



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA.

WANCLEITON DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO DESEMPENHO DAS USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS DO
CAMPUS ANGICOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**

ANGICOS 2025

WANCLEITON DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO DESEMPENHO DAS USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS DO
CAMPUS ANGICOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em interdisciplinar em ciências e tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Cândido Henriques.

ANGICOS 2025

©© 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.

048e Oliveira, Wancleiton de Oliveira.

Estudo do desempenho das usinas solares
fotovoltaicas do Campus Angicos da Universidade
Federal Rural do Semi-Árido / Wancleiton de
Oliveira Oliveira. - 2025.

48 f. : il.

Orientador: Marcos Vinicius Cândido
Henriques Henriques.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência
e Tecnologia, 2025.

1. Usina solar. 2. Energias renováveis. 3.
Semiárido. I. Henriques, Marcos Vinicius
Cândido Henriques, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com
AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia
Duarte CRB: 15/673

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.

WANCLEITON DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO DESEMPENHO DAS USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS DO
CAMPUS ANGICOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA.

Defendida em: 21 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Marcos Vinicius Cândido Henriques, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Gustavo De Oliveira Gurgel Rebouças, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Sebastião Ferreira Baracho Neto, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me guiar e permitir que eu chegasse até aqui, superando desafios e conquistando mais essa etapa da minha jornada. À minha família, meu alicerce, expresso minha eterna gratidão. Aos meus pais, minha avó, minha irmã e meus primos, que, mesmo diante das dificuldades, nunca soltaram minha mão e sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio e incentivo nos momentos em que mais precisei. Ao meu avô Manoel Arnaldo (in memoriam), dedico um agradecimento especial. Embora não esteja mais presente fisicamente, seus ensinamentos e valores continuam vivos em mim. Seu amor e sabedoria foram e sempre serão uma inspiração. Te amo eternamente. Agradeço também ao meu orientador, Marcos Vinícius, por toda paciência, dedicação e suporte ao longo desse processo. Seu acompanhamento foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico.

"O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia." – Robert Collier

RESUMO

Este trabalho acadêmico estuda a geração de energia solar fotovoltaica no campus Angicos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizado no Rio Grande do Norte, Brasil. A pesquisa aborda a crescente necessidade de sistemas de produção de energia sustentáveis, impulsionada pelo aumento populacional e pelo consumo de combustíveis fósseis. O estudo destaca o potencial da energia solar no Brasil, especialmente no semiárido nordestino, devido aos altos níveis de irradiação solar. A metodologia empregada envolveu a análise dos dados técnicos de cinco usinas solares instaladas no campus, incluindo informações sobre os módulos fotovoltaicos, inversores, estruturas de suporte e sistemas de monitoramento. Os dados de produção de energia e economia gerada foram coletados e analisados, demonstrando a viabilidade econômica e ambiental da energia solar. Os resultados revelaram que as usinas solares do campus Angicos da UFERSA geraram uma quantidade significativa de energia, resultando em economia na conta de luz e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. A distribuição estratégica das usinas no campus otimiza a captação de energia solar, aproveitando tanto áreas abertas quanto telhados de edifícios. Este estudo conclui que a energia solar fotovoltaica é uma alternativa viável e sustentável para a geração de energia no campus Angicos da UFERSA e em outras instituições. A pesquisa destaca a importância de políticas públicas e investimentos em infraestrutura para impulsionar a expansão da energia solar no Brasil, contribuindo para a construção de uma matriz energética mais limpa e sustentável.

Palavras-chave: Usina solar; Energias renováveis; Semiárido.

ABSTRACT

This academic work studies the generation of photovoltaic solar energy at the Angicos campus of the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), located in Rio Grande do Norte, Brazil. The research addresses the growing need for sustainable energy production systems, driven by population growth and the consumption of fossil fuels. The study highlights the potential of solar energy in Brazil, especially in the northeastern semi-arid region, due to high levels of solar irradiation. The methodology employed involved analyzing technical data from five solar power plants installed on the campus, including information on photovoltaic modules, inverters, support structures, and monitoring systems. Energy production data and cost savings were collected and analyzed, demonstrating the economic and environmental feasibility of solar energy. The results revealed that the solar power plants at UFERSA's Angicos campus generated a significant amount of energy, leading to savings on electricity bills and contributing to the reduction of greenhouse gas emissions. The strategic distribution of the plants across the campus optimizes solar energy capture, utilizing both open areas and building rooftops. This study concludes that photovoltaic solar energy is a viable and sustainable alternative for energy generation at UFERSA's Angicos campus and other institutions. The research underscores the importance of public policies and investments in infrastructure to drive the expansion of solar energy in Brazil, contributing to the development of a cleaner and more sustainable energy matrix.

Keywords: Solar plant; Renewable energy; Semi-arid region.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Irradiação Normal Direta sobre o Brasil.....	19
Figura 2 - Potencial de Energia Fotovoltaica do Brasil.....	20
Figura 3- Módulos fotovoltaicos.....	22
Figura 4 - Inversor Growatt MOD 4000TL3-X para painéis solares.....	23
Figura 5 – Estruturas de suporte para painéis solares.....	24
Figura 6 – Subestação Elétrica.....	24
Figura 7 - Localização do município de Angicos.....	28
Figura 8 - Placas solares do bloco II de professores.....	32
Figura 9 - Placas solares em solo ao lado do bloco de professores I.....	33
Figura 10- Arranjo de módulos e inversores da usina Angicos 01.....	33
Figura 11 - Localização das usinas solares no campus Angicos da UFERSA.....	36
Figura 12 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 02.....	37
Figura 13 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 03.....	38
Figura 14 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 04.....	38
Figura 15 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 05.....	39
Figura 16 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 01.....	40
Figura 17 - Produção de energia pela usina solar Angicos 01 (solo) durante dezembro de 2024.....	40
Figura 18 - Produção de energia pela usina solar Angicos 01 (solo) durante o ano de 2024...	41
Figura 19 - Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal para Angicos (Wh/m ² .dia).	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados técnicos da usina Angicos 01 (Solo).....	29
Tabela 2 - Dados técnicos da usina Angicos 02 (central de aulas 1).....	30
Tabela 3 - Dados técnicos da usina Angicos 03 (central de aulas 2).....	30
Tabela 4- Dados técnicos da usina Angicos 04 (bloco dos docentes 1).....	31
Tabela 5- Dados técnicos da usina Angicos 05 (bloco dos docentes 2).....	31
Tabela 6 - Dados gerais das usinas solares do campus Angicos da UFERSA.....	35
Tabela 7 - Consumo total e produção das usinas no Campus Angicos em 2024.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	– Corrente Alternada
CC	– Corrente Contínua
CO ₂	– Dióxido de carbono
ESMAP	– Energy Sector Management Assistance Program (Programa de Assistência ao Gerenciamento do Setor de Energia)
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRENA	– International Renewable Energy Agency (Agência Internacional de Energia Renovável)
kWh	– Quilowatt-hora
kWh/kWp	– Quilowatt-hora por quilowatt-pico
kWh/h ²	– Quilowatt-hora por metro quadrado
kWp	– Quilowatt-pico
LABREN	– Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia
NBR	– Norma Brasileira
NR	– Norma Regulamentadora
QGIS	– Sistema de Informação Geográfica de Código Aberto (Quantum GIS)
SEEG	– Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SPDA	– Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
UFERSA	– Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Wp	– Watt-pico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 ENERGIA SOLAR.....	16
2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR.....	16
2.2 DESENVOLVIMENTO.....	16
2.3 ENERGIA SOLAR NO BRASIL.....	18
2.4 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA.....	21
3 USINAS SOLARES.....	22
3.1 INTRODUÇÃO ÀS USINAS.....	22
3.2 COMPONENTES DAS USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS.....	22
3.2.1 Módulos Fotovoltaicos.....	22
3.2.2 Inversores.....	23
3.2.3 Estruturas de Suporte.....	23
3.2.4 Transformadores.....	24
3.2.5 Subestação Elétrica.....	24
3.2.6 Cabos e Conexões.....	25
3.2.7 Sistemas de Proteção Elétrica.....	25
3.2.8 Sistema de Monitoramento.....	25
3.2.9 Sistema de Armazenamento.....	25
3.2.10 Área de Infraestrutura e Logística.....	25
3.3 NORMAS TÉCNICAS DAS USINAS SOLARES.....	26
3.3.1 ABNT NBR 16274:2014.....	26
3.3.2 ABNT NBR 5410:2004.....	26
3.3.3 ABNT NBR 5419-1:2015.....	27
3.3.4 ABNT NBR 16690:2019.....	27
3.3.5 NR-10.....	27
4 METODOLOGIA.....	28
4.1 LOCALIZAÇÃO DO CAMPUS ANGICOS DA UFERSA.....	28
4.2 PLACAS SOLARES DO CAMPUS ANGICOS DA UFERSA.....	28
4.3 ARRANJO DOS MÓDULOS.....	33
5 RESULTADOS.....	35
5.1 ENERGIA PRODUZIDA PELAS PLACAS SOLARES.....	36
5.1.1 Usina Angicos 02 - Central de Aulas 1.....	36
5.1.2 Usina Angicos 03 - Central de Aulas 2.....	37
5.1.3 Usina Angicos 04 - Bloco dos professores 1.....	38
5.1.4 Usina Angicos 05 - Bloco dos professores 2.....	39
5.1.5 Usina Angicos 01 - solo.....	39
5.1.6 Produção de energia solar em dezembro de 2024 da usina Angicos 01 - solo....	40

5.1.7 Produção de energia solar em 2024 Angicos 01 - solo.....	41
5.1.8 Irradiação solar em Angicos.....	42
5.1.9 Comparação com consumo do campus Angicos.....	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de adotar sistemas de produção de energia mais sustentáveis surge como resposta ao aumento populacional e ao consumo crescente de combustíveis fósseis. Essa transição é essencial para atender à demanda energética global de forma mais limpa e minimizar os impactos ambientais negativos associados às fontes convencionais de energia (KEMERICH et al., 2016). Isso porque esse mesmo setor já possui um alto nível de emissões, que vem crescendo a cada ano.

Em 2023, o Brasil manteve sua matriz elétrica predominantemente renovável, com destaque para a energia hídrica. A fonte hídrica respondeu por 58,9% da oferta interna de energia elétrica, considerando que quase a totalidade das importações são provenientes da usina de Itaipu. No total, as fontes renováveis representaram 89% da oferta interna de eletricidade, resultado da combinação da produção nacional e das importações (BEM, 2024). O Brasil possui um grande potencial para o aproveitamento da energia solar, devido aos altos níveis de irradiação solar presentes em seu território e à alta produção de silício, um material fundamental na fabricação de painéis solares fotovoltaicos (DA SILVA & ARAÚJO, 2022).

Em 2021, o consumo de energia elétrica no Brasil aumentou 4% em relação a 2020, mas as emissões de gases de efeito estufa para gerar essa eletricidade cresceram 46%, alcançando 75,9 milhões de toneladas de CO₂ (SEEG, 2023). E esses valores só tendem a subir devido a alta demanda por energia que não só o Brasil irá enfrentar como o mundo devido ao crescimento populacional e a necessidade de energia para a realização das atividades diárias.

No Rio Grande do Norte, o crescimento da adoção de energia fotovoltaica tem se tornado cada vez mais notável, especialmente no semiárido, uma região com um dos maiores potenciais de geração solar do Brasil. Esse aumento na utilização de sistemas fotovoltaicos pode ser explicado por uma combinação de fatores econômicos, ambientais e técnicos. O semiárido nordestino, com sua alta incidência de radiação solar, representa um ambiente ideal para a implementação de tecnologias solares, o que torna a energia solar uma opção estratégica e vantajosa para a região (CALANDRIN, 2023).

Almeida e Almeida (2022) quantificaram esse potencial solar no semiárido nordestino utilizando técnicas de estatística descritiva, destacando a viabilidade da implantação de tecnologias fotovoltaicas em diversas áreas do estado. De acordo com os dados apresentados,

o Rio Grande do Norte possui uma média de 2.500 horas de sol por ano, o que torna a região uma das mais promissoras do Brasil para geração de energia solar. Esse alto índice de radiação solar permite uma produção de energia eficiente e contínua, fator que contribui para a redução de custos operacionais e maior retorno sobre o investimento.

Além disso, a energia solar é uma alternativa que não apenas gera economia a longo prazo, mas também contribui para a redução da dependência de fontes de energia convencionais, que têm um impacto ambiental negativo devido à emissão de gases de efeito estufa. Com a implementação de sistemas fotovoltaicos no Rio Grande do Norte, há também uma contribuição significativa para a preservação do meio ambiente, alinhando a geração de energia com sustentabilidade (CABRAL, 2012). A importância ambiental da energia solar, aliada ao avanço das novas tecnologias fotovoltaicas, destaca-se como um caminho promissor para a sustentabilidade energética no estado.

2 ENERGIA SOLAR

2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR

Desde o princípio, a humanidade tem aproveitado a energia solar de diferentes formas. No período Paleolítico, utilizava galhos resinosos para gerar fogo, enquanto no século VII a.C., lentes de vidro simples eram empregadas para concentrar a luz solar e iniciar a combustão. Durante o período helenístico, Arquimedes teria usado espelhos para refletir a luz do sol e incendiar embarcações inimigas, enquanto na Roma Antiga e na China, construções eram projetadas para maximizar o aquecimento solar. No século XVIII, Horace-Benedict de Saussure desenvolveu o primeiro coletor solar térmico, e no século XIX, Augustin Mouchot criou um motor movido a energia solar. O avanço mais significativo ocorreu em 1954, quando cientistas da Bell Labs desenvolveram o primeiro painel solar fotovoltaico, inicialmente utilizado em satélites e posteriormente em sistemas terrestres. Com o passar dos séculos, o uso da energia solar diminuiu com o avanço das fontes não renováveis, mas o aumento dos custos do petróleo e a crescente conscientização ambiental renovaram o interesse por essa fonte de energia, reforçando seu papel como uma alternativa sustentável essencial para uma economia mais responsável e ecológica (KEMERICH, 2016).

2.2 DESENVOLVIMENTO

Em 1839, o físico francês Alexandre Edmond Becquerel foi o primeiro a observar esse fenômeno, ao notar que certos materiais, quando expostos à luz, geram eletricidade. No entanto, foi somente no século XX que o efeito fotovoltaico passou a ser explorado de forma mais sistemática, com o desenvolvimento de células solares (DIAS JR, 2019). Nos anos 1830, o cientista francês Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico, o qual permite que a luz solar seja convertida diretamente em eletricidade. No entanto, foi apenas em 1883 que o americano Charles Fritts construiu a primeira célula solar funcional, utilizando uma fina camada de selênio revestida de ouro (DE OLIVEIRA, 2017).

Quando a luz do sol atinge a superfície de uma célula solar, ela excita os elétrons nos materiais semicondutores presentes na célula. Esses elétrons excitados são então direcionados para criar um fluxo de corrente elétrica, que pode ser utilizado para alimentar dispositivos elétricos. A capacidade de diferentes materiais de gerar eletricidade por meio deste efeito varia, e o silício se tornou o material predominante devido à sua abundância, durabilidade e eficiência (FREITAS, 2006). O desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica remonta a um

período histórico significativo, iniciado com a descoberta do efeito fotovoltaico, que se revela como um fenômeno fundamental para a conversão da luz solar em energia elétrica. Esse efeito ocorre quando certos materiais semicondutores, como o silício, são expostos à luz solar, gerando uma corrente elétrica devido à excitação de elétrons provocada pela absorção dos fótons solares.

O avanço do efeito fotovoltaico, aliado à evolução das tecnologias de células solares, revolucionou a maneira como a energia solar pode ser aproveitada, tornando-a uma das soluções mais promissoras e sustentáveis para atender à crescente demanda energética global. Hoje, a tecnologia fotovoltaica não só oferece uma alternativa ecológica às fontes convencionais de energia, como também está em constante aprimoramento, aumentando a eficiência e a acessibilidade de sistemas solares, o que reforça seu papel crucial na busca por uma matriz energética mais limpa e sustentável (KEMERICH, 2016).

A energia solar apresentou um desenvolvimento significativo nas últimas décadas, impulsionado pela implementação de políticas governamentais em diversos países que incentivam seu uso. Como resultado, as tecnologias fotovoltaicas evoluíram consideravelmente, levando à redução dos custos de produção e ao aumento da eficiência dos sistemas, tornando essa fonte de energia cada vez mais acessível e competitiva (KEMERICH, 2016).

Com seu crescimento, a energia solar tem se consolidado como uma das principais fontes de energia renovável no mundo. Entre 1992 e 2023, a capacidade instalada global de energia fotovoltaica aumentou de forma significativa, passando de uma aplicação de nicho para uma fonte de eletricidade amplamente utilizada. De 2016 a 2022, a taxa de crescimento anual da capacidade e produção foi de aproximadamente 26%, dobrando a cada três anos. Esse avanço foi impulsionado por políticas governamentais de incentivo, como tarifas feed-in, que promovem investimentos no setor. Países como Japão, Alemanha e China lideram essa expansão, resultando em uma redução substancial nos custos devido a melhorias tecnológicas e economias de escala. Em 2022, a capacidade fotovoltaica instalada globalmente atingiu cerca de 1.185 gigawatts, suprimindo mais de 6% da demanda mundial de eletricidade. Projeções indicam que, até 2050, a energia solar poderá se tornar a maior fonte de eletricidade global, com uma capacidade estimada de 4,7 terawatts, especialmente na China e na Índia (IRENA, 2022).

2.3 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

O Brasil é reconhecido como um dos países com maior potencial para geração de energia solar fotovoltaica no mundo, graças à sua elevada incidência solar durante todo o ano. Esse contexto favorável tem incentivado a expansão de tecnologias fotovoltaicas, tanto em larga escala, por meio da instalação de usinas solares, quanto na geração distribuída, com pequenos sistemas implantados em residências, comércios e indústrias (DA ROSA 2016).

Desde 2012, o Brasil tem registrado avanços notáveis no crescimento da energia solar, impulsionados por iniciativas como os leilões de energia de reserva destinados a fontes fotovoltaicas. Essas ações representaram um marco inicial no desenvolvimento organizado dessa fonte renovável, assegurando sua inclusão na matriz elétrica nacional. No entanto, apesar dos progressos obtidos, ainda há desafios a serem enfrentados para garantir sua expansão plena e a eficiência do setor, como a necessidade de investimentos em infraestrutura para a integração da geração distribuída, a atualização do marco regulatório, a redução dos custos de tecnologia, a capacitação de mão de obra especializada e o aprimoramento das políticas de incentivo e financiamento. Superar esses obstáculos é essencial para consolidar a energia solar como uma alternativa viável e competitiva no cenário energético brasileiro (DA ROSA, 2016).

A Figura 1 foi produzida pela Solargis faz parte de um estudo de recursos solares realizado pelo World Bank Group e ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program). Ele ilustra as diferentes intensidades de irradiação solar direta em várias regiões do Brasil, mostrando o potencial solar ao longo do território nacional. Este mapa utiliza uma escala de cores para representar os níveis médios de irradiação solar direta, com base em dados coletados entre os anos de 1999 e 2018. As cores variam de verde, indicando níveis mais baixos de irradiação (cerca de 3,0 kWh/m²), até tons de vermelho escuro, que indicam os níveis mais altos, acima de 6,2 kWh/m².

A Figura 1 destaca que áreas no nordeste do Brasil, especialmente no interior dos estados como Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Piauí, apresentam os maiores índices de irradiação direta, o que faz delas regiões altamente favoráveis para a instalação de sistemas de geração de energia solar. Áreas do centro-oeste, como Mato Grosso e Goiás, também apresentam bons níveis de irradiação, com valores que oscilam entre 4,0 e 5,5 kWh/m², o que também sugere grande potencial para energia solar. O sul do Brasil, incluindo os estados de

Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, apresenta os menores índices de irradiação direta, refletidos pelas tonalidades verde e amarela.

Figura 1 - Irradiação Normal Direta sobre o Brasil



Fonte: Solargis, 2024

A Figura 2 apresenta a distribuição do potencial de geração de energia fotovoltaica em diferentes regiões do Brasil, com base em dados médios de longo prazo obtidos entre 1999 e 2018. A Figura utiliza uma escala de cores para representar o potencial fotovoltaico médio em kWh/kWp (quilowatt-hora por quilowatt-pico instalado), sendo as áreas mais produtivas indicadas por tons de vermelho, e as menos produtivas, por tons de verde.

O interior do Nordeste, incluindo estados como Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Bahia, aparece com os maiores valores médios, superiores a 5,4 kWh/kWp. Isso sugere que essas áreas são ideais para projetos de geração de energia fotovoltaica, tanto distribuída

quanto centralizada. Os estados do Centro-Oeste, como Mato Grosso e Goiás, exibem potencial moderado, variando entre 4,4 e 4,8 kWh/kWp. Isso demonstra viabilidade para a geração de energia fotovoltaica com boa eficiência. O sul do Brasil, incluindo os estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, apresenta os menores índices, refletidos pelas tonalidades mais claras. Os valores médios variam entre 3,8 e 4,2 kWh/kWp.

A Figura 2 fornece uma visão estratégica do potencial energético do Brasil, facilitando o planejamento e a tomada de decisões por parte de investidores, empresas de energia e formuladores de políticas públicas. Ele destaca, de maneira clara, as áreas mais promissoras para o aproveitamento da energia solar no país.

Figura 2 - Potencial de Energia Fotovoltaica do Brasil



Fonte: Solargis, 2024

2.4 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

Os cientistas da Bell Labs desenvolveram a primeira célula fotovoltaica prática usando silício. Este dispositivo gerava uma quantidade significativa de energia, comparado com experimentos anteriores, e foi o marco que tornou a tecnologia fotovoltaica viável para aplicações comerciais (MACHADO, 2015).

As placas fotovoltaicas, também chamadas de painéis solares, convertem a luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. O funcionamento básico de uma célula fotovoltaica envolve a conversão da energia luminosa em energia elétrica de forma direta, sem partes móveis. Esse processo tem como princípio o efeito fotoelétrico, no qual fótons provenientes da luz solar incidem sobre o material semicondutor da célula, geralmente silício, e transferem sua energia para os elétrons, fazendo com que eles sejam liberados da estrutura atômica e geram uma corrente elétrica. Para aumentar a eficiência da conversão, o silício utilizado nas células fotovoltaicas passa por um processo de dopagem, no qual átomos de outros elementos, como fósforo e boro, são adicionados ao material. Essa dopagem cria uma junção do tipo p-n, essencial para o estabelecimento do campo elétrico interno que direciona os elétrons liberados pelo efeito fotoelétrico, permitindo o fluxo ordenado da corrente elétrica e, assim, a geração de eletricidade (BRAGA, 2008).

3 USINAS SOLARES

3.1 INTRODUÇÃO ÀS USINAS

As usinas solares fotovoltaicas são instalações projetadas para capturar a luz solar e convertê-la em energia elétrica por meio de um conjunto de componentes interconectados. Este capítulo detalha as partes essenciais que compõem essas usinas e suas respectivas funções no processo de geração e distribuição de energia (DE ALENCAR, 2016).

3.2 COMPONENTES DAS USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

3.2.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos expostos na Figura 3, também conhecidos como painéis solares, são os principais responsáveis por captar a luz do sol e convertê-la em energia elétrica. Essa energia é gerada na forma de corrente contínua (CC), que posteriormente será convertida para corrente alternada (CA) para uso em redes elétricas e aparelhos domésticos (CARNEIRO, 2010).

Figura 3- Módulos fotovoltaicos



Fonte: Autoria própria (2025).

3.2.2 Inversores

Os inversores são componentes críticos que convertem a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), garantindo compatibilidade com a rede elétrica e os dispositivos que consomem energia (LOPES & DE ANDRADE, 2023). A Figura 4 ilustra um inversor da marca Growatt, modelo MOD 4000TL3-X, com uma potência nominal de 4 kW.

Figura 4 - Inversor Growatt MOD 4000TL3-X para painéis solares.



Fonte: Autoria própria(2024).

3.2.3 Estruturas de Suporte

Como mostrado na Figura 5, as estruturas de suporte sustentam os painéis solares e garantem que estejam posicionados no ângulo ideal para maximizar a captação da luz solar. Essas estruturas podem ser fixas ou rastreáveis, acompanhando o movimento do sol para otimizar a geração de energia ao longo do dia. O dimensionamento estrutural adequado é essencial para garantir a eficiência e a durabilidade dessas estruturas fotovoltaicas (SILVA, 2020).

Figura 5 – Estruturas de suporte para painéis solares



Fonte: Autoria própria (2025).

3.2.4 Transformadores

Os transformadores são responsáveis por elevar ou ajustar a tensão da energia gerada pelos módulos solares ao nível necessário para a transmissão ou distribuição, assegurando a entrega segura e eficiente da eletricidade (DAVID, 2023).

3.2.5 Subestação Elétrica

A subestação elétrica é o ponto de conexão entre a energia gerada pela usina e a rede elétrica de transmissão ou distribuição. Ela desempenha um papel fundamental na regulação da tensão e na segurança da transferência de energia (CORRÊA, 2023).

Figura 6 – Subestação Elétrica



Fonte: OMS Engenharia (2025)

3.2.6 Cabos e Conexões

Os cabos e conexões são utilizados para transportar a energia elétrica entre os diferentes componentes da usina, incluindo módulos, inversores, transformadores e subestações (SANTOS, 2024).

3.2.7 Sistemas de Proteção Elétrica

Os sistemas de proteção elétrica incluem disjuntores, fusíveis e para-raios, que protegem os equipamentos contra sobrecargas, curto-circuitos e descargas. Esses dispositivos garantem a segurança e a confiabilidade da operação da usina, sendo que, na geração de energia solar, a proteção para corrente contínua é essencial para evitar danos aos componentes do sistema fotovoltaico (DE OLIVEIRA, 2019).

3.2.8 Sistema de Monitoramento

O sistema de monitoramento permite acompanhar o desempenho da usina em tempo real, detectar falhas e otimizar a geração de energia. Isso garante maior eficiência e manutenção proativa dos equipamentos (REDISKE, 2023).

3.2.9 Sistema de Armazenamento

Algumas usinas utilizam baterias para armazenar a energia gerada durante o dia, disponibilizando-a durante os períodos em que o sol não está brilhando, como à noite ou em dias nublados. Esses sistemas de armazenamento com baterias são fundamentais para a estabilidade da rede elétrica, garantindo o fornecimento contínuo de energia e permitindo maior autonomia em sistemas isolados ou híbridos (MONTEIRO, 2017).

3.2.10 Área de Infraestrutura e Logística

Inclui estradas de acesso, cercas de segurança e áreas administrativas, que oferecem suporte à operação e manutenção da usina solar, garantindo uma operação segura e eficiente de todo o sistema.

Dessa forma, todos esses componentes desempenham papéis essenciais na captação, conversão, transmissão e armazenamento da energia solar, permitindo que as usinas solares fotovoltaicas funcionem de maneira eficiente e segura (SILVA, 2022).

3.3 NORMAS TÉCNICAS DAS USINAS SOLARES

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é uma entidade privada, sem fins lucrativos, fundada em 1940, com a missão de fomentar a normalização técnica no Brasil. Sua principal função é elaborar, divulgar e manter as normas técnicas brasileiras (NBRs), que estabelecem critérios e diretrizes para produtos, serviços e processos.

Essas normas são adotadas por empresas, órgãos governamentais e consumidores para assegurar a qualidade, segurança e conformidade dos produtos e serviços, além de promover a competitividade e a eficiência do setor industrial no país. As NBRs são desenvolvidas por comissões técnicas compostas por especialistas de diferentes áreas, que se reúnem regularmente para revisar, discutir e aprovar as normas, garantindo que elas atendam às necessidades do mercado e às exigências regulatórias (EDP SOLUÇÕES, 2025).

A seguir, serão apresentadas algumas normas técnicas que contribuem para a evolução da energia solar no Brasil.

3.3.1 ABNT NBR 16274:2014

A norma NBR 16274 estabelece os requisitos mínimos para a elaboração de projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, abrangendo aspectos como o dimensionamento do sistema, a escolha dos equipamentos, a proteção contra surtos e o aterramento. Ela visa assegurar que o projeto seja desenvolvido de forma segura e eficiente, otimizando a geração de energia e minimizando riscos, com o objetivo de garantir a conformidade com os padrões técnicos exigidos para o bom desempenho e segurança dos sistemas fotovoltaicos (ABNT, 2014).

3.3.2 ABNT NBR 5410:2004

A norma NBR 5410 estabelece os requisitos para instalações elétricas de baixa tensão, englobando sistemas fotovoltaicos. Ela trata de aspectos essenciais, como a seleção adequada de condutores e dispositivos de proteção, além de definir os procedimentos corretos de instalação e manutenção dos sistemas. Essa regulamentação é crucial para assegurar a segurança das instalações elétricas, prevenindo acidentes e possíveis danos materiais, ao mesmo tempo em que garante o funcionamento eficiente e seguro dos sistemas fotovoltaicos. A observância desses requisitos contribui para a conformidade com as melhores práticas do

setor e protege tanto os usuários quanto os profissionais envolvidos na instalação e operação dos sistemas (ABNT, 2004).

3.3.3 ABNT NBR 5419-1:2015

A norma NBR 5419 define os requisitos para a proteção, instalação e manutenção de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) em estruturas, sendo essencial para garantir a segurança dos painéis solares e demais componentes de um sistema fotovoltaico. Essa norma é particularmente importante, pois os raios podem causar danos consideráveis aos equipamentos, prejudicando a geração de energia e comprometendo o funcionamento do sistema como um todo. Portanto, a adoção dessas diretrizes é fundamental para assegurar a integridade dos sistemas fotovoltaicos e evitar perdas financeiras e operacionais (ABNT, 2015).

3.3.4 ABNT NBR 16690:2019

A norma NBR 16690 estabelece os requisitos mínimos para a documentação técnica de projetos executivos de sistemas fotovoltaicos, funcionando como um guia para assegurar que o projeto da instalação solar seja completo, seguro e eficiente. Ela aborda aspectos essenciais, como informações gerais sobre o projeto, características elétricas do sistema, dimensionamento, diagramas e desenhos técnicos, entre outros elementos cruciais para garantir a correta execução e operação do sistema fotovoltaico (ABNT, 2019).

3.3.5 NR-10

A Norma Regulamentadora nº 10 (NR-10) define os requisitos e condições mínimas necessárias para assegurar a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos em instalações e serviços relacionados à eletricidade. Ela visa garantir a proteção dos profissionais que lidam com esse tipo de atividade, estabelecendo diretrizes para a execução segura dos trabalhos e a prevenção de acidentes (ABNT, 2023).

inclinação e o azimute foram configurados de forma a maximizar a eficiência energética do sistema.

Tabela 1 - Dados técnicos da usina Angicos 01 (Solo)

Propriedades	Dados
Número de módulos	190
Fabricante e modelo dos módulos	Trina Solar DUOMAX Dual Glass 72-Cell module 330W
Potência de Pico do Módulo	330 Wp
Potência de Pico Total	62,7 kWp
Área do Arranjo	372,4 m ²
Azimute	0°
Ângulo de Inclinação	10°

Fonte: adaptado de Usinas (2025)

Com base nos dados apresentados na Tabela 2, a usina Angicos 02 (Central de Aulas 1) conta com 85 módulos fotovoltaicos do modelo CANADIAN SOLAR CS3W 450MS, cada um com uma potência de pico de 450 Wp, totalizando uma potência instalada de 38,25 kWp. O arranjo ocupa uma área de 187,40 m², o que representa uma área bem menor que a área da usina Angicos 01, e com os módulos configurados em azimutes de 22° e 202°, otimizando a captação da radiação solar.

Tabela 2 - Dados técnicos da usina Angicos 02 (central de aulas 1)

Propriedades	Dados
Número de módulos	85
Fabricante e modelo dos módulos	CANADIAN SOLAR CS3W 450MS
Potência de Pico do Módulo	450 Wp
Potência de Pico Total	38,25 kWp
Área do Arranjo	187,40 m ²
Azimute	22° / 202°
Ângulo de Inclinação	-

Fonte: adaptado de Usinas (2025)

Tabela 3 - Dados técnicos da usina Angicos 03 (central de aulas 2)

Propriedades	Dados
Número de módulos	85
Fabricante e modelo dos módulos	CANADIAN SOLAR CS3W 450MS
Potência de Pico do Módulo	450 Wp
Potência de Pico Total	38,25 kWp
Área do Arranjo	187,40 m ²
Azimute	22° / 202°
Ângulo de Inclinação	-

Fonte: adaptado de Usinas (2025)

A Tabela 3 apresenta os dados técnicos da usina solar Angicos 03, localizada na Central de Aulas 2 do campus Angicos da Ufersa. Entre as informações destacadas, estão o número de módulos fotovoltaicos (85), o fabricante e modelo dos módulos (Canadian Solar CS3W 450MS), a potência de pico individual de cada módulo (450 W), a potência de pico total (38,25 kWp), a área ocupada pelo arranjo (187,40 m²) e o azimute de orientação

(22°/202°). Esses dados fornecem uma visão detalhada das especificações da usina, evidenciando sua capacidade de geração e configuração.

Tabela 4- Dados técnicos da usina Angicos 04 (bloco dos docentes 1)

Propriedades	Dados
Número de módulos	174
Fabricante e modelo dos módulos	JINKO JKM460M-60HL4-V 60M HC
Potência de Pico do Módulo	460 Wp
Potência de Pico Total	80,04 kWp
Área do Arranjo	375,49 m ²
Azimute	22° / 202°
Ângulo de Inclinação	-

Fonte: adaptado de Usinas (2025)

A Tabela 4 apresenta as principais características técnicas dessa usina 04, destacando informações essenciais sobre sua configuração e capacidade de geração. O sistema fotovoltaico é composto por 174 módulos solares, fabricados pela JINKO, modelo JKM460M-60HL4-V, cada um com 460 Wp de potência de pico. Isso resulta em uma potência total instalada de 80,04 kWp, permitindo uma significativa captação e conversão de energia solar para suprir parte da demanda elétrica da instituição. O arranjo fotovoltaico ocupa uma área de 375,49 m², com um azimute de 22° / 202°, que se refere à orientação dos painéis em relação ao norte geográfico. No entanto, o ângulo de inclinação dos módulos não está especificado na tabela.

Tabela 5- Dados técnicos da usina Angicos 05 (bloco dos docentes 2)

Propriedades	Dados
Número de módulos	174
Fabricante e modelo dos módulos	JINKO JKM460M-60HL4-V 60M HC
Potência de Pico do Módulo	460 Wp

Potência de Pico Total	80,04 kWp
Área do Arranjo	375,49 m ²
Azimute	22° / 202°
Ângulo de Inclinação	-

Fonte: adaptado de Usinas (2025)

A Tabela 5 apresenta os principais parâmetros técnicos desse sistema fotovoltaico, evidenciando sua capacidade e configuração estrutural. Composta por 174 módulos solares, fabricados pela JINKO, modelo JKM460M-60HL4-V, essa usina possui uma potência de pico individual de 460 Wp por módulo. Isso resulta em uma potência total instalada de 80,04 kWp, o que permite um significativo aproveitamento da energia solar para suprir parte da demanda energética do campus. O sistema fotovoltaico ocupa uma área de 375,49 m², apresentando um azimute de 22° / 202°, indicando sua orientação em relação ao norte geográfico. A implementação dessa usina contribui para a redução do consumo energético convencional, promovendo sustentabilidade e eficiência energética. Além disso, reforça a importância do Rio Grande do Norte como um dos estados líderes na geração solar distribuída no Brasil, aproveitando seu alto potencial de irradiação solar.

Nas Figuras 8 e 9 é possível observar as usinas da Central de Aulas do Bloco II e do Bloco de Professores I, respectivamente.

Figura 8 - Placas solares do bloco II de professores



Fonte: UFERSA (2022)

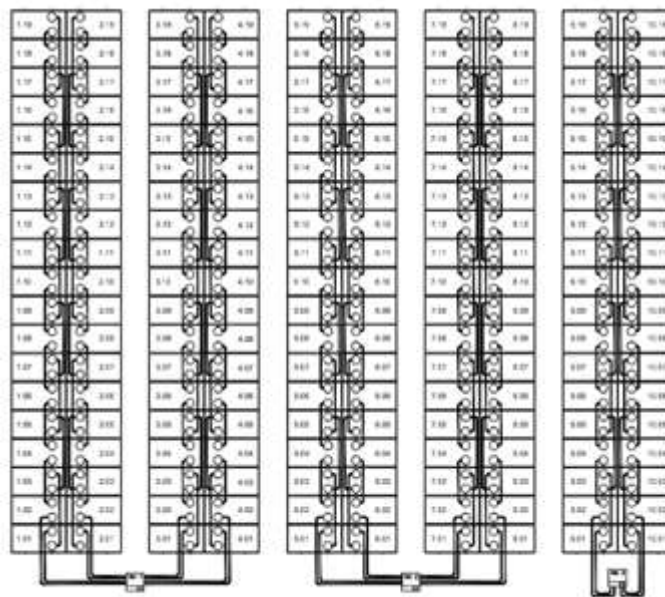
Figura 9 - Placas solares em solo ao lado do bloco de professores I



Fonte: autoria própria (2025)

4.3 ARRANJO DOS MÓDULOS

Figura 10- Arranjo de módulos e inversores da usina Angicos 01.



Fonte: Memorial (2025)

A Figura 10 mostra os arranjos de módulos conectados aos inversores da usina Angicos 01. Segundo o memorial descritivo (MEMORIAL, 2025), a usina possui um total de 85 módulos fotovoltaicos distribuídos entre três inversores. O Inversor 1, localizado à esquerda na figura, possui dois arranjos, cada um composto por 38 módulos divididos em 2 *strings* de 19 módulos. Da mesma forma, o Inversor 2 também conta com dois arranjos de 38 módulos, organizados em 2 *strings* de 19 módulos cada. Já o Inversor 3 possui dois arranjos menores, cada um contendo 19 módulos organizados em uma única *string*. Essa configuração

garante a distribuição eficiente da geração fotovoltaica e a conexão otimizada ao sistema de inversores da usina.

5 RESULTADOS

A Tabela 6 apresenta informações sobre as usinas solares fotovoltaicas instaladas no campus Angicos da UFERSA. Ela mostra a potência instalada em cada usina, o tipo de instalação (solo ou telhado), o local onde cada usina foi implementada, e as respectivas datas de instalação. Esses dados evidenciam o investimento em energia solar no campus, promovendo sustentabilidade e eficiência energética. Ao todo, a potência instalada atinge 299,28 kWp, com usinas distribuídas em diferentes blocos, tanto em solo quanto nos telhados.

Tabela 6 - Dados gerais das usinas solares do campus Angicos da UFERSA

Usina	Potência	Tipo	Local	Data de instalação
Angicos 01	62,70 kWp	Solo	Campus	09/2018
Angicos 02	38,25 kWp	Telhado	Central de aulas I	07/2021
Angicos 03	38,25 kWp	Telhado	Central de aulas II	07/2021
Angicos 04	80,04 kWp	Telhado	Bloco de docentes I	11/2022
Angicos 05	80,04 kWp	Telhado	Bloco de docentes II	11/2022
Total	299,28 kWp	-	-	-

Fonte: adaptado de Usinas (2025)

A figura 11 apresenta a localização das usinas solares no campus Angicos da UFERSA. Como ilustrado, a Usina 01 está situada no solo, entre o Bloco de Professores 1 e a garagem do campus.

Já as demais usinas estão instaladas nos telhados de diferentes blocos acadêmicos e administrativos. A Usina 02 encontra-se no teto do Bloco 1 de Aulas, enquanto a Usina 03 está localizada no teto do Bloco 2 de Aulas. A Usina 04 foi instalada no teto do Bloco 1 de Professores, e a Usina 05 está sobre o Bloco 2 de Professores.

A distribuição dessas usinas pelo campus evidencia um planejamento para otimizar a captação de energia solar, aproveitando tanto áreas abertas quanto os telhados das edificações existentes. Esse modelo contribui significativamente para a sustentabilidade energética da universidade, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e promovendo o uso eficiente da energia solar.

Figura 11 - Localização das usinas solares no campus Angicos da UFRSA.



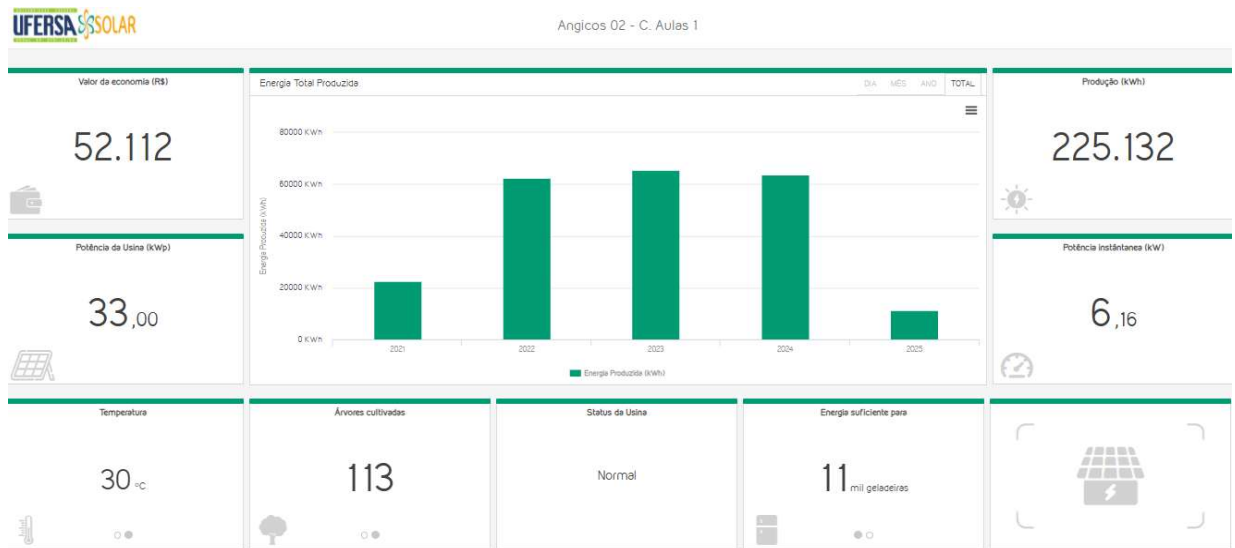
Fonte: Autoria própria utilizando o *software* QGIS. Imagem de satélite disponibilizada pela Google.

5.1 ENERGIA PRODUZIDA PELAS PLACAS SOLARES

5.1.1 Usina Angicos 02 - Central de Aulas 1

De acordo com os dados apresentados na Figura 12 a usina já gerou uma economia de R\$52.112, demonstrando a viabilidade econômica da energia solar. A produção total de energia alcançou a marca de 225.132 kWh, contribuindo para a redução do consumo de energia convencional, a usina possui uma potência instalada de 33,00 kWp, o que garante um bom desempenho na captação da energia solar. Além disso, é possível observar a produção ao longo dos anos de 2021 a 2025.

Figura 12 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 02

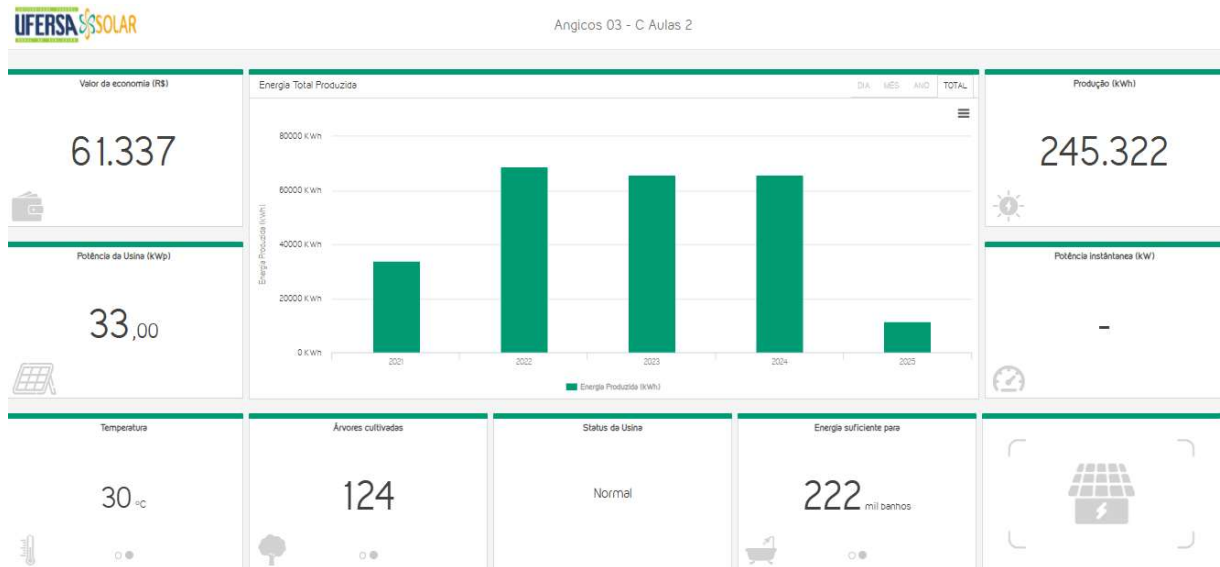


Fonte: Adaptado de Usinas (2025).

5.1.2 Usina Angicos 03 - Central de Aulas 2

Os dados da usina no bloco 02 de aulas já proporcionaram uma economia anual de R\$61.337. A energia total produzida atingiu a marca de 245.322 kWh, além disso, a energia gerada pela usina é suficiente para suprir o consumo de 222 mil banhos, evidenciando o impacto positivo na sociedade, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 03

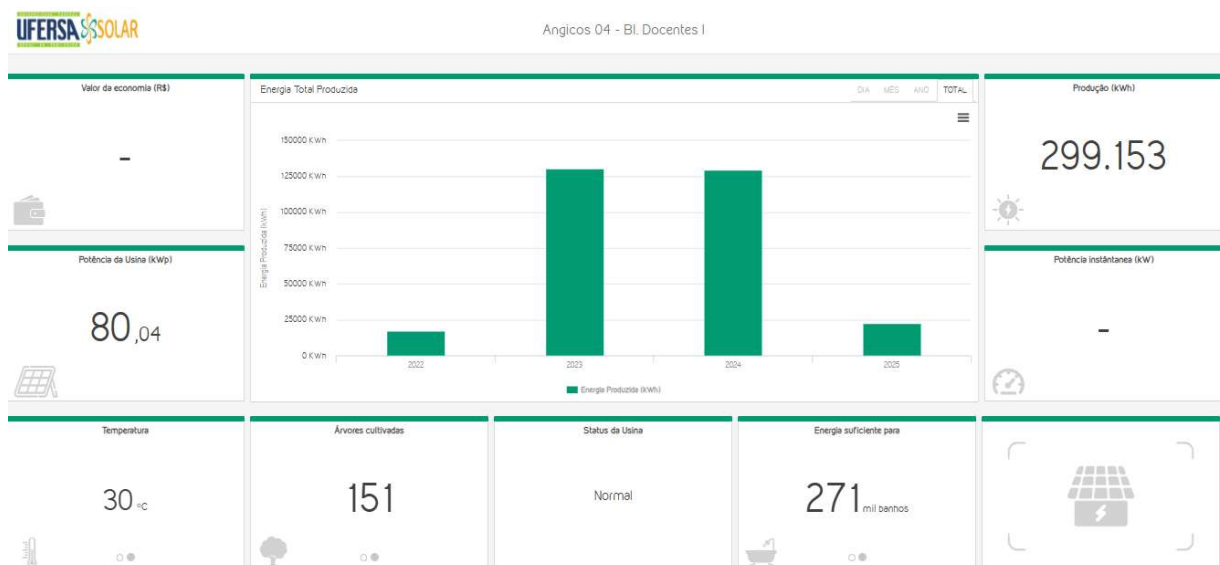


Fonte: Adaptado de Usinas (2025).

5.1.3 Usina Angicos 04 - Bloco dos professores 1

De acordo com a Figura 14 produção total de energia alcançou a marca de 299.153 kWh, contribuindo para a redução do consumo de energia convencional. O painel também exibe a produção de energia em diferentes períodos, de 2022 a 2025, permitindo acompanhar a evolução da geração ao longo do tempo.

Figura 14 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 04

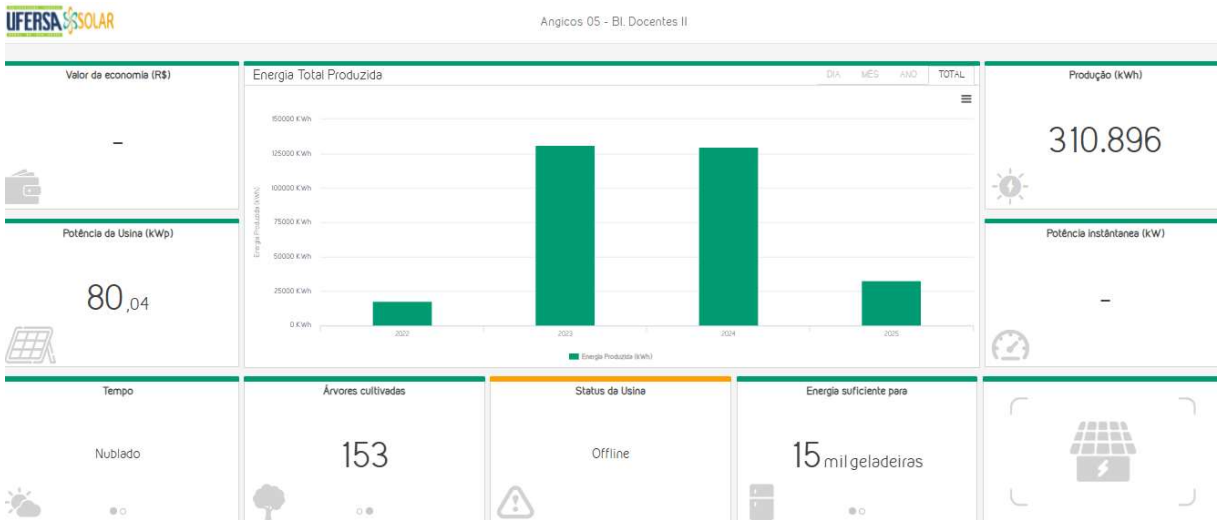


Fonte: Adaptado de Usinas (2025).

5.1.4 Usina Angicos 05 - Bloco dos professores 2

Nas informações da Figura 15 é possível observar um desempenho melhor nos anos de 2023 e 2024, tendo produzido ao longo dos anos cerca de 310,896 kWh de energia, o que por sua vez representa por exemplo uma energia suficiente para 15 mil geladeiras.

Figura 15 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 05

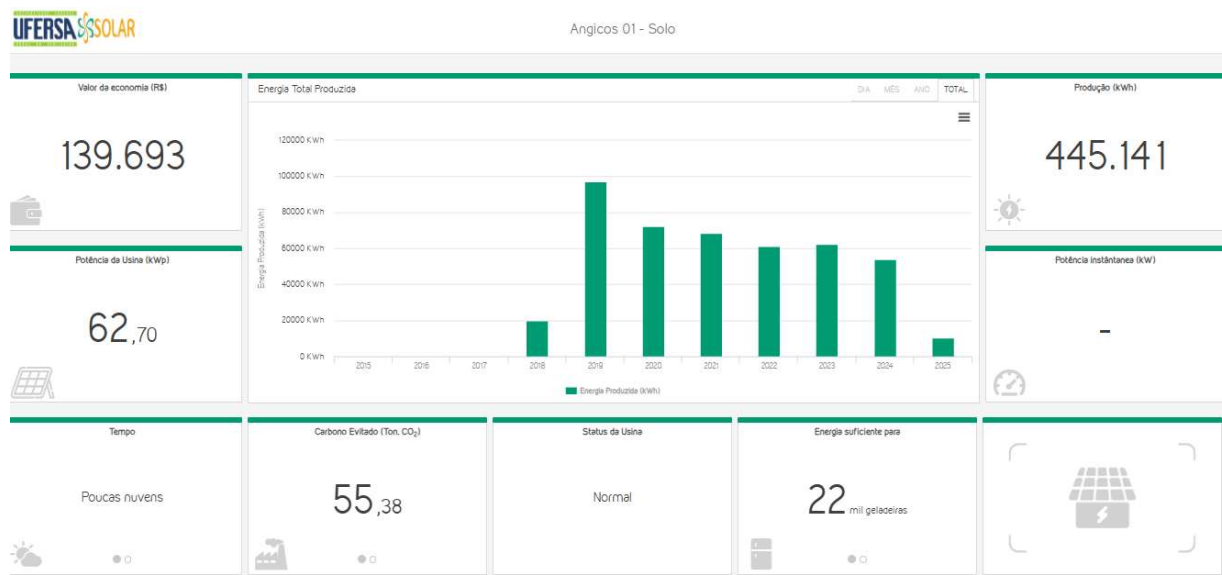


Fonte: Adaptado de Usinas (2025).

5.1.5 Usina Angicos 01 - solo

Com uma alta produção de 445.141 kWh de energia, a usina Angicos 01 se destaca pela sua grande produção de energia, o que equivale a 22 mil banhos e gerando uma economia de R\$139.693,00 de acordo com as informações da Figura 16.

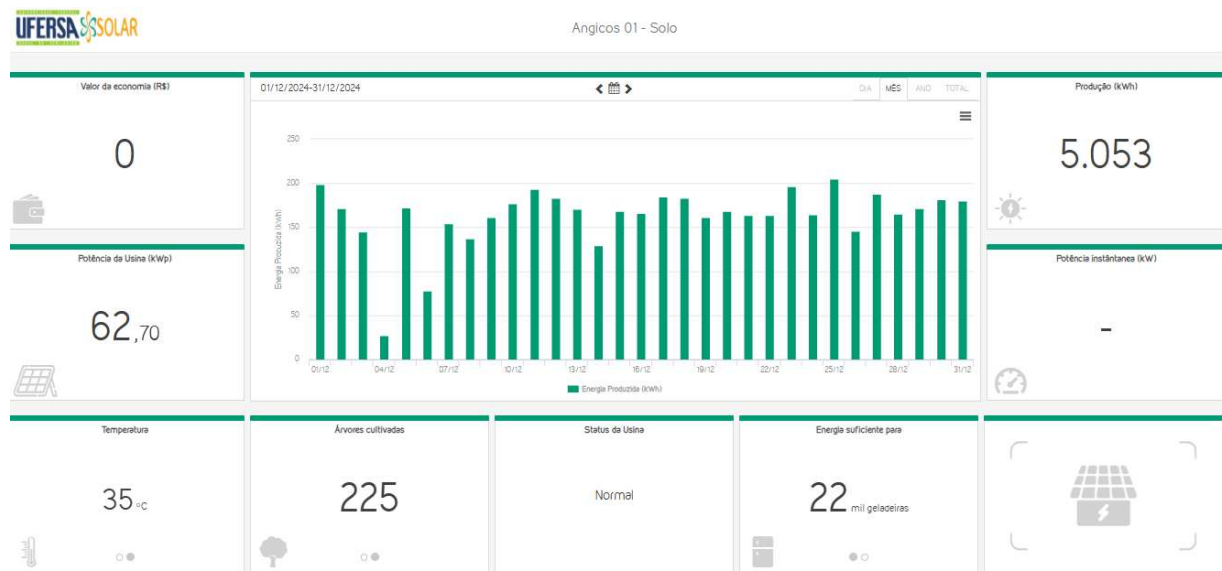
Figura 16 - Geração Total de Energia Fotovoltaica (kWh) – Usina Angicos 01



Fonte: Adaptado de Usinas (2025).

5.1.6 Produção de energia solar em dezembro de 2024 da usina Angicos 01 - solo

Figura 17 - Produção de energia pela usina solar Angicos 01 (solo) durante dezembro de 2024



Fonte: Adaptado de Usinas (2025).

Como é mostrado na Figura 17, retirado do portal UFERSA Solar (USINAS, 2025), no mês de dezembro de 2024, a usina solar Angicos 01 (solo) registrou uma produção total de 5.053 kWh. A potência de lista foi de 62,70 kWp, enquanto o status da usina permaneceu normal ao longo do período. O tempo predominante foi de céu limpo, contribuindo para a eficiência da geração. A usina também foi responsável por evitar a emissão de

aproximadamente 54,43 toneladas de CO₂. Além disso, a energia gerada foi suficiente para abastecer cerca de 22 mil geladeiras, evidenciando o impacto positivo da geração fotovoltaica na sustentabilidade energética.

5.1.7 Produção de energia solar em 2024 Angicos 01 - solo

Figura 18 - Produção de energia pela usina solar Angicos 01 (solo) durante o ano de 2024



Fonte: Adaptado de Usinas (2025).

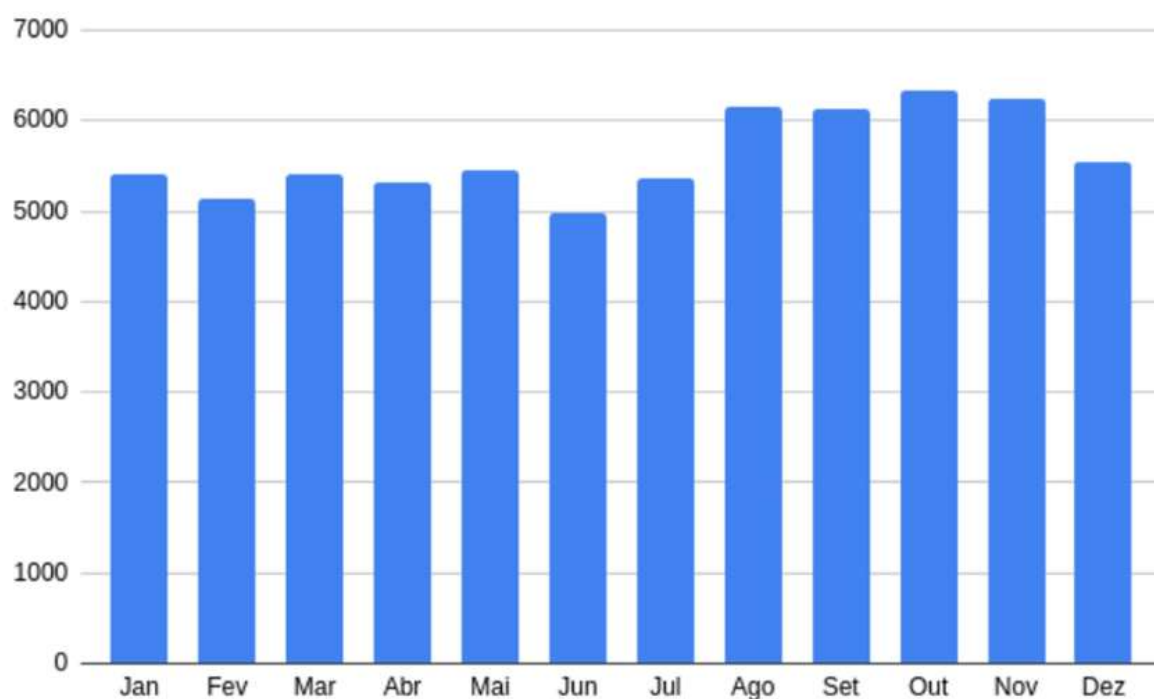
De acordo com a Figura 18, durante o ano de 2024 foi observado uma variação na geração de energia nos diferentes meses do ano, com uma tendência de maior produção em determinados períodos. A geração mensal de energia apresenta algumas flutuações, mas, de forma geral, mantém-se dentro de uma faixa consistente entre 4000 kWh e 6000 kWh na maior parte do ano. Junho apresenta a menor produção de energia entre todos os meses, ficando abaixo dos 4000 kWh, o que pode estar associado a fatores como menor incidência solar ou aumento de nebulosidade.

Por outro lado, agosto, setembro e outubro, destacam-se como os meses de maior geração, atingindo valores superiores a 5500 kWh, possivelmente devido a um período de maior irradiação solar e condições climáticas favoráveis. Já os meses de janeiro a maio e de novembro a dezembro apresentam uma produção relativamente estável, situando-se na faixa de 4500 kWh a 5500 kWh. A variação na produção deve indicar a influência de fatores climáticos sazonais, como períodos chuvosos ou variações na intensidade da radiação solar.

5.1.8 Irradiação solar em Angicos

Os dados observados abaixo na Figura 19 foram obtidos a partir de plataforma virtual (LABREN, 2025) disponibilizada pelo Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), mantido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Pode-se observar uma correlação entre os dados de produção e de irradiação, destacando-se os mesmos valores entre os meses de junho e julho, maiores valores entre agosto e novembro, e valores intermediários entre dezembro e maio, destacando o potencial para a produção de energia solar que a região possui.

Figura 19 - Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal para Angicos (Wh/m².dia)



Fonte: LABREN, (2025)

5.1.9 Comparação com consumo do campus Angicos

A Tabela 7 apresenta um panorama da produção das usinas no Campus Angicos ao longo de 2024, abrangendo o período de janeiro a dezembro. A tabela revela a dinâmica da geração de energia ao longo do ano. A produção total registrada foi de 441.969 kWh, com uma média mensal de 36.830,76 kWh.

A análise dos dados permite identificar padrões sazonais na geração de energia, influenciados por fatores como variação da radiação solar ao longo do ano. Nota-se que os meses de outubro

e novembro registraram os maiores valores de produção, enquanto os meses de janeiro e fevereiro apresentaram os menores valores.

Tabela 7 - Consumo total e produção das usinas no Campus Angicos em 2024

Mês de 2024	Produção (kWh)					Total
	Usina 01	Usina 02	Usina 03	Usina 04	Usina 05	
Janeiro	4.960	5.617	5.682	11.297	11.406	38.962
Fevereiro	4.215	4.866	4.905	9.741	9.855	33.582
Março	4.981	5.364	5.423	10.783	10.588	37.139
Abril	4.912	5.197	5.232	10.351	10.227	35.919
Maiο	4.880	4.917	5.080	9.920	9.724	34.521
Junho	4.618	4.890	4.907	9.437	9.224	33.076
Julho	5.078	3.666	5.177	10.113	9.902	33.936
Agosto	3.764	5.732	5.771	11.387	11.206	37.860
Setembro	544	5.809	5.881	11.648	11.654	35.536
Outubro	5.039	5.911	5.993	11.816	12.038	40.797
Novembro	5.785	6.058	6.098	12.061	12.472	42.474
Dezembro	5.053	5.134	5.634	11.022	11.378	38.221
Total	53.775	63.161	65.783	129.576	129.674	441.969
Média	4.481,25	5.263,42	5.481,92	10.798	10.806,17	36.830,76

Fonte: Adaptado de Usinas (2025).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho explorou a crescente aplicação da energia solar no Brasil, tendo um foco especial nas instalações fotovoltaicas do campus Angicos da UFERSA. A análise detalhada das cinco usinas solares do campus revelou um panorama de eficiência e sustentabilidade, demonstrando o potencial da energia solar para suprir demandas energéticas locais. A pesquisa abrangeu desde os fundamentos históricos e tecnológicos da energia solar até a análise prática da produção energética das usinas. Dados de irradiação solar em Angicos/RN, obtidos do LABREN/INPE, foram cruciais para entender o potencial da região, comprovando a escolha do local para a instalação das usinas.

A análise técnica das usinas, detalhada em tabelas e figuras, apresentou a capacidade instalada, os tipos de módulos utilizados, e a produção energética de cada instalação. Os dados coletados permitiram uma comparação entre as usinas, evidenciando a eficiência de diferentes configurações e tecnologias.

A implementação de usinas solares no campus Angicos da UFERSA representa um marco importante na busca por sustentabilidade energética. As usinas, com uma potência total instalada de 299,28 kWp, demonstram a viabilidade técnica e econômica da energia solar em regiões com alta irradiação solar.

A produção energética das usinas, detalhada nos resultados, evidencia a capacidade de suprir uma parcela significativa da demanda energética do campus. A economia gerada, tanto em termos financeiros quanto de redução de emissões de CO₂, reforça os benefícios da energia solar.

A análise das normas técnicas, como ABNT NBR 16274 e NR-10, destaca a importância da conformidade com padrões de segurança e eficiência. A observância dessas normas é de bastante importância para garantir a longevidade e o bom desempenho das usinas.

Para pesquisas futuras, sugere-se aprofundar a análise do impacto ambiental das usinas solares, considerando o ciclo de vida dos equipamentos e a gestão de resíduos. Estudos comparativos com outras fontes de energia renovável, como a eólica, podem fornecer percepções valiosas para a diversificação da matriz energética.

A análise da eficiência dos diferentes tipos de módulos fotovoltaicos, considerando fatores como temperatura e sombreamento, pode contribuir para a otimização de futuras instalações. A implementação de sistemas de armazenamento de energia, como baterias, pode ser explorada para garantir a disponibilidade de energia em períodos de baixa irradiação solar.

Além disso, uma pesquisa sobre a percepção da comunidade acadêmica e local em relação à energia solar poderia fornecer informações importantes para a implementação de políticas públicas e a promoção da adoção de energias renováveis.

As usinas solares do campus Angicos da UFERSA também desempenham um papel fundamental no desenvolvimento acadêmico e científico, proporcionando um ambiente ideal para pesquisas aplicadas. A disponibilidade dessas instalações permite que alunos e pesquisadores realizem estudos práticos sobre eficiência energética, novas tecnologias fotovoltaicas e otimização de sistemas solares. Além disso, as usinas servem como laboratório a céu aberto para disciplinas voltadas à engenharia elétrica, energias renováveis e sustentabilidade, promovendo a formação de profissionais altamente qualificados para o setor energético. Essa integração entre ensino, pesquisa e infraestrutura reforça a importância das usinas não apenas como fonte de energia limpa, mas também como ferramenta essencial para o avanço do conhecimento na área de energias renováveis.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16274:2014 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Requisitos mínimos para elaboração de projetos de sistemas conectados à rede elétrica. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410:2004 – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-1:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT. NBR 16690:2019 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Requisitos mínimos para documentação técnica de projetos executivos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- BRAGA, Renata Pereira. Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações. 2008.
- CABRAL, Isabelle; VIEIRA, Rafael. Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2012.
- CALANDRIN, Christian; BIANCHI, Pedro Mark. Implementação de um modelo de aprendizado de máquina aplicado para previsão do consumo de energia elétrica na região Nordeste do Brasil. 2023.
- CARNEIRO, Joaquim AO. Módulos fotovoltaicos: Características e associações. 2010.
- CANAL SOLAR. A necessidade do dimensionamento estrutural adequado para as estruturas FV. 2025. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/necessidade-do-dimensionamento-estrutural-adequado-para-as-estruturas-fv>. Acesso em: 15 fev. 2025.
- CORRÊA, Matheus et al. ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE SUBESTAÇÕES. 2023.
- DA ROSA, Antonio Robson Oliveira; GASPARIN, Fabiano Perin. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. Revista brasileira de energia solar, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016.
- DAVID, Wesley Santiago et al. Comissionamento classe 1 de usinas fotovoltaicas: procedimento e estudo de caso em Divinópolis-MG e Lagoa da Prata-MG. 2023.
- DE ALENCAR, Cristiano Andrade; JUNIO, J. U. Usinas solares fotovoltaicas no Brasil: Panorama atual e perspectivas futuras. In: 12th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, Curitiba. 2016.
- DE OLIVEIRA, Mauricio Aguilar Nepomuceno; SUEMITSU, Walter Issamu. Uma análise do desenvolvimento dos barcos solares. Conexões-Ciência e Tecnologia, v. 11, n. 3, p. 120-133, 2017.

DE OLIVEIRA, Ane Caroline Macedo et al. Estudos de proteção e seletividade sob a perspectiva de minigeração fotovoltaica. 2019.

DE SOUZA, Danilo Ferreira; SUETA, Hélio Eiji. Registrado no Brasil um Super Raio de 249 kA. A NBR 5419: 2015 prevê proteção para até 200 kA. E agora, projetista?.

DIAS JR, Marco Antonio. Determinação do equivalente mecânico do calor através de medidas elétricas. 2019.

EDP SOLUÇÕES. Normas para usina solar. 2025. Disponível em: <https://solucoes.edp.com.br/blog/normas-para-usina-solar/>. Acesso em: 7 mar. 2025.

EDP. Normas para usina solar: um guia completo! Soluções EDP, 30 jul. 2024. Disponível em: solucoes.edp.com.br Acesso em: 7 mar. 2025.

FREITAS, Fábio Elias. Célula solar de SnO₂/TiO₂ preparada por spray-pirólise ativada com corante orgânico. 2006.

GROWATT. Growatt MOD 4000TL3-X inverter for solar panels. Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Growatt_MOD_4000TL3-X_inverter.jpg. Acesso em: 5 dez. 2024.

IRENA. Renewable Capacity Statistics 2022. Abu Dhabi: IRENA. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016.

LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia. Disponível em: <https://labren.ccst.inpe.br/>. Acesso em: 14 mar. 2025.

LIMA, Kaike Eduardo Neves; LAGE, Eduardo Gouveia Santiago. Importância e aplicabilidade da Norma ABNT NBR 5410/2004 no quesito verificação final: segurança e confiabilidade do serviço. Technology Sciences, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2019.

LOPES, João Paulo de Carvalho; DE ANDRADE, José Antônio Bento. Esquematização de estrutura de usina de energia solar no Brasil: uma revisão de literatura. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 4, p. 1528-1537, 2023.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. Revista virtual de química, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.

MONTEIRO, Diogo Filipe Carvalho Seco. Dimensionamento de um Sistema de Armazenamento de Energia para Edifícios Residenciais Utilizando Energia Solar Fotovoltaica. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra (Portugal).

REDISKE, Graciele et al. Modelo de avaliação de desempenho de operação e manutenção de usinas fotovoltaicas de minigeração distribuída. 2023. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

SANTOS, Talita do Patrocínio Dantas dos et al. Dimensionamento de condutores de usinas fotovoltaicas de grande porte. 2024.

SEEG. (2023). SEEG 10 anos. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/SEEG-10-anos-v5.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2025.

SILVA, Fernanda Sena da. AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA COMO SUPORTE PARA PLACAS FOTOVOLTAICAS. 2020.

SILVA, Frankysia Faria da. Análise de viabilidade econômica de um sistema solar fotovoltaico para minigeração distribuída de eletricidade: caso UFMT, Campus Cuiabá-MT. 2022.

SOLARGIS. Solar Resource Map © 2021 Solargis. Disponível em: <https://solargis.com>. Acesso em: 6 dez. 2024.

TEIXEIRA, Walisson Martins. Comissionamento de uma usina fotovoltaica de 2.026,08 kWp/1.584 kW. 2023.

USINAS Solares da UFERSA. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br/geracao-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 7 mar. 2025.