

Análise de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Baseados em Silício Monocristalino e Policristalino

Nathanael Günter Prange

Resumo – Este artigo apresenta uma análise de tecnologias de módulos fotovoltaicos aplicados em geração distribuída e aspectos da análise de desempenho de plantas solares. Serão apresentadas algumas tecnologias existentes no mercado, mostrando o que está sendo realizado no processo de produção de células e módulos fotovoltaicos para adquirir melhores desempenhos. Na etapa de análise de geração, serão analisados dois sistemas cujas tecnologias serão verificadas, de acordo com seus desempenhos, ambos instalados na cidade de Jaguaruna, estado de Santa Catarina. Desta forma, os mesmos métodos de análise podem ser aplicados em outros sistemas fotovoltaicos instalados com diferentes potências, localização geográfica, radiação solar, entre outros fatores que influenciam em seus desempenhos. Portanto, o desempenho de um sistema fotovoltaico está atrelado ao bom dimensionamento, juntamente com as características tecnológicas dos equipamentos.

Palavras-chave: Células. Fotovoltaico. Geração. Módulos.

Abstract - This article presents an analysis of photovoltaic module technologies applied in distributed generation and aspects of the performance analysis of solar plants. Some existing technologies on the market will be presented, showing what is being done in the production process of cells and photovoltaic modules to acquire better performances. In the generation analysis stage, two systems will be analyzed whose technologies will be verified, according to their performance, both installed in the city of Jaguaruna, state of Santa Catarina. In this way, the same analysis methods can be applied to other photovoltaic systems installed with different powers, geographic location, solar radiation, among other factors that influence their performance. Therefore, the performance of a photovoltaic system is linked to good dimensioning, together with the technological characteristics of the equipment.

Keywords –Cells. Generation. Photovoltaic. Modules.

I. INTRODUÇÃO

O sol é uma fonte poderosa de energia e a superfície terrestre recebe-a todos os dias. Maior parte dela chega na superfície em forma de luz e calor. Durante os dois últimos séculos os pesquisadores têm estudado e desenvolvido tecnologias capazes de converter essa energia em eletricidade [1].

O efeito fotovoltaico foi observado a primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel. Ele observou que um material semicondutor ao ser exposto à luz produzia uma diferença de

potencial [2]. A célula solar foi inicialmente desenvolvida para o setor espacial, porém com a melhoria na sua eficiência energética, nos últimos anos tem sido empregada como fonte de geração, seja ela centralizada ou distribuída.

A energia fotovoltaica faz parte das energias renováveis, também conhecidas como alternativas ou limpas, ou seja, elas não produzem grandes impactos ambientais [3]. O Brasil possui uma matriz elétrica limpa: em torno de 83% da demanda de energia provém de fontes renováveis, sendo predominante o uso de hidrelétricas, 64,5%; porém o uso de termelétricas a combustível fóssil ainda é considerável, 14,6% [4]. Existem diferentes tecnologias de células solares, entretanto, a mais utilizada é baseada em silício cristalino, sendo mono ou policristalino.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre as tecnologias utilizadas no mercado, apresentando novas tendências tecnológicas e mostrando o desempenho, durante 4 meses de geração, de janeiro a abril de 2021, de dois sistemas compostos por células de silício mono e policristalinos.

II. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO FOTOVOLTAICO

A energia fotovoltaica é resultante da conversão direta da luz em eletricidade através do efeito fotovoltaico. Na natureza, existem materiais que são classificados como semicondutores, por possuírem a característica de terem a banda de valência preenchida por elétrons e a de condução vazia, a temperaturas muito baixas. A separação entre essas duas bandas, gap de energia, é na ordem de um 1eV. Isso dá aos semicondutores várias características interessantes, sendo uma delas a de aumentarem a condutividade com o aumento da temperatura, por conta da excitação térmica dos portadores da banda de valência para a de condução. A propriedade fundamental da célula fotovoltaica é de através do fóton (proveniente da radiação solar) realizando a excitação dos elétrons à banda de condução, podendo ser observado esse efeito nos semicondutores puros, porém, esta etapa não garante por si só o funcionamento da célula, pois é necessária uma estrutura para poder coletar esses elétrons excitados, desta forma gerando uma corrente útil [3]. A Figura 1 mostra uma célula fotovoltaica.

Artigo apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Pós-graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. Ano 2021. Orientador: Prof. Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Mestre Engenheiro.

Pós-graduando em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica pela Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. E-mail: nathanaelgunterprange@gmail.com

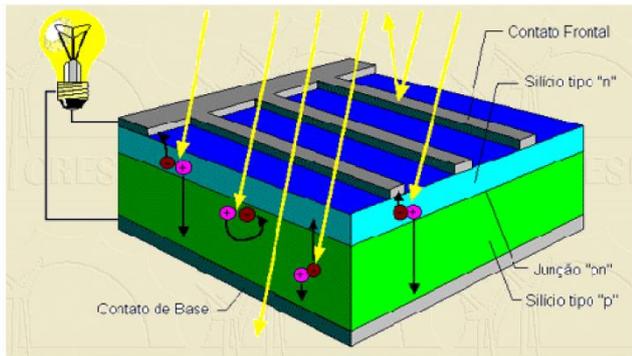


Figura 1: Exemplo de célula fotovoltaica.
Fonte: [2]

III. EFICIÊNCIA

O que caracteriza a eficiência de um módulo é a quantidade de irradiação solar que atinge a superfície do painel e convertida em eletricidade. Nos últimos anos, o percentual de eficiência tem subido de 15% para mais de 20% e, esse aumento, contribuiu para o aumento da potência dos painéis de 250 W para 500 W e até mais potentes; conforme apresentado nos sites dos fabricantes de módulos solares, como: Canadian Solar, Jinko Solar, Trina Solar, entre outros [5],[6],[7]. A eficiência é determinada por dois fatores principais: a eficiência da célula baseada no design e tipo de silício; e a eficiência total do painel, baseada no *layout*, configuração e tamanho. Tais fatores estão sob a ótica de tecnologia dos módulos e células, pois a real eficiência de um sistema é determinada pelas características dos equipamentos e das condições locais, tais como: temperatura, orientação, irradiação, estação do ano, entre outros [2],[3],[8].

IV. TECNOLOGIA DE CÉLULAS E MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A. Silício Cristalino

O silício cristalino é a mais tradicional das tecnologias empregadas, por possuir grande robustez e confiabilidade, além de ser o segundo material mais abundante na natureza. Essa tecnologia é chamada de primeira geração e foi desenvolvida antes de 1950. Atualmente, duas tecnologias de células solares de silício, o monocristalino (m-Si) e o policristalino (p-Si), na qual possui 84% de participação no mercado de módulos solares. As duas tecnologias passam por um processo de fabricação semelhante, sendo fundidos e solidificados em blocos que são chamados de lingotes, porém, o monocristalino possui uma organização molecular mais homogênea, que dá um aspecto visual mais brilhante; já o policristalino, por ser formado por pequenos pedaços de cristais, com diferentes tamanhos e orientações, possui o aspecto visual rugoso [8].

Esses blocos são cortados e transformados nos chamados *wafers* (bolachas) cujo processo dá capacidade à célula solar de produzir eletricidade. Para isso, ela passa por 4 processos principais: tratamento da superfície, feita a dopagem para que haja a diferença de potencial, revestimento antirreflexo e por último, a metalização [8].

B. Filmes Finos

Esse tipo de célula se refere à segunda geração, sendo caracterizada por possuir várias camadas finas de filme

fotovoltaico, aplicado a um substrato que pode ser plástico, vidro, cerâmica ou metal. Essas camadas podem ter de alguns nanômetros até micrômetros de espessura. Diferente da tecnologia anterior, para este tipo de célula, necessita-se de menor quantidade de material e técnicas menos sofisticadas de produção, resultando em um custo menor do que as de silício cristalino. Filme fino possui boa performance a altas temperaturas, sendo indicada para locais de clima quente. Os semicondutores mais utilizados nesse tipo de tecnologia são o silício amorfo (a-Si), o disseleneto de cobre e índio (gálio) (CIS-CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe).

Existem outras tecnologias empregadas, porém por ainda possuírem menor eficiência que as de silício cristalino não são produzidas em larga escala. A Figura 2 mostra a distribuição do *market share* de células solares, sendo que as tecnologias de silício cristalino possuem 84% de participação na fatia de mercado, e os filmes finos de 2^o e 3^a geração tem 16%. Pode-se observar também que o silício está presente em 89% de todos os módulos comercializados, demonstrando a importância deste elemento para o setor [8].

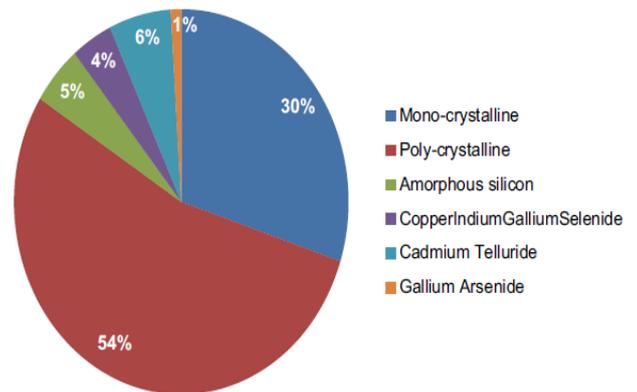


Figura 1: Fatia de mercado de tipos de células fotovoltaicas
Fonte: [8]

C. Perc (Passivated Emitter and Rear Cell)

Contribuiu para o aumento da eficiência, com valores acima de 20% e diminuiu o custo de fabricação da tecnologia tradicional. Basicamente, foi adicionado um elemento de passivação na estrutura, fazendo a redução da velocidade de recombinação dos elétrons na superfície do silício. Outra característica é a reflexão da luz no fundo da célula, fazendo com que os raios solares passem mais vezes pela mesma, aumentando a captação de energia. Vale lembrar que esse tipo de tecnologia teve o seu primeiro artigo publicado em 1989, ou seja, há mais de 30 anos foi estudada e desenvolvida, porém o seu uso em módulos comerciais é recente [9].

D. Bifacial

A tecnologia bifacial tem a capacidade de absorver dos dois lados da célula, ou seja, ele absorve os raios solares diretos e os que são refletidos. Em condições ótimas de instalação pode ter uma produção de 27% superior que o módulo monofacial. Esta tecnologia está disponível no mercado há menos de 5 anos, porém, a sua utilização é mais recente devido ao decréscimo do valor de produção de células monocristalinas de alta qualidade. Normalmente, os módulos são montados com um vidro na parte frontal e na parte traseira é usado um polímero transparente, o que permite a entrada de

raios solares pela parte de trás. Mas existem alguns que são montados com vidro na parte de trás ao invés desse polímero, o que garante maior durabilidade e diminui o risco de falhas [10].

E. MBB (Multi-busbars)

Busbar (barramentos ou filamentos) são fios ou fitas que percorrem as células do módulo e são responsáveis por carregar os elétrons (corrente elétrica). Com o avanço da eficiência, os módulos conseguem gerar mais corrente, alguns fabricantes aumentaram de 3 filamentos, utilizados tradicionalmente, para 5 ou 6, porém alguns fabricantes foram além e desenvolveram os multifilamentos de 12 a 16 fios finos, diferentemente dos tradicionais filamentos largos. O ponto chave para o aumento da eficiência nessa tecnologia está exatamente em diminuir esses filamentos, fazendo com que diminua o caminho e a resistência por onde a corrente passa, principalmente pelo fato de que os filamentos tradicionais precisam ser muito bem projetados, pois por refletirem parte dos raios solares, produzem sombra na própria célula [11].

F. Half-Cell

Os primeiros módulos utilizados comercialmente eram formados pelo arranjo das células inteiras. Dependendo da potência, tensão e corrente do módulo, o mesmo poderia ser formado por 36, 60 ou 72 células, portanto, esse tipo de tecnologia é formado a partir da divisão da célula ao meio, sendo realizado por um dos seguintes processos: o de corte a laser ou uma nova técnica de corte a frio. Estudos apontam que esse processo gera benefícios em relação a célula tradicional, entre eles, pode-se citar: menor perda de potência; a resistência de cada célula diminui; diminui os efeitos de pontos quentes; e um dos pontos mais atrativos é a diminuição dos efeitos causados por sombreamento. Os módulos mais utilizados no mercado são os de 120 (2x60) e o de 144 células (2x72) [12].

G. Shingled Cells

O destaque dessa tecnologia está na forma como os módulos são montados. Nos tradicionais, as células possuem filamentos de metal para conduzir os elétrons, os *busbars*, células shingled são conectadas com a parte de trás da seguinte, formando uma ligação em série. Conforme citado anteriormente, na tecnologia MBB, esses filamentos causam a reflexão dos raios solares, por se encontrarem na parte superior da célula, resultando em perda de geração e causa lacunas entre uma célula e outra. As novas células são cortadas em formatos de tiras e organizadas nos módulos, sendo levemente sobrepostas vertical ou horizontalmente. A ligação elétrica entre elas é realizada através da aplicação de um adesivo, com a propriedade de condução elétrica, chamado de ECA (*Electrically conductive adhesive*). A leve sobreposição entre uma célula e outra esconde esse filamento, além dessa técnica não necessitar de um filamento conectado na parte da frente da célula; conseguindo-se cobrir maior área do módulo e praticamente eliminar as lacunas entre as células [13].

H. IBC (Interdigitated Back Contact)

Nesse tipo de tecnologia os condutores de energia são integrados na parte de trás das células, evitando que seja necessário o filamento de prata na parte frontal, eliminando o problema dessa reflexão causada pelos filamentos nas células tradicionais. Outro ponto observado é que as células podem ser colocadas o mais próximo possível. Além de elas serem mais

eficientes, também são mais resistentes, o que previne as microfissuras que podem eventualmente causar perdas de geração ou falhas nos módulos [9].

I. HJT (Heterojunction)

Essa tecnologia tem o mesmo princípio da PERC, que é adicionar um elemento de passivação na célula solar. Então é feita a combinação entre uma célula de silício cristalino com uma camada fina de silício amorfo. Utilizando-se a superfície de passivação da camada *p-i* e *i-n* do amorfo, juntamente com a pasta de silício cristalino, obtém-se a junção da alta capacidade de absorção de fótons do silício cristalino com a capacidade de passivação do silício amorfo. Fazendo com que a célula HJT seja menor que uma célula comum, sem perder eficiência [9].

Estas são apenas algumas das tecnologias que vem sendo desenvolvidas e estudadas. Observa-se que ao longo dos anos a busca por melhores eficiências fizeram com que os fabricantes buscassem novos métodos de produção, configuração, *layout*, adição de elementos, ou mesmo resgatar tecnologias já estudadas. Além disso, destaca-se a competição no mercado, pois essas tecnologias sozinhas não fazem muita diferença, por isso muitas são combinadas para se obter melhores eficiências, conforme a Figura 3.

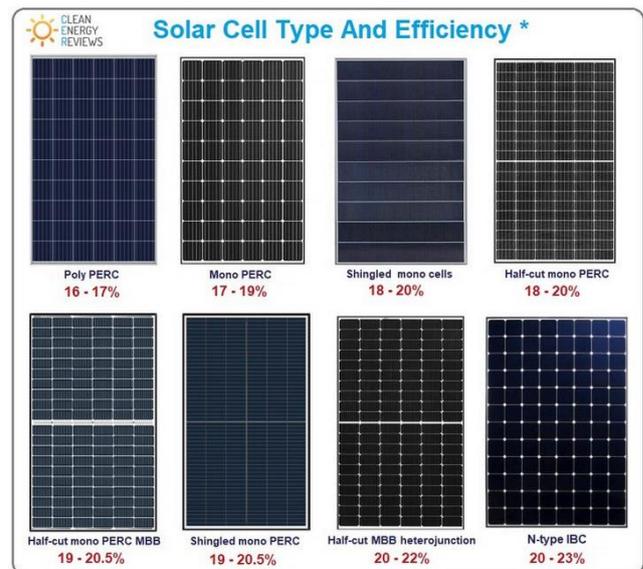


Figura 3: Tipos de módulos e suas eficiências.

Fonte: [14]

V. TENDENCIAS DE TECNOLOGIAS

A. Silício Negro

O silício negro foi estudado e fabricado a primeira vez em 1995, sendo que a sua coloração escura é caracterizada pelas estruturas micro e nanométrica presentes na superfície da célula, o que contribui para grande absorção e menor reflexão dos raios solares. Mostrou-se de grande eficiência na conversão e baixo custo de produção ao ser comparado com o silício cristalino. Os avanços na tecnologia b-Si (silício negro) nos últimos anos levaram a uma eficiência de 22,1% no ano de 2015; sendo que em 2016 o grupo Trina Solar, fabricante de módulos, atingiu a marca dos 23,6%. Apesar de seu baixo custo de produção, ainda não é uma tecnologia que domina o

mercado, pois a sua estrutura é mais frágil se comparada ao silício cristalino, o que dificulta a produção em massa [15].

B. Grafeno

O grafeno é uma tecnologia que está sendo estudada em várias áreas. No campo fotovoltaico tem mostrado propriedades extremamente atrativas, como a flexibilidade mecânica, a alta condutividade elétrica (10^6 S/cm) e transparência de 97,7%, para uma monocamada em comprimento de onda visível. Um dos principais campos de atuação desta tecnologia se encontra na produção de células solares flexíveis, tal processo ocorre transferindo-se uma lâmina de grafeno sobre o substrato de Si (silício). Também pode ser aplicado de outras formas, tais como: substituindo o óxido de índio e estanho (ITO) como eletrodo condutor; em células de multijunção cuja eficiência está em juntar dois semicondutores diferentes, em que o grafeno seria uma camada entre elas, prevenindo a mistura dos dois materiais, e garantindo uma alta condutividade com baixa absorção de luz. Desta forma, espera-se que próximas tecnologias terão o grafeno incorporado e competindo comercialmente com as tecnologias existentes [16].

VI. COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é uma onda eletromagnética que viaja do sol até a superfície terrestre, e essa quantidade de energia é chamada de radiação global. Ela é composta por três componentes: radiação direta, difusa e refletida. A radiação direta é aquela que atravessa a atmosfera e atinge a superfície sem sofrer interferência; a difusa é a que sofre interferência, seja por nuvens ou poeiras e afins; e a refletida é resultante da reflexão da radiação direta ao tocar alguma superfície, como o solo ou fachada de um prédio, entre outros. Tais componentes podem ser observados na Figura 4 [17].

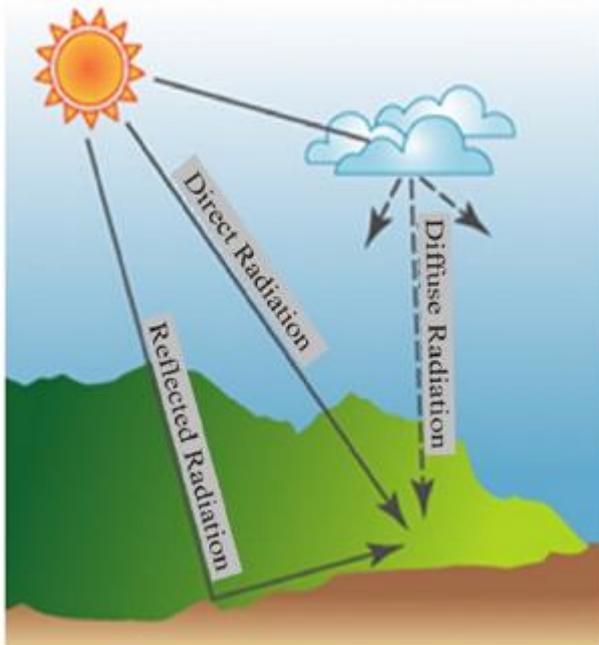


Figura 4: As três componentes da radiação global
Fonte: [14]

VII. DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Existem várias maneiras de verificar o desempenho de um sistema fotovoltaico, entre elas, destacam-se três: produtividade, taxa de desempenho e fator de capacidade.

Com elas, é possível fazer uma análise e detectar possíveis problemas operacionais, comparar sistemas com tecnologias diferentes, localizações diferentes, entre outros; além de ser possível fazer uma estimativa de desempenho ainda em fase de projeto ou teste [18].

A. Produtividade Fotovoltaica Específica

É a relação entre a energia entregue e a potência nominal do gerador fotovoltaico, podendo ser expressa em Wh/Wp ou em horas, conforme a equação (1) a seguir [18]:

$$Y = \frac{E_g}{P} \quad (1)$$

Onde:

Y – Yield ou Produtividade (h);

E_g – Energia Gerada (kWh);

P – Potência Instalada (kW).

B. Taxa de Desempenho

Esse parâmetro tem a finalidade de mostrar em porcentagem a relação entre a quantidade de energia que foi produzida e aquilo que poderia ter sido produzido com a radiação local, representada pelo número de horas com radiação constante de 1kW/m². Conforme a equação (2) a seguir [18]:

$$PR = \frac{Y}{H_{sp}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

PR – Performace Ratio;

H_{sp} – Horas de sol pleno (h);

Y - Yield (h).

O HSP é o número de horas que o gerador está submetido ao padrão de irradiância, 1000 W/m². Esse número é obtido pelos atlas solares ou outras fontes de pesquisa, como o Cressb. Para o cálculo basta encontrar esse HSP e dividi-lo pela irradiância padrão; sendo necessário o produto do tempo analisado da geração, podendo ser semanal, mensal, anual, etc.

C. Fator de Capacidade

Esse parâmetro tem a finalidade de mostrar em porcentagem a relação entre a energia gerada e a energia se o sistema operasse em potência nominal durante o tempo todo, ou seja, 24 h. Conforme a equação (3) a seguir [18]:

$$FC = \frac{E_g}{P \times 24 \times n} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

FC – Fator de Capacidade;

P – Potência instalada (kW);

n – Número de dias do período analisado.

D. Energia Total

A última equação será utilizada para calcular a energia total teórica dos sistemas, que posteriormente servirá como base

para análise do desempenho de cada sistema, conforme a equação (4) a seguir [15]:

$$E_t = P \times Hsp \times n \quad (4)$$

Onde:

- Et – Energia Total (kWh);
- Hsp – Horas de sol pleno (h);
- P- Potência Instalada (kW);
- n – Número de dias do período analisado.

VIII. COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MÓDULOS MONO E POLICRISTALINO

O primeiro passo feito foi através de um software, desenvolvido para propostas comerciais na área de solar. Foram colocados os dados de consumo obtidos nas faturas de energia, durante 12 meses, julho de 2019 a junho de 2020, de cada um dos clientes, sendo o resultado o tamanho do sistema a ser instalado. Os equipamentos utilizados nas duas estruturas estão descritos conforme a Tabela I e Tabela II.

Tabela I: Sistema 1 – potência instalada 5.880Wp

Equipamento	Quantidade	Modelo / Característica
Módulo fotovoltaico	14	Hiku Canadian 420 Wp / Policristalino
Inversor	1	Sofar 5KTLM-G2
Estrutura	1	Fixa para telhado de cerâmica

Tabela II: Sistema 2 – potência instalada 5.775Wp

Equipamento	Quantidade	Modelo / Característica
Módulo fotovoltaico	15	Risen 385 Wp / Monocristalino
Inversor	1	Sofar 5KTLM-G2
Estrutura	1	Fixa para telhado de cerâmica

Os sistemas possuem diferença de azimute, ou seja, a posição horizontal do sistema em relação ao norte geográfico. A inclinação dos módulos também são distintas. Sendo o sistema 1 com azimute igual a 25° e inclinação de 10°; e o sistema 2 com azimute de 30° e inclinação de 13°.

A. Análise da Geração

Conforme dito anteriormente, foram analisados 4 meses de geração, do dia 01/01/2021 a 30/04/2021, totalizando 120 dias analisados. Os dados utilizados nos cálculos foram retirados do aplicativo Solarman Business. Os sistemas possuem diferença azimutal e na inclinação dos módulos, o que causa diferença na radiação que é recebida por cada sistema. Por esse motivo, foi feita análise dos dois sistemas pelo PV System, que é um software de simulação para sistemas fotovoltaicos, resultando na obtenção da radiação anual de cada sistema, com base nos ângulos azimutal e de inclinação de cada um. Obteve-se para o sistema 1 uma radiação anual de 1.759 kWh/ano, que resulta em 4,82 kWh/mês.dia; já o sistema 2 tem um valor de 1.770 kWh/ano, resultando em 4,85 kWh/mês.dia. Também foi considerada a radiação média da

cidade de Jaguaruna/SC, conforme retirado da base de dados do Cresesb, que é de 4,27 kWh/mês.dia, no plano horizontal [2]. A partir da resolução das equações 1, 2, 3 e 4, obteve-se os resultados apresentados na Tabela III e Tabela IV.

Tabela III: Dados calculados de geração – Dados baseado no Cresesb

Variáveis	Sistema 1 - 5,88 kWp		Sistema 2 - 5,775 kWp	
	Valor		Valor	
	Real	Teórico	Real	Teórico
Y (h)	487,40	512,4	476,91	512,4
PR (%)	95,12	100	93,07	100
FC (%)	16,92	17,79	16,56	17,79
Et (kWh)	2865,93	3012,91	2754,15	2959,11

Tabela IV: Dados Calculados de geração – Dados baseado no PV System

Variáveis	Sistema 1 - 5,88 kWp		Sistema 2 - 5,775 kWp	
	Valor		Valor	
	Real	Teórico - PV System	Real	Teórico - PV System
Y (h)	487,40	578,4	476,91	582
PR (%)	84,27	100	81,94	100
FC (%)	16,92	20,08	16,56	20,21
ET (kWh)	2865,93	3400,99	2754,15	3361,05

Algumas considerações podem ser feitas baseadas nas Tabelas III e IV: a primeira é que se pode perceber a diferença entre os valores de PR, em relação ao valor de irradiância obtido no Cresesb e o valor obtido pelo PV System; para o sistema 1, há uma diferença de 10,85%, e para o sistema 2, uma diferença de 11,13%. Mostra-se a importância do uso de um software dedicado para a engenharia solar, pois além de otimizar o tempo, apresenta dados mais próximos da realidade, agregando valor ao projeto; enquanto o básico atende apenas análises preliminares. Considerando os valores de FC e PR (Real) calculados com base no PV System, observa-se que os sistemas estão com bom desempenho dentro de suas realidades e do cenário abordado.

Vale lembrar que, os dados calculados na Tabela III também são válidos para análise técnica simples do sistema, o que é geralmente feito antes de um estudo mais aprofundado.

Verifica-se que o sistema 1 apresenta melhor desempenho, porém não se pode tomar como verdade absoluta, pois para poder ter uma análise real e mais precisa, necessita-se de mais variáveis a serem analisadas. Então dentro da realidade apresentada, o sistema 1 está com melhor desempenho.

IX. CONCLUSÕES

Com a competitividade do mercado, a busca por melhor desempenho dos módulos e menor custo de fabricação, mesmo que a diferença seja pequena, já chama atenção e se torna atrativo. Como pode ser visto, muitas tecnologias por si só não implicam em melhora significativa na eficiência de um

módulo, por isso os fabricantes apostam em misturar essas tecnologias, a fim de obter melhores desempenhos com bom custo-benefício.

Outra questão que pode ser observada é que muitas tecnologias já haviam sido estudadas, desenvolvidas e testadas, mas devido a sua complexidade ou o alto custo de produção, não eram adequadas às linhas de produção. Com o avanço dos processos de produção e com o barateamento dos custos, essas tecnologias foram resgatadas e implementadas.

Conclui-se que, ao fazer um dimensionamento de um sistema fotovoltaico, há a importância de um estudo técnico analisando o local onde será instalado. Se a área disponível é suficiente, se não há barreiras que possam fazer sombras, como árvores, prédios, entre outros, para que o sistema a ser orçado seja financeiramente atrativo. Sendo assim, com o correto dimensionamento e instalação, o sistema obtenha o melhor desempenho possível de geração.

X. AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e saúde. Aos meus familiares e professor orientador pelo apoio durante a execução deste artigo.

XI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *scientificamerican* < <https://www.scientificamerican.com/article/turn-the-suns-energy-into-power/>>, acesso em 01 de maio de 2021.
- [2] *Cresesb* < http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321 />, acesso em 04 de maio de 2021.
- [3] A. Paulo Jaime Pereira, *Energia Solar e Eólica*, vol.1. Ponta Grossa (PR), Athena Editora, 2019, p. 4, p. 26-27.
- [4] BEN 2020, *Balanco Energético Nacional 2020*, <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>, acesso 07 de maio de 2021
- [5] *Canadian Solar* < <https://www.canadiansolar.com/>>, acesso em 01 de maio de 2021.
- [6] *Jinko Solar* < <http://www.jinkosolar.com/#index1/>>, acesso em 01 de maio de 2021.
- [7] *Trina Solar* < <https://www.trinasolar.com/us/>>, acesso em 01 de maio de 2021.
- [8] Ogbomo, O. O., Amalu, E. H., Ekere, N. N., & Olagbegi, P. O. (2017). A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1225–1238.
- [9] Shah, A. (Ed.). (2020). *Solar Cells and Modules*. Springer Series in Materials Science, p 123, p. 136, p.163-165
- [10] Guerrero-Lemus, R., Vega, R., Kim, T., Kimm, A., & Shephard, L. E. (2016). Bifacial solar photovoltaics – A technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1533–1549.
- [11] Walter, J., Tranitz, M., Volk, M., Ebert, C., & Eitner, U. (2014). Multi-wire Interconnection of Busbar-free Solar Cells. *Energy Procedia*, 55, 380–388.
- [12] Joshi, A., Khan, A., & SP, A. (2019). Comparison of half cut solar cells with standard solar cells. 2019 *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*
- [13] Oh, W., Park, J., Dimitrijević, S., Kim, E. K., Park, Y. S., & Lee, J. (2020). Metallization of crystalline silicon solar cells for shingled photovoltaic module application. *Solar Energy*, 195, 527–535.
- [14] *Clean Energy Reviews* <<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2017/9/11/best-solar-panels-top-modules-review/>> acesso em 04 de maio de 2021.
- [15] Chai, J. Y.-H., Wong, B. T., & Juodkaziš, S. (2020). Black-silicon assisted photovoltaic cells for better conversion efficiencies: A review on recent research and development efforts. *Materials Today Energy*, 100539.
- [16] Ciminelli, C., Dell'Olivo, F., Brunetti, G., Conteduca, D., & Armenise, M. N. (2018). Graphene/Silicon Schottky Junction Solar Cells. 2018 20th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON).
- [17] Chalkias, Christos & Faka, Antigoni & Kalogeropoulos, Kleomenis. (2013). Assessment of the Direct Sun-Light on Rural Road Network through Solar Radiation Analysis Using GIS. *Open Journal of Applied Sciences*. 3. 224-231.
- [18] B. Marlon, A. Thiago P., C. Rafael B., Análise de desempenho do sistema conectado à rede da universidade federal de Itajubá – Campus Itabira, *Revista Brasileira de energias renováveis*, v.7, p.95-105, 2018.