

Alexandre Garcia Rodrigues

UNESA

Fabício Barbosa Freitas

UNESA

RESUMO

Ao longo das décadas temos observado uma alteração constante do clima terrestre e o aumento desordenado da população mundial ocasionando numa maior demanda de consumo dos recursos naturais e na degradação do meio ambiente o que a curto prazo representa um enorme risco de "apagões" principalmente no Brasil devido à escassez de água nos reservatórios, pouco investimento em fontes alternativas para geração de energia elétrica, isso sem falar da crise institucional que provoca o afastamento de investidores em nosso país, o alto índice de desmatamentos que afetam diretamente o clima local e a escassez de chuvas, sendo assim, fica evidente que a busca por soluções mais limpas e que beneficiem a sociedade brasileira como um todo faz-se necessária. O objetivo geral deste estudo é fazer uma análise crítico-reflexiva sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa para a crise energética Brasileira. Sendo assim, neste estudo faremos uso de quatro métodos distintos, mas que coadunam entre si. Inicialmente, realizamos uma pesquisa bibliográfica qualitativa acerca da temática em questão. Num segundo momento, fizemos a análise crítico-reflexiva dos dados levantados na pesquisa bibliográfica dando enfoque aos resultados obtidos pelos autores estudados e no material disponibilizado pelos órgãos reguladores do setor para compreendermos a importância da implantação e de incentivos dos sistemas de energia alternativos que beneficiem a sociedade e o país nos aspectos socioeconômicos e ambientais. Na sequência, discorreremos acerca dos sistemas ON-GRID (conectados à rede) e OFF-GRID (autossuficientes) e as vantagens e desvantagens da implantação de cada um desses sistemas de energia solar fotovoltaica. E, por último realizamos um estudo de caso da implantação do Sistema ON-GRID em uma residência unifamiliar no município do Rio de Janeiro, analisando o custo de implantação deste sistema bem como o tempo de retorno do investimento, para finalmente, chegarmos à conclusão sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaico como alternativa para a crise energética em nosso país.

Palavras-chave: crise energética; energia solar fotovoltaica; sistemas ON-GRID e OFF-GRID.

INTRODUÇÃO

Ao longo das décadas temos observado uma alteração constante do clima terrestre e o aumento desordenado da população mundial ocasionando numa maior demanda de consumo dos recursos naturais e na degradação do meio ambiente.

Com o aquecimento global vem à tona a necessidade de buscarmos alternativas mais sustentáveis de consumo afim de não esgotarmos os recursos naturais não renováveis.

Segundo Freitas *et al* (2018):

O Brasil apresenta um excelente potencial para a inserção da energia solar fotovoltaica, com valores de radiação diária que variam de 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m², segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2000), o que o coloca em vantagem aos demais países que também buscam a implantação da energia solar como uma solução alternativa (FREITAS *et al*, 2018, p.4)

Na medida em que o Brasil é beneficiado pela grande incidência de irradiação solar durante o ano inteiro, percebemos a implantação do sistema de energia solar fotovoltaico como uma alternativa para a crise do setor de abastecimento elétrico brasileiro que além de apresentar um impacto ambiental muito inferior ao sistema energético tradicional, apresenta ainda a captação da energia através de um recurso renovável e limpo pois não emite poluentes, gases ou materiais radioativos.

Conforme afirma Villalva (2017 apud Worby, 2018), *Energia solar é a energia renovável, produzida pela luz e o calor do sol, e pode ser usada por diversas tecnologias em constante evolução, considerada uma fonte de energia limpa e renovável, é a fonte de produção de energia que mais cresce no mundo.* (VILLALVA, 2017 apud WORUBY 2018. P.3).

Por sua localização geográfica e aos altos índices de radiação solar anuais no Brasil, a possibilidade da implantação de projetos solares torna-se uma excelente alternativa competitiva para a crise energética do nosso país, além do que contribuirá em muito com o compromisso nacional de diminuição na emissão de gases do efeito estufa (GEE).

No entanto, o afã por buscas de energias alternativas não se pode em momento algum se desviar da preocupação com o meio ambiente e o descarte dos resíduos e/ou as formas de reciclagem dos materiais utilizados para produção e manutenção, bem como a vida útil, como por exemplo dos painéis fotovoltaicos.

Afinal, segundo Kiddee *et al* (2013 apud COELHO e SERRA, 2018),

Um modulo fotovoltaico tem vida útil entre 25-30 anos e ao longo desse ciclo de vida completo, embora em menor grau do que as

fontes de energia tradicionais, as placas fotovoltaicas também criam resíduos sólidos. Uma das principais questões para o descarte das placas são, a falta de tecnologia adequada de recuperação e o risco de liberação de substâncias perigosas que podem contaminar o meio ambiente e ameaçar a saúde humana, se a fase de fim de vida não for gerenciada sagazmente (KIDDEE et Al, 2013 apud COELHO e SERRA,2018, p.84,85).

Desde o surgimento da humanidade, a raça humana sempre fez uso dos recursos naturais para se desenvolver.

As energias fósseis, antes abundantes e de valor reduzido possibilitaram um salto no desenvolvimento humano, entretanto, o aumento do consumo e o uso indiscriminado destes recursos, principalmente após revolução industrial foram esgotando as reservas existentes.

Com a crise do petróleo na década de 70, os países do mundo inteiro voltaram seu olhar para a questão energética e ao desenvolvimento e implantação de fontes de energia alternativas e que não prejudicassem o meio ambiente, a fim de preservar nossos recursos naturais.

Devido ao agravamento da crise energética atual impulsionado pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas, muito se tem investido na busca e na implantação de novas tecnologias que não somente sejam benéficas ao meio ambiente como também sejam uma solução a curto, médio e longo prazo para o abastecimento de energia elétrica em todo o planeta e que sejam viáveis economicamente.

No Brasil, nos deparamos com umas das maiores crises no setor elétrico de nossa história, com o nível de água em nossos reservatórios baixíssimos devido as secas e as mudanças climáticas que ocorrem principalmente pelas queimadas e pelos desmatamentos, o que ocasiona na diminuição da oferta de energia e no aumento constante das tarifas de energia.

Alves (2019) afirma que:

Em janeiro de 2019, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) registrou quatro recordes consecutivos de demanda por energia elétrica no país. Anterior a esses recordes, no ano de 2014, a demanda máxima chegou a 85.708 MW. Já no último recorde de 2019, a carga atingiu 90.525 MW. Esses altos valores de demanda devem-se às altas temperaturas registradas no país. (ALVES, 2019, p.52).

Embora nosso país possua um clima privilegiado para o aproveitamento em sistemas de energia solar fotovoltaica, o investimento neste setor ainda é muito pequeno, parte disso devido a pouca pesquisa relacionada ao tema em nosso país, a falta de incentivo e esclarecimento à população acerca do uso desta tecnologia e a instabilidade política que perpassa nossa nação o que afasta investidores.

Alves (2019) destaca que:

(...) a energia elétrica por meio da fonte solar não é apenas limpa e renovável, mas também mais competitiva, ampliando a diversificação do suprimento elétrico brasileiro, uma vez que o país é muito dependente de hidrelétricas e termelétricas fósseis. Por isso, os sistemas fotovoltaicos são um alívio para os reservatórios hídricos, além de reduzir a pressão para outros usos estratégicos, como suprimento humano, agricultura, irrigação e processos industriais. De forma complementar, reduz o acionamento de termelétricas fósseis, mais caras e poluentes, além de ajudar a diminuir os altos custos de energia elétrica para os consumidores e de colaborar na mitigação dos impactos do aquecimento global. (ALVES, 2019, p.64).

Mediante a atual conjuntura onde a demanda de energia é a cada dia mais crescente e os recursos hídricos a cada dia mais escassos, urge a necessidade do incentivo, investimento e implantação de Sistemas energéticos alternativos e o sistema solar de energia fotovoltaica surge, hoje mais do que nunca como uma alternativa não somente viável, como também capaz de garantir o abastecimento de toda população por se tratar da obtenção de energia através de um recurso renovável e inesgotável que é a irradiação solar.

As usinas solares servem ainda como “escudos de calor”, pois na medida em que convertem em energia elétrica grande parte da radiação solar, esta energia deixa de sobrecarregar outras superfícies.

Outro aspecto importante de observarmos é a questão dos custos, inicialmente investir em energia solar demandava um custo relativamente alto, mas na atualidade, com a redução dos custos no valor dos equipamentos, os sistemas de energia solar tornaram-se altamente competitivos com relação às outras fontes de energia, isso sem contar que o sistema de energia solar gera energia exclusivamente a partir da irradiação solar, um recurso ilimitado e que não implica na perfuração de poços, não polui o meio ambiente, não libera gases tóxicos na atmosfera.

Tendo em vista a crise energética atual no Brasil devido à escassez dos recursos hídricos e sendo o sistema fotovoltaico o mais utilizado no processo de aproveitamento da energia solar em todo o planeta, surge o questionamento acerca da viabilidade da implantação desse sistema em larga escala como uma possível solução para o déficit no abastecimento de energia elétrica em nosso país.

O objetivo geral deste estudo é fazer uma análise crítico-reflexiva sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa para crise energética brasileira.

Temos por objetivos específicos neste trabalho de pesquisa monográfico:

- Apresentar um breve histórico sobre o surgimento do sistema de energia solar fotovoltaica;
- Comparar os sistemas on-grid e off-grid, seus usos, aplicações, benefícios e desvantagens a curto, médio e longo prazos;

- Compreender a importância da implantação de sistemas de energia alternativos que beneficiem a sociedade brasileira como um todo, tanto nos aspectos socioeconômicos quanto ambientais;
- Apontar o sistema de energia solar fotovoltaica como alternativa viável para a crise energética brasileira, tendo em vista a grande incidência de luz solar durante todo o ano no território brasileiro e a sua implantação em países mais desenvolvidos com sucesso.

Esta pesquisa justifica-se pois diante da crise na matriz energética brasileira que a curto prazo representa um enorme risco de "apagões" principalmente no Brasil devido à escassez de água nos reservatórios, pouco investimento em fontes alternativas para geração de energia elétrica, isso sem falar da crise institucional que provoca o afastamento de investidores em nosso país, o alto índice de desmatamentos que afetam diretamente o clima local e a escassez de chuvas fica evidente que a busca por soluções mais limpas que não prejudiquem o meio ambiente e beneficiem a sociedade brasileira como um todo faz-se necessária.

REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas de energia solar fotovoltaica (SESF)

O sistema de energia solar fotovoltaica consiste na conversão direta da irradiação solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico.

Conforme Maroso (2019, p.52), *“o efeito fotovoltaico acontece quando a luz solar, através de seus fótons, é absorvida pela célula fotovoltaica. A energia dos fótons da luz é transferida para os elétrons que então ganham a capacidade de movimentar-se. O movimento dos elétrons, por sua vez, gera a corrente elétrica”*.

Tal conversão ocorre em células fotovoltaicas produzidas a partir de diferentes tecnologias encapsuladas e unidas eletricamente para a formação de um módulo fotovoltaico utilizado como gerador de energia elétrica.

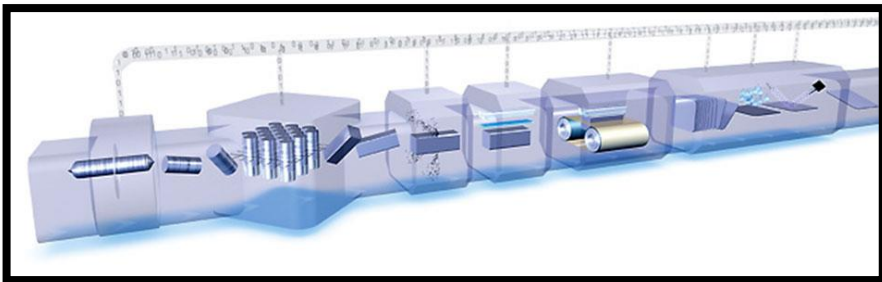
Cintra Júnior e Souza (2018), destacam que:

O efeito fotovoltaico pode ser observado em elementos conhecidos como semicondutores, que podem ser definidos como elementos que transitam energia de modo mais eficaz do que isolantes e de modo menos eficaz do que condutores, o fator que determina essa propriedade são faixas de valência (ou de energia) onde nota-se a presença de elétrons e zonas onde elétrons são totalmente ausentes, também conhecidas como faixa de condução, no meio dessas duas zonas encontra-se o hiato elétrico, sendo a dimensão desta que define se o material é um semicondutor. (CINTRA JÚNIOR e SOUZA, 2018, p.7)

Na atualidade as células fotovoltaicas mais utilizadas são as de silício que se classificam em silício cristalino, silício monocristalino, policristalino ou amorfo de acordo com a sua estrutura molecular.

As células fotovoltaicas mais comuns são as de silício cristalino (Figura1) compostas por “*fatias de lingotes de silício cristalino tratadas quimicamente para que possam produzir energia elétrica com a luz do sol por meio do efeito fotovoltaico*”. (PORTAL SOLAR, Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>, acesso em 10 de outubro de 2021 às 23:57h).

Figura 1 - Célula de Silício Cristalino Comum



Fonte: Portal Solar, 2021.

As células de silício monocristalino (Figura 2) são as mais utilizadas como conversor direto de energia solar por serem mais eficientes, possuem cantos arredondados que são recortados em forma de octogonal e suas lâminas são cortadas a partir de lingotes cilíndricos através do processo Czochralskipeo que garante a alta porcentagem de pureza e menor densidade de imperfeições na rede, possui uma eficiência no entorno de 15% a 22%, devido a sua composição baseada em um único cristal de silício.

Figura 2 - Célula de Silício Monocristalino

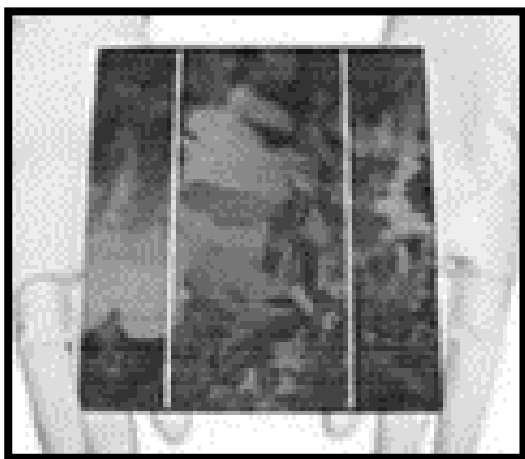


Fonte: Portal Solar, 2021.

As células fotovoltaicas de silício policristalino ou multicristalino (Figura 3) são mais baratas porque a sua produção não é realizada com tanta rigorosidade quanto as células de silício monocristalino e, embora utilizem silício purificado este é fundido em blocos.

Estas células não apresentam nem a mesma eficiência e nem a mesma pureza que as monocristalinas, entretanto são as comumente mais utilizadas em painéis fotovoltaicos.

Figura 3 - Célula de Silício Policristalino



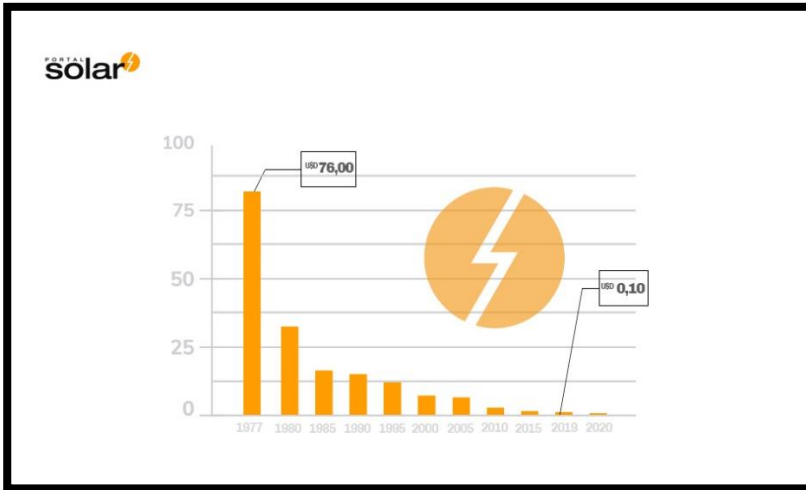
Fonte: Portal Solar, 2021.

Já as células de silício amorfo são fabricadas através do processo de “empilhamento”, ou seja, podem ser produzidas com camadas de silício amorfo e ser combinadas com diferentes substratos. Embora o custo de produção seja menor, essas células possuem pouca eficiência se comparadas as demais.

Nos últimos quarenta anos as células fotovoltaicas sofreram uma redução bastante significativa em seu preço principalmente pelo aumento da capacidade de produção em todo o mundo, aos incentivos governamentais, ao aumento da demanda de consumo ocasionada pelos aumentos constantes das tarifas de energia elétrica.

Na figura 4, podemos observar essa redução no valor das células fotovoltaicas mais especificamente.

Figura 4 - Redução do Preço das Células Fotovoltaicas nas Últimas Décadas



Fonte: Portal Solar, 2021.

A Agência Nacional de Energias Renováveis - IRENA (2021), destaca que:

Hoje, o PV é uma das tecnologias de energia renovável de crescimento mais rápido e está pronto para desempenhar um papel importante no futuro mix de geração de eletricidade global. As instalações solares fotovoltaicas podem ser combinadas para fornecer eletricidade em escala comercial ou organizadas em configurações menores para mini redes ou uso pessoal. Usar a energia solar fotovoltaica para alimentar mini redes é uma excelente maneira de levar o acesso à eletricidade a pessoas que não moram perto de linhas de transmissão de energia, principalmente em países em desenvolvimento com excelentes recursos de energia solar. (IRENA, Disponível em <https://www.irena.org/solar>. Acesso em 20 de outubro das 2021 às 23:45h).

A redução no custo das células fotovoltaicas barateou os custos dos painéis solares fotovoltaicos, tornando-os mais acessíveis e transformando-os na forma mais barata para aquisição de energia elétrica.

O sistema de energia solar fotovoltaica pode ser classificado como ON-GRID que é conectado à rede de distribuição, OFF-GRID ou autônomos e híbridos e, representam uma excelente alternativa aos sistemas de energia tradicionais que utilizam combustíveis fósseis que além de causarem alto impacto ambiental ao liberar os gases de efeito estufa em nosso planeta contribuindo para o efeito estufa e para a piora nas alterações climáticas.

Histórico e Surgimento

O primeiro cientista a observar o efeito fotovoltaico quando realizava experiências com eletrodos foi o físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839.

Em 1877, foi inventado o primeiro dispositivo de eletricidade por exposição a luz.

No ano de 1883, Charles Fritts, um inventor nova lorquino conseguiu produzir o efeito fotovoltaico com um dispositivo formado por pequena superfície feita de selênio com uma camada de ouro (Figura 5) que se tornou a origem dos painéis solares de hoje, no entanto, este dispositivo só captava 1% da energia solar.

Figura 5 - Dispositivo de Charles Fritts



Fonte: Sacyr, 2021.

Já no ano de 1905, Albert Einstein explica o efeito fotoelétrico e desenvolve sua pesquisa explicando o fenômeno da geração de energia através dos painéis fotovoltaicos o que lhe garante o Prêmio Nobel de Física pelos avanços no estudo e aplicação desta nova tecnologia.

Em 1941, Russel Ohl desenvolveu a primeira célula fotovoltaica de silício e, em 1954, é apresentada de maneira formal em Washington a primeira célula fotovoltaica de silício monocristalino por Calvin Fuller (Figura 6), químico norte-americano que dopou silício com arsênio e depois com boro, obtendo células com eficiência muito maior do que as anteriormente fabricadas. Esta célula possuía a eficiência de 6%.

Figura 6 - Calvin Fuller Dopando Silício com Arsênio



Fonte: TECHNICA COMMUNICATIONS, 2021.

Em 1958, após a falha das pilhas químicas a NASA incorpora essa nova tecnologia em seus satélites.

Durante a década de 60, a grande maioria dos sistemas de energia solar fotovoltaica tinham como objetivo apenas o gerar energia para satélites e equipamentos espaciais.

Ao final da década de 60, começaram a surgir as primeiras aplicações terrestres deste sistema, mas somente com a Crise do Petróleo de 1973, intensificou-se os estudos e investimentos a fim de tornarem as células fotovoltaicas mais eficientes e baratas, dando origem ao desenvolvimento de sistemas de energia solar fotovoltaica para o uso residencial e comercial, em aplicações autônomas e conectadas à rede elétrica.

Alves (2016, p.16) destaca que “os primeiros 25 anos da descoberta da transformação da luz solar em energia focaram-se na busca por melhores eficiências, na procura por custos melhores devido à crise petrolífera e na percepção das ameaças de alterações climáticas, efeito estufa e emissão de gases”.

A partir de 2001, com um novo aumento no custo do Petróleo e a preocupação com o meio ambiente ocorreu uma maior procura por sistemas alternativos de energia.

Componentes do SESF

Como vimos anteriormente, os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaicos podem ser classificados em ON-GRID (conectados à rede), OF-GRID (autônomos ou autossuficientes) ou Híbridos.

Em geral os componentes do SESF são:

a) Painéis Solares (Figura 7):

Existem vários tipos de módulos fotovoltaicos ou painéis solares que tem como função a transformação da energia solar em energia elétrica.

O painel solar de silício monocristalino é o mais conhecido possui forma arredondada formada a partir de um único cristal de silício, possuem eficiência entre 15% e 22%, ocupam menos espaço para gerar a mesma energia que os demais, possuem uma vida útil superior a 30 anos mais com garantia de 25 anos do fabricante, a desvantagem deste tipo de painel é o custo mais elevado devido a forma como são fabricados.

Já os painéis de silício policristalinos que chegaram no mercado em meados da década de 80, tendo seu processo de produção feito através da fundição dos cristais em blocos possuem a vantagem de serem mais baratos que os monocristalinos, entretanto, sua eficiência é de 14 e 20% e demandam uma maior quantidade de painéis para gerar a mesma energia em comparação com os monocristalinos.

Figura 7 – Painéis Solares Fotovoltaicos



FONTE: RETECKJR. 2021.

Os painéis solares de silício amorfo antes utilizados em pequenas aplicações através das últimas inovações passaram a ser utilizados também em larga escala graças a técnica de fabricação chamada de "empilhamento", através da qual várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, resultando em taxas mais elevadas de eficiência entre 6% a 9% o que é bem inferior ao percentual de eficiência dos demais, entretanto, apenas 1% do silício utilizado em células solares de silício cristalino é necessário nas células solares de silício amorfo, o que não o torna mais barato pois este processo de fabricação é extremamente caro.

De acordo com o Portal Solar (2021), o painel solar de telureto de cádmio (CdTe PV) é a única tecnologia de painéis de película fina que superou a eficiência/custo dos painéis de silício cristalino.

Conforme o Portal Solar (2021)

A eficiência de painéis solares com base na tecnologia de telureto de cádmio opera normalmente na faixa de 9-16%. A First Solar instalou mais de 5 gigawatts (GW) de painéis fotovoltaicos de filme fino com base na tecnologia de telureto de cádmio em todo o mundo. A mesma empresa detém o recorde mundial de CdTe PV com uma eficiência de 16%. As instalações com os painéis de CdTe PV são tipicamente grandes campos solares (grandes usinas de energia solar). (PORTAL SOLAR. Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>, acesso em 10 de outubro de 2021 às 23:57h)

Outro tipo de painel que utilizam tecnologia de filme fino são os painéis solares de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS/CIGS) (Figura 8) que contém menos cádmio que a quantidade encontrada nos painéis de CdTe (material tóxico) e apresentam maior eficiência. Estes painéis começaram a ser produzidos comercialmente em 2011 na Alemanha e já são encontrados no Brasil apresentando uma eficiência média de 13%.

Figura 8 - Painéis Solares CIS/CIGS

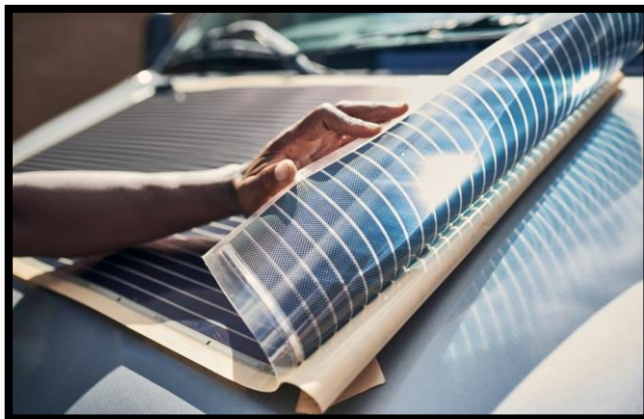


FONTE: PORTAL SOLAR, 2021.

Outra inovação que devemos observar são as placas orgânicas (OPV) que estão sendo desenvolvidas no Brasil pela CSEM Brasil, em Belo Horizonte, que está desenvolvendo um processo industrial (roll to roll) de impressão de células fotovoltaicas orgânicas em substrato leve, flexível e transparente com tecnologia principalmente suíça.

Em parceria com a ENERGISA, a CSEM Brasil desenvolveu o projeto de adesivação de painéis fotovoltaicos em fachadas de vidro, criando o OPV (Filmes Fotovoltaicos Orgânicos) adesivado (Figura 9) formado a partir de camadas de substrato orgânico e desenvolvido por meio da eletrônica impressa que permite a captação de energia solar e a geração de energia elétrica com mais eficiência.

Figura 9 - OPV Adesivado



FONTE: CSEM BRASIL, 2021.

De acordo com a CSEM Brasil (2021), a ideia consistia em conseguir desenvolver uma solução que fosse facilmente adaptável as superfícies já existentes. Foi assim que começou todo o trabalho de criação e, a partir dele, surgiu o conceito do projeto de OPV adesivado a vidro. (CSEM BRASIL, CSEM Brasil e Energisa uma parceria de sucesso, disponível em <https://csembrasil.com.br/energisa>, Acesso em 01 de novembro de 2021 às 17:50h).

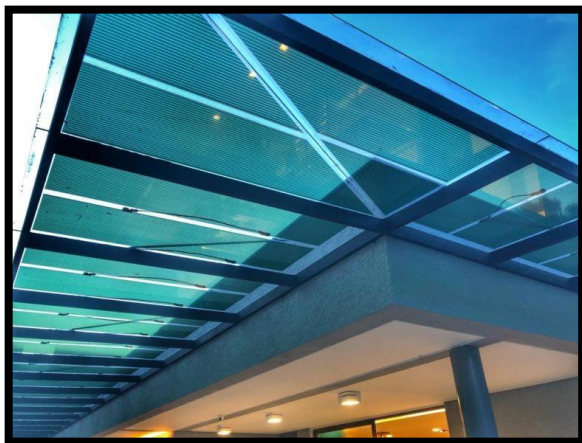
O OPV adesivado a vidro (Figura 10) surgiu em meio a demanda de se desenvolver um sistema de fachadas fotovoltaicas que fossem alinhadas ao conceito de geração distribuída e de edificações sustentáveis que reaproveitassem os vidros já existentes na estrutura para que não houvesse elevação de custos no projeto e satisfizesse as demandas da ENERGISA.

Como vantagens deste novo sistema a CSEM Brasil (2021) destaca:

- flexível, semitransparente, leve, baixo custo de produção, baixa pegada de carbono, reciclável;
- adequado para utilização em fachadas de vidro;
- facilidade de instalação;
- não exige a troca dos vidros já existentes na fachada.

Ao final do projeto de desenvolvimento desse novo sistema de painel solar fotovoltaico verificou-se que mesmo tendo sido um projeto desenvolvido para o Grupo Energisa oportunizou-se um sistema com grandes chances de comercialização e ampliação na implantação em outros locais pois mostrou-se além de esteticamente bonito, eficaz e uma ferramenta eficaz para a criação de mais uma fonte de receita de geração distribuída para a concessionária.

Figura 10 - OPV Adesivado à Vidro



FONTE: CSEM BRASIL, 2021.

Existe ainda o painel solar híbrido (HJT) desenvolvido com uma nova tecnologia de heterojunção cujo processo de fabricação embora semelhante aos dos painéis fotovoltaicos de silício monocristalinos possuem uma passivação com o silício amorfo.

Este painel possui mais resistência a temperaturas mais altas o que seria ideal para sua implantação em nosso país, produz mais energia por metro quadrado e eficiência entre 21% a 24%, mas ainda não se encontra disponível para comercialização no Brasil.

b) Controladores de Carga

Os controladores de carga têm a função de evitar sobrecargas ou descargas abruptas, aumentando a vida útil e o desempenho das baterias estacionárias sendo este, um componente fundamental para implantação de sistemas OFF-GRID ou autônomos, pois torna o armazenamento da energia excedente mais eficiente fazendo a intermediação entre os painéis solares e a bateria, compensando os diferentes fluxos de energia que ocorrem quando a bateria está sendo carregada e utilizada ao mesmo tempo, gerenciando informações sobre o funcionamento e otimizando o processo de armazenamento da energia.

Existem dois principais tipos de controladores de carga, os paralelos que derivam a corrente dos módulos para uma carga dissipativa o que permite ao acumulador manter o nível de carga máxima e os controladores em série que dependendo da tensão interrompe a corrente que chega à bateria.

A capacidade do controlador de carga deve ser sempre igual ou superior a corrente máxima exigida pelo sistema e maior que a corrente de curto-circuito de todos os equipamentos que serão utilizados somados.

Podemos calcular a corrente de carga dividindo o consumo de energia em watt/hora pela tensão de trabalho do controlador de carga solar. Conforme o site NeoSolar (2021):

Os controladores PWM (Pulse Width Modulation) são os mais utilizados, pois apesar da menor eficiência se justificam pelo custo. Já os controladores MPPT (Maximum Power Point Tracking), possuem maior eficiência e são cerca de duas vezes mais caros.

Para entender a diferença, imagine um painel comum de 135 Wp abastecendo uma bateria de 12 V. Essa potência de pico (Wp) deste painel é a potência máxima produzida por ele no ponto em que gera, por exemplo, 17,7 V e 7,63 A ($17,7 \times 7,63 = 135$). Um controlador PWM, nesse momento de pico, trará os 17,7 V para 12,5 V, por exemplo, mantendo os 7,63 A. Isso significa que dos 135 Wp, estará fornecendo para a bateria somente $12,5 \times 7,63 = 95$ W, ou seja, 70% da energia fornecida pelo painel. Já o controlador MPPT, ao mesmo tempo em que traz a tensão para 12,5 V, eleva a corrente na mesma proporção, levando-a para 10,8 A neste caso. Assim, o controlador fornecerá $12,5 \times 10,8 = 135$ W para a bateria, ou seja, 100% da energia produzida pelo painel. Como a eficiência dos controladores não é de 100%, essa diferença não será de 30%, como no exemplo, porém pode realmente chegar a 20 ou 25%. (NEOSOLAR, Disponível em <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/controladores-pwm-e-mppt>. Acesso em 01 de novembro de 2021 às 17:45h).

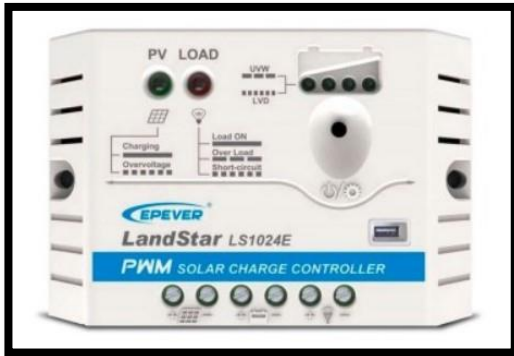
É de fundamental importância antes da escolha do tipo de controlador PWM (Figura 11) ou MPPT (Figura 12) que será utilizado no sistema que se faça a comparação entre os custos de aquisição dos controladores com a redução do número de painéis que precisarão ser utilizados quando no uso do modelo MPPT já que estes demandam uma menor quantidade de painéis solares devido ao melhor desempenho e eficiência do sistema.

Figura 11 - Controlador PWM



FONTE: NEOSOLAR, 2021

Figura 12 - Controlador MPPT



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

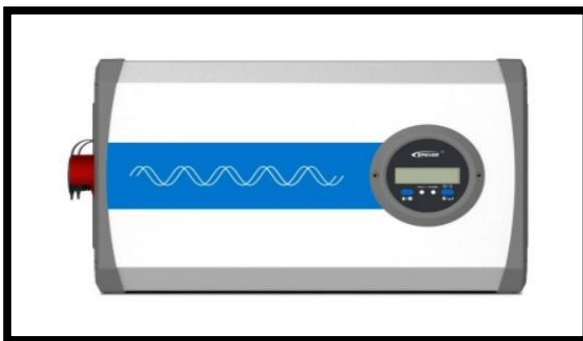
c) Inversores

É o componente responsável por transformar a corrente contínua em alternada, além de ser o responsável por levar as baixas tensões dos painéis e baterias até os 110 V, 220 V ou outra tensão utilizada por um aparelho elétrico, funcionando também como carregador de baterias quando ligados a rede ou a algum gerador.

Contamos com diferentes tipos de inversores no mercado atualmente:

- Inversores de onda quadrada (Figura 13) que embora mais baratos não podem ser utilizados em qualquer aparelho;

Figura 13 - Inversor de Onda Quadrada



FONTE: Mercado Livre, 2021.

- Inversores de onda senoidal modificada (Figura 14) que produzem onda intermediária e atendem a maioria das aplicações com exceção de aparelhos mais modernos, sendo indicados para pequenas instalações;

Figura 14 - Inversor de Onda Senoidal Modificada



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

- Inversores de onda senoidal pura (Figura 15) que produzem uma onda senoidal até mais pura que a da própria rede elétrica, podendo ser utilizados com qualquer tipo de aparelho e por isso são os mais utilizados embora sejam mais caros;

Figura 15 - Inversor de Onda Senoidal Pura



FONTE: Mercado Livre, 2021

- Inversores para sistemas conectados à rede (Figura 16) que além da produção de onda senoidal pura têm a função de sincronizar a frequência com a rede elétrica e possuem um mecanismo chamado “ilhamento”, que visa

garantir que o sistema não energize a rede quando esta for desligada a fim de evitar acidentes durante a manutenção da rede externa;

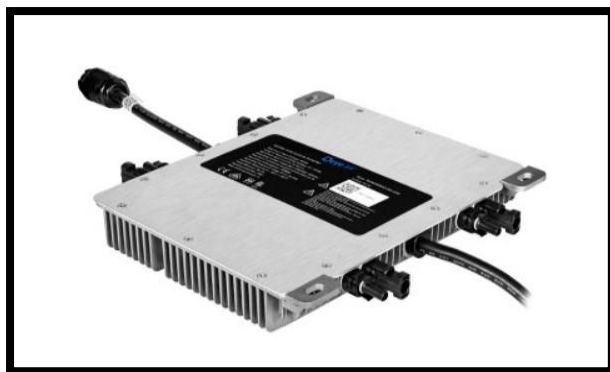
Figura 16 - Inversores Conectados à Rede



FONTE: PORTAL SOLAR, 2021.

- Microinversores de conexão à rede (Figura 17) que diferentemente dos inversores tradicionais funcionam com cada microinversor sendo conectado a um único painel solar, mantendo, no entanto, as mesmas proteções e, ainda apresentando como vantagem uma melhor eficiência, além da facilidade na instalação, modularidade, maior vida útil e facilidade de manutenção;

Figura 17 – Microinversor



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

- Inversor/Carregador (Figura 18) que além das funções de um inversor comum possui a capacidade de carregar as baterias reduzindo o risco de danos a elas por descarga exagerada, reduzindo assim a necessidade de uma grande quantidade de baterias para garantir o funcionamento do sistema, bem como, este tipo de inversor permite arrancar um motor ou gerador mesmo quando as baterias estão descarregadas.

Figura 18 - Inversor/Carregador



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

d) Baterias

São as responsáveis por armazenar a energia para que esta possa ser utilizada em dias sem sol nos SESFs OFF-GRID e as mais recomendadas são as estacionárias ou de ciclo profundo pois suportam grandes descargas.

É importante ressaltar aqui que as baterias automotivas não devem ser utilizadas em sistemas de energia solar pois não foram fabricadas para suportar descargas profundas.

Já as baterias estacionárias comuns (Figura 19) são mais econômicas e indicadas para sistemas pequenos, utilizam placas mais grossas que as convencionais e em geral possuem vida útil de 4 a 5 anos.

Figura 19 - Bateria Estacionária



FONTE: AMAZON.COM.BR, 2021.

As baterias OPzS possuem vida útil de 10 anos e embora sejam muito utilizadas em sistemas de energia alternativos estas baterias são ventiladas,

ou seja, demandam a reposição de água em alguns intervalos de tempo e liberam gases explosivos devendo ser armazenadas em locais apropriados.

Uma alternativa a estas, são as baterias de gel (Figura 20) que são seladas e não liberam gases podendo ser armazenadas em locais fechados além de que não há movimentação do gel dentro da bateria, possui vida útil de 10 anos e é indicada inclusive para o uso em embarcações.

Figura 20 - Bateria de Gel



FONTE: Mercado Livre, 2021.

Outra opção de baterias seladas que não liberam gás são as Baterias AGM (Figura 21) onde uma capa de vidro é utilizada para conter o eletrólito.

Figura 21 - Modelo de Baterias AGM



FONTE: PORTAL SOLAR, 2021.

Estas baterias embora sejam mais caras possuem excelente desempenho que compensa o investimento e têm vida útil de 10 anos.

Ao analisarmos a bateria que iremos utilizar em nossos sistemas OFF-GRID devemos levar em conta não somente o custo destas baterias, mas, também as dificuldades e os custos com a manutenção e a troca destas, vez que os sistemas são feitos para durarem em média 30 anos.

Normas e Legislação para Implantação do SESF

No Brasil, a legislação e as normas que tratam dos sistemas fotovoltaicos ainda são recentes e não possuem a mesma estrutura dos países mais desenvolvidos principalmente no que tange a tecnologia, qualidade e sistemas de armazenamento de energia.

Há uma década, mais precisamente no ano de 2011, profissionais do setor de energia solar fotovoltaica da ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica uniram-se com uma comissão de estudos do COBEI – Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações a fim de sugerir meios e normas para implantação da energia solar na matriz energética brasileira.

No ano de 2012 foi aprovada a RN (Resolução Normativa) 482 que foi atualizada posteriormente em 24 de novembro de 2015 pela RN 687, possibilitando a micro e minigeração de energia elétrica através de fontes renováveis e alternativas a partir de sistemas conectados à rede elétrica de baixa tensão.

Atualmente as Normas e Legislação que tratam do Tema são reguladas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas e pela IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional, conforme se segue:

- ABNT NBR11.704/2008: Trata da Classificação dos Sistemas fotovoltaicos de acordo com a sua configuração e sua interrelação com o sistema público de distribuição de energia;
- ABNT IEC62.116/2012: Discorre sobre um método para analisar o funcionamento de parâmetros de prevenção de ilhamentos;
- ABNT NBR16.149/2013: Trata das Características da Interface de conexão dos sistemas fotovoltaicos com à rede elétrica de distribuição e das exigências.
- ABNT NBR 16.150/2013: Caracteriza as técnicas de ensaio avaliativas para verificar se os equipamentos empregados na ligação entre o SESF e a rede elétrica estão em conformidade com a NBR16.149/2013.
- ABNT NBR16.274/2014: trata dos Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho dos SESF conectados à rede.

Sistema ON-GRID

Antes de falarmos do sistema solar de energia fotovoltaica ON-GRID, precisamos compreender o conceito de geração distribuída.

Alves (2019) destaca que:

A geração distribuída é considerada a geração de energia elétrica no próprio estabelecimento consumidor ou nas proximidades do local de consumo. Dessa forma, compreende-se por geração distribuída, a usina que se conecta diretamente à rede da distribuidora de energia, em que o consumidor pode injetar potência na rede (quando não está utilizando-a) ou, então, receber potência da rede quando houver a necessidade de consumir mais energia elétrica (ALVES, 2019, p.30).

Conforme observamos no capítulo anterior, a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica através da RN (Resolução Normativa) 482/2012 que foi atualizada posteriormente pela RN 687/2015, estabeleceu os conceitos acerca da mini e microgeração de energia, bem como o funcionamento do Sistema de compensação de energia elétrica e os critérios a serem observados de conexão as usinas distribuidoras.

Sendo assim, a microgeração distribuída compreende uma central geradora de energia elétrica com potência igual ou menor que 75 KW e a minigerção é uma central geradora com potência instalada superior que deve estar entre 75KW e 5MW conectada na rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras.

De acordo com Alves (2019), a geração distribuída corresponde ao total de energia elétrica que é injetada na rede que pode ser dividida em:

- própria: total da geração distribuída (hidráulica, térmica, eólica e fotovoltaica) de todas as usinas conectadas ao sistema das concessionárias de distribuição de energia elétrica e não despachadas centralizadamente pelo ONS, conforme Resoluções Normativas ANEEL no 414 de 09 de setembro de 2010 e no 687 de 24 de novembro de 2015;
- adquirida de outros: total da geração distribuída (hidráulica, térmica, eólica e fotovoltaica) das usinas conectadas ao sistema das concessionárias de distribuição de energia elétrica, não despachadas centralizadamente pelo ONS e de propriedade de outros agentes, conforme Resoluções Normativas ANEEL no 414 de 09 de setembro de 2010 e no 687 de 24 de novembro de 2015. (ALVES, 2019, p.31).

No Brasil, atualmente, segundo dados levantados na ANEEL contamos com 7,2GW de potência operacional de geração distribuída, através da qual a maior potência instalada é a residencial perfazendo um total de 3,6GW, seguida da classe comercial e rural com potência de 2,5 GW e 992 MW respectivamente.

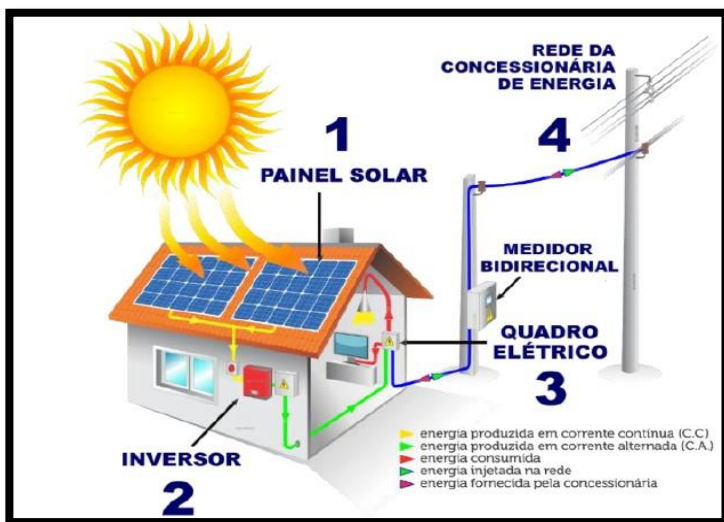
Ainda de acordo com esta agência as regiões que lideram o ranking de potência instalada de geração distribuída em nosso país são a Região Sudeste com um total de 2,69 GW, a Região Sul com 1,53GW e a região nordeste com a potência de 1,41 GW.

Vale ressaltar que é estabelecido através desta regulamentação um sistema de compensação de energia elétrica onde a energia ativa que é injetada na rede pela unidade consumidora que tem micro ou minigeração distribuída como forma de empréstimo gratuito à distribuidora local, gera créditos que são abatidos da conta de luz da unidade consumidora geradora de energia ou de outra unidade consumidora que seja do mesmo titular da unidade onde os créditos foram gerados.

O sistema de energia solar fotovoltaica ON-GRID (Figura 22) ou conectados à rede elétrica recebem especial atenção nos países mais desenvolvidos por serem considerados uma fonte de fundamental importância como complemento ao sistema elétrico existente em locais já atendidos por energia elétrica convencional.

Nestes sistemas à rede da distribuidora funciona como uma espécie de “bateria” que recebe a energia excedente gerada pelo sistema e a redistribui nos momentos de maior demanda, daí o grande potencial cada vez maior para a sua utilização em áreas urbanas de todo o mundo e, principalmente no Brasil devido a grande disponibilidade de irradiação solar anual.

Figura 22 - Sistema ON-GRID



FONTE:

ELETRÔNICA XAVIER, 2021.

Neste tipo de sistema faz-se o uso de painéis fotovoltaicos que geram energia através de uma corrente elétrica contínua que é convertida em uma corrente alternada que tanto pode ser utilizada na própria unidade consumidora ou transferida para a rede elétrica da distribuidora.

A estrutura de montagem e instalação do sistema fotovoltaico se dá através de estruturas metálicas feitas de alumínio ou aço inoxidável e possuem aplicações universais para fixação de equipamentos para diferentes tipos de telhado, como por exemplo: fibrocimento, cerâmico, concreto e metálico que dão suporte aos painéis ou módulos fotovoltaicos em telhados ou áreas apropriadas, resistentes a intempéries ambientais.

O equipamento responsável por transformar a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada para que esta possa ser utilizada pelo consumidor, deixando a tensão e frequência compatíveis para que o excedente possa ser injetado na rede elétrica, além de auxiliar na segurança e no monitoramento do sistema é o inversor. Neste sistema não são utilizadas baterias pois não há armazenamento de energia.

Conforme RETECK JR. (2021), em relação aos inversores presentes em sistemas On-Grid, podemos separá-los em três grupos:

- **Inversor de String:** nesse inversor, os módulos fotovoltaicos são ligados entre si, formando uma string, ou “linha” de módulos. Dependendo modelo, pode haver entradas para mais de uma string em um mesmo inversor. Em residências ou pequenos comércios, geralmente se faz uso de um ou dois inversores desse tipo.

- **Inversor Central:** é um tipo de inversor de potências nominais mais altas (acima de 100 kW), usados em grandes construções como usinas solares e edifícios (sistema de minigeração e de geração centralizada).

- **Microinversor:** esse inversor geralmente opera em apenas uma ou até 4 placas do sistema fotovoltaico. Desse modo, você torna a produção dos painéis mais independentes entre si, o que permite uma maior variedade nas condições do sistema (como, por exemplo, telhados com inclinações diferentes ou pontos mais sombreados que outros). Além disso, com uma produção mais interdependente, será mais fácil para aumentar o sistema posteriormente, caso o usuário pretenda fazer isso. (RETECK JR. Energia Solar. Disponível em <https://www.reteckjr.com/projetos-fotovoltaicos>. Acesso em 27 de outubro das 2021 às 22:57h).

Lembrando que nos sistemas on-grid, os inversores são projetados com o chamado “anti-ilhamento”, que é um mecanismo que permite que esses equipamentos interrompam o funcionamento do seu sistema, caso haja queda de energia na rede de distribuição como uma medida de segurança para evitar acidentes quando funcionários da distribuidora estiverem executando reparos ou manutenção.

Outro dispositivo fundamental no sistema On-Grid são os String Boxes vez que estes interrompem a energia de circuitos elétricos quando é necessário, diminuindo o risco de possíveis acidentes elétricos através do isolamento entre o sistema gerador da energia e a instalação elétrica do local.

É utilizado ainda neste sistema, um medidor bidirecional que é responsável por medir a quantidade de energia gerada pelo sistema e quanto desta energia foi direcionada à rede.

Vantagens e desvantagens

O sistema de energia solar fotovoltaica On-Grid apresenta diversas vantagens, dentre elas destacamos:

- É uma fonte de energia renovável que não gera poluição e não emite gases do efeito estufa;
- Não necessita de grandes manutenções vez que os painéis ou placas solares tem vida útil superior a 25 anos;
- A instalação do sistema é relativamente simples;
- Não contamina o meio ambiente;
- Pode ser ampliado caso haja necessidade de maior potência, com a instalação de mais painéis e também uma revisão na potência nominal do inversor;
- Funciona até mesmo em dias nublados pois a energia é produzida pela radiação solar abundante em todo território brasileiro;
- Em termos de economia, as vantagens são disparadamente atrativas, pois além de reduzir a conta de energia em até 95%, ainda através dos programas de incentivo disponibilizados pelos governos Federal, Estadual e Municipal geram isenção de alguns impostos (ICMS etc.), descontos no IPTU através do “IPTU Verde” (cada município utiliza nomenclaturas diferentes);
- Propicia ao consumidor-gerador ter um maior controle sobre seu consumo x geração de energia que está provendo através do seu sistema.

Em 2018, no IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Freitas et Al apresentaram seu estudo intitulado “O Sistema Fotovoltaico como Solução Alternativa na Produção de Energia Elétrica no Brasil” em que realizaram o estudo de caso em uma empresa da cidade de Santa Fé do Sul no interior da cidade de São Paulo com o intuito de analisar os custos de investimento para implantação do SESF ON-GRID e qual seria o tempo necessário de retorno deste, onde puderam concluir com base nos resultados obtidos inúmeras vantagens de investimento neste sistema que tem garantia de 25 anos, com retorno de investimento em 4 anos, ou seja, a empresa economizaria por 21 anos em contas de energia e ainda receberia créditos gerados por produzir mais energia do que utilizaria.

Outros pesquisadores ao longo das últimas décadas também puderam observar a questão de a cada dia estar mais cara a energia elétrica que é disponibilizada pelas concessionárias, vez que a base da matriz energética brasileira é a hídrica que com as mudanças climáticas vem sofrendo uma drástica redução de capacidade devido à escassez de água nos reservatórios que obriga as concessionárias a buscarem outras fontes como a térmica, as fosséis etc. que além de prejudicarem o meio ambiente e aumentarem a emissão de gases do efeito estufa ainda são mais onerosas e refletem diretamente no bolso dos consumidores.

De acordo com o Canal Solar (2021),

Segundo levantamento preliminar da ABSOLAR, o Brasil registrou, desde 2012 até final de setembro deste ano, a criação de cerca de 330 mil empregos pelo setor solar. De acordo com a entidade, a fonte fotovoltaica já trouxe ao país mais de R\$ 57 bilhões em novos investimentos e R\$ 15,1 bilhões em arrecadação aos cofres públicos, bem como evitou a emissão de mais de 12,4 milhões de toneladas de CO₂ na geração de eletricidade. (CANAL SOLAR, Disponível em <https://canalsolar.com.br/brasil-desponta-entre-maiores-geradores-de-empregos-em-energia-solar-no-mundo>. Acesso em 30 de outubro de 2021 às 17:58h)

Mediante o exposto acima e considerando o alto índice de desemprego em nosso país aliado ao alto custo da energia elétrica devido à escassez hídrica, a energia solar e o sistema fotovoltaico de geração de energia distribuída representam uma alternativa não somente viável como indispensável a matriz energética brasileira, que auxilia também para o atingimento das metas de desenvolvimento socioeconômico e sustentável do Brasil e dos demais países.

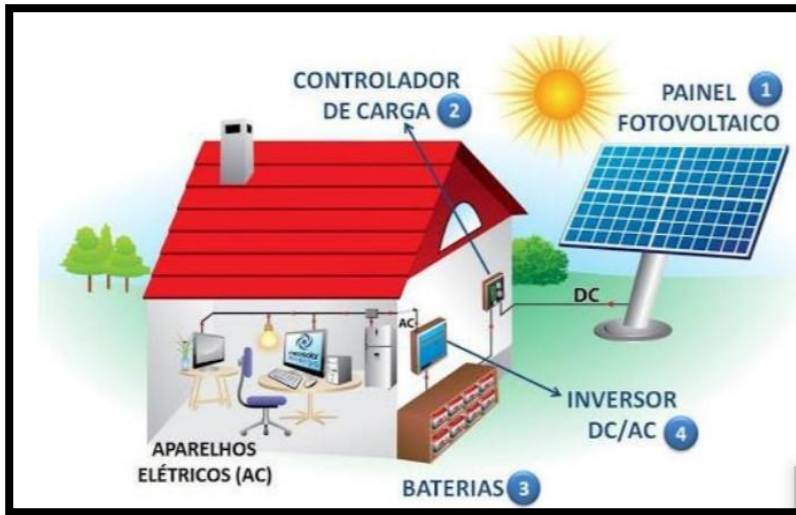
Em termos de geração de empregos o Brasil atualmente atingiu a sétima posição no ranking dos países que mais geraram empregos no mundo através da energia solar fotovoltaica no último ano assumindo um papel de destaque e se posicionando a frente até mesmo de líderes históricos do setor, como a Alemanha e o Reino Unido.

Sistema OFF-GRID

Os sistemas de energia solar fotovoltaica que não são conectados à rede da concessionária recebem o nome de sistemas off-grid (Figura 23) ou autossuficientes, ou ainda isolados.

Geralmente são implantados em zonas rurais ou em locais remotos onde a Rede elétrica convencional não está disponível, pois estes sistemas não dependem da rede para gerarem energia elétrica durante a noite ou em dias nublados onde a radiação solar não é capaz de gerar energia suficiente para o consumo, vez que estes sistemas utilizam baterias que armazenam a energia elétrica gerada.

Figura 23 - Sistema OFF-GRID



FONTE: ARQAR, 2021.

Nesse sistema a luz solar é captada através dos painéis ou placa fotovoltaicas que a transformam em energia elétrica com corrente contínua, essa energia passa por um controlador de carga que é o responsável pela proteção do sistema e das baterias contra descargas profundas e/ou excesso de carga, em seguida essa energia é armazenada em baterias e em seguida no inversor de frequência que converte a corrente contínua em corrente alternada para que esta possa ser utilizada.

Sendo assim, são componentes deste sistema:

a) Placas ou painéis solares (também chamados de módulos):

Conforme vimos anteriormente, na atualidade existem diversos tipos de painéis ou placas solares que devem ser escolhidas de acordo com a demanda de energia do sistema, a disponibilidade financeira do cliente e demais fatores do projeto para que se possa disponibilizar o melhor custo-benefício.

Os painéis solares de silício monocristalinos possuem eficiência entre 15 a 25%, ocupam menos espaço que os demais, possuem vida útil acima de 30 anos, porém são mais caros;

Os painéis de silício policristalinos são mais baratos, porém apresentam menor eficiência (entre 14 e 20%) e precisam de um espaço maior para gerar a mesma energia que os monocristalinos;

Existem outras tecnologias que chegam ao mercado cada vez mais rápido como os painéis de filme fino que apresentam uma eficiência média

de 13%, o OPV Adesivado dentre outros que estão em fase de desenvolvimento.

b) Controladores de carga:

São os responsáveis pela proteção da bateria ou bancos de baterias que serão utilizadas no sistema, nos sistemas off-grid o controlador de carga é peça fundamental pois caso ocorra alguma falha todo o sistema pode sofrer danos irreversíveis.

Este dispositivo deve estar em conformidade com as características das baterias que serão utilizadas para que quando estas estejam carregadas ele desconecte automaticamente o gerador fotovoltaico interrompendo o fornecimento de energia para as baterias nos casos em que estas atinjam um nível mínimo de segurança.

c) Baterias:

É através das baterias que a energia é armazenada nos sistemas off-grid para que se tenha energia até mesmo a noite ou em períodos de dias nublados.

Tendo em vista que estes sistemas são feitos para ter vida útil de no mínimo 30 anos é sábio que nas escolhas do tipo de baterias que serão utilizadas leve-se em conta o tempo de garantia destas baterias.

Como já visto anteriormente as mais utilizadas são as baterias estacionárias comuns por serem mais baratas, entretanto estas baterias têm vida útil de quatro a cinco anos somente, sendo necessário trocá-las após este período.

O ideal é que se invista um pouco mais inicialmente dando preferência as baterias de gel que não liberam gases e podem ser armazenadas em locais fechados ou, ainda, as baterias AGM que embora tenham um custo inicial mais alto, possuem vida útil de 10 anos e um desempenho excelente o que em termos de custo-benefício as torna a melhor opção.

d) Inversor:

Conforme já vimos anteriormente, este componente é o responsável por transformar a corrente contínua gerada pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada invertendo a tensão para que possamos utilizar a energia em diferentes aparelhos elétricos.

De acordo com o Site Solar Brasil (2021):

A recomendação é que o **Inversor** seja ligado diretamente aos bornes das baterias, isso porque as correntes solicitadas pelo inversor são altas para o controlador de carga, principalmente na partida de certas cargas, o que pode danificar o controlador de

carga. Quando ligado diretamente a bateria, a mesma é capaz de fornecer estas correntes elevadas sem nenhum dano.

Normalmente **os inversores off-grid** operam com tensões de entrada de 12,24 e 48VDC que geralmente são convertidos em 120 ou 240VAC, na frequência de 50 ou 60HZ.

Para dimensionar **um inversor para um sistema de energia solar fotovoltaica off-grid** é preciso considerar tensão de entrada em corrente contínua, tensão de saída em corrente alternada, e as características da carga a ser alimentada, tais como potência, pico de partida, variação de tensão, forma de onda e frequência. Por este motivo deve-se atentar as características elétricas dos inversores tais como:

1-) **Potência nominal:** potência que **o inversor** é capaz de entregar permanentemente. Para uma melhor eficiência operacional, deve-se escolher sempre um **inversor** de potência nominal superior à potência total necessária para alimentar as cargas.

2-) **Capacidade de sobrecarga:** capacidade do **inversor** para entregar maior potência que a nominal durante certo tempo, também conhecida como potência de pico, utilizada para arrancar com elevados picos de corrente, necessárias para partida de motores, por exemplo.

3-) **Rendimento / eficiência:** relação entre as potências de entrada e saída, o rendimento de um **inversor** não é constante, variando em função da potência consumida, sendo baixo a baixas potências e aumentando progressivamente à medida em que a potência aumenta.

É relativamente difícil medir a potência de saída de **um inversor de onda senoidal modificada** em função da quantidade de harmônicos, por este motivo, para uma medição assertiva deve-se utilizar um equipamento TRUE- RMS.

A Eficiência dos **inversores** varia de 50 a 90%, o ideal é dimensionar **o inversor** para ter uma eficiência acima dos 90%.

4-) **Autoconsumo:** É esperado que **os inversores sejam** capazes de arrancar automaticamente quando detectam alguma carga e de se desligar quando não perceber que não há cargas ativas à sua saída. A maioria dos **inversores** sistema de standby para reduzir perdas de consumo quando **o inversor** trabalha sem cargas.

O inversor tem um autoconsumo quando não há cargas ativas (trabalha em vazio), este consumo normalmente é de até 2% da potência nominal de saída.

5-) **Frequência:** Geralmente 50 ou 60Hz.

6-) **Proteções:** Os Inversores utilizados em sistemas de energia solar fotovoltaicos deverão possuir as seguintes proteções:

Inversão de polaridade; Sobrecarga na saída; Subtensão; Sobre-tensão; Curto-circuito na saída; Sobreaquecimento;

7-) **Forma de onda:** A forma de onda é uma representação gráfica que demonstra a forma com que a energia evolui ao longo do tempo, com suas variações nos valores de tensão. A onda de energia que é transmitida pela rede elétrica, provida pela concessionária de seu Estado, é **senoidal**. Ou seja, é uma onda pura e harmônica. (SOLAR BRASIL. Disponível em <https://www.solarbrasil.com.br>. Acesso em 31 de outubro de 2021 às 09:45h).

Sendo assim, podemos perceber que o inversor ideal para utilização nos sistemas off-grid são os inversores de onda senoidal pura que embora tenham um custo um pouco mais elevado garantem o bom funcionamento do sistema e a utilização de quaisquer tipos de aparelhos de corrente alternada ou motor, dentro da sua faixa de potência.

Vantagens e desvantagens

A primeira vantagem facilmente observada neste tipo de sistema é a autossuficiência ou independência total do consumidor que mesmo em áreas mais remotas ou onde a energia elétrica das concessionárias não atende têm garantido a sua eletricidade e o uso de aparelhos elétricos como por exemplo: televisão, geladeira, celulares, notebooks etc.

Neste sistema o consumidor assume um caráter de consumidor consciente, afinal ele é o responsável tanto pela geração de sua energia como pelo controle para que a energia gerada seja o suficiente de acordo com a sua demanda.

Outro ponto extremamente positivo é questão dos serviços de infraestrutura como atendimentos médicos, funcionamento de comércios e órgão públicos, isso sem falar no benefício proporcionado nas áreas rurais como irrigação etc.

A grande desvantagem deste sistema está diretamente relacionada ao custo, devido ao fato dele necessitar do controlador de carga e baterias para funcionar efetivamente e cumprir o seu propósito.

Impactos ambientais, descarte de resíduos gerados pelo SESF

Quando pensamos em sistema de energia solar fotovoltaica uma grande preocupação gera em torno do descarte destes painéis após sua vida útil, ou seja, de 20 a 25 anos após a sua utilização.

Segundo Duarte (2021 apud HEIN, 2021),

Mesmo após atingirem a marca da vida útil, este material ainda consegue ser sustentável, se descartado corretamente. Hoje em dia é possível aproveitar mais de 90% dos materiais que compõem a tecnologia fotovoltaica, pois eles são tão recicláveis quanto uma latinha de alumínio". (DUARTE, 2021 apud HEIN 2021 p. 1).

Em entrevista ao Canal Solar, Rodrigo Sauaia, CEO da ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica destacou que desde 2010 existe uma legislação que trata desde assunto, estabelecendo diretrizes para o descarte adequado.

Se trata da Lei 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecendo objetivos, metas, instrumentos e ações que deverão ser seguidos para o descarte e gestão adequada a fim de que se preserve o meio ambiente.

SAUAIA (2021 apud HEIN, 2021) destaca ainda que:

Hoje é possível aproveitar mais de 90% dos materiais que compõem a tecnologia FV. No Brasil, essa tecnologia deve, por lei, ser descartada corretamente atendendo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) que define as diretrizes relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos, atentando para a obrigatoriedade das empresas em retornarem os resíduos descartados de maneira a evitar o descarte incorreto e a poluição ambiental. (SAUAIA, 2021 apud HEIN, 2021. p. 4).

Com relação a este aspecto, ressalta-se ainda que as usinas de energia solar apresentam pouquíssimo impacto ambiental e que os materiais utilizados nos painéis solares, nos inversores e demais componentes são comuns e de fácil reciclagem.

Para Sauaia (2021 apud Hein 2021), “uma usina solar não é diferente de qualquer outro tipo de obra de engenharia. Não precisamos nos preocupar tanto com o seu descarte, assim como não nos preocupamos com o descarte dos equipamentos de usinas termelétricas e plataformas de exploração de petróleo”.

Atualmente a grande maioria dos painéis solares utilizados no mundo são fabricados a base de silício, substância encontrada em abundância em nosso planeta que não é tóxica ao ser humano e não prejudica o meio ambiente.

Nestes painéis, o chumbo pode estar presente mais em pequenas quantidades, como as que são encontradas em celulares, computadores etc.

Os painéis solares mono e policristalinos utilizados na atualidade também não possuem metais pesados e como são fabricados com a intenção de reter e não refletir a luz solar, pois o objetivo é captar a irradiação solar e transformá-la em energia elétrica, não promovem a reflexão do calor de volta para o ambiente em que estão inseridos.

De acordo com Duarte (2021 apud Araújo 2021),

(...) com um modelo de negócio voltado à redução de custos logísticos e à criação de parcerias estratégicas com integradoras, fábricas, distribuidoras e seguradoras fotovoltaicas por todo o país, nossa meta é oferecer soluções de logística reversa, coleta e reciclagem dos módulos brasileiros, reduzindo custos e processos de coleta, transporte e reciclagem para os nossos clientes. (DUARTE 2021 apud ARAÚJO, 2021 p.2).

A Empresa SunR foi a primeira empresa da América Latina a atuar com a reciclagem no setor fotovoltaico, utilizando tecnologia desenvolvida na Europa objetivando solucionar o problema ambiental que poderia vir a ser ocasionado pelo descarte dos módulos fotovoltaicos.

METODOLOGIA

Neste estudo fizemos uso de quatro métodos distintos, mas que coadunam entre si.

Inicialmente, realizamos uma pesquisa bibliográfica qualitativa acerca da temática em questão.

Num segundo momento, fizemos a análise crítico-reflexiva dos dados levantados na pesquisa bibliográfica dando enfoque aos resultados obtidos pelos autores estudados e no material disponibilizado pelos órgãos reguladores do setor para compreendermos a importância da implantação e de incentivos dos Sistemas de Energia Alternativos que beneficiem a sociedade e o país nos aspectos socioeconômicos e ambientais.

Na sequência, discorreremos acerca dos Sistemas ON-GRID (conectados à rede) e OFF-GRID (autossuficientes) e as vantagens e desvantagens da implantação de cada um desses sistemas de energia solar fotovoltaica.

E, por último realizamos um Estudo de Caso da implantação do Sistema ON-GRID em uma residência unifamiliar no Município do Rio de Janeiro, analisando o custo de implantação deste sistema bem como o tempo de retorno do investimento, para finalmente, chegarmos à conclusão sobre a viabilidade da implantação do sistema de energia solar fotovoltaico como alternativa para a crise energética em nosso país.

DESENVOLVIMENTO

Implementação do SESF em uma residência unifamiliar

Com o intuito de analisar a viabilidade de implantação do SESF on-grid como uma alternativa para crise energética brasileira, apresentamos os cálculos e custos de implantação desse sistema em uma residência unifamiliar, localizada no bairro do Anil, zona oeste da cidade do Rio de Janeiro.

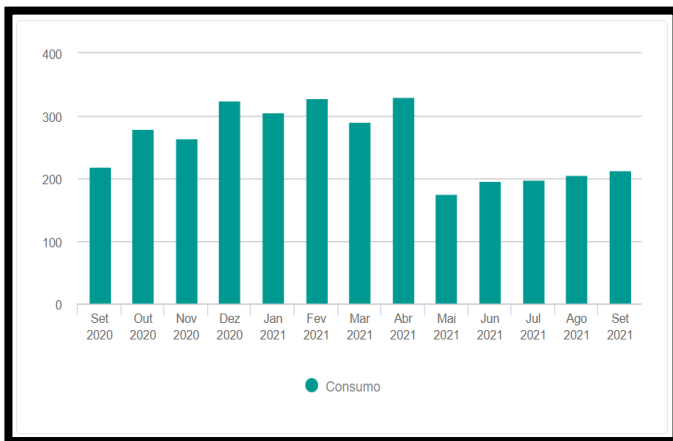
Nessa residência moram dois adultos e duas crianças e possui os seguintes aparelhos elétricos, considerados os grandes vilões no consumo de energia: máquina de lavar roupas, geladeira frost free, ferro de passar roupas, um chuveiro elétrico, um forno micro-ondas, entre outros de uso mais esporádico e consumo menos expressivo.

Vale salientar que toda iluminação da casa é composta por lâmpadas LED.

Média de consumo anual

Para dimensionar de maneira mais assertiva o projeto de implantação do SESF, utilizaremos o histórico de consumo da residência nos últimos doze meses, coletados no site da concessionária (Figura 24).

Figura 24 - Histórico do Consumo da Residência



FONTE: LIGHT, 2021.

Consultando os dados das contas acima citadas, criamos a Tabela 1 para calcularmos a média de consumo e de gasto com a energia elétrica, já levando em conta as variações de valores devido a variação tarifária.

Tabela 1 - Média de consumo e gasto com energia elétrica.

| Mês de referência | Consumo (kWh) | Valor |
|-------------------|---------------|------------|
| Setembro/2020 | 218,00 | R\$ 117,98 |
| Outubro/2020 | 279,00 | R\$ 163,67 |
| Novembro/2020 | 265,00 | R\$ 152,65 |
| Dezembro/2020 | 324,00 | R\$ 243,51 |
| Janeiro/2021 | 306,00 | R\$ 246,27 |
| Fevereiro/2021 | 328,00 | R\$ 246,88 |
| Março/2021 | 290,00 | R\$ 177,60 |
| Abril/2021 | 331,00 | R\$ 258,94 |
| Mai/2021 | 175,00 | R\$ 98,40 |
| Junho/2021 | 197,00 | R\$ 120,51 |
| Julho/2021 | 199,00 | R\$ 128,32 |
| Agosto/2021 | 206,00 | R\$ 139,80 |
| Setembro/2021 | 213,00 | R\$ 146,32 |
| Média | 256,23 | R\$ 172,37 |

FONTE: O AUTOR, 2021.

Analisando o histórico de consumo de energia, percebemos que entre os meses de outubro de 2020 e abril de 2021, há um aumento considerável no consumo da residência, e a média calculada para orientar o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos não atenderia a demanda.

Sendo assim, redefinimos a média de consumo, baseados nos meses em que este foi mais expressivo a fim de obtermos uma média condizente com a demanda de energia elétrica da unidade consumidora, conforme podemos observar em seguida na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de Consumo Máximo Mensal

| Mês de referência | Consumo (kWh) | Valor |
|-------------------|---------------|------------|
| Outubro/2020 | 279,00 | R\$ 163,67 |
| Novembro/2020 | 265,00 | R\$ 152,65 |
| Dezembro/2020 | 324,00 | R\$ 243,51 |
| Janeiro/2021 | 306,00 | R\$ 246,27 |
| Fevereiro/2021 | 328,00 | R\$ 246,88 |
| Março/2021 | 290,00 | R\$ 177,60 |
| Abril/2021 | 331,00 | R\$ 258,94 |
| Média | 303,29 | R\$ 212,79 |

FONTE: O AUTOR, 2021.

De acordo com os dados obtidos na Tabela 2, o nosso Projeto será dimensionado para atender a demanda de 304kWh por mês.

Custo de Implementação do SESF

A fim de obtermos o custo de implantação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica na residência supracitada, fizemos um orçamento com a empresa NeoSolar.

Neste orçamento estão incluídos os custos com todos os equipamentos necessários a implantação do Sistema, tais como:

- Projeto e Regularização do Sistema;
- Projeto Elétrico, Instalação Completa e Comissionamento;
- Homologação junto a Concessionária de energia elétrica Light S.A.
- Acompanhamento da geração por 3 meses.

Veremos na Figura 25 o detalhamento dos equipamentos, serviços e garantias fornecidos pela empresa NeoSolar.

Figura 25 - Detalhamento dos Equipamentos, Serviços e Garantias

| EQUIPAMENTO | MODELO | QUANTIDADE |
|----------------------------|--|-------------------------|
| Painéis Solares | OSDA 450Wp | 4 |
| Inversor | Deye 2 kW c/ Wifi | 1 |
| Stringboxes | NeoSolar/Proauto | De acordo com o projeto |
| Cabos Solares e Conectores | Conduspar e Multicontact | De acordo com o projeto |
| Estrutura de Fixação | Telhado cerâmico, em aço inox e alumínio | 4 |

| SERVIÇOS | | |
|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Projeto e Regularização do Sistema | Projeto elétrico | Instalação e comissionamento |
| Instalação Completa e Comissionamento | Homologação garantida junto à distribuidora | Acompanhamento da geração por 3 meses |

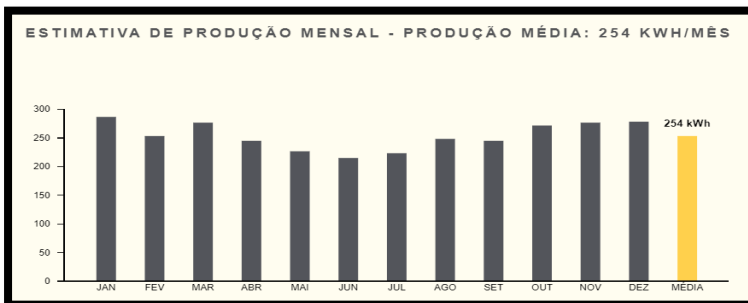
GARANTIAS

- Painéis: 25 anos contra perda de potência superior a 20% e 10 anos contra defeitos de fabricação
- Inversores: 5 anos contra defeito de fabricação
- Stringboxes, Cabos e Conectores: 18 meses

FONTE: NEOSOLAR, 2021.

Na proposta enviada, também nos foi fornecido um gráfico com a estimativa de energia produzida pelo sistema (Figura 26).

Figura 26 - Estimativa de Energia Produzida pelo Sistema



FONTE: NEOSOLAR, 2021.

Tempo de Retorno do Investimento

Antes de falarmos sobre o tempo de retorno do investimento no sistema, precisamos refletir sobre alguns pontos:

- No cálculo da média do custo com energia elétrica, não foi considerada a cobrança da taxa de iluminação pública, que no município do Rio de Janeiro é cobrada em relação a faixa de consumo mensal, conforme tabela 3.

Tabela 3 - Taxa de Iluminação Pública Conforme Consumo Mensal

| Faixa de consumo mensal (KWH) | VALOR DA COSIP DE OUTUBRO/2021 |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Até 80 | Isento |
| Superior a 80 até 100 | Isento |
| Superior a 100 até 140 | R\$ 7,30 |
| Superior a 140 até 200 | R\$ 10,40 |
| Superior a 200 até 300 | R\$ 15,28 |
| Superior a 300 até 400 | R\$ 21,41 |
| Superior a 400 até 500 | R\$ 27.53 |

FONTE: LIGHT, 2021.

- Conforme legislação vigente, mesmo que a unidade familiar não utilize a energia elétrica fornecida pela concessionária, é cobrada uma taxa de disponibilidade de energia, que na cidade do Rio de Janeiro hoje, equivale ao consumo de 30kwh. (Figura 27).

Figura 27 - Tarifas de Baixa Tensão

| TARIFAS DE BAIXA TENSÃO - R\$/kWh - Outubro/2021 | | | | | | | |
|--|------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|
| Classe de consumo | Tarifa com PIS/COFINS e ICMS | | | | | Tarifa homologada pela ANEEL sem incidência de ICMS/PIS/COFINS | Tarifa com PIS/COFINS isenta de ICMS |
| | Faixa consumo | | | | | | |
| | até 50 kWh | de 51 até 300 kWh | até 300 kWh | de 301 até 450 kWh | acima de 450 kWh | | |
| | Residencial (isento de ICMS) | Residencial (ICMS de 18%) | Demais Classes (ICMS de 20%) | Todas as Classes (ICMS de 31%) | Todas as Classes (ICMS de 32%) | | |
| Residencial | 0,72072 | 0,88640 | - | 1,06286 | 1,07939 | 0,69405 | 0,72072 |
| Tarifa Social | | | | | | | |
| - até 30 kWh | 0,22069 | - | - | - | - | 0,21253 | 0,22069 |
| - 31 até 50 kWh | 0,37833 | 0,46530 | - | - | - | 0,36433 | 0,37833 |
| - 51 até 100 kWh | | | | | | | |
| - 101 até 220 kWh | - | 0,69795 | - | - | - | 0,54650 | 0,56749 |
| - acima de 220 kWh | - | 0,77550 | - | 0,92989 | 0,94435 | 0,60722 | 0,63055 |
| Não residencial | - | - | 0,90963 | 1,06286 | 1,07939 | 0,69405 | 0,72072 |
| Rural | - | - | 0,80047 | 0,93531 | 0,94986 | 0,61076 | 0,63423 |
| Coop. Eletificação Rural | - | - | 0,80047 | 0,93531 | 0,94986 | 0,61076 | 0,63423 |
| Serv. Público de Irrigação Rural | - | - | 0,76408 | 0,89279 | 0,90667 | 0,58299 | 0,60539 |
| Iluminação Pública | | | | | | | |
| - Rede de Distribuição | - | - | 0,50029 | 0,58456 | 0,59365 | 0,38172 | 0,39639 |
| - Bulbo da Lâmpada | - | - | 0,54577 | 0,63770 | 0,64762 | 0,41642 | 0,43242 |

FONTE: LIGHT, 2021.

Analisando os padrões de consumo da residência em estudo, observamos que durante 7 meses do ano a produção de energia solar não será suficiente, fazendo com que seja consumida a energia elétrica fornecida pela concessionária, gerando um custo adicional na conta.

Sendo assim, podemos dividir a economia com gastos de energia elétrica da seguinte maneira (Figura 28):

Figura 28 - Economia Com Gastos de Energia Elétrica

| Média de consumo mensal de energia (Referência: Maio a Setembro) | | Média de consumo mensal de energia (Referência: Outubro a Abril) | |
|--|------------|--|------------|
| Consumo médio mensal | 256,23 KWh | Consumo médio mensal | 303,29 KWh |
| Produção do Sistema Solar | 254,00 KWh | Produção do Sistema Solar | 254,00 KWh |
| Consumo excedente a ser pago | 2,23 KWh | Consumo excedente a ser pago | 49,29 KWh |



FONTE: O AUTOR, 2021.

Como é possível observar, nos meses de menor consumo, a diferença entre a quantidade de energia produzida pelo SESF e a consumida pela residência, não implicará em custo adicional, haja vista que o consumo excedente está dentro da faixa de cobrança de

disponibilização de energia elétrica. Já nos meses de maior consumo, será gerado um custo adicional, devido ao fato do consumo excedente ultrapassar o cobrado na taxa de disponibilidade de energia.

Transformando toda a análise do consumo em números, podemos criar o esquema de gasto com energia elétrica (Tabela 4) da seguinte maneira:

Tabela 4 - Gastos Com Energia Elétrica

| Período de menor consumo (Maio a Setembro) | | | |
|--|-----------|------------|--|
| Item | Com SESF | Sem SESF | Economia |
| Taxa de iluminação pública | R\$ 15,28 | R\$ 15,28 | 80%  |
| Taxa de disponibilização de energia | R\$ 21,60 | R\$ - | |
| Consumo de energia | R\$ - | R\$ 172,37 | |
| Total mensal | R\$ 36,88 | R\$ 187,65 | |
| Período de maior consumo (Outubro a Abril) | | | |
| Taxa de iluminação pública | R\$ 15,28 | R\$ 15,28 | 78%  |
| Taxa de disponibilização de energia | R\$ - | R\$ - | |
| Consumo de energia | R\$ 35,49 | R\$ 212,79 | |
| Total mensal | R\$ 50,77 | R\$ 228,07 | |

FONTE: O AUTOR, 2021.

Conforme podemos observar na tabela acima, é gerada uma economia mensal expressiva, em torno de 79% por mês com o gasto de energia elétrica.

Tratando-se da implantação de um novo sistema de geração de energia, precisamos analisar em quanto tempo teremos o retorno desse investimento promissor.

Para que isso seja possível, comparamos o custo anual com energia elétrica, que é exibido na Tabela 5 que segue abaixo.

Tabela 5 - Comparativo Anual dos Custos com Energia Elétrica

| COMPARATIVO ANUAL DOS CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA | | | | | |
|---|--------------------|---------------|------------|-------------------|---------------------|
| Item | Quantidade (meses) | Custos Mensal | | Custo anual | |
| | | Com SESF | Sem SESF | Com SESF | Sem SESF |
| Período de menor consumo (Maio a Setembro) | 5 | R\$ 36,88 | R\$ 187,65 | R\$ 184,40 | R\$ 938,25 |
| Período de maior consumo (Outubro a Abril) | 7 | R\$ 50,77 | R\$ 228,07 | R\$ 355,39 | R\$ 1.596,49 |
| Total | | | | R\$ 539,79 | R\$ 2.534,74 |
| Economia anual com o SESF | | | | R\$ | 1.994,95 |

FONTE: O AUTOR, 2021.

Voltando para o orçamento solicitado a empresa NeoSolar, toda a implantação do sistema, incluindo todos os itens já especificados na Figura 25, o valor a ser investido é de R\$9.759,00.

Sabendo o valor do investimento e a economia anual gerada pela implantação do Sistema podemos definir o tempo de retorno, que é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Tempo de Retorno do Investimento

| TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO | |
|--------------------------------------|----------------------|
| Item | Com SESF |
| Investimento inicial | -R\$ 9.759,00 |
| Diferença de custo anual com energia | R\$ 1.994,95 |
| Ano 1 | -R\$ 7.764,05 |
| Ano 2 | -R\$ 5.769,10 |
| Ano 3 | -R\$ 3.774,15 |
| Ano 4 | -R\$ 1.779,20 |
| Ano 5 | R\$ 215,75 |

FONTE: O AUTOR, 2021.

A partir do quinto ano após a instalação do SESF, já é possível observar o retorno do investimento e perceber a economia gerada por ele.

CONCLUSÃO

Este ano o Brasil bateu vários recordes em geração de energia solar passando a ocupar o 14º lugar na lista dos países com maior capacidade de geração solar ao alcançar 10 GW de potência instalada que representa mais de 70% da potência gerada pela hidrelétrica de Itaipu e atingimos o 7º Lugar no ranking dos países que mais geraram empregos no mundo através da energia solar fotovoltaica.

Isso demonstra que com um maior incentivo e investimentos, devido a nossa localização geográfica privilegiada com grande quantidade de radiação solar durante todo o ano poderemos chegar a ser líderes mundiais neste tipo de geração que além de não prejudicar o meio ambiente e o planeta porque tem como fonte geradora a energia do sol que é inesgotável, ainda propicia vantagens tanto ao Governo como a sociedade como um todo.

Afinal, quando o consumidor opta por este sistema além da economia em sua conta de luz, o Governo garante inúmeros incentivos, dentre eles destacamos a isenção do PIS e CONFIS (nível federal) e ICMS (estadual) sobre a energia gerada e em âmbito municipal, várias cidades já concedem o desconto sobre o IPTU.

Ao longo desta pesquisa monográfica pudemos concluir que o sistema de energia solar fotovoltaico consiste numa alternativa viável e real para a crise na matriz energética brasileira.

Concluimos também que tanto os sistemas ON-GRID como os OFF-GRID representam uma excelente alternativa aos sistemas de energia tradicionais que utilizam combustíveis fósseis que além de ser mais caros liberaram os gases de efeito estufa em nosso planeta para a piora nas alterações climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid.** Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica, 2019, 72 p.

ALVES. Nayane Carolina. **Estudo De Viabilidade Econômico-Ambiental De Um Sistema De Bombeamento De Água Para Dessedentamento Animal Por Meio De Energia Fotovoltaica Na Fazenda Ibia, Município De Colinas-To.** (Monografia) Centro Universitário Luterano de Palmas. 2016. p.64.

ARAÚJO, Ericka. **Materiais Fotovoltaicos Começam a Ser Reciclados no Brasil.** (artigo). Canal Solar, 2021. Disponível em <https://canalsolar.com.br/materias-fotovoltaicos-comecam-a-ser-reciclados-no-brasil/>. Acesso em 10 de outubro de 2021 às 12:45h.

ARQAR. **Energia Solar Viável e sem Mágica.** Disponível em <https://arqrodrigo.guedes.blogspot.com/2016/02/energia-solar-viavel-e-sem-magica.html>. Acesso em 31 de outubro de 2021 às 22:47h

Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 / Ministério de Minas e Energia.** Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2011

CINTRA JÚNIOR, Anizio; SOUZA, Igor de Menezes. Células fotovoltaicas: **O futuro da energia alternativa.** TCC (Graduação) Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Goianésia, GO, 2018, 43 p.

COELHO, Thays Fernandes; SERRA, Juan Carlos Valdés. **Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos: Impactos Ambientais.** Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade | vol.15, n.7 | jun/dez – 2018. ISSN 2319-2856.

CSEM BRASIL. **CSEM Brasil e Energisa uma parceria de sucesso.** Disponível em <https://csembrasil.com.br/energisa>, Acesso em 01 de novembro de 2021 às 17:50h.

ELETRÔNICA XAVIER. **Energia Fotovoltaica.** Disponível em <https://eletronicaxavier.com.br/energia-fotovoltaica>. Acesso em 10 de outubro de 2021 às 21:49h

FREITAS, Taise Roberto de; SANTIN, Maria Carolina Yoshida; NASCIMENTO, José Gustavo Mateus; MARQUES, Claudia Scoton Antônio; PINTO, Bruno Henrique. **O Sistema Fotovoltaico como Solução Alternativa na Produção de Energia Elétrica no Brasil.** IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental São Bernardo do Campo/SP – 26 a 29/11/2018. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Disponível em <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/X-009.pdf>. Acesso em 10 de setembro de 2021 às 21:30h

GOETZE, Felipe. **Projeto de Microgeração Fotovoltaica Residencial: Estudo de Caso.** TCC (Graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre/BR-RS: 2017. 82 f.

GOLÇALVES, Livia Larissa de Carvalho. **Energia Solar: Oportunidades e Ameaças para a Geração de Energia Elétrica no Brasil.** TCC (Graduação). Universidade Federal Fluminense. Niterói/RJ:2019. 54p.

HEIN, Henrique. **Painéis solares: mitos e verdades sobre o descarte dos equipamentos.** Canal Solar, 2021. Disponível em <https://canalsolar.com.br/paineis-solares-mitos-e-verdades-sobre-o-descarte-dos-equipamentos/>. Acesso em 9 de outubro de 2021 às 10:45h.

INTER SOLAR RIO. **Energia Solar Fotovoltaica: 20 dúvidas esclarecidas de forma simples pela equipe Inter solar rio.** Disponível em <https://intersolarrio.com>. Acesso em 02 de novembro de 2021 às 16:57h

KOLOZUKI, Ronaldo; SAUAIA, Rodrigo; AVILA, Eduardo. **Energia solar como ferramenta de transformação social no Brasil.** Artigo publicado no Canal da Bioenergia. ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. São Paulo: 2021. Disponível em <https://www.absolar.org.br/artigos/artigo-energia-solar-como-ferramenta-de-transformacao-social-no-brasil>. Acesso em 11 de setembro de 2021 às 23:45h.

LIRA Marcos Antônio Tavares; MELO, Marina Larisse da Silva; RODRIGUES, Larissa Mendes; SOUZA, Tatiana Ribeiro Militão de. **Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica para a Redução de CO2 no Estado do Ceará.** [Artigo] Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 3, 389-397, 2019. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786343046>. Acesso em 12 de setembro de 2021 às 18:54h.

LIGHT. **Histórico de Consumo Anual.** Disponível em https://agenciavirtual.light.com.br/portal/Historico_Consumo.aspx. Acesso em 12 de outubro de 2021 às 19:45h.

MELO, Felipe Cesar. **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de um Projeto Fotovoltaico: Estudo de Caso: Estádio Aderbal Ramos da Silva.** TCC (Graduação). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis: 2020. 91 p.

NEOSOLAR. **Controladores PWM e MPPT.** Disponível em <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/controladores-pwm-e-mppt>. Acesso em 01 de novembro de 2021 às 17:45h.

OLIVEIRA, Ana Quézia Ribeiro de. **Sistema Fotovoltaico X Sistema Convencional de Alimentação: Uma Análise de Custo.** Monografia (Graduação). Universidade do Recôncavo da Bahia - Centro de Ciências e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade. Feira de Santana/BA:2018. 63 p.

OLIVEIRA JUNIOR, Marcelo de. **A energia solar fotovoltaica e suas contribuições nas demandas energéticas do Brasil.** TCC (Graduação). Universidade Federal do Ceará - Centro de Tecnologia. Fortaleza/CE: 2018. 62 p.

PEREIRA, Nilson Leite. **Energia solar uma perspectiva de sustentabilidade e viabilidade econômica**. TCC (Graduação). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Cuiabá/MT: 2016. 46 p.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em 10 de setembro de 2021 às 21:42h

PORTAL SOLAR, **Célula Fotovoltaica**. Disponível em <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>, Acesso em 10 de outubro de 2021 às 23:57h.

_____. **Como Escolher o melhor inversor solar para a minha casa**. Disponível em <https://www.portal-energia.com/como-escolher-o-melhor-inversor-para-o-sistema-solar-da-minha-casa>. Acesso em 02 de novembro de 2021 às 14:37h

Prêmio Secap de Energia 2019: **coletânea de monografias premiadas**/ Ministério da Economia (ME), Secretaria de Avaliação, Planejamento, Energia e Loteria (Secap). – Brasília: Enap, 2020. 358p. ISBN 978-65-88735-00-8.

RETECK JR. Energia Solar. Disponível em <https://www.reteckjr.com/projetos-fotovoltaicos>. Acesso em 27 de outubro de 2021 às 22:57h.

SACYR. Charles Frittz, The Unknown Inventor Of Solar Panels. Disponível em <https://www.sacyr.com/en/-/charles-fritts-el-desconocido-inventor-de-los-paneles-solares>, Acesso em 12 de outubro de 2021 às 15:45h.

SILVA, Luiz Felipe Muzzi. **A Viabilidade da Geração de Energia Solar em Residências no Município de Cuiabá - MT**. Monografia (Graduação). Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá/MT: 2019. p.40

SIQUEIRA, Allan Fabio Pereira; SANTOS, Letícia Neves dos. **Estudo de Implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede (SFVCR) na Câmara Municipal de São José dos Pinhais**. TCC (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT. Curitiba/PR: 2016. 82 p.

SOLAR BRASIL. **Características de Inversores para sistemas de energia solar Off-Grid**. Disponível em <https://www.solarbrasil.com.br/blog/caracteristicas-de-inversores-para->

sistemas-de-energia-solar-off-grid. Acesso em 31 de outubro de 2021 às 09:45h.

TECHNICA COMMUNICATIONS. **Calvin Souther Fuller and the Birth Of the Solar Cell.** Disponível em <https://www.technicacommunications.com/cleantech/calvin-fuller-solar-cell/> Acesso em 13 de outubro de 2021 às 22:37h.

VIDAL, Adriana Lopes. **Energia Solar no Brasil: Geração Distribuída nos Setores Comercial e Industrial.** Monografia (Graduação). Universidade Federal do Rio de Janeiro - Instituto de Economia. Rio de Janeiro/RJ: 2017. p.57

WANDERLEY, Silvanney Stonny Cordeiro. **Energia Solar Fotovoltaica: potencial nordestino com enfoque em Alagoas e seus impasses políticos e econômicos para micro e minigeração distribuída.** Monografia (Graduação). Universidade Federal de Alagoas. Unidade de Santana do Ipanema. Santana do Ipanema/AL: 2017. 57 p.

WORUBY, Mauro Sérgio. **Sistema de Energia Solar Residencial.** TCC (Graduação). UNOPAR - Universidade do Norte do Paraná. Ponta Grossa/PR:2018. p.34