

A Importância da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética

MÁRCIO GLEI SILVA DOS SANTOS

Master's student, Laureate International Universities
UNINORTE (2019), Manaus - AM

JOSÉ CLÁUDIO MOURA BENEVIDES

GLAUBER DO VALE MEDEIROS

Master, Laureate International Universities
UNINORTE, Manaus - AM

Resumo

Com a crescente demanda por energia, a busca por fontes alternativas de energia aumentou. O uso de combustíveis fósseis levou a uma situação crítica do aquecimento global, afetando significativamente a saúde, o meio ambiente e o clima. Uma grande ênfase na aplicação de energias renováveis. A energia solar é a forma mais abundante de energia renovável e tem o potencial de substituir parcialmente os combustíveis fósseis. A quantidade de radiação solar que atinge a superfície da Terra é cerca de dez mil vezes maior do que o atual consumo global de eletricidade. As células fotovoltaicas (FV) são uma das formas de aproveitar a energia solar. O FV converte a luz do sol diretamente em energia elétrica nas células e pode influenciar a demanda global de energia. As fontes alternativas de energia têm potencial para contribuir com o desenvolvimento de opções sustentáveis de produção energética. Elas permitem a integração da geração de energia sem a necessidade de área adicional, permitindo minimizar as perdas de energia elétrica. No entanto, esse conceito de geração solar ainda é pouco utilizado no Brasil. No Brasil, após a crise no sistema elétrico, ações relativas à eficiência energética foram estabelecidas, demonstrando a necessidade de racionalizar o uso da energia. As ações de eficiência energética começaram no país com a geração de energia elétrica de forma descentralizada, a partir dos sistemas fotovoltaicos. Esses sistemas fotovoltaicos, quando conectados à rede elétrica pública,

devem operar sempre que houver irradiação solar incidindo sobre o arranjo fotovoltaico. O objetivo deste estudo é fazer uma pesquisa bibliográfica sobre a geração de energia fotovoltaica e seu papel atual na matriz energética brasileira.

Palavras-chave: Energia solar; matriz energética; energias alternativas.

Abstract

With the demand for energy growing, the search for alternative sources of energy has increased. The use of fossil fuels has led to a critical global warming situation, significantly affecting health, the environment and climate. A great emphasis on the application of renewable energies. Solar energy is the most abundant form of renewable energy and has the potential to partially replace fossil fuels. The amount of solar radiation that reaches the Earth surface is about ten thousand times greater than the current global electricity consumption. Photovoltaic (PV) cells are one way to harness solar energy. PV converts sunlight directly into electrical energy in cells and can influence global energy demand. Alternative energy sources have the potential to contribute to the development of sustainable energy production options. They allow the integration of power generation without the need for additional area, allowing to minimize the losses of electric energy. However, this conception of solar generation is still little used in Brazil. In Brazil, after the crisis in the electric system, actions related to energy efficiency were established, demonstrating the need to rationalize the use of energy. Energy efficiency actions began in the country with the generation of electric energy in a decentralized way, from the photovoltaic systems. These photovoltaic systems, when connected to the public electricity grid, must operate whenever there is solar irradiation focusing on the photovoltaic array. The objective of this study is to make a bibliographical research on the generation of photo-voltaic energy and its current role in the Brazilian energy matrix.

Keywords: Solar energy; energy matrix; alternative energies.

I INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma localização privilegiada, além de enormes bacias hidrográficas, extensas faixas litorâneas com grande potencial eólico e solar em quase todos os estados. No entanto, essas características não são suficientes para impedir que ocorram períodos de racionamento energético, em consequência dos baixos níveis de chuva, haja vista que os recursos hídricos representam a principal fonte energética do Brasil.

Com o aumento populacional o consumo tende a crescer cada vez mais, e as fontes diminuirão na mesma proporção, sendo importante o desenvolvimento de fontes renováveis mais eficientes, visando a proteção do meio ambiente e a geração de energia para as gerações futuras. A energia solar fotovoltaica se destaca como uma solução capaz de promover uma significativa melhoria no setor energético.

Existem fontes naturais de energia e fontes artificiais, ou seja, criadas pelo homem. Os primeiros são chamados de fontes primárias de energia se produzem energia diretamente. Os outros são chamados de energias secundárias porque provêm de uma transformação de energia. Assim, alimentos, água, vento e sol são fontes primárias, enquanto o vapor e a eletricidade são fontes secundárias. O sol está na origem da maioria das fontes de energia presentes na Terra: calor, luz, crescimento de plantas, aumento das massas de água, ventos, correntes marinhas, tempestades. Um dos principais princípios a lembrar é que a energia é transformada, mas nunca perdida. A energia é sempre preservada mesmo se mudar de forma. Em outras palavras, uma determinada quantidade de energia parece desaparecer sempre para dar a mesma quantidade de energia de outra forma, seja calor, luz ou comida.

As fontes de energia utilizáveis pelo homem são numerosas: fornecem calor, luz e força. A energia sempre foi essencial para a existência humana e seu uso em várias formas transformou continuamente a sociedade. A descoberta da

resultante do vapor levou à Revolução Industrial. Apesar do domínio das técnicas, a questão da energia aparece hoje como uma das nossas principais preocupações. Algumas de suas fontes estão exauridas, outras poluem nosso meio ambiente.

A energia pode ser chamada de "renovável" se as fontes não se esgotarem significativamente durante a operação, enquanto a energia "não renovável" desaparece uma vez usada. As energias renováveis são aquelas cujas fontes são quase inesgotáveis. Alguns, como o vento e a água, foram usados há milhares de anos. Outros devem ser racionalmente explorados se não quisermos que eles se esgotem.

Existem diferentes tipos de energias renováveis: o sol ilumina, nos aquece e é essencial para o desenvolvimento de todos os seres vivos. Graças a ele, as plantas liberam oxigênio que permite que o homem respire. Atualmente é possível usar o calor do sol para criar eletricidade. Os painéis solares capturam esta energia e a transformam em eletricidade ou calor. O homem usa a força criada pelas correntes de rios ou cachoeiras para girar a roda de um moinho. Hoje usamos essa força para transformar as turbinas das usinas hidrelétricas que produzem eletricidade. O vento também é uma fonte de energia. As aves e os veleiros usam a energia que liberam para se mover. O vento permite girar as asas dos moinhos de vento para bombear água ou moer grãos. Atualmente, a força do vento é utilizada para transformar turbinas eólicas que produzem eletricidade. O calor interno da terra também é uma energia considerada renovável e explorável.

Em dezembro de 2015, a Conferência de Paris reuniu inúmeros países para discutirem soluções sustentáveis para o desenvolvimento econômico. Houve um consenso e os países cederam um pouco mais, reconhecendo a gravidade causada pelas mudanças do clima, em consequência da atividade humana. Entenderam que era necessário evitar que continuasse aumentando em uma média de 2°C (dois graus Celsius) até o fim do século XXI, como ocorre atualmente.

No Brasil, a energia elétrica é gerada predominantemente por usinas hidrelétricas, uma das fontes de geração de menor custo, mas de impactos ambientais severos, devido à necessidade de criar grandes reservatórios para movimentar as turbinas dos geradores. É necessário estimular a produção de energia através do uso de módulos fotovoltaicos, que convertem a energia do sol diretamente em energia elétrica. Desta forma, será possível aumentar a disponibilidade de energia para o consumidor, sem a necessidade de grandes intervenções, contribuindo com a redução dos problemas inerentes a geração, transmissão e distribuição da energia.

A vantagem do sistema fotovoltaico é a possibilidade de aplicá-lo ao meio urbano, podendo ser instalado em edifícios, condomínios, casas isoladas, indústrias e comércios. Cada vez mais são desenvolvidas soluções voltadas para a redução do nível de poluição, associadas ao uso da energia derivada dos combustíveis fósseis, visando evitar a construção de novas usinas hidrelétricas, devido ao impacto ambiental causado pelos seus gigantescos reservatórios.

O uso de energia produzida pela queima de combustíveis fósseis é apontado como fator determinante para a elevação de temperatura no planeta e pelas alterações observadas na natureza. Essa elevação de temperatura se deve ao aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera. Aliada a isso, a diminuição das reservas de combustíveis fósseis e o alto grau de poluição atribuído à utilização desta forma de energia impulsionaram a busca por alternativas de geração de energia de forma limpa e renovável.

No Brasil, após a crise no sistema elétrico, ações relativas à eficiência energética foram estabelecidas, demonstrando a necessidade de racionalizar o uso da energia. As ações de eficiência energética começaram no país com a geração de energia elétrica de forma descentralizada, a partir dos sistemas fotovoltaicos. Esses sistemas fotovoltaicos, quando

conectados à rede elétrica pública, devem operar sempre que houver irradiação solar incidindo sobre o arranjo fotovoltaico.

O objetivo deste estudo é fazer uma pesquisa bibliográfica sobre a geração de energia fotovoltaica e seu papel atual na matriz energética brasileira.

A justificativa para o desenvolvimento do presente trabalho é que a energia Fotovoltaica é de extrema importância nos dias atuais por ser o Brasil um país solar. A energia captada do sol e devidamente acondicionada para a utilização é uma das tecnologias mais importantes para desenvolvimento sustentável. Sua utilização é de altíssimo interesse para aqueles que visam um mundo equilibrado, ecologicamente correto, sem agressão à natureza. Este tipo de energia não polui durante sua produção, tem rápida instalação devido a sua modularidade e curtos prazos de instalação, aumentando assim a geração elétrica.

Aponta-se como hipótese deste estudo que se deve buscar o equilíbrio entre desenvolvimento e uso das formas de energia disponíveis, bem como aplicar técnicas de conservação de energia. A forma de produzir e consumir energia gera muitos benefícios econômicos, ambientais e sociais, implicando na melhoria da eficiência energética e na substituição das fontes atuais por fontes renováveis.

A questão pode ser abordada pela seguinte pergunta: qual a importância da geração de energia solar na matriz energética?

A motivação por este objeto de pesquisa é decorrente da percepção de que existe uma tendência mundial em buscar alternativas renováveis à produção de energia, contribuindo com a melhoria da matriz energética, pois nem todos os países possuem uma vasta cadeia de recursos para a produção hidrelétrica, como é o caso do Brasil.

II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O termo "fotovoltaico" pode se referir ao fenômeno físico (o efeito fotovoltaico descoberto por Alexandre Edmond Becquerel em 1839) ou à tecnologia associada. A energia solar fotovoltaica é a eletricidade produzida pela transformação de parte da radiação solar por meio de uma célula fotovoltaica esquemática. Um fóton de luz incidente permite, em certas circunstâncias, pôr em movimento um elétron, produzindo assim uma corrente elétrica [1].

As células fotovoltaicas são feitas com materiais semicondutores produzidos principalmente a partir de silício. Estes materiais emitem elétrons quando submetidos à ação da luz. Estes são ejetados do material e circulam em circuito fechado, produzindo eletricidade [2].

Este processo não requer nenhum ciclo termodinâmico intermediário, ou seja, a radiação é diretamente convertida em eletricidade sem uso intermediário de calor (ao contrário da termodinâmica solar).

As células fotovoltaicas exploram o efeito fotoelétrico para produzir corrente direta por absorção de radiação solar. Este efeito permite que as células convertam diretamente energia de luz de fótons para eletricidade através de um material semicondutor que carrega cargas elétricas [3].

Uma célula fotovoltaica é composta de dois tipos de materiais semicondutores, um com excesso de elétrons e o outro com uma deficiência de elétrons. Essas duas partes são chamadas de tipo "dopado" tipo n e tipo p. O doping dos cristais de silício consiste em adicionar outros átomos para melhorar a condutividade do material [4].

A energia solar fotovoltaica provém da conversão da luz solar em eletricidade em materiais semicondutores, como o silício ou revestidos com uma fina camada metálica. Esses materiais fotossensíveis têm a propriedade de liberar seus elétrons sob a influência de uma energia externa. Este é o efeito

fotovoltaico. A energia é fornecida por fótons (componentes da luz) que atingem os elétrons e os libertam, induzindo uma corrente elétrica [2].

A eletricidade produzida está disponível sob a forma de eletricidade direta ou armazenada em baterias (energia elétrica descentralizada) ou eletricidade injetada na grade. Um gerador solar fotovoltaico é composto de módulos fotovoltaicos próprios compostos por células fotovoltaicas conectadas entre si. O desempenho de uma instalação fotovoltaica depende da orientação dos painéis solares e das áreas de luz do sol no local onde ela está instalada [2].

A energia solar fotovoltaica decolou na década de 2000. Atualmente, os campos solares de vários megawatts estão sendo construídos em muitos lugares ensolarados do mundo para atender às nossas necessidades de eletricidade. O objetivo dos painéis fotovoltaicos (ou módulos) é converter a radiação solar em eletricidade. Quando recebem uma certa quantidade de luz, as superfícies fotovoltaicas produzem eletricidade sob a forma de corrente contínua, que é convertida em corrente alternada por um inversor.

Tecnicamente, os raios solares irradiam uma bolacha de silício e geram uma corrente elétrica que é então injetada na rede de distribuição. Assim, a instalação de painéis fotovoltaicos pode atender às necessidades de eletricidade, levando todo ou parte do relé do seu fornecedor habitual [2]. Para poder estimar o custo de uma instalação fotovoltaica, vários pontos devem ser levados em consideração.

A energia solar fotovoltaica, por definição, tem uma produção intermitente dependendo dos elementos: dia ou noite, variando a luz do sol dependendo do clima, etc. Quanto menos ensolarada estiver a área de residência, mais área será necessária [2].

A instalação independente significa que apenas a energia solar irá alimentar a casa. Isso envolve armazenar a energia produzida para consumi-la fora de períodos de sol. É

necessário adquirir baterias, cujo custo será condicionado pela sua capacidade. Por outro lado, uma instalação conectada à rede elétrica não necessita necessariamente de armazenamento [5].

Seu preço varia de acordo com sua eficiência energética, ou seja, a relação entre a eletricidade produzida e a energia luminosa recebida. Este último pode variar de 6 a 23% dependendo da tecnologia utilizada. Há um grande potencial de mercado em energia fotovoltaica, que se destaca entre este setor e a cadeia de produção, sobretudo semicondutores.

Neste sentido, o Brasil tem condições competitivas para abrigar investimentos nas cadeias solar fotovoltaica e de componentes eletrônicos. Deste modo, seria possível explorar um espaço de mercado ainda mais amplo do que se revelam as expectativas para o setor de energia solar ao incluir as propostas de inserção da energia solar na matriz elétrica brasileira.

Apresentadas as grandezas do setor fotovoltaico, o Brasil precisa elevar o potencial de absorção da tecnologia e geração de produção local melhorando a cadeia energética, com vista à respectiva expansão, fundamental na escalada produtiva do setor.

Para melhorar a eficiência fotovoltaica é necessário elevar o potencial de mercado em relação à fonte solar, trabalhando para que se melhore a produção em nível industrial. Essas melhorias nos processos de fabricação de células e também de materiais semicondutores as torna mais baratas e têm se intensificado nos últimos anos. O Brasil tem uma grande oportunidade de investimentos nesta cadeia, reforçando a posição privilegiada do país em produção de energia limpa.

Com isso, atrair investidores capazes de produzir energia ao menor custo, com benefício direto a cadeia produtiva local e ao consumidor brasileiro. É fundamental o fomento deste ambiente favorável à penetração da fonte fotovoltaica.

É necessário se beneficiar da normativa da ANEEL que introduziu o sistema de compensação nas faturas de energia e a adoção de métodos simplificados para acesso à rede, que elimina consulta e tem prazos melhorados para a elaboração do parecer de acesso e assinatura dos contratos, requisitos simples de acordo com a potência de produção além da dispensa de licenciamento ambiental.

Também é fundamental o avanço vigoroso do setor produtivo, não apenas da indústria fotovoltaica. A realização de reformas que enfoquem a redução dos custos de produção, que é um passo primordial para garantir o sucesso das políticas voltadas para o melhoramento da cadeia produtiva.

Neste sentido, o Brasil pode estimular a produção por meio da oferta de isenções tributárias à cadeia de semicondutores, módulos e células fotovoltaicas. Sem dúvida os investimentos na cadeia de energia solar fotovoltaica incentivarão o crescimento sustentável da demanda por esta fonte, disponibilizando financiamentos ao setor.

Por fim, a atuação do setor público se faz necessária no desenvolvimento de normas e regulamentação, tanto para equipamentos como para as instalações, atuando principalmente no sentido de concentrar o interesse público e privado, que garantirá o sucesso da inserção da fonte fotovoltaica no país. A viabilização do investimento na produção local tornara atraente a geração para o consumidor final que reduzirá as incertezas em relação à produção de energia, tornando o ambiente seguro e claro para a aceleração da demanda doméstica.

O estudo apresentado neste trabalho não implica em alterações nos mecanismos já existentes, mas busca mostrar que a inclusão do setor fotovoltaico dentro de uma estratégica política se torna fundamental, demonstrando desta forma uma oportunidade de desenvolvimento da cadeia produtiva local. É essencial que seja o resultado de esforços conjuntos dos diversos entes envolvidos no processo produtivo e no planejamento

energético, garantindo interesses essenciais ao sucesso da inserção da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira. A irradiação solar é uma energia que está disponível e deve ser aproveitada de todas as formas possíveis, principalmente através dos módulos fotovoltaicos que é uma das mais promissoras técnicas de geração de energia elétrica, devido ao baixo impacto ambiental, e também a pouca manutenção e alta confiabilidade, é modular, começa a gerar imediatamente após a instalação. A maioria destes fatores torna mais importante o aproveitamento, motivando cada vez mais a fabricação de módulos fotovoltaicos, com menores custos e maior eficiência.

Atualmente, muitos países realizam aplicações em tecnologia solar fotovoltaica, mostrando que, em todos os países onde se implantou algum mecanismo de incentivo a disseminação desses sistemas, houve uma propagação da geração.

A energia gerada possui um perfil muito particular, em virtude de depender de uma fonte primária de energia que, até certo ponto, é bastante previsível, porém não controlada. Dessa forma, depende da capacidade de geração disponível no local, e que pode ser entre a rede de distribuição, como utilizada em qualquer equipamento instalado junto à edificação.

Os fluxos de energia nessas instalações são medidos por contadores de kWh, necessários para contabilizar a energia comprada da rede, e lançada à rede e a gerada pelos módulos. Essa geração é entendida pelos setores como produção próxima ao consumo. Embora esse conceito seja recente, ganhou enorme atenção, pois se trata de uma forma de geração bastante comum e chegou a ser regra no início da industrialização.

Mas com o passar dos anos, foi se reduzindo o interesse pela energia solar. Como as usinas estavam distantes dos centros consumidores, foi necessário instalar extensas linhas de transmissão e complexos sistemas de distribuição para levar a energia aos consumidores finais.

Essa solução resolveu a demanda até o fim do século XX, quando diversos fatores pressionaram a busca por formas diferentes de produção de energia, entre eles: problemas como a crise do petróleo, restrições ambientais de grandes empreendimentos energéticos, escassez de potenciais para instalação, extensos prazos para construção das usinas, os fortes impactos ambientais, o grande endividamento da instalação de uma grande usina e a dificuldade de cumprimento de cronogramas e de obtenção de licenças ambientais. Essas dificuldades mudaram o panorama energético mundial, pressionando a busca por alternativas e eficiência energéticas. Dentro deste contexto, a conversão de pequeno porte ganha atenção, fazendo ressurgir o interesse pela energia solar [5].

Atualmente essa geração é possível para qualquer consumidor final, criando-se um mecanismo capaz de usar as leis de mercado para a expansão da matriz energética brasileira, fortalecida pelo avanço da ciência, que permitiu o desenvolvimento de novas tecnologias de conversão energética de uso em pequena escala e quase sem impactos ambientais. Assim, percebe-se que o setor energético brasileiro possui um contexto favorável, além de ser facilitado pelos avanços da ciência e o constante aumento da demanda.

O sistema fotovoltaico é composto por um conjunto de materiais que realiza a captação da energia solar e a converte em eletricidade. Essa energia gerada pode ser então utilizada no abastecimento da rede elétrica. Esta produção é conectada a rede pelo conjunto gerador e converte a energia em corrente contínua que será condicionada na unidade de potência e transformada em corrente alternada, para ser diretamente transferida a rede elétrica. Essas perdas, somadas as perdas de conversão do inversor, contabilizarão na eficiência de conversão em energia elétrica do sistema fotovoltaico conectado na rede [3].

Este sistema possui alguns componentes básicos, coligados em três distintos grupos: gerador, condicionamento de

potência e o de armazenamento. Cada grupo é formado por componentes com funções específicas.

Este sistema fotovoltaico conectado à rede trabalha convertendo energia solar em eletricidade e injetando o potencial gerado diretamente à rede de distribuição. Os inversores para o sistema são muito sofisticados, em sua grande maioria permitem aproveitar ao máximo a capacidade de geração do arranjo fotovoltaico ao qual está conectado [4].

Nestes sistemas conectados à rede de distribuição elétrica das concessionárias seu uso deve ser regulamentado pelos órgãos responsáveis. Os sistemas conectados à rede não utilizam acumuladores, pois a energia que é gerada apresenta dois possíveis caminhos: o consumo diretamente para a carga que está ligada ou ser injetada na rede de distribuição.

Com isso, o gerador fotovoltaico apresenta-se como uma fonte complementar ao sistema elétrico da concessionária diminuindo assim a energia consumida a partir de fontes geradoras.

Para fazer a medição os medidores devem ser instalados no ponto de conexão com a rede para que se possa medir a energia injetada na rede a fim de contabilizar o montante a ser recebido em forma de créditos.

Os espelhos concentram os raios do sol em uma pequena célula fotovoltaica com alta eficiência. Graças a esta tecnologia de concentração, os materiais semicondutores podem ser substituídos por sistemas ópticos menos caros. Com a mesma potência, isso possibilita o uso de material fotovoltaico 1000 vezes menos do que em painéis fotovoltaicos com exposição direta. Esta tecnologia deverá entrar no mercado no futuro próximo [1].

O rendimento teórico máximo da conversão do fóton-elétron é da ordem de 85% (o rendimento de Carnot é de 95%). O rendimento experimental máximo obtido com esta tecnologia é atualmente de 46% [5].

O uso de materiais poliméricos visa substituir materiais inorgânicos por semicondutores orgânicos, ou seja, plásticos, para fabricação de células fotovoltaicas. Estes são baratos, têm boas propriedades de absorção e são fáceis de depositar. O seu baixo custo é acompanhado de características particularmente atrativas: mais leves e menos frágeis, a sua natureza flexível permite obter materiais flexíveis feitos de polímeros orgânicos ou de tintas de silicone e mesmo fotovoltaicas.

Com uma curta expectativa de vida, atualmente oferecem apenas um pouco mais de 10% de rendimento no laboratório, mas podem servir de base para o desenvolvimento de um setor industrial [1].

O impacto ambiental da energia fotovoltaica é ao nível da energia cinza, que é a energia necessária para o ciclo de vida do painel solar: extração, produção, transporte, implementação, manutenção e reciclagem de materiais. painéis. Em geral, considera-se que leva em média 1 a 5 anos, dependendo do sol, para um sistema fotovoltaico para produzir a maior quantidade de energia necessária para fazê-lo [6].

É principalmente a produção de silício, o principal constituinte das células fotovoltaicas, o que aumenta o equilíbrio energético. Para reduzir esse equilíbrio energético, a pesquisa é feita para melhorar os processos de refinação ou reduzir a espessura das células fotovoltaicas [3].

O alumínio é usado para o contato traseiro de células fotovoltaicas, no quadro e na estrutura dos painéis, mas também em algumas partes necessárias para a operação do inversor. Observamos também a prata que é usada nos eletrodos na parte frontal das células [1].

Entre as substâncias perigosas estão o chumbo, usado em soldagem e bromo, presente no inversor, mas também o cádmio para painéis solares à base de telurídeo de cádmio [3].

Finalmente, outros materiais utilizados não são recuperáveis ou têm recursos limitados. Este é o caso do etilenoacetato de vinilo (EVA) usado para o isolamento dielétrico da

superfície das células, um polímero encontrado no revestimento isolante [3].

Claro, à medida que a tecnologia continua a melhorar, o impacto ambiental diminui à medida que a eficiência celular aumenta e os projetistas de sistemas se ocupam de otimizar a produção.

Além disso, a conta de energia deve ser considerada na sua totalidade. Por exemplo, painéis solares podem ser usados em vez de outros materiais tradicionais: em vez dos usados para coberturas ou fachadas. Nesse caso, as economias são feitas em termos de materiais e, portanto, incidentalmente, a energia utilizada em sua produção [1].

Subjugados à luz solar e ao clima, os materiais dos painéis solares estão se degradando pouco a pouco. No entanto, os painéis solares retêm 80% de seu poder após 20 anos. Mas, além do painel em si, outros elementos precisam ser reciclados. Um painel solar é 85% reciclável. No final de sua vida, os painéis solares devem ser coletados, desmontados e seus componentes reciclados. Silicone, vidro, plástico, uma grande quantidade de metais ferrosos e não ferrosos, podem ser reciclados e depois reutilizados na fabricação de novos painéis ou em outros processos industriais. As técnicas de reciclagem serão então diferentes dependendo do tipo de painel solar. Concentremo-nos na reciclagem de painéis solares à base de silício que representam 80% do mercado [5].

O uso da energia solar fotovoltaica é realizado em duas grandes direções, uma que é orientada para sistemas conectados à rede e outro destinado a sistemas autônomos para uso em regiões distantes de redes de distribuição de eletricidade.

Os Sistemas Fotovoltaicos Autônomos (SFA) geralmente consistem em três componentes básicos: um gerador de energia, o sistema de controle e as baterias. Eles também são caracterizados pela necessidade de seu *design* responder com precisão, à satisfação esperada da demanda por energia, uma

vez que um possível erro no dimensionamento pode levar a falhas ou insatisfações da demanda, maior do que o esperado, ou aumentos nos custos econômicos. A qualidade do sistema geralmente é medida pelo nível no qual o sistema atende a demanda de energia necessária, deve ser projetado de acordo com a confiabilidade com a qual se espera que forneça energia às cargas.

O nível de qualidade geralmente é medido pelo fator chamado de probabilidade de perda de carga (PPC), % de falhas ou perda de probabilidade de carga (LLP). O sistema deve ser projetado e dimensionado para que a probabilidade de falha responda à necessidade dos usuários, dentro das margens que são estabelecidas de acordo com o tipo de sistemas.

Então, ao contrário da tendência tradicional do dimensionamento SFA para falhas de 0% (sistemas superdimensionados), também é possível considerar o dimensionamento de SFAs subdimensionados, que são aqueles que permitem um parente e aceitável baixo percentual de falhas em troca da diminuição do custo do equipamento.

Existem inúmeros procedimentos ou metodologias para o projeto ou dimensionamento da SFA, dentro do qual é a possibilidade de dimensionamento através da simulação, através do uso de software computador, que oferece várias vantagens, incluindo a possibilidade de avaliar o comportamento esperado do sistema (parâmetros técnicos e econômicos) ao longo de sua vida útil.

É uma prática muito difundida, a *oversize* OSS, que oferece uma qualidade nem sempre justificada e sem oferecer alternativas de seleção para o usuário, ou sem considerar projetos sem *oversize*, em regiões onde muitas aplicações suportam níveis variados de qualidade [7].

O excesso injustificado provoca aumentos desnecessários nos custos, de modo que, no caso de mais recentes regulamentos técnicos para instalações isoladas da rede, já foi necessário o estabelecimento de limitações para dimensionar os projetos.

Então, no presente trabalho, considera-se relevante estudar a relação entre o nível de qualidade do sistema, o dimensionamento e os custos.

Poderão ser utilizados no sistema, as fileiras ou módulos, que garante proteção contra falhas e curto circuitos, os cabos principais que ligam o gerador e o inversor e os cabos de ramal que ligam o inversor a rede elétrica.

O dimensionamento dos cabos é feito com o objetivo de reduzir as perdas de potência nas instalações por conta da distância entre as cadeias dos módulos fotovoltaicos e o inversor. Os cabos geralmente têm divisão pequena, entre os módulos, inversores e o quadro, devem existir planos de proteção, tais como: chaves seccionadoras, disjuntores, entre outros. Estes são empregados para proteger e isolar o sistema fotovoltaico para atividades relacionadas a reparos e manutenções. As caixas de combinação permitem a inclusão de dispositivos de segurança por cadeia de módulo, possibilitando manutenções em determinadas partes do sistema [7].

III METÓDO

Como metodologia, foi adotada a pesquisa bibliográfica e descritiva e, por isso, as ideias de diversos autores e pesquisadores que abordam o assunto foram investigadas. Em seguida, foi realizada uma síntese de suas ideias e, além disso, serão acrescentadas nova ideias, alinhavando-as e apurando-as de acordo com os objetivos. Para tal fim será realizada a busca nas bases de dados BVS, google acadêmico, portal CAPES e Scielo, por artigos, teses, dissertações e monografias com os descritores: energia fotovoltaica, energia solar e sistemas de energia. Os dados coletados serão analisados de maneira qualitativa.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Brasil, a produção de energia consolida um passo importante quando mencionada na lei nº10. 848/04, como uma das possíveis fontes de geração de energia, juntamente com o detalhamento do decreto nº 5.163, de 30/07/2004, fornecendo informação que ajudarão à geração de energia [8].

No artigo 14 do decreto nº 5.163/04, explica-se a produção proveniente de empreendimentos de permissionários, agentes concessionários ou autorizados, conectados diretamente ao sistema de distribuição, com exceção se faz as hidrelétricas com capacidade superior a 30 MW e as termelétricas com eficiência energética inferior a 75%, apenas a termelétricas movidas com biomassa ou resíduos de processos não são limitadas por esse percentual [9].

Essa restrição colocada para as termelétricas foi revisada pela Resolução Normativa nº 228, de 25 de julho de 2006, uma vez que as termelétricas atuais com geração pura de eletricidade não atingem essa eficiência. Portanto essa normativa estabelece requisitos mais elaborados e coerentes aos critérios de racionalidade energética. Essa geração é definida como produção de energia de pequeno porte conectada a rede próxima ao consumo, independentemente de sua potência, tecnologia ou recurso utilizado [8].

Os debates sobre o aquecimento global têm se intensificado cada vez mais e os países estão suscetíveis a acordos visando a redução das emissões de gases de efeito estufa. Eles devem contribuir para reduzir as emissões, levando em conta suas características próprias conforme INDC (Contribuição Nacionalmente Determinada), em que os países apresentam suas metas e indicam como pretendem cumpri-las [7].

Trata-se de um benefício para todos os consumidores, ou seja, para todos os usuários finais e, conseqüentemente, para o país.

O INDC do Brasil no que se refere à redução da emissão diz o seguinte [8]:

- Compromete-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025.
- Reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005 em 2030, meta indicativa.

Para atingir essas metas o Brasil pretende:

- Aumentar a bioenergia sustentável na matriz energética para aproximadamente 18% até 2030.
- No setor florestal, mudança no uso da terra, fortalecer políticas e medidas com vistas a alcançar a Amazônia, o desmatamento ilegal zero até 2030.
- No setor energético, alcançar uma participação estimada em 45% de energias renováveis até 2030, expandir o uso de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da hidráulica), visando à eólica, biomassa e solar.

Foi publicado pela ONU, em dezembro de 2015, o acordo firmado entre 195 nações e visa o estabelecimento de metas para evitar o aumento de temperatura global, como forma de combater as consequências das mudanças climáticas, discutido por especialistas durante as últimas duas décadas, quando foi realizada a primeira reunião, durante a Eco 92 [10].

O Brasil possui uma matriz energética com grande potencial em energia renovável, destacando a fonte hídrica como principal e uma crescente participação de outras fontes, como a eólica, segundo balanço energético nacional (divulgado pela empresa de pesquisa energética), que representa 2% de toda energia gerada em 2015. O gráfico 1 apresenta a distribuição percentual da produção energética no país [11].

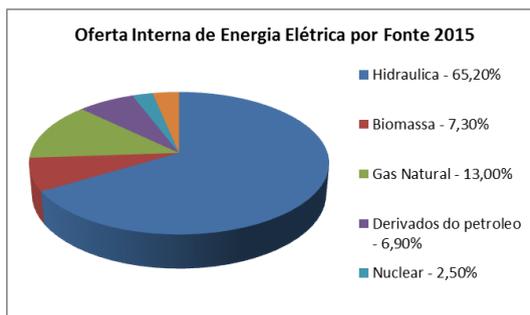


Gráfico 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte em 2015.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Observa-se a ausência de geração fotovoltaica, razão pela qual é necessário considerar essa importante fonte energética no país. No ano de 2016, já surge entre as fontes de energia elétrica, conforme indica o gráfico 2.

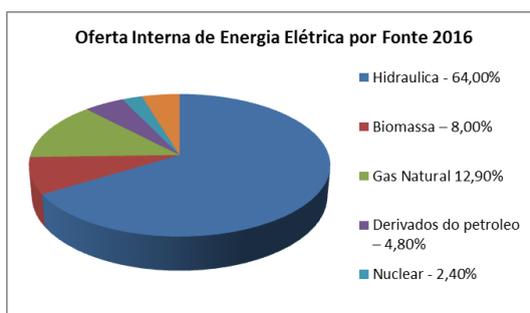


Gráfico 2 – Oferta interna de energia elétrica por fonte em 2016.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Um sistema fotovoltaico é projetado para gerar energia por cerca de 30 anos e os números apenas demonstram o estágio embrionário em que o país se encontra. Em relação à energia solar, comparado os anos de 2015 e 2016, espera-se um forte crescimento nos próximos anos para o setor solar [9].

Um sistema fotovoltaico é aquele que transforma a radiação solar em energia elétrica e pode ser implantado em qualquer local que possua radiação solar suficiente. A confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos é tão elevada, que são

utilizados em locais inóspitos como: espaço, desertos, selvas, regiões remotas, etc. Os sistemas são classificados de acordo com a geração ou entrega da energia elétrica em: Sistemas Isolados e sistemas conectados à rede (*On-Grid*) [8].

Um sistema fotovoltaico isolado é aquele que não tem contato com a rede de distribuição das concessionárias e pode ser classificado como híbrido ou autônomo. Os sistemas autônomos trabalham com ou sem armazenamento [12]. A figura 1 apresenta um modelo de sistema projetado para armazenamento.



Figura 1 – Sistema com armazenamento [8].

Como os sistemas geram energia nas horas de sol, são dotados de acumuladores que armazenam a energia para os períodos sem sol, nublados ou chuvosos dimensionados de acordo com a autonomia onde será implantado, conforme indica a figura 2.

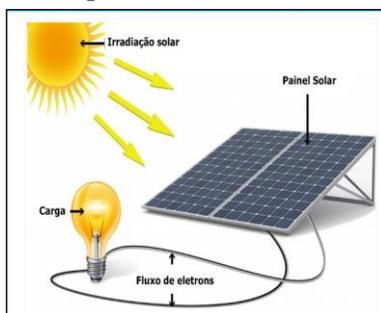


Figura 2 – Sistema autônomo sem armazenamento [13].

Este sistema funciona somente durante as horas de sol, aproveitando todo o potencial solar do lugar. Já o sistema

fotovoltaico híbrido trabalha em conjunto com outro sistema de geração elétrica e pode ser aero gerador, um moto-gerador a combustível, ou qualquer outro sistema de geração elétrica. A figura 3 apresenta um modelo de sistema híbrido [13].



Figura 3 – Sistema híbrido [14]

Os sistemas *On Grid* exemplificados na figura 4 conectados à rede fornecem energia para as redes de distribuição, toda produção de energia gerada é transferida para a concessionária [14].

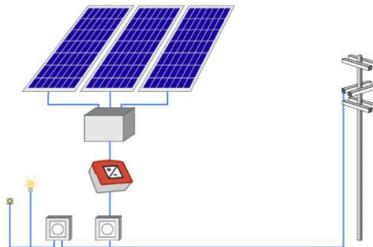


Figura 4 – Sistema *On Grid* [14].

Há várias configurações de sistemas monofásicos de energia produzida, que empregam diversas topologias de conversores estáticos, operando com alta e baixa frequência [13]. É possível dividir as configurações em quatro grupos:

- Topologia com único estágio inversor (não isolado),
- topologia com um único inversor (isolado),

- topologia com múltiplos estágios de conversão (isolados),
- topologia com múltiplos estágios de conversão (não isolados)

Outra classificação é associada às diversas concepções de sistema conectado a rede. Refere-se à topologia do inversor utilizado, ou ainda, ao emprego de módulos [13]:

- Sistema com uma única combinação gerador-inversor centralizada,
- sistema com várias combinações gerador-inversor descentralizada,
- módulos de corrente alternada,
- sistema com várias combinações de gerador e um único inversor centralizado,
- sistema com uma única configuração gerador-inversor centralizada, geralmente e utilizada em instalações fotovoltaicas de grande escala, e operam em faixa de potência de 20KW a 800KW e
- sistema com várias combinações gerador-inversor descentralizado e conectado a um inversor na faixa de potência entre 1KW w 3KW, fornecendo energia à rede elétrica na qual estão conectados.

Os módulos de corrente alternada combinados com um inversor, convertem a potência das correntes contínuas do módulo em alternadas e as injeta na rede. O sistema monitora continuamente a tensão e a frequência da rede e inibe o funcionamento do inversor se os parâmetros da rede estiverem fora dos valores predeterminados [12].

A principal inovação da Resolução Normativa nº 482/2012 é o sistema de compensação, pois permite que a energia produzida seja injetada na rede da distribuidora, gerando um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em uma unidade consumidora. Tais créditos de energia gerados serão válidos por 36 meses [15].

Esta energia ativa injetada no sistema de distribuição será cedida a título de empréstimo para a distribuidora passando desta forma o gerador, a possuir um crédito em quantidade de energia a ser faturado, é a diferença entre a energia consumida e a injetada, devendo a distribuidora abater o consumo.

Os montantes de energia ativa injetada não compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outra unidade, previamente cadastrada, para esse fim e atendida pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia, possuidor do mesmo cadastro de pessoa física (CPF) ou CNPJ [15].

O controle desta geração é realizado por um medidor de energia que medira a produção e dessa forma o controle de toda energia devolvida à rede, e para instalação do sistema conectado, será necessário solicitar autorização da distribuidora, mediante a apresentação do projeto, memorial descritivo, e outros documentos, seguindo as normas vigentes. Este projeto deve ser desenvolvido por um engenheiro responsável que emita uma ART junto ao CREA, sendo aceito, a distribuidora fará a troca do relógio medidor e o consumidor estará incluído no sistema de compensação de energia [15].

A geração de energia partir de fontes alternativas é uma necessidade mundial, mas para que cresça são necessárias melhorias na operação do sistema de compensação de energia, que considera apenas a troca de kWh produzido e a distribuidora, não envolvendo qualquer circulação de valores monetários. As distribuidoras necessitam se adaptar a viabilidade operacional, na medição e contabilização da energia produzida [14].

A Aneel prevê medidas em que a eletricidade gerada pelos consumidores seja descontada da conta de luz e o volume excedente seja transformado em crédito, que poderá ser usado por até três anos.

A produção de energia solar é muito competitiva, se comparado com os altos custos de expansão das linhas de transmissão e distribuição ou as restrições ambientais que encarecem e dificultam a eletricidade proveniente da rede elétrica. Nesses locais os concorrentes do sistema fotovoltaico enfrentam fatores limitadores que aumentam seus custos, principalmente relacionados à dificuldade de acesso às localidades. Desse modo, o sistema fotovoltaico facilita a devolução da energia elétrica para a distribuidora devido à proximidade da rede. Ele traz uma série de vantagens, como a economia dos investimentos em transmissão, redução das perdas nas redes, melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica e melhorias no sistema de atendimento à sociedade com melhoramentos na iluminação dos abrigos [15].

Essa regra é direcionada a geradores que utilizem fontes renováveis de energia, objetivando oferecer melhores condições para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico brasileiro, com aproveitamento adequado dos recursos naturais e utilização eficiente das redes elétricas.

No Brasil, apesar dos elevados custos comparados a de outros países, os preços do Kwp instalado vêm diminuindo nos últimos anos. Com o valor menor é possível estimar o custo de retorno, em 39 meses ou 03 anos e 03 meses, considerando a vida útil do sistema que é de 25 anos. Para verificar se essa produção é um investimento econômico viável foram observados os modelos de análise que poderiam avaliar tanto os custos do investimento quanto os benefícios decorrentes do mesmo [16].

Dentre os métodos econômicos disponíveis, os mais comuns são: o da taxa de retorno, a relação custo/benefício, o tempo de retorno e o do custo da vida útil. Esses métodos de avaliação econômica de sistemas energéticos diferem na maneira em que relacionam custos e benefícios, pois tratam de tipos diferentes de decisões de investimentos. Alguns tipos de decisões, a escolha de um método é mais importante do que a de outro [16].

V CONCLUSÃO

O potencial brasileiro de uso de sistema fotovoltaico conectado a redes é gigantesco. Aliado a experiência internacional de utilização, expõe a necessidade de realizar ações prévias de disseminação de instalação fotovoltaica, com o objetivo de ajudar na consolidação dessa aplicação, tornando-a uma fonte de eletricidade competitiva e sustentável.

No Brasil, a tecnologia solar fotovoltaica não está sendo muito diferente das experiências de outros países, iniciando no meio rural, geralmente por iniciativas governamentais ou de concessionárias que implantaram de sistema autônomo ou sistema de bombeamento de água. A partir da segunda metade da década de 1990 que começou a surgir experiências relacionadas à conexão de sistemas fotovoltaicos a rede convencional de distribuição de eletricidade, firmando no Brasil, a tendência mundial de aumento dessa aplicação da tecnologia.

Até pouco tempo as redes eram projetadas e operadas com base em um sistema de produção de eletricidade centralizada, e a corrente sempre fluía de subestação para o consumidor. Essa diversificação das formas de eletricidade e a possibilidade da inserção de pequenos produtores de eletricidade na matriz energética. Desse modo, torna-se importante a realização de estudos que identifiquem as influências desses pequenos produtores no planejamento e na operação da rede de distribuição.

Com este trabalho foi observada a necessidade de incentivos ao setor energético do país, visando à melhoria e o aproveitamento do potencial energético, principalmente o solar, pouco explorado e assim criar políticas públicas mais contundentes no apoio à instalação, manutenção e expansão de sistemas de geração de energia renovável. De modo geral, as alterações, para incentivar a expansão da geração de energia solar, são necessárias.

A tendência crescente da sociedade, no sentido, da preservação do meio ambiente, impulsiona o processo de consolidação da tecnologia fotovoltaica e a produção de energia limpa. Com vista ao meio ambiente, esta geração permite aumentar a oferta de energia de forma limpa, inesgotável, segura, com pouca manutenção e sem a necessidade de degradar grandes áreas, e é disponível em todos os locais.

Os custos da geração já estão competitivos em muitos mercados e permitem retorno do investimento desse capital privado, contudo as políticas devem ser aprimoradas com o objetivo de criar condições para o usuário final também consiga usufruir dessas vantagens.

Quando isso ficar bem sinalizado e com políticas claras, o setor privado aparecerá em massa e a sociedade abraçará as mudanças e poderão incorporar as atitudes ao seu dia a dia.

VI REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, J. **Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanoparticulas** de CdSe. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011.
- [2] MACHADO, C.; MIRANDA, F. Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**. Niterói, RJ, vol. 7, n. 1, p. 126-143, 14, out. 2014.
- [3] GREN, A. et al. Solar cell efficiency tables (version 45). **Progress in Photovoltaic**. Amsterdã, vol 23, n 1, p. 1-9, jan. 2015.
- [4] EBERHARDT, D. **Desenvolvimento de um Sistema Completo para Caracterização de Células Solares**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

- [5] COPETTI, J.; MACAGNAN, M. **Baterias em sistemas solares fotovoltaicos**. Abens – Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 11, abr. 2007.
- [6] GORE, A. **Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática**. Our choice: a plan to solve the climate crisis. Barueri, SP: Manole, 2010.
- [7] FILHO, D. O; HERMSDORFF, W. **Energia fotovoltaica**. Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Agrícola Eletrificação Rural – ENG 661. Disponível em: <www.ufv.br/Dea/Disciplinas/Delly/Eng460/EnergiaFotovoltaica.doc>. Acesso em 10 fev. 2019.
- [8] GALDINO, M. A., Análise de custos históricos de sistemas fotovoltaicos no brasil. Anais. In. **IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES**. São Paulo. Set. 2012.
- [9] GALDINO, M. A.; VISCONTI, I. F. e OLIVIERI, M. M. A., Estudos de impactos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no sistema isolado de Parintins-AM. In. Anais. **IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES**. São Paulo. Set. 2012.
- [10] BRASIL. **Energia Solar**. disponível em http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Energia_Solar.pdf acesso em maio de 2017.
- [11] BRASIL. **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em junho de 2017.
- [12] ILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.
- [13] PRIEB, C. W. M. **Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRS, 2002.
- [14] VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede**. Editora Érica, 2012.

[15] BRASIL. **Resolução Normativa nº 482**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em junho de 2017.

[16] PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.