados em estruturas fixas ou em suportes ajustáveis que permitem o rastreamento solar para maximizar a captura de luz solar. Esses sistemas podem ser dimensionados para atender às necessidades de consumo de energia do edifício e são frequentemente utilizados para reduzir a dependência da rede elétrica e os custos de energia.

2.4.3. Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes

Essas usinas estão localizadas em corpos d'água, como lagos, reservatórios e lagoas (Figura 11). Os painéis solares são montados em plataformas flutuantes, aproveitando a

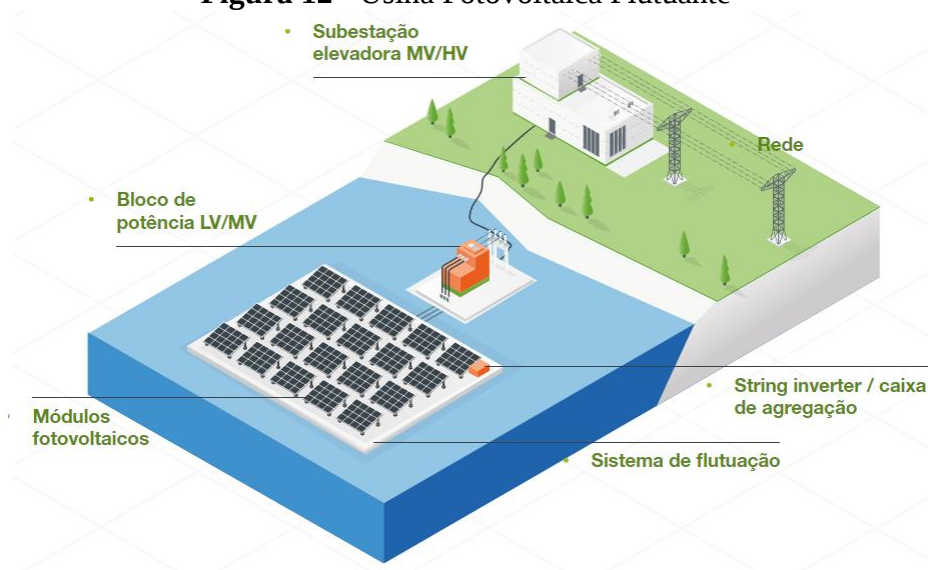
superfície da água. As usinas solares flutuantes têm vantagens, como redução da evaporação da água e resfriamento dos painéis solares devido à proximidade com a água (Figura 12), o que pode aumentar a eficiência da geração. Além disso, a utilização de áreas aquáticas para a instalação de sistemas fotovoltaicos ajuda a otimizar o uso do espaço e a mitigar os desafios de terra (IBERDROLA, 2023).

Figura 11 - Usina Fotovoltaica Flutuante



Fonte: IBERDROLA, 2023

Figura 12 - Usina Fotovoltaica Flutuante



Fonte: IBERDROLA, 2023

2.5. Normativos

No país, a geração de energia fotovoltaica é classificada em três principais grupos: microgeração, minigeração e centrais geradoras com potência superior a 5 MW. A microgeração distribuída é caracterizada por ter uma potência igual ou inferior a 75 kW, enquanto a minigeração distribuída abrange centrais geradoras com potência superior a 75 kW, porém até 5 MW. Já as centrais geradoras com potência superior a 5 MW não são mais consideradas de geração distribuída, sendo classificadas como centralizadas de acordo com as normativas estabelecidas pela ANEEL.

Dentre as principais regulamentações que delinearão esse cenário e orientaram o desenvolvimento das instalações solares no país, destacam-se a Resolução Normativa nº 482/2012, a Resolução Normativa nº 687/2015 e a Resolução Normativa nº 800/2017. Cada uma dessas resoluções desempenha um papel fundamental ao estabelecer diretrizes, incentivos e procedimentos que alavancaram a adoção da energia solar fotovoltaica em diferentes contextos e escalas.

- Resolução Normativa nº 482/2012: Estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída de energia elétrica, incluindo a geração solar fotovoltaica. Essa resolução permite que os consumidores instalem sistemas de geração de energia solar em suas residências ou estabelecimentos e possam injetar o excedente na rede elétrica, recebendo créditos de energia.
- Resolução Normativa nº 687/2015: Estabelece os procedimentos para a compensação de energia elétrica entre unidades consumidoras e a distribuidora, no âmbito do micro e minigeração distribuída. Essa resolução estabelece regras para a contabilização e compensação da energia produzida pelos sistemas solares fotovoltaicos, permitindo que os consumidores utilizem os créditos de energia gerados em momentos de menor geração.
- Resolução Normativa nº 800/2017: Estabelece as condições para a adesão de consumidores ao sistema de compensação de energia elétrica e atualiza as regras estabelecidas na Resolução Normativa nº 482/2012. Essa resolução traz alterações e aprimoramentos nas regras para a instalação de sistemas de geração distribuída, incluindo a energia solar.

2.6. Usinas Fotovoltaicas Da Ufersa

A primeira Usina Solar da Ufersa entrou em operação em 2012. Com potência de 3,43 kWp, a usina está instalada ao lado do Centro Integrado de Inovação Tecnológica do Semiárido (CITED) e tem o objetivo principal de dar suporte a pesquisas em energia fotovoltaica. Em 2016 foi instalada a primeira Usina Solar para fins de produção. Com potência de 150,8 kWp, esta usina foi adquirida com recursos de uma premiação recebida pela participação da Ufersa no Projeto Desafio da Sustentabilidade, promovido pelo Ministério da Educação (Ufersa, 2017).

Com os recursos recebidos do MEC a construção da Usina foi contratada ao custo de R\$ 938 mil, por meio de licitação realizada pela Fundação Guimarães Duque, excluídos deste valor os custos de preparação da área, como terraplenagem e cobertura do solo com brita e a construção do abrigo dos inversores, itens que foram executados pela Ufersa. A sua inauguração ocorreu em 31 de janeiro de 2017 (Ufersa, 2017).

No primeiro semestre de 2018 foram adquiridas mais três usinas solares, para instalação em de solo, cada uma com capacidade de 62,7 kWp, que foram instaladas nos campi de Angicos, Caraúbas e Pau dos Ferros. Neste mesmo período também foi instalada a primeira usina em telhado, com potência de 15,6 kWp, localizada no Laboratório de Engenharia I, no Campus Leste da Ufersa, em Mossoró. Em março de 2019 foi instalada a maior usina de telhado, com 147 kWp, no novo Complexo das Engenharias, do Centro de Engenharias (CE), campus Leste, em Mossoró.

O sistema de geração fotovoltaica da Ufersa tem aproximadamente 5.700 placas fotovoltaicas e 90 inversores, que produzem cerca de 60% da necessidade de energia elétrica dos quatro campi. A Figura 13 mostra uma visão concreta desses avanços inovadores, uma ilustração detalhada das usinas fotovoltaicas em seus campi.

Figura 13 - Usinas UFERSA



Fonte: adaptado de Ufersa (2017)

3. ÍNDICES DE MÉRITO

Um índice de desempenho é uma medida quantitativa que avalia o desempenho, a eficiência ou a qualidade de algo em relação a um conjunto de diretrizes ou padrões estabelecidos. Índice de mérito ou índice de desempenho é um parâmetro que caracteriza um material ou dispositivo quanto ao seu desempenho de conversão de energia (FUSANO, 2013).

A proposta desses índices pela *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programm* (IEA-PVPS) tem contribuído para o desenvolvimento de métodos de cálculo aplicáveis a todas as tecnologias de sistemas fotovoltaicos. Esses métodos de cálculo possibilitam uma avaliação objetiva e consistente do desempenho dos sistemas fotovoltaicos, permitindo comparar o desempenho de diferentes tecnologias e identificar possíveis melhorias.

Os índices de mérito técnico de um sistema fotovoltaico conectado à rede apresentam índices de energia, eficiência, produtividade, desempenho e perdas (RAMPINELLI, 2010).

3.1. Fator De Capacidade

O fator de capacidade é um índice que mede a capacidade real de geração de energia de uma usina ou sistema de energia ao longo de um período específico, em relação à sua capacidade máxima teórica. É comumente utilizado em usinas de energia elétrica, como usinas nucleares, eólicas, solares e hidrelétricas.

A Equação (1) apresenta de forma clara a relação entre duas medidas essenciais: a energia efetivamente gerada e entregue ao sistema e a energia que seria produzida caso o sistema operasse continuamente a potência nominal durante 100% do tempo. Através deste índice, é possível quantificar a eficiência real do sistema em relação ao seu potencial máximo de geração de energia, considerando as flutuações temporais de radiação solar e outros fatores que afetam a operação do sistema (BENEDITO, 2009).

$$C_F = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_N * T} \quad (1)$$

Em que:

$P(t)$ é a potência entregue pelo sistema no instante t , em kW;

P_N é a potência nominal do sistema, em kW;

T é o período de integração (geralmente um ano, 8.760 horas).

3.2. Produtividade

A produtividade, também conhecida como *Final Yield*, é um índice que mensura a quantidade de produção ou trabalho realizado durante um período de tempo, considerando os recursos utilizados ou uma unidade de medida específica. Na esfera da energia, o rendimento pode referir-se à quantidade de energia elétrica gerada por um sistema ao longo do tempo. Este indicador é vital para avaliar o desempenho e a eficácia de sistemas de geração de energia.

Os fatores que afetam a eficiência de um sistema de energia são diversos, como a disponibilidade de recursos energéticos, a eficácia das tecnologias empregadas, as condições ambientais e mesmo a operação e manutenção adequadas do sistema. Aspectos como perdas devido a problemas técnicos, degradação dos componentes ao longo do tempo, flutuações sazonais ou climáticas, entre outros, devem ser considerados.

A análise do rendimento ao longo do tempo possibilita a avaliação da eficiência operacional do sistema, a identificação de potenciais problemas de desempenho, a comparação entre diferentes sistemas ou tecnologias e a implementação de medidas corretivas para otimizar a geração de energia. Ademais, a eficiência é um indicador-chave para a viabilidade econômica de um projeto de energia, pois está diretamente ligada à quantidade de energia elétrica que pode ser comercializada ou usada para atender à demanda.

A avaliação do *Yield* de uma usina solar, conforme apresentado na equação (2), reflete a relação intrínseca entre duas grandezas cruciais: a energia gerada, medida em quilowatt-hora (kWh), e a potência instalada, expressa em quilowatts-pico (kWp). A fórmula destaca a integral da potência entregue ao sistema ao longo de um período anual de operação, em relação à potência instalada de cada módulo fotovoltaico (Urbanetz; Casagrande; Tiepolo, 2014a).

$$Y_F = \frac{\int_0^T P(t)dt}{P_n} \quad (2)$$

Em que,

$P(t)$ = potência entregue pelo sistema no instante t , (KW);

P_n = potência nominal do painel solar, (KWp);

T = período de integração em número de dias equivalente ao tempo analisado.

Para avaliar a eficiência de um sistema energético, dispomos de uma equação que se mostra bastante útil. Essa equação é uma ferramenta valiosa que permite calcular a relação entre

a energia gerada pelo sistema e sua potência. Pode-se medir o rendimento do sistema ao dividir a energia gerada pela potência que ele é capaz de fornecer.

$$Y = \frac{\text{Energia Gerada (kWh)}}{\text{Potência FV (kWp)}} \quad (3)$$

3.3. Taxa de Desempenho ou *Performance ratio* (PR)

A *performance ratio* (PR), ou índice de desempenho, é um índice amplamente utilizado na indústria solar para avaliar a eficiência de sistemas fotovoltaicos. Ele relaciona a energia elétrica efetivamente produzida pelo sistema com a energia solar disponível incidente nos painéis solares.

A proporção de desempenho (PR) pode ser conceituada como a proporção entre a eficácia efetiva do sistema e a eficácia máxima teórica viável, expressa em termos percentuais.

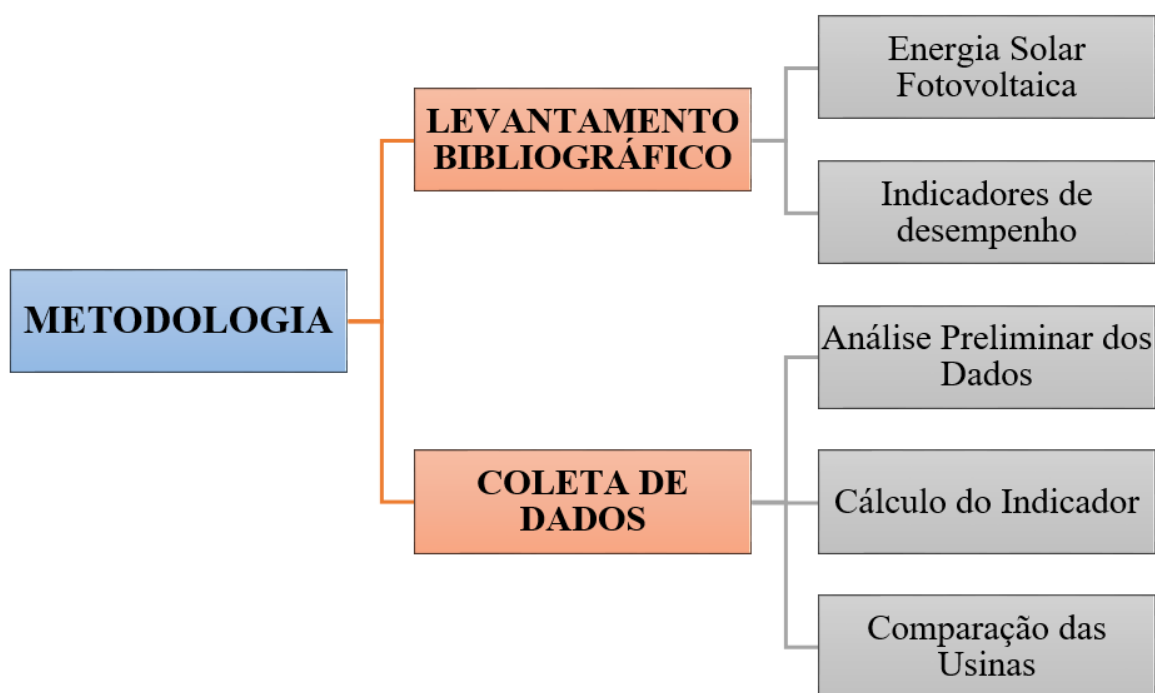
O PR é a relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de sol a 1.000W/m² incidindo no painel FV, frequentemente associada a um ano de operação, isto é, a proporção de desempenho anual, embora a proporção de desempenho mensal também possa ser considerada. Essa medida é expressa como porcentagem. A Equação (4) ilustra essa medida em questão (URBANETZ; CASAGRANDE; TIEPOLO, 2014a).

$$PR = \frac{\text{Yield}}{\text{Irradiação}/1000} (\%) \quad (4)$$

4. METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo foi subdividida em duas etapas distintas. A primeira fase consistiu na revisão bibliográfica, destinada a aprofundar o entendimento sobre o funcionamento de sistemas fotovoltaicos e os métodos para avaliar a produtividade de usinas solares. Na segunda etapa, procedeu-se à coleta de dados, foi realizado os cálculos necessários para determinar o indicador *Final Yield* e conduziu-se uma análise comparativa para identificar qual das usinas obteve um desempenho superior em termos de produtividade. O esquema dos processos conduzidos na metodologia deste estudo é apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A primeira etapa da pesquisa consistiu em uma revisão bibliográfica extensa, na qual foram estudados artigos científicos, livros e outras fontes acadêmicas relacionadas à energia solar fotovoltaica, indicadores de desempenho, e estudos de caso semelhantes. Essa revisão bibliográfica teve como objetivo aprofundar o conhecimento sobre o tema, identificar as melhores práticas na análise de produtividade de usinas solares fotovoltaicas e desenvolver hipóteses iniciais.

Na segunda parte da pesquisa, os dados necessários para a análise foram coletados diretamente do site da UFERSA. Esses dados incluíram informações sobre a geração de energia

e a potência de pico de cada usina solar fotovoltaica localizada nos diversos campi da UFERSA. A coleta de dados envolveu os seguintes passos:

- Acesso ao site da UFERSA (www.ufersa.edu.br) e localização das informações relevantes sobre as usinas solares fotovoltaicas.
- Registro e organização dos dados de geração de energia e potência de pico de cada usina, considerando a sua localização no campus da UFERSA.
- Contatos foram estabelecidos com os responsáveis pelas usinas, a fim de esclarecer eventuais dúvidas e obter informações adicionais.
- Utilizou-se técnicas de interpolação para estimar dados faltantes ou corrigir aqueles com alguma imprecisão. Como resultado, a integridade e a precisão das análises foram melhoradas.

Para calcular o Indicador *Final Yield* de cada usina solar fotovoltaica, utilizou-se a Equação 2, conforme mencionado. O cálculo do *Yield* foi realizado para cada usina individualmente, considerando os dados coletados na etapa anterior.

Após o cálculo do Indicador *Final Yield* para cada usina solar fotovoltaica, os resultados foram analisados de duas maneiras:

- Análise Individual de Usinas por Campus:

Foi realizada uma análise detalhada das usinas solares fotovoltaicas em cada campus da UFERSA, comparando os *Yield* de cada uma. Isso permitiu identificar a usina mais produtiva em cada campus.

- Identificação da Usina com maior produtividade no campus:

Foram comparados os *Yield* de todas as usinas dos diferentes campi da UFERSA para determinar qual delas apresentava a maior produtividade global.

Após a análise dos resultados, as descobertas foram contextualizadas à luz da revisão bibliográfica realizada na fase inicial da pesquisa. As conclusões foram extraídas por meio da análise comparativa das usinas e da interpretação dos resultados do Indicador *Final Yield*. Estas conclusões foram instrumentalizadas para abordar as hipóteses iniciais e enriquecer a compreensão da produtividade das usinas solares fotovoltaicas da UFERSA.

5. ANÁLISE DE DADOS

A avaliação da produtividade das usinas solares fotovoltaicas representa um aspecto crucial na análise e melhoria da eficiência dos sistemas de geração de energia. Nesse contexto, o presente estudo tem como foco a análise detalhada das usinas solares fotovoltaicas localizadas na UFERSA, com uma atenção especial dada à aplicação do indicador de desempenho denominado *Final Yield*. As análises neste tópico serão segmentadas por campus da universidade, fornecendo uma análise detalhada de cada usina, com suas particularidades. Cabe ressaltar que o campus de Pau dos Ferros não será objeto de análise individual devido à ausência de outras usinas para fins de comparação.

5.1. Análises por campus

Inicialmente, a análise dos dados foi realizada por campus, sendo cada um submetido a uma avaliação individualizada para identificar a usina fotovoltaica com a maior produtividade.

5.1.1. Campus Caraúbas

O processo de avaliação começou no campus de Caraúbas, que conta com um total de cinco instalações de energia fotovoltaica, sendo uma instalada em solo e as outras quatro em telhados. Os dados dessas instalações são apresentados na Tabela 1. A análise do Gráfico 1, que fornece uma interpretação dos dados incluídos nas tabelas constantes do Apêndice A, foi realizada para fornecer uma representação visual das informações.

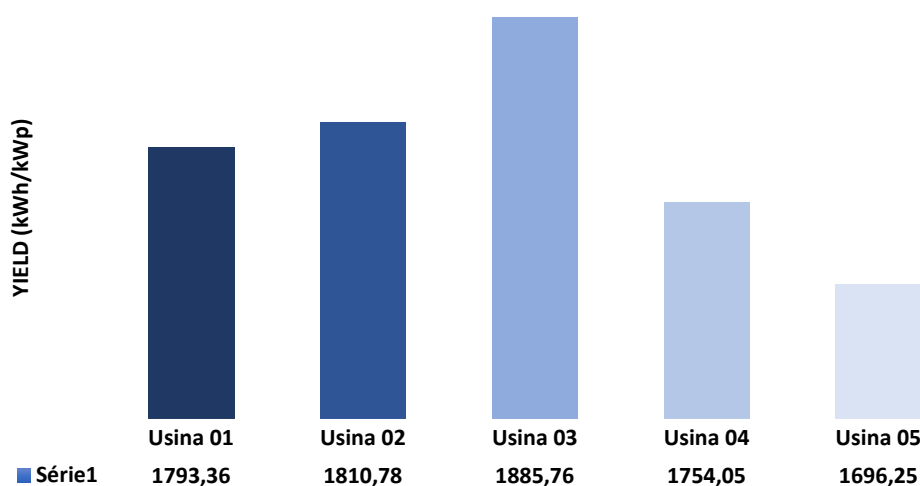
Tabela 1 - Dados das usinas campus Caraúbas

	Ano de instalação	Tipo de instalação	Fabricante e modelo dos módulos	Fabricante e modelo dos inversores
<i>Usina 1</i>	2018	Solo	Trina Solar DUOMAX Dual Glass 72-Cell module 330W	SMA Sunny Tripower 25000TL (02 unid.) + 15000TL (01 unid.)
<i>Usina 2</i>	2021	Telhado	HELIO ENERGY HMF144M6-465HL	GROWATT MID 33KTL3-X
<i>Usina 3</i>	2021	Telhado	HELIO ENERGY HMF144M6-465HL	GROWATT MID 33KTL3-X
<i>Usina 4</i>	2021	Telhado	TRINA TSM-DE15M (II) 410W	GROWATT MID 25KTL3-X

Usina 5	2021	Telhado	TRINA SOLAR TSM-DE15M (II) 41OW	GROWATT MID 25KTL3-X
---------	------	---------	---------------------------------	----------------------

Fonte: Autoria Própria, 2023

Gráfico 1 - Yield das usinas campus Caraúbas



Fonte: Autoria Própria, 2023.

O Gráfico 1 exibe a produtividade do sistema (YF) das usinas localizadas no campus de Caraúbas durante o ano de 2022. É imediatamente evidente que a usina 03 se destacou como a mais eficiente em termos de produção de energia. É notável que as Usinas 02 e 03 compartilham semelhanças em suas características, sendo a localização geográfica a principal distinção entre elas. No entanto, é importante notar que ao examinar a diferença de produtividade entre estas duas instalações, atribuindo a diferença apenas na variação latitudinal e, como resultado, na quantidade de radiação solar incidente, pode não ser a abordagem mais apropriada para explicar as diferenças observadas.

Além dessa diferença de latitude, outros fatores podem contribuir para a disparidade na produtividade entre essas instalações. Por exemplo, a frequência de manutenção pode variar entre elas, com a possibilidade de a usina 03 receber manutenção mais eficaz e regular do que a usina 02. Essa manutenção adequada pode garantir o bom funcionamento dos painéis solares e a eficiência do sistema.

Além disso, é importante considerar a possibilidade de alguns módulos solares na instalação 02 estarem desativados ou operando abaixo de sua capacidade. Problemas como pane nos painéis solares, inversores defeituosos ou outras questões técnicas podem afetar adversamente o desempenho da instalação 02. No entanto, é crucial enfatizar a importância da

inspeção e manutenção regulares de qualquer sistema fotovoltaico. Essas verificações periódicas são essenciais para garantir um desempenho eficiente e minimizar ao máximo a ocorrência de problemas e falhas que possam afetá-lo (Vieira, 2022).

5.1.2. *Campus Angicos*

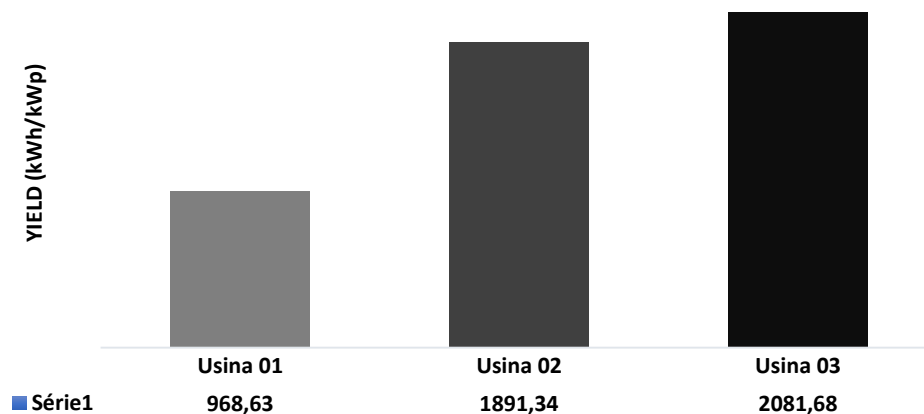
Investigou-se o desempenho do segundo campus avaliado, localizado em Angicos. Este campus abriga um conjunto de cinco usinas solares fotovoltaicas, das quais uma está instalada no solo e quatro estão localizadas em telhados. Os dados relativos a essas usinas estão documentados na Tabela 2. Contudo, é importante observar que, entre as cinco usinas, apenas três delas, nomeadamente 01, 02 e 03, dispõem de dados completos para análise. As duas usinas restantes entraram em operação apenas a partir de novembro de 2022.

Com o objetivo de fornecer uma visão abrangente sobre o desempenho das usinas atualmente em funcionamento, optamos por apresentar uma representação visual dos dados contidos na Tabela 2. Esta representação gráfica pode ser encontrada no Gráfico 2, que está disponível como anexo no Apêndice A.

Tabela 2 – Dados usinas campus Angicos

	Ano de instalação	Tipo de instalação	Fabricante e modelo dos módulos	Fabricante e modelo dos inversores
<i>Usina 1</i>	2018	Solo	Trina Solar DUOMAX Dual Glass 72-Cell module 330W	SMA Sunny Tripower 25000TL (02 unid.) + 15000TL (01 unid.)
<i>Usina 2</i>	2021	Telhado	CANADIAN SOLAR CS3W 450MS	GROWATT MID 33KTL3-X
<i>Usina 3</i>	2021	Telhado	CANADIAN SOLAR CS3W 450MS	GROWATT MID 33KTL3-X

Fonte: Autoria Própria, 2023

Gráfico 2 - Yield das usinas campus Angicos

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Através do Gráfico 2, torna-se evidente que a Usina 01 apresenta a menor taxa de produtividade. Esta usina é caracterizada por estar localizada em solo, em contraste com a usina 02. Além disso, é importante notar que a usina 01 é a mais antiga das duas, tendo sido instalada em setembro de 2018. Essa longevidade pode ter levado ao acúmulo de poeira, o que pode impactar negativamente sua eficiência.

Ao examinar os dados apresentados na Tabela 02, que compreende informações relevantes, observa-se que os fabricantes de painéis fotovoltaicos frequentemente atualizam suas tecnologias, especialmente em relação à potência máxima dos módulos. Essa variação na potência máxima pode ter um impacto direto na eficácia das usinas solares fotovoltaicas. Módulos com maior potência máxima têm a capacidade de gerar mais energia em condições ideais de irradiação solar. Portanto, sob níveis equivalentes de luz solar, um módulo mais potente tem o potencial de produzir mais eletricidade do que um módulo com menor potência.

É notável que a usina 03 apresenta um desempenho superior à 02, apesar de ambas compartilharem características semelhantes em termos de geradores e inversores, e terem sido instaladas no mesmo ano, em 2021. Diversos fatores podem influenciar a disparidade de eficácia entre essas duas usinas. Analisando os dados do apêndice A, observou-se que, em termos gerais, os meses se assemelham muito em ambas as usinas. A exceção é percebida nos meses de setembro e outubro, sugerindo possíveis manutenções nas placas da usina 2, ao passo que a usina 3 alcançou seu desempenho máximo no ano. Portanto, é plausível considerar que as duas usinas são bastante similares.

5.1.3. Campus Mossoró

O campus Mossoró foi o terceiro a ser submetido à análise, com um total de dezesseis usinas solares fotovoltaicas, das quais duas estão localizadas em solo e quatorze em telhados. No entanto, é relevante destacar que três dessas usinas têm registros incompletos ou apresentam lacunas em suas informações. A Usina 01, sendo a mais antiga, instalada em 2012, não dispõe de um sistema de comunicação para seus inversores. Além disso, as Usinas 15 e 16 foram implantadas somente no mês de junho de 2022.

Para uma análise mais abrangente da produtividade das usinas atualmente em operação, o Gráfico 3 oferece uma representação visual dos dados contidos na tabela disponível no Apêndice A.

Tabela 3 - Dados usinas campus Mossoró

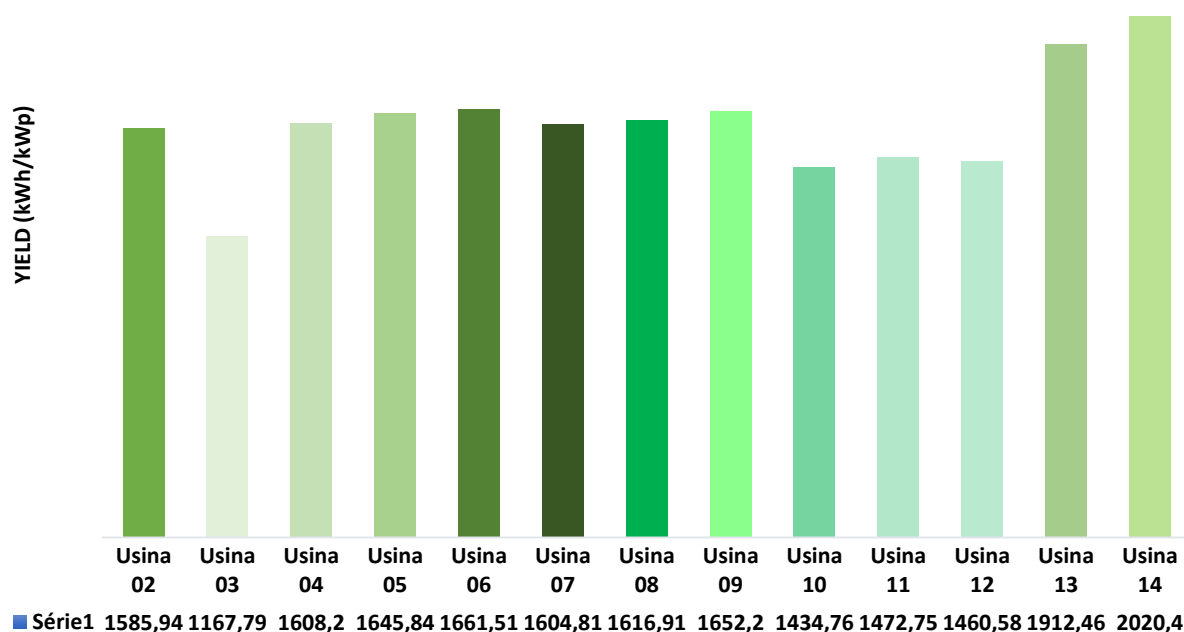
	Ano de instalação	Tipo de instalação	Fabricante e modelo dos módulos	Fabricante e modelo dos inversores
<i>Usina 2</i>	2016	Solo	Canadian Solar CS6P-260P-SD	Ginlong SOLIS-15K
<i>Usina 3</i>	2018	Telhado	Canadian Solar CS6U-48	ABB PVI 10 TL OUTD
<i>Usina 4</i>	2019	Telhado	GCL-P6/72H	WEG SIW500H-ST36
<i>Usina 5</i>	2020	Telhado	Astroenergy AstroSemi CHSM72M-HC	WEG SIW500H-ST020
<i>Usina 6</i>	2020	Telhado	Astroenergy AstroSemi CHSM72M-HC	WEG SIW500H-ST020
<i>Usina 7</i>	2020	Telhado	TRINASOLAR TSM-DE15M (II)	WEG SIW500H-ST020
<i>Usina 8</i>	2020	Telhado	TRINASOLAR TSM-DE15M (II)	WEG SIW500H-ST020
<i>Usina 9</i>	2020	Telhado	TRINASOLAR TSM-DE15M (II)	WEG SIW500H-ST020
<i>Usina 10</i>	2020	Telhado	Astroenergy AstroSemi CHSM72M-HC	WEG SIW500H-ST020
<i>Usina 11</i>	2020	Telhado	Astroenergy AstroSemi CHSM72M-HC	WEG SIW500H-ST020
<i>Usina 12</i>	2020	Telhado	TRINASOLAR TSM-DE15M (II)	WEG SIW500H-ST020
<i>Usina 13</i>	2021	Telhado	CANADIAN SOLAR CS3W 450MS	GROWATT MID 33KTL3-X
<i>Usina 14</i>	2021	Telhado	DAH SOLAR DHM-72L9/BF 450W	GROWATT MID 33KTL3-X

Fonte: Autoria Própria, 2023

Na análise dos dados coletados na Tabela 3, a qual fornece informações detalhadas sobre as usinas solares em estudo, incluindo o ano de instalação, o tipo de instalação

(solo/telhado) e os fabricantes e modelos dos módulos e inversores, é possível identificar fatores determinantes para a avaliação da produtividade dessas usinas. Os dados constantes nessa tabela desempenham um papel fundamental na análise, permitindo uma compreensão abrangente das características individuais de cada instalação e sua possível influência nos resultados do desempenho.

Gráfico 3 - Yield das usinas campus Mossoró



Fonte: Autoria Própria, 2023

A análise do Gráfico 3 revelou uma usina solar notável, destacando-se como a mais produtiva entre as amostras analisadas. A Usina 14 se destacou, não apenas por sua produtividade excepcional, mas também por ser a mais recente entre as usinas analisadas.

Os módulos desta usina são conhecidos por sua eficiência e capacidade de geração de energia. Eles incorporam tecnologia mais recente em comparação com as usinas mais antigas, garantindo uma conversão de energia mais eficiente. O azimuth solar da Usina 14 é de 39°, o que indica o ângulo em que os painéis solares são orientados para otimizar a captura de energia solar ao longo do dia. O ajuste preciso do azimuth contribui para a alta eficiência da usina, garantindo que os painéis estejam adequadamente alinhados com o sol.

5.2. Análise por período de instalação

Realizou-se a análise ao longo de um período determinado. Durante essa etapa, buscou-se avaliar o desempenho de produtividade das usinas solares fotovoltaicas da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), utilizando o índice *Yield*. Utilizou-se o período de instalação como referência para essa avaliação, o que é crucial devido à constante evolução tecnológica dos equipamentos instalados ao longo dos anos.

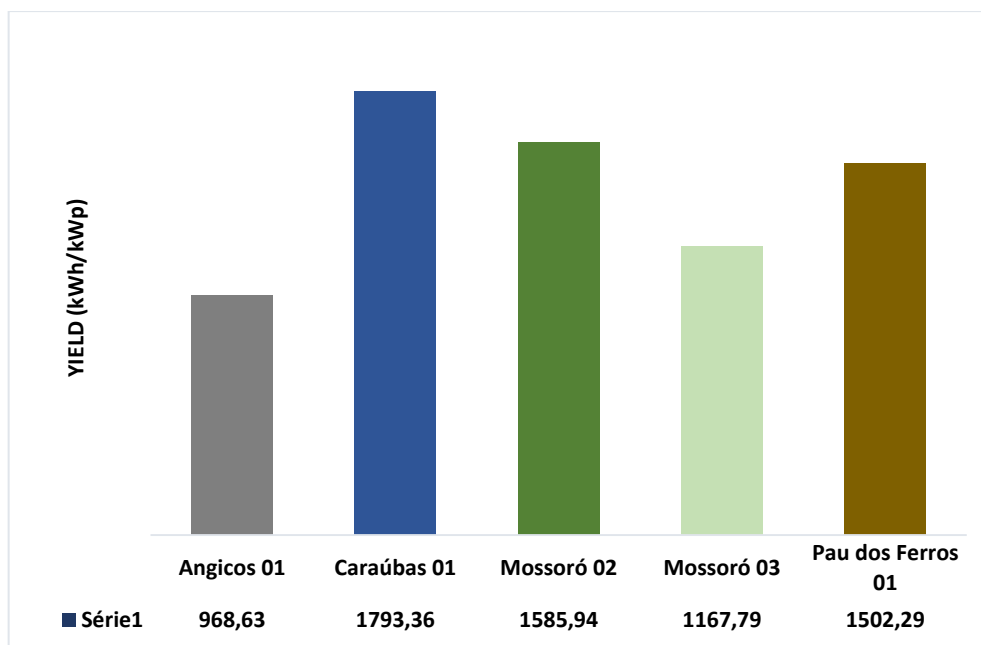
5.2.1. Período de 2016 a 2018

Considerou-se como período de referência para avaliação o intervalo que compreende a instalação das usinas fotovoltaicas nos campi da UFERSA até o ano de 2018. A Tabela 4 oferece um complemento a esse contexto, apresentando dados específicos de cada usina por campus. Isso viabiliza uma análise minuciosa, incluindo informações sobre o ano de instalação, tipo, fabricantes, modelos dos módulos e inversores em cada localidade. É importante ressaltar que, durante esse período, foram instalados módulos com potências de 330 W e 260 W, um elemento crucial na avaliação do desempenho e eficiência do sistema fotovoltaico.

Tabela 4 – Dados das usinas do Campi

	Ano de instalação	Campus	Tipo de instalação	Fabricante e modelo dos módulos	Fabricante e modelo dos inversores
<i>Usina 1</i>	2018	Caraúbas	Solo	Trina Solar DUOMAX Dual Glass 72-Cell module 330W	SMA Sunny Tripower 25000TL (02 unid.) + 15000TL (01 unid.)
<i>Usina 1</i>	2018	Pau dos Ferros	Solo	Trina Solar DUOMAX Dual Glass 72-Cell module 330W	SMA Sunny Tripower 25000TL (02 unid.) + 15000TL (01 unid.)
<i>Usina 1</i>	2018	Angicos	Solo	Trina Solar DUOMAX Dual Glass 72-Cell module 330W	SMA Sunny Tripower 25000TL (02 unid.) + 15000TL (01 unid.)
<i>Usina 2</i>	2016	Mossoró	Solo	Canadian Solar CS6P-260P-SD	Ginlong SOLIS-15K
<i>Usina 3</i>	2018	Mossoró	Telhado	Canadian Solar CS6U-48	ABB PVI 10 TL OUTD

Fonte: Autoria Própria, 2023

Gráfico 4 - Yield do Campi/UFERSA de 2016 a 2018

Fonte: Autoria Própria, 2023

A análise dos dados revela variações significativas na eficiência das usinas solares fotovoltaicas nos diferentes campi da UFERSA. A Angicos 01 exibe o menor rendimento, seguido pelo campus de Mossoró 03, que demonstra uma eficiência ligeiramente inferior em comparação com o campus 04. Pau dos Ferros apresenta uma performance considerável, enquanto Caraúbas lidera com a mais alta eficiência.

Essas discrepâncias na eficiência podem ser atribuídas a uma série de fatores. As variações nas condições climáticas e ambientais, como nebulosidade, umidade e obstruções à luz solar, também afetam o rendimento. A qualidade e manutenção dos sistemas fotovoltaicos em cada campus são igualmente determinantes para a eficiência da geração de energia solar, o que impacta diretamente o rendimento final.

A posição específica de cada usina dentro do campus pode impactar a eficiência, pois áreas menos sombreadas e com uma orientação solar mais favorável geralmente apresentam um desempenho superior. Além da latitude, os fatores climáticos, como a quantidade de dias ensolarados e a presença de nuvens, também desempenham um papel significativo na eficiência das usinas solares.

Destaca-se que a cidade de Caraúbas apresenta o maior rendimento. Por outro lado, a usina de Mossoró (usina 2), instalada em 2016, demonstra uma eficiência consideravelmente superior à usina de Angicos (instalada em 2018). Essa disparidade pode ser atribuída às divergências de latitude e condições climáticas entre as cidades. Nesse contexto, ressalta-se a

importância das inspeções visuais e manutenções periódicas, visando otimizar os indicadores de eficiência, pois tais práticas podem contribuir para identificar possíveis melhorias e ajustes que maximizem o desempenho dos sistemas fotovoltaicos.

5.2.2. Período de 2019 a 2021

Para a análise de dados, foi estabelecido o período de referência de 2019 até o ano de 2021, abrangendo a instalação das usinas solares fotovoltaicas na UFERSA. Os dados específicos de cada usina por campus estão apresentados de forma detalhada na Tabela 5, incluindo informações como o ano de instalação, o tipo, os fabricantes e os modelos dos módulos e inversores em cada localidade.

É relevante ressaltar, no contexto inicial, a evolução das potências dos módulos ao longo desse período. Essa evolução é um aspecto benéfico, pois resultou em uma maior produção de energia em quilowatts-horas por metro quadrado (kWh/m²), considerando que houve poucas alterações nas dimensões dos painéis solares. A constatação desse avanço destaca a eficiência e a capacidade aprimorada das usinas solares fotovoltaicas da UFERSA em otimizar a produção de energia em relação ao período anterior.

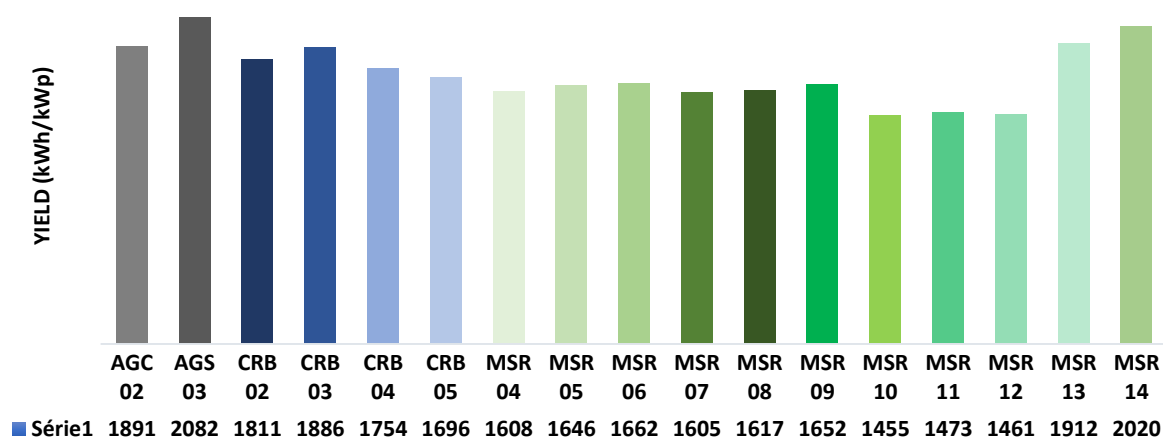
Tabela 5 – Dados das usinas por campus

	Ano de instalação	Campus	Tipo de instalação	Fabricante e modelo dos módulos	Fabricante e modelo dos inversores
<i>Usina 2</i>	2021	Angicos	Telhado	CANADIAN SOLAR CS3W 450MS	GROWATT MID 33KTL3-X
<i>Usina 3</i>	2021	Angicos	Telhado	CANADIAN SOLAR CS3W 450MS	GROWATT MID 33KTL3-X
<i>Usina 2</i>	2021	Caraúbas	Telhado	HELIO ENERGY HMF144M6-465HL	GROWATT MID 33KTL3-X
<i>Usina 3</i>	2021	Caraúbas	Telhado	HELIO ENERGY HMF144M6-465HL	GROWATT MID 33KTL3-X
<i>Usina 4</i>	2021	Caraúbas	Telhado	TRINA TSM-DE15M (II) 410W	GROWATT MID 25KTL3-X
<i>Usina 5</i>	2021	Caraúbas	Telhado	TRINA SOLAR TSM-DE15M (II) 410W	GROWATT MID 25KTL3-X
<i>Usina 4</i>	2019	Mossoró	Telhado	GCL-P6/72H	WEG SIW500H-ST36
<i>Usina 5</i>	2020	Mossoró	Telhado	Astroenergy AstroSemi CHSM72M-HC	WEG SIW500H-ST020
<i>Usina 6</i>	2020	Mossoró	Telhado	Astroenergy AstroSemi CHSM72M-HC	WEG SIW500H-ST020

Usina 7	2020	Mossoró	Telhado	TRINASOLAR TSM-DE15M (II)	WEG SIW500H-ST020
Usina 8	2020	Mossoró	Telhado	TRINASOLAR TSM-DE15M (II)	WEG SIW500H-ST020
Usina 9	2020	Mossoró	Telhado	TRINASOLAR TSM-DE15M (II)	WEG SIW500H-ST020
Usina 10	2020	Mossoró	Telhado	Astroenergy AstroSemi CHSM72M-HC	WEG SIW500H-ST020
Usina 11	2020	Mossoró	Telhado	Astroenergy AstroSemi CHSM72M-HC	WEG SIW500H-ST020
Usina 12	2020	Mossoró	Telhado	TRINASOLAR TSM-DE15M (II)	WEG SIW500H-ST020
Usina 13	2021	Mossoró	Telhado	CANADIAN SOLAR CS3W 450MS	GROWATT MID 33KTL3-X
Usina 14	2021	Mossoró	Telhado	DAH SOLAR DHM-72L9/BF 450W	GROWATT MID 33KTL3-X

Fonte: Autoria Própria, 2023

Gráfico 5 - Yield Campi/UFERSA de 2019 a 2021



Fonte: Autoria Própria, 2023

Com base na interpretação do Gráfico 5, observa-se que as usinas Angicos 03 e Mossoró 14 demonstram um desempenho excepcional em comparação com as demais, elas foram instaladas no mesmo ano mudando apenas os meses: Angicos foi instalada em julho e Mossoró em setembro. As duas mostram semelhanças significativas, ambas possuem inversores e quantidade de módulos idênticos. A principal distinção reside no fabricante e modelo dos geradores utilizados: em Angicos, é empregado o gerador Canadian Solar CS3W 450MS, enquanto em Mossoró, utiliza-se o modelo DAH SOLAR DHM-72L9/BF 450W. Além disso,

as coordenadas geográficas (latitude e longitude) variam entre as duas localidades, o que influencia diretamente no desempenho, sendo este mais elevado em Angicos.

Ao analisar o gráfico, é possível observar claramente que as usinas Mossoró 10, 11 e 12 apresentam um rendimento inferior em comparação com as demais. Essas usinas compartilham semelhanças por estarem localizadas no mesmo campus, resultando em latitudes e longitudes idênticas, o que não impacta no desempenho. Além disso, utilizam inversores semelhantes. No entanto, as diferenças residem no fabricante e modelo do gerador. As usinas 10 e 11 adotam o modelo Astroenergy AstroSemi CHSM72M-HC, com um maior número de módulos, totalizando 235 cada, e um inversor adicional na 10 e 11 em comparação com a 12. A usina 12, por sua vez, utiliza o modelo TRINASOLAR TSM-DE15M (II) e possui apenas 172 módulos. Surpreendentemente, apesar de possuir uma quantidade menor de módulos em relação à usina 11, a usina 12 era esperada ter um desempenho maior devido à presença de mais inversores e, conseqüentemente, uma maior quantidade de módulos.

Quanto às demais usinas, elas mantêm um desempenho dentro de um padrão regular, com variações mínimas entre uma e outra, essa variação pode ser atribuída a diversos fatores, tais como a localização geográfica, a orientação e inclinação dos painéis solares, a manutenção e limpeza dos equipamentos, bem como a eficiência dos inversores e outros componentes do sistema fotovoltaico.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizando o indicador *Final Yield*, a avaliação da eficiência e desempenho das instalações solares fotovoltaicas na UFERSA forneceu informações substanciais. Esse estudo foi crucial para identificar os principais elementos que afetam a eficácia. A precisão nas medições para avaliar o desempenho energético desses sistemas foi destacada.

Os resultados obtidos evidenciaram que o índice *yield* é uma ferramenta eficaz para monitorar e avaliar o desempenho das instalações solares fotovoltaicas, levando em consideração diversos aspectos, como a radiação solar incidente, qualidade dos equipamentos, manutenção adequada e outros fatores operacionais que influenciam diretamente a produção de energia.

Na análise da eficiência das instalações solares fotovoltaicas na UFERSA utilizando o índice *yield*, observou-se uma notável consistência na maior eficácia das instalações instaladas em telhados. Esse resultado pode ser atribuído à exposição solar significativa proporcionada pela localização elevada e desobstruída dos telhados, otimizando a captura eficiente de radiação solar ao longo do dia. Além disso, notou-se uma semelhança significativa entre essas instalações em relação ao número de módulos, que tende a ser similar ou apresentar valores próximos. A potência de pico dos módulos também se manteve consistente, contribuindo para a uniformidade na eficiência.

Adicionalmente, ao comparar as instalações nos campi da UFERSA, destaca-se que a instalação de Angicos 03 apresentou a maior eficiência, com 85 módulos e um modelo de módulo fabricado pela Canadian Solar, com uma potência de pico de 450 Wp. Em seguida, a instalação de Mossoró 14 também demonstrou alta eficiência, com a mesma quantidade de módulos que a Angicos 03, mas com módulos do fabricante DAH Solar. Por fim, a instalação de Caraúbas 03, apesar de ter menos módulos em comparação com Angicos e Mossoró, obteve uma potência de pico por módulo maior, com 465 Wp, e o fabricante dos módulos sendo Helio Energy. Essas diferenças entre as instalações indicam a influência dos fabricantes e das características dos módulos na eficiência das instalações solares fotovoltaicas, reforçando a importância da escolha criteriosa dos componentes para otimizar a eficiência e o desempenho energético.

A instalação Caraúbas 05 apresentou uma eficiência relativamente baixa em comparação com as demais instalações do campus. Ao compará-la com as instalações de maior eficiência, percebe-se que essa diferença pode estar associada ao fabricante dos painéis solares, que neste caso é a Trina Solar, possuindo uma potência de pico menor (410 Wp) e uma

quantidade reduzida de módulos (196). Por outro lado, a instalação Angicos 01 demonstrou a menor eficiência em comparação com todas as outras instalações do campus. Vale ressaltar que essa instalação compartilha o mesmo fabricante de módulos que a instalação 05 de Caraúbas, diferindo apenas no modelo dos módulos e na potência de pico, que é de 330 Wp, além de contar com uma menor quantidade de módulos (190). A instalação Mossoró 03 se destaca por seu porte mais modesto em comparação com as demais. Ela é a menor em tamanho, contando com apenas 48 módulos e uma potência de pico de 325 Wp, sendo os módulos fabricados pela Canadian Solar.

A variação nos índices de eficiência entre as instalações foi principalmente influenciada pela diferença nos fabricantes dos equipamentos fotovoltaicos utilizados, afetando diretamente a eficiência da captação e conversão da energia solar em eletricidade. Este estudo ressalta a necessidade de um planejamento adequado e seleção criteriosa dos componentes para otimizar a eficiência das instalações solares fotovoltaicas, especialmente em diferentes tipos de locais. Investir em tecnologias avançadas e práticas de manutenção eficazes pode maximizar a eficiência e prolongar a vida útil dos componentes, resultando em um retorno sobre o investimento mais satisfatório.

A análise da eficiência também permitiu identificar possíveis melhorias e otimizações no processo de operação das instalações solares fotovoltaicas da UFERSA. A implementação de práticas mais eficientes, a modernização dos equipamentos e a busca por inovações tecnológicas podem contribuir para aumentar o rendimento energético e, conseqüentemente, a rentabilidade desses empreendimentos.

Como sugestão para pesquisas futuras nesta área, recomenda-se que se conduza uma análise abrangente, considerando os indicadores de fator de capacidade e performance ratio mencionados neste estudo.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899: Energia solar - Medição da irradiância solar em superfícies planas para aquecimento de água.** Rio de Janeiro, 2023.

ABSOLAR. **Como a energia solar fotovoltaica pode nos ajudar a preservar o nosso lar.** 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/como-a-energia-solar-fotovoltaica-pode-nos-ajudar-a-preservar-o-nosso-lar/>. Acesso em: 15 set. 2023.

ABSOLAR (São Paulo). **Segunda maior fonte do país, energia solar cresce 83% em um ano. 2023.** Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/segunda-maior-fonte-do-pais-energia-solar-cresce-83-em-um-ano/> Acesso em: 18 jul. 2023.

BALFOUR, John; SHAW, Michael; NASH, Nicole Bremer. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Ltc, 2019. 272 p.

BENEDITO, R. S. **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório.** Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2009.

BEZERRA, Francisco Diniz. **Energia solar.** Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n.174, jul. 2021. (Caderno Setorial Etene).

BRANDÃO, Marcelo. **Aumento do consumo de energia solar traz projeções otimistas ao setor: país supera marca de 19 gigawatts de potência instalada dessa fonte. País supera marca de 19 gigawatts de potência instalada dessa fonte. 2022. (verificar fonte).**

DURASOL ENERGY (Brasil). **O que é uma Usina de Solo e quais suas vantagens?** 2023. Disponível em: <https://durasol.tech/o-que-e-uma-usina-de-solo-e-quais-suas-vantagens/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica. GEPEA – Grupo de Energia, Escola Politécnica Universidade de São Paulo. Irena. (2021).

FADIGAS, E. A. F. A. Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica. **Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo**, p. 32, 2012.

FUSANO, Renato Hideo. **Análise Dos Índices De Mérito Do Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede Do Escritório Verde Da UFPR**. 2013. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Universidade Universidade Tecnológica Federal do Paraná Tecnológica, Curitiba, 2013.

IBERDROLA. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA FLUTUANTE**: Você conhece a energia solar fotovoltaica flutuante? 2023. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/fotovoltaica-flutuante>. Acesso em: 07 ago. 2023.

IBERDROLA. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA FLUTUANTE**: você conhece a energia solar fotovoltaica flutuante?. Você conhece a energia solar fotovoltaica flutuante?. 2023. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/fotovoltaica-flutuante>. Acesso em: 10 ago. 2023.

NEOSOLAR ENERGIA (São Paulo). **SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEUS COMPONENTES**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solarfotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 20 jun. 2023.

NEOSOLAR ENERGIA (Brasil). **Energia Solar no Mundo: os países campeões da Copa Fotovoltaica**. 2022. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/blog/energia-solarmundo-paises-campeoes/>. Acesso em: 20 jun. 2023

OCA ENERGIA (Brasil). **Sistema Fotovoltaico Híbrido**: entenda o que é e suas aplicações. Entenda o Que é e Suas Aplicações. 2021. Disponível em: <https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/>. Acesso em: 07 ago. 2023.

Rampinelli, Giuliano Arns. **Estudo De Características Elétricas E Térmicas De Inversores Para Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede**. 2010. 285 f. Tese – Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SOLAR INOVE. **Qual a Diferença entre o Módulo Monocristalino e o Policristalino**. 2021. Disponível em: <https://blog.solarinove.com.br/qual-a-diferenca-entre-o-modulo-monocristalino-e-o-policristalino/>. Acesso em: 07 ago. 2023.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável**: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: Epe, 2016.

UFERSA (Rio Grande do Norte). **Usinas Solares da UFERSA**: histórico. Histórico. 2017. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br/historico/>. Acesso em: 07 ago. 2023.

URBANETZ JUNIOR, Jair; CASAGRANDE JUNIOR, Eloy; TIEPOLO, Gerson M. **Acompanhamento do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do escritório verde da UTFPR**. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. 2014^a.

VIAN, Ângelo *et al.* **Energia Solar**: fundamentos, tecnologia e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2021. 130 p.

VIEIRA, Rafael Marinho. **ANÁLISE DO RENDIMENTO ENERGÉTICO DA USINA FOTOVOLTAICA DA UFERSA - CARAÚBAS: UMA PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO**. 2022. 97 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2022.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica**: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2012. 405 p.

APÊNDICE A – Tabelas com as gerações e *Yields* mensais

Tabela 6 - Usina 01 Caraúbas

<i>Mês</i>	Energia Gerada (Kwh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	8762,9	139,76
<i>Fev</i>	12063,1	192,39
<i>Mar</i>	10012,55	159,69
<i>Abri</i>	9197,5	146,69
<i>Mai</i>	8818,8	140,65
<i>Jun</i>	8094,6	129,10
<i>Jul</i>	8040,7	128,24
<i>Ago</i>	10115,1	161,33
<i>Set</i>	9538,6	152,13
<i>Out</i>	9753,4	155,56
<i>Nov</i>	9167,5	146,21
<i>Dez</i>	8879	141,61
Potência de Pico Total (kWp)	33,00	
Yield Total	1793,36	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 7 - Usina 02 Caraúbas

<i>Mês</i>	Energia Gerada (Kwh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	4475,9	135,63
<i>Fev</i>	4007,2	121,43
<i>Mar</i>	4568,6	138,44
<i>Abri</i>	5251,6	159,14
<i>Mai</i>	4504,8	136,51
<i>Jun</i>	3935,3	119,25
<i>Jul</i>	4785	145,00
<i>Ago</i>	6042,5	183,11
<i>Set</i>	5636,2	170,79
<i>Out</i>	5780,4	175,16
<i>Nov</i>	5445,4	165,01
<i>Dez</i>	5322,7	161,29
Potência de Pico Total (kWp)	33,00	
Yield Total	1810,78	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 8 - Usina 03 Caraúbas

<i>Mês</i>	Energia Gerada (Kwh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	5132,6	155,53
<i>Fev</i>	4945,9	149,88
<i>Mar</i>	5290,3	160,31
<i>Abri</i>	5304,7	160,75
<i>Mai</i>	5065,1	153,49
<i>Jun</i>	4676,4	141,71
<i>Jul</i>	4628,2	140,25
<i>Ago</i>	5861,6	177,62
<i>Set</i>	5466,3	165,65
<i>Out</i>	5572,3	168,86
<i>Nov</i>	5209,8	157,87
<i>Dez</i>	5076,9	153,85
Potência de Pico Total (kWp)	33,00	
Yield Total	1885,76	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 9 - Usina 04 Caraúbas

<i>Mês</i>	Energia Gerada (Kwh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	12763,3	158,83
<i>Fev</i>	12226,8	152,15
<i>Mar</i>	12481,8	155,32
<i>Abri</i>	11946,6	148,66
<i>Mai</i>	11050,3	137,51
<i>Jun</i>	10013,3	124,61
<i>Jul</i>	9392,6	116,88
<i>Ago</i>	11686,1	145,42
<i>Set</i>	9538,3	118,69
<i>Out</i>	13518,6	168,23
<i>Nov</i>	13203,8	164,31
<i>Dez</i>	13133,9	163,44
Potência de Pico Total (kWp)	80,36	
Yield Total	1754,05	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 10 - Usina 05 Caraúbas

<i>Mês</i>	Energia Gerada (Kwh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	7750	96,44
<i>Fev</i>	12265,5	152,63
<i>Mar</i>	12557,4	156,26
<i>Abri</i>	12007,1	149,42
<i>Mai</i>	10836,6	134,85
<i>Jun</i>	9332	116,13
<i>Jul</i>	9507,2	118,31
<i>Ago</i>	12375,3	154,00
<i>Set</i>	9600,1	119,46
<i>Out</i>	13588	169,09
<i>Nov</i>	13266,3	165,09
<i>Dez</i>	13225,1	164,57
Potência de Pico Total (kWp)	80,36	
Yield Total	1696,25	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 11 - Usina 01 Pau dos Ferros

<i>Mês</i>	Energia Gerada (Kwh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	8024,7	127,99
<i>Fev</i>	7156,7	114,14
<i>Mar</i>	8680,7	138,45
<i>Abri</i>	8302,3	132,41
<i>Mai</i>	6376,3	101,70
<i>Jun</i>	8524,75	135,96
<i>Jul</i>	7656,7	122,12
<i>Ago</i>	8753,6	139,61
<i>Set</i>	8422,2	134,33
<i>Out</i>	8331,4	132,88
<i>Nov</i>	6606,7	105,37
<i>Dez</i>	7357,4	117,34
Potência de Pico Total (kWp)	62,7	
Yield Total	1502,29	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 12 - Usina 01 Angicos

Mês	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	5048,5	80,52
<i>Fev</i>	4528,3	72,22
<i>Mar</i>	5128	81,79
<i>Abri</i>	5330,2	85,01
<i>Mai</i>	4764	75,98
<i>Jun</i>	4470,2	71,30
<i>Jul</i>	4650,6	74,17
<i>Ago</i>	5507	87,83
<i>Set</i>	5640,5	89,96
<i>Out</i>	5717,4	91,19
<i>Nov</i>	5276	84,15
<i>Dez</i>	4672,4	74,52
Potência de Pico Total (kWp)	62,7	
Yield Total	968,63	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 13 - Usina 02 Angicos

Mês	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	5575,9	168,97
<i>Fev</i>	5391,1	163,37
<i>Mar</i>	5655,8	171,39
<i>Abri</i>	5775,1	175,00
<i>Mai</i>	5000,9	151,54
<i>Jun</i>	4676	141,70
<i>Jul</i>	4979,5	150,89
<i>Ago</i>	6157,2	186,58
<i>Set</i>	4515,2	136,82
<i>Out</i>	2857,9	86,60
<i>Nov</i>	6109	185,12
<i>Dez</i>	5720,5	173,35
Potência de Pico Total (kWp)	33,00	
Yield Total	1891,34	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 14 - Usina 03 Angicos

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	5789,2	175,43
<i>Fev</i>	5448,5	165,11
<i>Mar</i>	5714,8	173,18
<i>Abri</i>	5814	176,18
<i>Mai</i>	5029	152,39
<i>Jun</i>	4694,1	142,25
<i>Jul</i>	4989,9	151,21
<i>Ago</i>	6182,2	187,34
<i>Set</i>	6287,2	190,52
<i>Out</i>	6770,1	205,15
<i>Nov</i>	6197,4	187,80
<i>Dez</i>	5778,9	175,12
Potência de Pico Total (kWp)	33,00	
Yield Total	2081,68	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 15 - Usina 02 Mossoró

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	17436	115,62
<i>Fev</i>	17199	114,05
<i>Mar</i>	17608	116,76
<i>Abri</i>	19905	132,00
<i>Mai</i>	19901	131,97
<i>Jun</i>	19172	127,14
<i>Jul</i>	19884	131,86
<i>Ago</i>	21678	143,75
<i>Set</i>	22619	149,99
<i>Out</i>	22644	150,16
<i>Nov</i>	21251	140,92
<i>Dez</i>	19863	131,72
Potência de Pico Total (kWp)	150,8	
Yield Total	1585,94	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 16 - Usina 03 Mossoró

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	1411,5	90,48
<i>Fev</i>	1292,3	82,84
<i>Mar</i>	1430,9	91,72
<i>Abri</i>	1087,4	69,71
<i>Mai</i>	1017,5	65,22
<i>Jun</i>	1114,1	71,42
<i>Jul</i>	1092,3	70,02
<i>Ago</i>	1343,5	86,12
<i>Set</i>	2046,4	131,18
<i>Out</i>	2280	146,15
<i>Nov</i>	2091,6	134,08
<i>Dez</i>	2010	128,85
Potência de Pico Total (kWp)	15,6	
Yield Total	1167,79	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 17 - Usina 04 Mossoró

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	18670,3	126,96
<i>Fev</i>	18939,3	128,79
<i>Mar</i>	18654,2	126,85
<i>Abri</i>	19721	134,10
<i>Mai</i>	18373,5	124,94
<i>Jun</i>	17207	117,01
<i>Jul</i>	17568,3	119,46
<i>Ago</i>	20436,2	138,97
<i>Set</i>	21694,7	147,52
<i>Out</i>	22705,3	154,39
<i>Nov</i>	21633,3	147,11
<i>Dez</i>	20899,3	142,11
Potência de Pico Total (kWp)	147,06	
Yield Total	1608,20	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 18 - Usina 05 Mossoró

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	11914,1	128,36
<i>Fev</i>	12124,7	130,63
<i>Mar</i>	11964,3	128,90
<i>Abri</i>	12776,5	137,65
<i>Mai</i>	11952,4	128,77
<i>Jun</i>	11361,9	122,41
<i>Jul</i>	11765,5	126,76
<i>Ago</i>	13313,5	143,43
<i>Set</i>	14004,5	150,88
<i>Out</i>	14527,7	156,51
<i>Nov</i>	13681,5	147,40
<i>Dez</i>	13380,2	144,15
Potência de Pico Total (kWp)	92,82	
Yield Total	1645,84	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 19 - Usina 06 Mossoró

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	12356,5	133,12
<i>Fev</i>	12300	132,51
<i>Mar</i>	12236,5	131,83
<i>Abri</i>	12914,6	139,14
<i>Mai</i>	11956,3	128,81
<i>Jun</i>	11156,8	120,20
<i>Jul</i>	11616,5	125,15
<i>Ago</i>	13246	142,71
<i>Set</i>	14080,8	151,70
<i>Out</i>	14763,2	159,05
<i>Nov</i>	13694,3	147,54
<i>Dez</i>	13899,8	149,75
Potência de Pico Total (kWp)	92,82	
Yield Total	1661,51	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 20 - Usina 07 Mossoró

Mês	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	10847,1	113,98
<i>Fev</i>	10834,6	113,84
<i>Mar</i>	11426	120,06
<i>Abri</i>	13099,6	137,64
<i>Mai</i>	12161,8	127,79
<i>Jun</i>	11648,5	122,40
<i>Jul</i>	12133,2	127,49
<i>Ago</i>	13682,1	143,76
<i>Set</i>	14437,6	151,70
<i>Out</i>	14682,7	154,28
<i>Nov</i>	14187,3	149,07
<i>Dez</i>	13589,5	142,79
Potência de Pico Total (kWp)	95,17	
Yield Total	1604,81	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 21 - Usina 08 Mossoró

Mês	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	11883,4	124,86
<i>Fev</i>	12090,6	127,04
<i>Mar</i>	12103,9	127,18
<i>Abri</i>	12923,9	135,80
<i>Mai</i>	11998,8	126,08
<i>Jun</i>	11431,2	120,11
<i>Jul</i>	11950,1	125,57
<i>Ago</i>	13479,7	141,64
<i>Set</i>	14230,4	149,53
<i>Out</i>	14471,1	152,06
<i>Nov</i>	13959,1	146,68
<i>Dez</i>	13359	140,37
Potência de Pico Total (kWp)	95,17	
Yield Total	1616,91	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 22 - Usina 09 Mossoró

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	11962	128,87
<i>Fev</i>	12155,7	130,96
<i>Mar</i>	12083,2	130,18
<i>Abri</i>	12854,5	138,49
<i>Mai</i>	11972,5	128,99
<i>Jun</i>	11373,3	122,53
<i>Jul</i>	11858,3	127,76
<i>Ago</i>	13375,4	144,10
<i>Set</i>	14114,6	152,06
<i>Out</i>	14390,6	155,04
<i>Nov</i>	13900	149,75
<i>Dez</i>	13317,4	143,48
Potência de Pico Total (kWp)	92,82	
Yield Total	1652,20	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 23 - Usina 10 Mossoró

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	10240,2	110,32
<i>Fev</i>	10202,8	109,92
<i>Mar</i>	10629,4	114,52
<i>Abri</i>	10540,9	113,56
<i>Mai</i>	10827,3	116,65
<i>Jun</i>	9987	107,60
<i>Jul</i>	10389,7	111,93
<i>Ago</i>	11859,8	127,77
<i>Set</i>	12631,7	136,09
<i>Out</i>	12740,7	137,26
<i>Nov</i>	12793,5	137,83
<i>Dez</i>	12188	131,31
Potência de Pico Total (kWp)	92,82	
Yield Total	1454,76	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 24 - Usina 11 Mossoró

Mês	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	10614,6	114,36
<i>Fev</i>	10564,2	113,81
<i>Mar</i>	10585,1	114,04
<i>Abri</i>	11225,2	120,94
<i>Mai</i>	10952,3	118,00
<i>Jun</i>	10635,4	114,58
<i>Jul</i>	11071,5	119,28
<i>Ago</i>	11952,4	128,77
<i>Set</i>	12383,2	133,41
<i>Out</i>	12679,5	136,60
<i>Nov</i>	12344,5	132,99
<i>Dez</i>	11692,4	125,97
Potência de Pico Total (kWp)	92,82	
Yield Total	1472,75	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 25 - Usina 12 Mossoró

Mês	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	8589,1	123,30
<i>Fev</i>	8137,5	116,82
<i>Mar</i>	8323,3	119,48
<i>Abri</i>	8294,3	119,07
<i>Mai</i>	8183,3	117,47
<i>Jun</i>	7313,5	104,99
<i>Jul</i>	7710,2	110,68
<i>Ago</i>	8833,1	126,80
<i>Set</i>	9389,4	134,79
<i>Out</i>	9431,9	135,40
<i>Nov</i>	9371,3	134,53
<i>Dez</i>	8167,2	117,24
Potência de Pico Total (kWp)	69,66	
Yield Total	1460,58	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 26 - Usina 13 Mossoró

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	4521,7	137,02
<i>Fev</i>	5272,7	159,78
<i>Mar</i>	5317,7	161,14
<i>Abri</i>	5586,2	169,28
<i>Mai</i>	5155,3	156,22
<i>Jun</i>	4856,1	147,15
<i>Jul</i>	5000,5	151,53
<i>Ago</i>	5789,4	175,44
<i>Set</i>	6061	183,67
<i>Out</i>	6260,3	189,71
<i>Nov</i>	5944,4	180,13
<i>Dez</i>	3345,9	101,39
Potência de Pico Total (kWp)	33,00	
Yield Total	1912,46	

Fonte: Autoria Própria, 2023

Tabela 27 - Usina 14 Mossoró

<i>Mês</i>	Energia Gerada (kWh)	Yield (Mês)
<i>Jan</i>	5159	156,33
<i>Fev</i>	5192,6	157,35
<i>Mar</i>	5323,9	161,33
<i>Abri</i>	5965,6	180,78
<i>Mai</i>	5284,6	160,14
<i>Jun</i>	5003	151,61
<i>Jul</i>	5161,9	156,42
<i>Ago</i>	5937,1	179,91
<i>Set</i>	6120,3	185,46
<i>Out</i>	6162,5	186,74
<i>Nov</i>	5734,6	173,78
<i>Dez</i>	5628,2	170,55
Potência de Pico Total (kWp)	33,00	
Yield Total	2020,40	

Fonte: Autoria Própria, 2023