COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGIAS PREPONDERANTES PARA INSTALAÇÃO DE GERADORES FOTOVOLTAICOS NO CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UNEMAT DE SINOP-MT

Samilly Teixeira Fernandes Ferreira [1], Matheus Holzbach [2], Carla Carol Silva e Carvalho [2], Adriana Souza Resende [2]

[1]Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, Brasil (samilly.teixeira@unemat.br).
[2]Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, Brasil.

Resumo: Tendo em vista o consumo energético elevado do *campus* universitário de Sinop da Universidade do Estado de Mato Grosso e as diversas opções existentes no mercado, o presente artigo discute um comparativo entre as tecnologias disponíveis no comércio dos cinco principais fornecedores brasileiros para instalação de geradores fotovoltaicos. Para isto, realizou-se orçamentos para cada campus, análise de área necessária, e comparativos por preço, eficiência e valor de demanda contratada de energia.

Palavras-chave: Energia solar. Comparativo de tecnologias. Geração distribuída. Gerador Fotovoltaico.

INTRODUÇÃO

As fontes de energia renováveis são tecnologias emergentes no cenário mundial atual e que se tornam uma alternativa sustentável para a produção de energia elétrica. Estima-se que as energias renováveis já ocupem cerca de 83% da matriz energética brasileira, de acordo com a fala do secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia, Reive Barros. Embora as fontes de energia que utilizam recursos fósseis, como o petróleo, possua largos estoques, ainda não são renováveis, sem mencionar a significativa degradação do meio ambiente que estas provocam. Devido a isto, as fontes com recursos ilimitados vêm ganhando destaque no mercado, pois além da garantia de não serem recursos que se esgotarão na natureza, ainda são relativamente limpas, diminuindo os impactos negativos ao meio ambiente.

Um dos exemplos mais difundidos nos dias de hoje é a energia fotovoltaica, que através de um sistema de captação de raios solares por meio de células fotovoltaicas, é capaz de converter a irradiação coletada em corrente elétrica, mediante o denominado efeito fotovoltaico, fornecendo assim energia para a unidade consumidora em que foi instalada. Neste tipo de sistema, a energia produzida pode ser conectada à rede, configurando o sistema como *ON-GRID*, ou pode ser armazenada em baterias estacionárias, configurando o sistema como *OFF-GRID*. A energia solar é a mais desfrutada, dentre as demais fontes de energia renováveis, fazendo com que os investimentos e estudos para o aprimoramento desta tecnologia se tornem maiores ao longo do tempo.

O sistema fotovoltaico possui alguns componentes que são essenciais para seu funcionamento, se destacando o inversor que é o responsável pela conversão da corrente elétrica contínua em corrente alternada e as células solares, que coletam os raios solares e são capazes de converter diretamente a luz obtida em eletricidade. Além disso, outro item indispensável são as baterias que armazenam a energia produzida, em sistemas não conectados a rede, permitindo a utilização de energia durante a noite, por exemplo, em que não há produção de eletricidade pelo sistema devido à ausência da radiação solar. Por outro lado, no sistema conectado à rede, a energia concebida é abatida na conta de energia e a geração excedente é convertida em créditos para o consumidor, podendo ser utilizada em até 60 meses, em um acordo com a concessionária contratada, isto é conhecido como o sistema de "Créditos de Energia Solar" regulamentado pela ANEEL para consumidores cativos que instalam este tipo de sistema.

No processo de instalação de um sistema fotovoltaico, é necessário que antes se faça um dimensionamento baseado em alguns fatores tais como: a energia consumida, a temperatura média da cidade, o nível de radiação e o grupo a que pertence a unidade consumidora. Ademais, se fazem necessários também os dados de gastos dos doze meses anteriores da unidade consumidora, tendo essas

informações disponíveis na fatura de energia ou concessionária da cidade.

No presente artigo, o objetivo principal é a realização de um comparativo entre as tecnologias existentes, bem como o custo benefício dentre as cinco principais fornecedoras de materiais fotovoltaicos no Brasil, para instalação de um sistema de energia solar nas duas unidades do *Campus* da UNEMAT no município de Sinop, a unidade Imperial onde se localizam laboratórios, salas de aulas, biblioteca e unidade administrativa e a unidade Aquarela, onde se localizam salas de aulas

MATERIAL E MÉTODOS

Atualmente a unidade regionalizada de Sinop da Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado conta com duas unidades consumidoras trifásicas distintas, atendidas em média tensão pela concessionária local, Energisa Mato Grosso (EMT). Seu sistema de faturamento é pelo grupo A, com demanda contratada.

Seu perfil de consumo possui uma pequena variação nos meses de dezembro a fevereiro devido ao recesso acadêmico, visto que os equipamentos de maior utilização energética são os condicionadores de ar e sistema de bombeamento de água. Os demais meses do ano seguem um consumo linear.

Este trabalho abordará o dimensionamento e um comparativo técnico das tecnologias atuais disponíveis nos cinco maiores fornecedores do país, segundo o estudo realizado pela empresa Greener, para a instalação de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica para atender as necessidades individuais das duas unidades do *campus* universitário da UNEMAT de Sinop.

1. Cálculo do dimensionamento do sistema de geração solar fotovoltaico

Para realizar o levantamento do consumo elétrico foram considerados as contas de energia de abril de 2018 a março de 2019, das unidades consumidoras do campus, fornecidas pelo diretor político pedagógico financeiro do campus de Sinop.

A primeira unidade consumidora refere-se à unidade imperial localizada na Avenida dos Ingás, contando com um consumo médio de 49.560 kWh/mês. Já a segunda unidade consumidora se localiza no bairro Aquarela das Artes na Avenida Francisco de Aquino Correia utilizando uma média de 11.507 kWh/mês.

Para as unidades consumidoras que dispõem de tarifa horária como é o caso desta, a energia injetada deverá ser utilizada, prioritariamente, para abater o consumo mensal no mesmo período (ponta ou fora de ponta). Caso haja sobra, esse saldo será utilizado para reduzir o consumo no outro posto tarifário, após a aplicação do fator de ajuste (KIKOMOTO, 2017), sendo este calculado pela fórmula abaixo:

$$FA = TP/TA \quad (1)$$

onde, *FA* é o fator de ajuste, *TP* é a tarifa na ponta e *TFP* é a tarifa fora de ponta.

Já a geração necessária, neste caso, é calculada a fim de atender a necessidade de energia injetada para os períodos ponta e fora de ponta, utilizando o fator de ajuste:

$$GN = CMFP + (FC \times CMP) \quad (2)$$

onde, *GN* é a geração necessária, *CMFP* é o consumo médio fora de ponta e *CMP* é o consumo médio na ponta.

O cálculo para estimar a potência da planta geradora necessária se dá pela fórmula:

$$PPG = \frac{GN}{I \times (1 - P)} \quad (3)$$

onde, *PPG* é a potência da planta geradora, *I* é a irradiância local média e *P* são as perdas por intempéries.

Foi considerado a variação média local da irradiância disponibilizada pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) e perdas por intempéries de 3% durante todo o ano. Utilizando as fórmulas apresentas (1), (2) e (3) resultamos em um sistema de geração fotovoltaico para a unidade Imperial de aproximadamente 700 kWp e para a unidade Aquarela das Artes, próximo aos 167 kWp.

2. Comparativo de tecnologias atuais

A escolha dos equipamentos utilizados em um projeto de sistema fotovoltaico é um ponto crucial para o funcionamento adequado, atendendo as necessidades específicas de cada consumidor. Deve-se levar em consideração a categoria de atendimento do cliente, o sistema de distribuição elétrico existente, a capacidade de instalação, entre outras coisas.

As unidades consumidoras, do *campus* da UNEMAT de Sinop, são atendidas em média tensão, 13,8kV e rebaixados por um transformador a tensão de 127/220V, ambas são de categoria trifásica, permitindo a utilização de inversores de maiores potência.

A cotação orçamentária priorizou a utilização dos dispositivos com tecnologias mais atuais de cada empresa no mês de março/2021, ou seja, os equipamentos com maior eficiência no quesito de geração de eletricidade e possibilidade de menor demanda de energia contratada. Levou-se em consideração também, a utilização de marcas, tanto para inversor quanto para módulo fotovoltaico, classificadas entre as 10 melhores, no quesito volume importado, pelo estudo estratégico de geração

distribuída: mercado fotovoltaico, para o segundo semestre de 2020, elaborado pela Greener.

3. Especificação dos equipamentos escolhidos

O conjunto de equipamentos escolhidos de cada fornecedor de acordo com as especificações consideradas neste estudo estão abaixo descritos conforme o seu campus de aplicação.

Para a unidade Imperial e unidade Aquarela das Artes, conforme quadro (1) e (2), temos:

Quadro 1. Composição dos geradores fotovoltaicos cotados para a unidade Imperial

Conjunto	Composição do Gerador
A	6 inversores trifásicos da marca Growatt, modelo MAX75KTL3-LV, tensão de saída CA 220/380V, com 7 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 112500W.
	2 inversores trifásicos da marca Growatt, modelo MID25KTL3-X, tensão de saída CA 220/380V, com 2 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 37000W.
	1588 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca Jinko, modelo JKM440M60HL4-V, composto por 120 células, com potência máxima de 440W.
B	4 inversores trifásicos da marca Renovigi, modelo RENO110K-NG, tensão de saída CA 220/380V, com 10 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 165000W.
	1 inversor trifásico da marca Renovigi, modelo RENO50K, tensão de saída CA 220/380V, com 4 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 65280W.
	1296 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca JA Solar, modelo JAM72S30 540/MR, composto por 144 células, com potência máxima de 540W.
C	7 inversores trifásicos da marca Solar Edge, modelo SE75K, tensão de saída CA 220/380V, com 3 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 61650W.
	1554 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca Dah Solar, composto por 144 células, modelo DHM-72L9/BF com potência máxima de 450W.
D	3 inversores trifásicos da marca ABB, modelo PVS-175-TL, tensão de saída CA 220/380V, com 12 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 185000W.
	1554 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca Longi, modelo LR4-75HPH-450W, composto por 144 células, com potência máxima de 450W.
E	5 inversores trifásicos da marca Weg, modelo SIW500H-ST100, tensão de saída CA 220/380V, com 6 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 105000W.
	1 inversor trifásico da marca Weg, modelo SIW500H-ST36, tensão de saída CA 220/380V, com 4 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 40000W.
	1780 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca Trina Solar, modelo TSM-DE14H-395W, composto por 144 células, com potência máxima de 395W.

Quadro 2. Composição dos geradores fotovoltaicos cotados para a unidade Aquarela das Artes

Conjunto	Composição do Gerador
F	2 inversores trifásicos da marca Growatt, modelo MAX75KTL3-LV, tensão de saída CA 220/380V, com 7 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 112500W.
	380 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca Jinko, modelo JKM440M60HL4-V, composto por 120 células, com potência máxima de 440W.
G	1 inversor trifásico da marca Renovigi, modelo RENO75K-NG, tensão de saída CA 220/380V, com 9 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 112500W.
	1 inversor trifásico da marca Renovigi, modelo RENO50K-NG, tensão de saída CA 220/380V, com 4 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 65280W.
	310 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca JA Solar, modelo JAM72S30 540/MR, composto por 144 células, com potência máxima de 540W.

H	1 inversor trifásico da marca Solar Edge, modelo SE75K, tensão de saída CA 220/380V, com 3 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 61650W.
	2 inversores trifásicos da marca Solar Edge, modelo SE27.6K, tensão de saída CA 220/380V, com 3 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 26400W.
	372 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca Dah Solar, composto por 144 células, modelo DHM-72L9/BF com potência máxima de 450W.
I	1 inversor trifásico da marca Weg, modelo SIW500H-ST100, tensão de saída CA 220/380V, com 6 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 105000W.
	1 inversor trifásico da marca Weg, modelo SIW500H-ST30, tensão de saída CA 220/380V, com 2 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 33000W.
	1554 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca Longi, modelo LR4-75HPH-450W, composto por 144 células, com potência máxima de 450W.
J	5 inversores trifásicos da marca Weg, modelo SIW500H-ST100, tensão de saída CA 220/380V, com 6 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 105000W.
	1 inversor trifásico da marca Weg, modelo SIW500H-ST36, tensão de saída CA 220/380V, com 4 MPPTs independentes e máxima potência de entrada CC de 40000W.
	426 módulos fotovoltaicos monocristalinos da marca Trina Solar, modelo TSM-DE14H-395W, composto por 144 células, com potência máxima de 395W.

4. Estimativa de valores

O preço presente na cotação orçamentária foi cotado diretamente nos distribuidores mencionados no estudo no mês de março/2021, incluso o preço de transporte até o local da instalação e equipamentos secundários como: conectores, estruturas, condutores elétricos, dispositivos de proteção e transformadores rebaixadores. O custo da mão de obra foi consultado no comércio local. Nas tabelas 1 e 2 abaixo, são descritos os preços por unidade e conjunto.

Tabela 1. Estimativa de valores por conjunto para a unidade Imperial.

Conjunto	Custo dos Equipamentos (R$)	Custo da Mão de Obra (R$)	Custo Total (R$)
A	1.748.506,00	711.573,11	2.460.079,11
B	1.923.651,00	759.248,20	2.682.899,20
C	1.945.963,04	765.267,12	2.771.230,16
D	1.777.190,14	677.026,82	2.496.607,52
E	1.804.859,52	727.327,24	2.532.096,76

Tabela 2. Estimativa de valores por conjunto para a unidade Aquarela das Artes.

Conjunto	Custo dos Equipamentos (R$)	Custo da Mão de Obra (R$)	Custo Total (R$)
F	436.756,00	182.100,44	618.856,44
G	472.783,00	191.900,57	664.683,57
H	477.680,09	193.230,92	670.911,01
I	453.499,54	186.661,94	640.161,48
J	440.930,89	183.316,89	624.247,78

5. Potência máxima CC ou potência pico do sistema

A unidade de medida de sistemas fotovoltaicos Watt pico ou Wp é a máxima potência que pode ser obtida pelo gerador em condições ideais, com essa grandeza podemos mensurar e comparar o tamanho da usina e sua capacidade de produção. Abaixo, na Tabela 3, estão os dados da potência pico dos conjuntos abordados na pesquisa, juntamente com o cálculo do seu custo por Wp.

Tabela 3. Potência máxima CC e custo por Wp por conjunto.

Conjunto	Potência Máxima CC (kWp)	Custo por Wp (R$/Wp)
A	698,72	3,52
B	699,84	3,83
C	699,30	3,88
D	699,30	3,57
E	703,10	3,60
F	167,20	3,70
G	167,40	3,97
H	167,40	4,01
I	167,40	3,82
J	168,27	3,71

6. Eficiência dos módulos fotovoltaicos

Conforme descrito anteriormente, a eficiência dos módulos fotovoltaicos é resumidamente a porcentagem de energia da luz solar que o painel consegue converter diretamente em energia elétrica por metro quadrado (m²). Ou seja, quanto mais eficiente melhor é a construção de sua célula, mais energia será gerada por m² e maior custo envolvido no desenvolvimento.

A eficiência destes módulos é testada em condições de laboratório, como temperatura da célula a 25° C, irradiação solar de 1000 Watts por m² e massa de ar de 1.5, estes são disponibilizados pelos fabricantes em suas folhas de dados, junto com as demais especificações técnicas. Abaixo segue a Tabela 4 sobre as eficiências dos módulos orçados.

Tabela 4. Potência máxima CC e custo por Wp por conjunto.

Conjunto	Marca	Modelo	Eficiência (%)
A	Jinko	JKM440M60HL4-V	20,39
B	JA Solar	JAM72S30 540/MR	20,70
C	Dah Solar	DHM-72L9/BF	20,70
D	Longi	LR4-75HPH-450W	20,70
E	Trina Solar	TSM-DE14H-395W	19,90
F	Jinko	JKM440M60HL4-V	20,39
G	JA Solar	JAM72S30 540/MR	20,70
H	Dah Solar	DHM-72L9/BF	20,70
I	Longi	LR4-75HPH-450W	20,70
J	Trina Solar	TSM-DE14H-395W	19,90

7. Área necessária para instalação do sistema

Para determinar a área necessária de instalação são utilizadas as dimensões do módulo fotovoltaico, sendo acrescido na sua área de instalação 10% do valor total. Na Tabela 5, se encontra os valores calculados com base nas dimensões informadas na folha de dados e a quantidade de módulos.

Tabela 5. Área necessária para instalação do conjunto.

Conjunto	Área do Módulo (m²)	Área de Instalação por Módulo (m²)	Quantidade de Módulos	Área total de Instalação (m²)
A	2,16	2,38	1588	3.779,44
B	2,58	2,84	1296	3.680,64
C	2,16	2,38	1544	3.674,72
D	2,17	2,39	1544	3.690,16
E	1,98	2,20	1780	3.916,00
F	2,16	2,38	380	904,40
G	2,58	2,84	310	880,40
H	2,16	2,38	372	885,36
I	2,17	2,39	372	889,08
J	1,98	2,20	426	937,20

8. Demanda contratada para o sistema de geração

Conforme informações acessíveis na conta de energia elétrica disponibilizadas, a Unidade Imperial possui 300kW de demanda contratada e a Unidade Aquarela das Artes, 30kW. Ambas as unidades consumidoras fazem parte da modalidade tarifária horária verde e do subgrupo A4 – serviço público, e, portanto, o valor de demanda contratada fora ponta é de R$ 17,52 e fora ponta ultrapassada R$ 35,04.

Realizou-se então o cálculo do valor de demanda contratada para cada conjunto. Este consiste no produto entre a potência nominal total dos inversores do sistema e o valor da demanda contratada fora de ponta por kW. Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 6.

Tabela 6. Demanda contratada necessária para cada sistema de geração

Conjunto	Potência Nominal Total dos Inversores (kW)	Valor da Demanda Contratada FP (R$/kW)	Valor Total da Demanda Contratada FP (R$)
A	475,0	17,52	8.322,00
B	490,0	17,52	8.584,80
C	525,0	17,52	9.198,00
D	525,0	17,52	9.198,00
E	536,0	17,52	9.390,72
F	150,0	17,52	2.628,00
G	125,0	17,52	2.190,00
H	177,6	17,52	3.111,55
I	175,0	17,52	3.066,00
J	130,0	17,52	2.277,60

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O módulo com maior potência cotada é o modelo JAM72S30 540/MR utilizado nos conjuntos B e G com potência máxima de 540W e o de menor potência, é o modelo TSM-DE14H-395W compondo os conjuntos E e J com potência máxima de 395W. A marca dos módulos dos conjuntos, A e F ocupa a quarta posição no estudo estratégico da Greneer, no quesito maior volume importado, B e G ocupam a sétima colocação, C e H a oitava, D e I a sexta, e por fim, E e J a segunda colocação.

Já para os inversores dos conjuntos, segundo o estudo estratégico da Greneer para inversores com potência acima de 50 kW, A e F a quinta colocação, B e G a oitava, C e H a décima, D e I a sexta, e E e J a terceira colocação. E para inversores com capacidade

entre 10kW e 49,9kW, o conjunto C ocupa a sétima posição, E e J a terceira, e F a quarta.

Podemos ainda classificar em crescente o conjunto com maior área de instalação necessária, havendo assim para a unidade Imperial: C, B, D, A e E, e para unidade Aquarela das Artes: G, H, I, F e J. Este fato está relacionado as dimensões e potência de cada módulo, pois aqueles que possuem maior potência tendem a ocupar menor espaço de instalação. Isto ocorre devido a proporcionalidade entre potência e geração.

O conjunto com menor valor de custo total é o conjunto A e o conjunto F, conforme tabela 1 e 2, respectivamente. Entretanto, devido a demanda contratada de energia, o valor não é o único quesito a ser levado em consideração. Conforme observado na tabela 5, o conjunto que possui menor valor total para demanda contratada FP é o conjunto A para unidade Imperial e conjunto J para unidade Aquarela das Artes. Se tornando, portanto, os conjuntos mais viáveis. Isto é justificado pelo fato de que após o pagamento do sistema a conta de energia será referente a tributos de rede e a demanda contratada.

CONCLUSÃO

Diante do estudo apresentado, observou-se que a instalação de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaico para as duas unidades do *campus* universitário de Sinop da Universidade do Estado de Mato Grosso, seriam viáveis os conjuntos A e J, levando em consideração que são os sistemas com menores demandas contratadas, pois o valor total de cada gerador não é o fator relevante nesse estudo. Apesar de serem compostos por módulos de eficiência 20,19% e 19,90%, respectivamente.

Além disso, como recomendação para futuros trabalhos e complemento desta pesquisa, sugere-se que seja realizado o estudo de implantação e análise do local de instalação para obtenção de dados do sistema elétrico das edificações, estudo de cobertura e laudo estrutural. Essas análises permitirão saber se os conjuntos economicamente viáveis possuem condições de acomodação, seja pela instalação elétrica estar em condições adequadas ou estar sujeita a ajustes, pela área da cobertura ser suficiente para instalação dos módulos, ou ainda, se a estrutura desta suporta o peso dos painéis fotovoltaicos, verificando assim, se será necessário adequações ou reforços.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) pela disponibilização dos dados necessários para a realização desta pesquisa e Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso (FAPEMAT).

REFERÊNCIAS

ALVES, M. O. L. **Energia Solar: Estudo da Geração de Energia Elétrica através dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid**. Orientador: Savio Figueira Corrêa. 2019. 76 f. TCC (Graduação) – Bacharel em Engenharia Elétrica, Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019. Disponível em: https://200.239.128.125/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

GOVERNO DO BRASIL. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira. Governo Brasileiro**, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira. Acesso em: 14 maio 2021.

KIKOMOTO, B. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para o grupo A.** Canal Solar. disponível em: https://canalsolar.com.br/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos-para-o-grupo-a/. Acesso em: 06 maio 2021.