

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijuí

**ESTUDO DAS ALTERNATIVAS PARA CONEXÃO SIMULTÂNEA DE MÁXIMO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA<sup>1</sup>**  
**STUDY OF THE ALTERNATIVES FOR SIMULTANEOUS CONNECTION OF MAXIMUM PERFORMANCE OF A DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM**

**Catherine Marquioro De Freitas<sup>2</sup>, Maurício De Campos<sup>3</sup>, Gustavo Castoldi Lucca<sup>4</sup>, Gabriel Santana<sup>5</sup>, Giordano Walker<sup>6</sup>, Pedro Pascoal<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Pesquisa institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEEng), pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC).

<sup>2</sup> Bolsista PIBITI/UNIJUI, aluna do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, catherine.mf@hotmail.com

<sup>3</sup> Professor Doutor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí, orientador, decampos.mauricio@gmail.com.

<sup>4</sup> Bolsista PROBITI/FAPERGS aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, gusc.lucca2@gmail.com.

<sup>5</sup> Bolsista PIBIC/UNIJUI, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, gabriel\_csantana@hotmail.com.

<sup>6</sup> Bolsista PROBITI/FAPERGS, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, gi.walker@hotmail.com.

<sup>7</sup> Bolsista PIBITI/CNPq, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, pedropascoal01@hotmail.com.

## **INTRODUÇÃO**

Segundo o Operador Nacional do Sistema (ONS) o consumo de energia elétrica aumentou 1,5% em 2017 em relação ao ano de 2016. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) esses valores tendem a aumentar em uma taxa de 3,6% ao ano, até 2032. Essa expansão no consumo de energia é resultado do crescente desenvolvimento, uma vez que, o desenvolvimento e o consumo de energia são grandezas diretamente proporcionais. O crescimento da população mundial e da economia nos países emergentes implicam, imperiosamente, no aumento da demanda de energia. Não obstante, esse progresso deve seguir os conceitos de desenvolvimento sustentável e de responsabilidade ambiental.

A matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável, de acordo com a EPE, as fontes renováveis representam 81,7% da oferta interna de eletricidade no país. Dessas, a fonte hidráulica é a que possui maior representatividade, correspondendo a 68,1% da oferta interna de energia elétrica no Brasil. Contudo, para atender a crescente demanda de energia elétrica esse perfil renovável pode se alterar nos próximos anos. Desta forma, a utilização de outras formas de geração, que causem menores impactos ambientais e sociais, torna-se essencial para complementar a geração hidrelétrica e diversificar a matriz energética do país.

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijui

O Brasil possui enorme potencial à produção de energia elétrica a partir da fonte fotovoltaica. Se comparado com países líderes em produção de energia solar, nosso país possui incidências de luz solar muito superiores. Conforme a nota técnica apresentada pela EPE, estudos estimam que o potencial técnico de geração fotovoltaica brasileiro está em torno de 287TWh/ano, esse valor corresponde a aproximadamente 32GW médios. Esses números indicam que o potencial de produção de energia fotovoltaica é 2,3 vezes superior ao consumo, considerando a área disponível para instalação de painéis fotovoltaicos.

Quando se trata de energia fotovoltaica, surge outro conceito fundamental: a geração distribuída. Esse termo se refere a produção de energia de maneira descentralizada, essa fonte de energia elétrica pode ser conectada diretamente à rede de distribuição e situa-se no próprio consumidor ou próximo a ele. Com essa tecnologia é possível que as unidades consumidoras, insiram em casas, comércios e fábricas, pequenas usinas geradoras de energia renovável para o consumo. A geração distribuída possibilita a redução das perdas elétricas provenientes das longas linhas de transmissão de eletricidade além de aliviar o congestionamento da rede.

Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo realizar revisão bibliográfica sobre a geração distribuída suas normas e tendências. Os tipos de painéis fotovoltaicos e inversores disponíveis no mercado visando a escolha dos equipamentos que possuam a melhor relação custo benefício. Além disso será realizado um estudo das formas de armazenamento de energia mais usuais e das políticas de compensação atuais.

## **METODOLOGIA**

Inicialmente foi realizado uma pesquisa de caráter exploratório, feita através de pesquisas bibliográfica sobre a geração distribuída suas normas e tendências. Posteriormente foi estudado o funcionamento de painéis fotovoltaicos e analisado os tipos de painéis disponíveis comercialmente. Foi feita uma análise das características, eficiência e limitações de cada tipo de painel, visando escolher o que apresenta a melhor relação custo benefício para aplicar no projeto proposto.

Além dos painéis solares, foram estudados também alguns inversores disponíveis no mercado que permita a utilização de sistemas de armazenamento de energia em paralelo com os painéis fotovoltaicos. Por fim foi realizado o estudo das formas de armazenamento de energia mais usuais e das políticas de compensação mais adequadas ao perfil definido.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O sistema de Geração Distribuída permite que os consumidores instalem pequenas usinas geradoras de energia para consumo próprio. Essa modalidade de geração de eletricidade se difundiu com a Resolução Normativa N°482 da ANEEL a qual entrou em vigor em 17 de abril de 2012. Essa resolução define, entre outras coisas, a mini e micro geração distribuída, as normas para o sistema de compensação de energia, a geração compartilhada e o autoconsumo remoto. No contexto da geração distribuída, a geração fotovoltaica tem ganhado destaque por ser de fácil

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijui

implementação em residências. Além disso, os preços dos equipamentos, que eram um empecilho ao desenvolvimento da mesma, têm diminuído. Essa diminuição dos custos dos dispositivos se deve a crescente demanda desses equipamentos. A energia solar fotovoltaica, utiliza o sol como fonte de energia, produzindo uma energia através da conversão direta da luz em eletricidade.

O painel fotovoltaico é o dispositivo responsável pela conversão da irradiação solar em eletricidade. Esse painel é formado por um conjunto de células fotovoltaicas feitas de material semicondutor, geralmente o silício. A partir de um processo de dopagem, é possível obter um material com elétrons livres, carga negativa, tipo N. Ou, um material com falta de elétrons, carga positiva, tipo P. As células fotovoltaicas são compostas por uma camada de material tipo P sobreposta a uma camada de material tipo N. Essas camadas formam um campo elétrico próximo à junção. Quando ela é exposta à luz, a energia dos fótons da luz do sol permite que elétrons presentes na camada P passem para a camada N. Assim cria-se uma diferença de potencial nas extremidades do semicondutor. Conectando-se uma carga haverá um fluxo de corrente elétrica, fazendo os elétrons retornarem para a camada P, reiniciando o processo.

Existe inúmeros materiais e tecnologias acerca dos painéis fotovoltaicos, que estão sendo estudados, visando o aumento da eficiência a um preço razoável. Porém, a tecnologia que domina o mercado é a do silício cristalino. Dentre as células de silício, destacam-se a monocristalina e a policristalina. Ambas possuem tecnologias empregadas para a fabricação, eficiência e preços distintos.

A tecnologia monocristalina é construída por células monocristalinas de silício. Esse elemento possui alto grau de pureza, fazendo desse painel, o que possui a eficiência mais elevada dentre comercialmente viáveis. A eficiência dos painéis solares monocristalinos está entre 14% e 22%. Maior eficiência significa mais potência por área, além de menores dimensões para a mesma produção de energia. Entretanto, as técnicas utilizadas para sua fabricação são complexas e caras, tornando seu preço comercial mais elevado que os demais.

O painel solar de silício policristalino, devido ao diferente método de fabricação, tende a ser um pouco mais barato que os painéis monocristalinos. Porém, a eficiência do painel policristalino também é menor, cerca de 13% a 16%. Essa diferença na eficiência se deve ao menor grau de pureza do silício. Devido ao custo mais acessível, torna-se uma tecnologia vantajosa na relação custo benefício, sendo amplamente utilizado.

A célula fotovoltaica entrega a carga corrente contínua e a maioria dos aparelhos das residências é alimentado em corrente alternada. Devido a isso, torna-se necessário o uso de um inversor. Inversores são conversores estáticos utilizados para produzir correntes alternadas, a partir de correntes contínuas. Esses inversores proporcionam energia elétrica dentro de um nível de qualidade adequado e são responsáveis pela otimização de energia produzida, para que o sistema opere sempre na máxima potência. O inversor deve ter um alto grau de eficiência para que haja economia de energia. O mínimo aceitável deve ser de 94% e ele deve estar de acordo com NBR

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijui

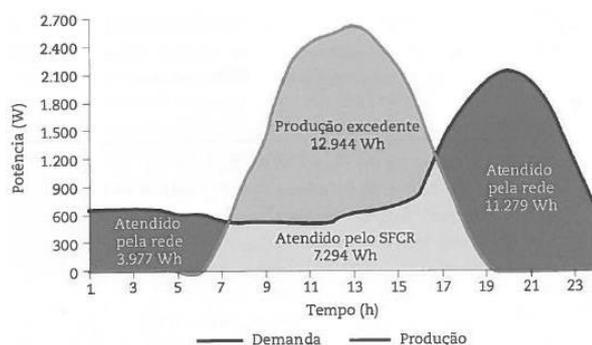
IEC 60529. Atualmente, há quatro tipos básicos de inversores. Cada um projetado para um tipo específico de sistema. Os principais são: o inversor *grid tie*, inversor *off grid*.

*Grid tie* ou *on grid* significa “conectado à rede”. Esse tipo de inversor é utilizado para conectar um sistema fotovoltaico na rede sem a necessidade do uso de baterias. Além de atuarem para converter a corrente contínua em alternada, como um procedimento de segurança, eles devem ter controles que garantam o rápido desligamento quando a rede elétrica não estiver energizada, para evitar acidentes. Esses inversores ainda possuem um sistema de monitoramento que geraram dados da geração de energia para avaliar o desempenho do sistema.

Os sistemas *off grid* (desconectado da rede) são sistemas autônomos, ou seja, que independem da rede de distribuição. Os inversores *off grid* são usados para esses tipos de sistema os quais são viáveis em áreas isoladas ou espaços rurais, onde a eletricidade não chega. Os inversores retiram a energia de um banco de baterias e a partir dela geram a corrente alternada para ligar diretamente os equipamentos.

A produção de energia pelos painéis ocorre enquanto a presença de luz solar. Observando o gráfico da figura 1, nota-se a maior geração de energia ocorre entre as 9 horas da manhã e as 16 horas da tarde. Porém, o horário de consumo não coincide com os horários de pico de energia. Há horários em que a geração de energia é maior que o consumo. Todavia, em outros momentos, há demanda e o painel não está produzindo eletricidade. Para usufruir o excedente da energia produzida, faz-se necessário a utilização de baterias, ou ainda injetar esse excedente na rede para posterior uso.

Figura 1: Curva de consumo residencial e microgeração fotovoltaica nacional.



Fonte: Zilles et. al (2012)

Apesar da evolução das baterias, elas ainda possuem um custo relativamente elevado, e uma vida útil relativamente baixa. Sendo assim, tornam-se viáveis apenas para sistemas autônomos de geração de energia elétrica, onde o sistema de distribuição não chega. Outro problema das baterias é o descarte após o término de sua vida útil, ele deve ser feito de maneira adequada, o

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijuí

que em geral não ocorre. Existem diversas baterias de materiais distintos, são elas: Chumbo-Ácido, Íon de Lítio, Níquel-Sódio, entre outras.

Para regiões onde há o abastecimento de eletricidade, há a possibilidade de conectar o sistema diretamente à rede de distribuição da concessionária. De acordo com a ANEEL, é possível injetar o excedente da energia na rede. Esse excedente de geração é convertido em créditos de energia para serem usados posteriormente, em horários em que o consumo de energia for maior que a produção. Esses créditos têm validade de 60 meses e podem ser usados em outra unidade consumidora, de acordo com as normas vigentes.

Ainda deve ser considerado outros custos para o projeto do sistema fotovoltaico. Além dos painéis, do inversor e das baterias (caso seja necessário o uso), ainda há os custos das estruturas para disposição dos painéis, os condutores, equipamentos de proteção (*String box*), e custos de instalação. Caso seja utilizado sistema de armazenamento baseado em baterias, ainda é necessário haver um controlador de carga. É importante ressaltar ainda, que o sistema fotovoltaico não necessita de manutenções após a instalação, é necessário apenas manter os painéis limpos para que a geração seja sempre máxima.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

No cenário atual, é de extrema necessidade o desenvolvimento de novos estudos visando um crescimento sustentável da matriz energética do país uma vez que a demanda por energia tem aumentado ao longo dos anos. Desta forma, a utilização de formas de geração, que causem menores impactos ambientais e sociais, torna-se essencial.

O presente trabalho tratou da geração fotovoltaica. Com a difusão dessa forma de geração de energia, os preços dos equipamentos como painéis e inversores diminuíram, tornando a energia fotovoltaica uma opção atrativa aos consumidores. Além disso, as normas da ANEEL foram de suma importância para a ampliação dessa fonte uma vez que criaram normas para a implementação desses sistemas e possibilitaram a compensação de energia.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica; Energia renovável; Geração Distribuída.

**Keywords:** *Photovoltaics; Renewable energy; Generation Distributed.*

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), bem como ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC).

### REFERÊNCIAS

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijui

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 517, de 11 de dezembro de 2012**. Brasília, 2012b. Disponível em: Acesso em: 10 jun. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2017**: Relatório síntese (ano base 2016). Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Operador Nacional do sistema. **Síntese 2017**: Carga, Mercado e Geração de Energia Elétrica do Sistema Interligado Nacional, 2017. Disponível em: . Acesso em: 02 jun. 2018.

ZILLES, R., MACÊDO, W. N., GALHARDO, M. A. B., OLIVEIRA, S. H. F. d. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Oficina de Textos, São Paulo, 2012.