

## ESQUEMATIZAÇÃO DE ESTRUTURA DE USINA DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL: UMA REVISÃO DE LITERATURA

### SCHEMATIZATION OF THE STRUCTURE AND DAILY LIFE OF A SOLAR POWER PLANT IN BRAZIL: A LITERATURE REVIEW

João Paulo de Carvalho Lopes<sup>1</sup>  
José Antônio Bento de Andrade<sup>2</sup>

**RESUMO:** A energia solar é apresentada com um crescimento exponencial no Brasil, sendo consolidada como um meio sustentável e de bom custo-benefício para produção energética. Nesse contexto, o presente trabalho buscou apresentar os passos para a estruturação de uma usina no país. Através de uma revisão de literatura, percorrendo artigos previamente publicados desde o ano de 2006 e realizando uma análise detalhada sobre os procedimentos necessários para esta construção, foi possível investigar técnicas, normas e a metodologia mais viável a ser seguida para a elaboração e conclusão viáveis dos projetos de usinas solares, principalmente as fotovoltaicas. Assim, foi ratificado que a usina fotovoltaica depende de grande empreendimento, bem como um complexo conjunto de normas e regras a serem seguidas, porém, apresenta um grandioso custo-benefício, uma vez que além de contar com uma fonte renovável, empenha importante papel no desenvolvimento sustentável.

1528

**Palavras-Chave:** Energia Solar. Usinas. Produção Energia Elétrica.

**ABSTRACT:** Solar energy is presented with an exponential growth in Brazil, being consolidated as a sustainable and cost-effective way to produce energy. In this context, the present work sought to present the steps for structuring a plant in the country. Through a literature review, covering previously published articles since 2006 and performing a detailed analysis of the necessary procedures for this construction, it was possible to investigate techniques, norms and the most viable methodology to be followed for the elaboration and viable conclusion of the solar plant projects, mainly photovoltaic. Thus, it was ratified that the photovoltaic plant depends on a large enterprise, as well as a complex set of norms and rules to be followed, however, it presents a great cost-benefit, since in addition to having a renewable source, it plays an important role in the sustainable development.

**Keywords:** Solar Energy. Power Plants. Electric Production.

<sup>1</sup> Discente do curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Vassouras.

<sup>2</sup> Docente e orientador do curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Vassouras.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da humanidade sempre se pautou em utilizar energias advindas de meios naturais. Ainda que não possuíssem meios para desenvolver de maneira mais detalhada os recursos, a natureza sempre esteve vinculada diretamente ao progresso alcançado pelas civilizações. A energia elétrica é um meio de energia secundário, obtido através de fontes diversas de energia primária, com capacidade de distribuir seu produto aos usuários por meio de redes extensas de propagação. Com o avanço da tecnologia, a produção de energia elétrica se diversificou, como uma forma de suprir a demanda dos níveis de consumo cada vez maiores. Com o aumento do consumo, foi necessário também que os países pensassem em meios de preservar o meio ambiente, então fatores como a disponibilidade de matérias-primas, domínio de tecnologias e até mesmo interesses comerciais foram cruciais para a abrangência de novas metodologias<sup>1</sup>.

Neste contexto, a energia solar se destaca como fator essencial para a estruturação da vida na Terra. O aproveitamento da luz solar para secar peles, alimento e obter fogo são fatos conhecidos desde as primeiras civilizações e, com o passar dos séculos, os desdobramentos da tecnologia e a busca por um desenvolvimento sustentável consolidaram a energia solar como uma das mais importantes para o cenário econômico e energético mundial. Conforme as populações passaram a utilizar mais as energias não renováveis, como o carvão mineral e petróleo, que apresentam grande potencial em sua queima e exploração principalmente na Revolução Industrial, houve uma queda gradativa no uso da energia solar, uma vez que para o surgimento de automóveis e para a concretização do processo maquinofatureiro a energia obtida pelas vias não renováveis garantia retorno mais rápido. Entretanto, atualmente, com o aumento do valor do petróleo e a necessidade de maior engajamento em desenvolvimento ecológico, a indústria de energia solar teve uma expressiva ascendência, consolidando-se como uma importante fonte renovável de energia<sup>1,2</sup>.

Sendo assim, a energia solar consiste em um método de obtenção de energia a partir da radiação solar, que há possibilidade de ser aproveitada por dois tipos de procedimentos, o térmico e o fotovoltaico. O primeiro, térmico, apresenta o aproveitamento em altas, médias e baixas temperaturas, tem seus sistemas termo solares voltados para diversas aplicações, sendo as mais comuns as de aquecimento de águas em prédios e em piscinas. Enquanto isso, a energia fotovoltaica é obtida por meio da conversão da radiação solar em eletricidade através de materiais semicondutores. Estes materiais consistem em células fotovoltaicas fabricadas na maioria dos

casos, utilizando silício (Si) e sendo possível ter em sua composição também cristais poli ou monocristalinos. Nela, é produzida uma corrente elétrica no momento em que a luz solar chega até a célula fotovoltaica, essa corrente é retida por fios que são ligados à célula, sendo transferida posteriormente para os outros componentes do sistema, ou seja, quanto maior o número de células fotovoltaicas ligadas, seja em paralelo ou em série, maior a tensão e a corrente que são produzidas<sup>3,4</sup>.

No Brasil, a energia solar tem um grande potencial para aplicação e ainda que incipiente no momento, é capaz de se consolidar como uma abrangente matriz energética, pois as possibilidades de aproveitamento dela no país são enormes. A análise de diversos mapas que apontam o fluxo de radiação solar no planeta indica que, em território brasileiro, a incidência deste fluxo é superior a países onde os recursos solares tem grande utilização, como nos países da União Europeia, por exemplo. Além de apontar que mesmo com as diferentes características sazonais de cada região do país, a média obtida num total diário no Brasil apresenta um alto desempenho e uniformidade em toda a extensão territorial da federação<sup>5</sup>.

Deste modo, por se tratar de uma questão fundamental não somente para o país, mas para a preservação e melhor manuseio dos recursos naturais, a energia solar tornou-se uma das mais visadas e com perspectivas de implementação. Sob essa ótica, o presente estudo tem como

---

objetivo analisar os aspectos relacionados a produção, distribuição e caracterização da energia solar no Brasil, enfatizando as usinas fotovoltaicas. Além disso, objetiva também compreender as origens históricas, fundamentações atuais, os principais incentivos e subsídios para a implementação desta energia, bem como seu pleno funcionamento no cotidiano das usinas de energia solar no país.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho corresponde a uma pesquisa bibliográfica que visa elucidar os aspectos acerca da energia solar no Brasil. A pesquisa bibliográfica contida neste trabalho foi realizada através do auxílio de materiais já publicados na literatura, como livros e artigos científicos disponíveis na Base de Dados Virtuais, como Scientific Electronic Library Online (SciELO) e através do Google Scholar. A estratégia utilizada para a busca dos artigos foi: energia solar, benefícios da energia solar, desenvolvimento sustentável. Para os critérios de inclusão, os artigos foram lidos e os que apresentavam relevância para o tema foram utilizados como base e, os que não possuíam relevância foram excluídos, além de terem sido separadas publicações feitas

desde o ano de 2006, visando fontes mais atuais e com maior embasamento para a conclusão da pesquisa.

### 3. CONSOLIDAÇÃO DAS USINAS DE ENERGIA SOLAR COMO ALTERNATIVAS VIÁVEIS

De acordo com dados publicados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o Brasil atualmente conta com cerca de mais de 4.300 usinas solares ativas, principalmente do tipo fotovoltaicas, estando em operação constante mediante uma potência de aproximadamente 3,84 GW. Em conjunto, existem aproximadamente 80 projetos passando por uma fase de construção e mais de 640 projetos que ainda não foram iniciados. Nesse contexto, isso somatiza cerca de 24,8GW que podem contribuir para o desenvolvimento econômico e sustentável do Brasil<sup>6</sup>.

Além disso, tamanho tem sido o crescimento da energia solar no Brasil que até 2006, mesmo com as tecnologias mais novas ainda sendo de difícil acesso, mais de 250.000 aquecedores solares já haviam sido instalados em residências brasileiras, o que na época, correspondia a um quantitativo de 0,6% das casas, ainda em expansão. Deste modo, começou-se a vislumbrar o potencial de exploração deste tipo de energia no país, fazendo com que um recurso abundante e renovável não fosse mais desperdiçado<sup>7</sup>.

1531

Analisando geograficamente, o Brasil apresenta índices Solari métricos elevados, uma vez que é alvo de uma taxa significativa média diária de radiação solar (Figura 1)<sup>8</sup>.

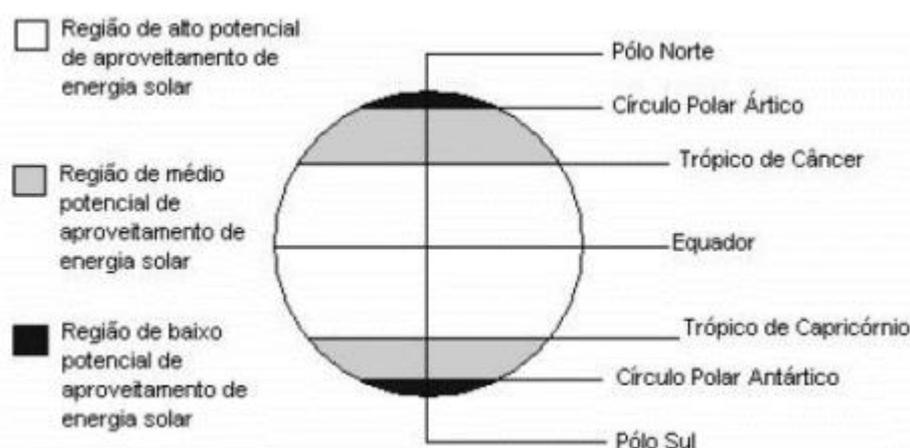


Figura 1: Ilustração referente ao potencial de usufruto de energia solar em diferentes regiões do globo terrestre. Retirado de Santos, 2018<sup>8</sup>.

Este fator ambiental se caracteriza como um requisito determinante para a instalação de usinas solares com sucesso. Sendo assim, o cadastramento e habilitação técnica de novos projetos de usinas solares tem se tornado mais comuns, estes são realizados pelas Empresas de Pesquisa

Energética (EPE), conforme o regulamento de diretrizes do Ministério do Meio Ambiente (MME). O primeiro passo possível é a advindo da busca de um investidor por uma empresa responsável e capacitada para montar a usina, seguindo todos os parâmetros de construção civil, conciliados com licenciamento ambiental e demais solicitações requeridas para a área<sup>8</sup>.

O orçamento requerido para a instalação da usina necessitará precisões sobre o terreno, de modo que sejam estabelecidos valores de aluguel dos alqueires de terra, sendo que normalmente, o terreno é escolhido em áreas rurais e, dependem do tamanho e potência desejados para a usina, o que influenciará na quantia de painéis que serão desejados. Ainda, será necessário avaliar o custo-benefício no momento de adquirir inversores e transformadores, para que somente com os custos totais, seja repassado para o cliente um valor completo<sup>9</sup>.

Nesse contexto, é importante e essencial para a habilitação técnica do empreendimento, confirmar se a disponibilidade do recurso almejado no local é realmente viável e passível de retorno. Para que isso ocorra, no processo de construção de usinas fotovoltaicas, é necessária a averiguação por meio de entidades certificadoras que possuam experiência comprovada na área para analisar e validar a construção, através de índices de licença ambiental, registros da Aneel, certificação para o projeto, parecer de acesso ao terreno e análise Solari métrica, para que assim, possa ser simulado o desempenho da possível usina, certificando a geração de energia prevista no período de contrato estabelecido<sup>9,10</sup>.

1532

O processo de habilitação técnica e análises abrange características diversas do projeto, bem como a documentação que é recebida pela EPE no momento em que o cadastramento é feito, para facilitar a seleção dos projetos que explicam claramente, demonstrando, sua viabilidade de concretização e capacidade de funcionar e gerar como bom resultado a energia esperada ao serem contratados os prazos. Para isso, são utilizadas leis publicadas pela Aneel, como as leis 482/12 e a lei 687/12 que auxiliam na regulamentação do projeto. Antes da instalação da usina, é necessário que o projeto seja assinado e aprovado por um engenheiro responsável que tenha registro no CREA, pois somente estes profissionais estão aptos a assinar a Anotação de Responsabilidade Técnica, um termo que é fundamental para a entrega de uma usina solar<sup>11</sup>.

Com as projeções melhor estabelecidas, a entrada da construção se medeia diretamente na Secretaria do Meio Ambiente, que analisará se será necessário realizar posterior replantio das árvores possivelmente existentes no terreno, nivelamento do terreno se necessário, movimentação de terra estabelecida e, a infraestrutura passará a ser construída. Uma vez que a infraestrutura esteja em funcionamento, a próxima tarefa é comprar o equipamento e fornecer

suporte logístico. É feito um mapeamento no terreno, norteando as localizações e organizações necessárias para dar início a terraplanagem para acertar todo o local, muitas usinas são instaladas respeitando caminhos de águas do terreno, para não haver um impacto futuro no local<sup>10,12</sup>.

Os painéis solares são montados em estruturas de suporte feitas de perfis de alumínio e fixadores de aço inoxidável ou aço galvanizado. Assim, aplica-se estruturas fixas com um ângulo fixo de instalação de módulos fotovoltaicos e instalações de painéis, o que ajuda a reduzir as despesas de construção e operação. Os suportes de alumínio são fixados em fundações que transportam vigas transversais às quais os módulos fotovoltaicos são fixados. Nesse contexto, os módulos fotovoltaicos compõem o sistema de geração de energia advinda da radiação solar, gerando uma corrente contínua, que passa por um inversor. (Figura 2)

Figura 2. Estruturas para painéis fotovoltaicos



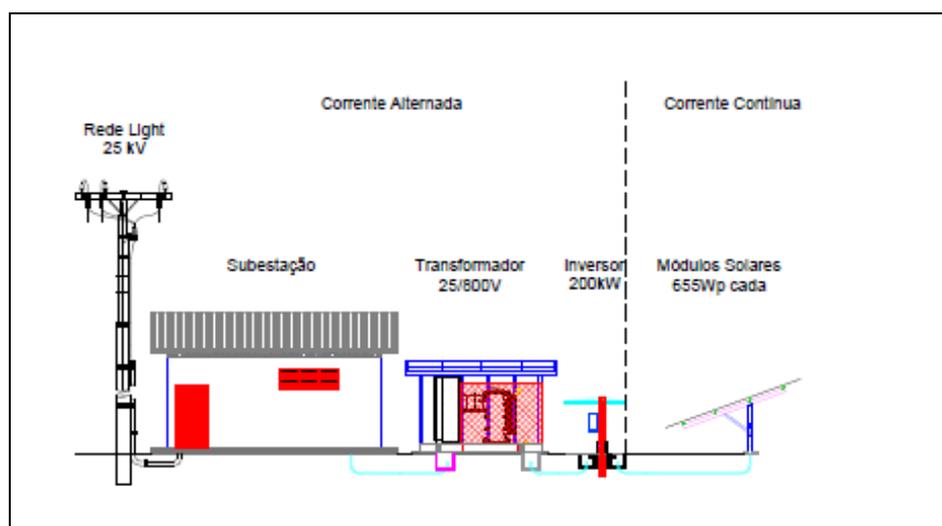
Disponível em: <https://www.quebecengenharia.com.br/ufv-assurua/#pid=7>. Acesso em 07/03/2023.

Os painéis também são equipados com “trackers”, que auxiliam no processo de otimização da utilização da irradiação solar, sendo capazes aumentar a geração de energia em cerca de até 45% do que um sistema fixo de tamanho similar. Além disso, a direção do painel solar fotovoltaico é a voltada para o norte é mais usada no Brasil a fins de aproveitamento de 100% do Sol durante o dia, considerando que o sol nasce no Leste e se põe a Oeste. Atualmente,

já foi criado o painel Solar Bifacial com mais de 500w de potência, que em área rural se destaca com um ótimo aproveitamento, com uma distância de no mínimo 8 metros de afastamento entre fileiras, já é o suficiente para benefícios, porque com a radiação refletida na terra ou no capim já se tem um ganho de aproveitamento. Tudo isso varia conforme a usina, como no caso de muitas usinas de 5MW, que estão em alta no interior do Rio, dando exemplo de uma (UFV Genial), como tem muitas com esse nome, forma que foi padronizada para usinas de 5MW, a do exemplo citada esta localizada em Barra do pirai – RJ, que tem 9900 placas de 655 Wp/cada. Com disposição dos módulos solares do tipo “retrato”, fixados em duas fileiras empilhadas, compondo 330 strings de 30 módulos/cada, totalizando 9900 módulos fotovoltaicos<sup>12,13</sup>.

A conversão CC/CA da planta será realizada através de 25 inversores string, do modelo SUN2000-215KTL-H3 do fabricante Huawei Technologies. A alimentação CA da planta é oriunda da Subestação Convencional com potência de 5.000 kVA, sendo dividida em 5 transformadores de 1.000 kVA<sup>13</sup>.

Figura 3. Sistema básico do funcionamento da usina.



Fonte: compilação do autor.

Um dos itens fundamentais para o pleno funcionamento das usinas são os inversores, que como módulos solares produzem a energia em corrente contínua (CC), que fundamentalmente o

inversor vai atuar transformado em energia em corrente alternada (CC), inversor mostrado abaixo. (Figura 4).

Figura 4. Inversor usado na usina de fotovoltaica.



Disponível em: <https://www.ske-solar.com/en/product/huawei-sun2000-215ktl-h3-wechselrichter/> Acesso em: 31/03/2023.

Contudo, normalmente ele trabalha com uma superpotência entre 25 e 40% para tentar linearizar a curva de geração do inversor de potência, no entanto a potência de geração nunca irá ultrapassar a potência do inversor, permanecendo com a potência instalada de 5.000 megawatts. Porque os painéis podem dar uma potência pico de 6485 KWp, que para atuar dentro da “tarifa verde” não pode ultrapassar os 5MW. Entrando como papel principal os inversores. Essa superpotência é calculada e inserida devido a oscilação na captação de raios UV, em razão dos fatores climáticos.

1535

O inversor não irá fornecer em sua saída mais do que sua potência nominal (200kW). Por isso, o que acontece é o denominado “clipping”, quando o inversor limita a potência de saída dos módulos fotovoltaicos para que a potência entregue à rede elétrica fique limitada à nominal do equipamento. Então os inversores sempre vão fazer seu papel, mesmo quando for um dia com menos raios UV ou com índice de UV muito alto, ele sempre vai equilibrar a potência.

Logo após o inversor, a corrente alternada gerada é destinada para o transformador, que faz a conexão da usina ao sistema elétrico da concessionária de energia desejada, sendo através do Conjunto de Manobra de Média Tensão 25 kV, tipo Convencional, conforme padrão da empresa. A conexão será caracterizada como “Ligação de Nova Unidade Consumidora com Geração Distribuída”, de potência ativa instalada em transformadores de 5.000 kVA e demanda

contratada de 5.000 kW na tarifa verde (Modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência), visto que a usina de exemplo dada tem 25 inversores de 200KW. Além disso, sistemas de monitoramento também são necessários, sendo instalados e com configuração aplicada para que possam ser feitas observações remotas sobre a operação da usina, bem como visualizando a adoção de indicadores de desempenho, que avaliam a performance da usina fotovoltaica<sup>14,15</sup>.

Concluindo, nota-se que as placas solares apresentam uma durabilidade de até 30 anos, o que geralmente coincide com o contrato de locação do local onde as mesmas foram instaladas, além de terem uma garantia de 20 anos, sendo que qualquer problema que possa vir acontecer a empresa contratada é responsável, pois toda a usina é munida de uma certificação, que garante mais segurança ao investidor<sup>15</sup>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade da utilização de energias renováveis e consideradas limpas tem sido uma questão urgente no mundo. Assim, a energia solar se apresentou com grande relevância no mercado e, ainda que os processos para o planejamento, construção e consolidação viável e eficaz sejam longos, pois precisam ser muito bem embasados e analisados, é uma alternativa completamente possível de ser ainda mais propagada no Brasil, uma vez que é um país com altas taxas Solari métricas, garantindo um bom resultado para o investimento proposto. Em síntese, com as certificações necessárias, a proposição dos projetos de usinas solares fotovoltaicas no Brasil tem sido altamente bem-sucedidos, garantindo progresso na indústria energética, possibilitando a geração de energias de maneira sustentável e de fácil conversão.

1536

## REFERÊNCIAS

- FARIAS, Leonel Marques; SELLITTO, Miguel Afonso. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. Revista Liberato, v. 12, n. 17, p. 07-16, 2011.
- MARTINS, Fernando Ramos et al. Atlas brasileiro de energia solar 2. 2017.
- PEREIRA, Enio Bueno et al. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: Inpe, 2006.
- CRESESB - Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito; Energia Solar: Princípios e Aplicações. Tutorial Solar, 2006.

MARTINS, F. Ramos; PEREIRA, E. Bueno; ABREU, S. L. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project. *Solar Energy*, v. 81, n. 4, p. 517-528, 2007.

Usina solar ou parque solar: saiba o que é, quais os principais tipos e como funciona. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>. Acesso em 15 de março de 2023 às 22h39.

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Energia Solar como fonte térmica. Disponível em: <http://www.abrava.com.br/>. Acesso em: 15/03/2023.

SANTOS, Ítalo Grangeiro et al. Análise da inserção e funcionamento de uma usina solar na UFERSA–Campus Caraúbas. 2018.

GUARNIERI, Mauricio Vivan et al. Usinas solares fotovoltaicas com seguimento em um eixo no Brasil: aspectos da construção, custos e expectativa de desempenho. 2017.

JUSTI, Jamson. Modelo de simulação para análise da viabilidade de geração de energia elétrica em estações de tratamento de esgoto urbanas após a implantação da REN 482/12. 2013.

KARASAWA, WILLIAM KAZUMASA. Análise de viabilidade econômico-financeira de um Projeto de geração de energia fotovoltaica. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015.

DA SILVA, Heitor Marques Francelino; ARAÚJO, Francisco José Costa. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 3, p. 859-869, 2022. 1537

BOAS, Vilas; DA SILVA, Lillian Cristina Leal. Energia fotovoltaica: estudo de viabilidade econômica de projeto de geração distribuída em Bom Jesus da Lapa. Trabalho de conclusão de curso submetido ao curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia – UFBA. 2017.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira et al. Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 4, p. 628-642, 2015.

SILVA, Vinícius Oliveira da. Estudo e modelagem da arquitetura modular de uma usina solar fotovoltaica arrefecida com protótipo de verificação. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.