

DESENVOLVIMENTO DE MODELO E PROTÓTIPO PARA OTIMIZAÇÃO DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR PLACAS FOTOVOLTAICAS

Vinicius Pedroza Delsin e Antonio Newton Licciardi Junior

Apoio: PIVIC Mackenzie

Palavras-chave: Placa Fotovoltaica. Eficiência Energética. Otimização

Keywords: Photovoltaic Panels. Energy Efficiency. Optimization.

Resumo

A globalização e os avanços nas áreas de tecnologia e ciência naturalmente geram um aumento no consumo de energia elétrica. O consumo de energia tem estado constantemente na pauta de sustentabilidade da ONU. Diante disso, a utilização de energias renováveis e de baixo impacto ambiental deixou de ser uma opção e passou a ser uma necessidade. O Brasil é um país que possui ótima localização geográfica do ponto de vista de insolação. As placas fotovoltaicas veem suprimindo esse crescente aumento na demanda por energia solar sustentável, porém a eficiência de conversão energética delas ainda é um ponto de atenção, que instiga pesquisas e estudos. Esse trabalho tem como objetivo detalhar e comprovar as principais técnicas e maneiras utilizadas para melhorar a eficiência energética de placas solares. Particularmente é dado foco a geração fotovoltaica assistida por um seguidor (*tracker*). E, também, com acoplamento de sistema de arrefecimento e ainda refletores para aumentar a luminosidade sobre os painéis. Além disso, visa evidenciar eventuais vantagens e desvantagens de um protótipo, utilizando algumas técnicas de otimização energética em conjunto, com intenção de obter uma melhor relação entre custo e geração de energia de um sistema fotovoltaico. Consequentemente, verificar a melhoria do tempo de retorno de investimento e apontar as complementações necessárias.

Abstract

Globalization and advances in technology and science naturally generate an increase in electricity consumption. Energy consumption has been constantly on the ONU scheduler for sustainability. Therefore, the use of renewable energies with low environmental impact is no longer an option and has become a necessity. Brazil is a country that has an excellent geographical location for solar cells. Photovoltaic plates are supplying this growing increase in the demand for sustainable solar energy, but their energy conversion efficiency is still a point of attention, which instigates research and studies. This work aims to find and prove the main techniques and ways used to improve the energy efficiency of solar panels. Particular focus is given to photovoltaic generation assisted by a follower (tracker). And, also, with cooling system coupling and reflectors to increase the luminosity on the panels. In addition, it aims to show the advantages and disadvantages of a prototype, using some optimization techniques together, with the intention of obtaining a better relationship between the cost and the energy generation of a photovoltaic system. Consequently, verify an improvement in the return on investment time and point out as necessary complementations.

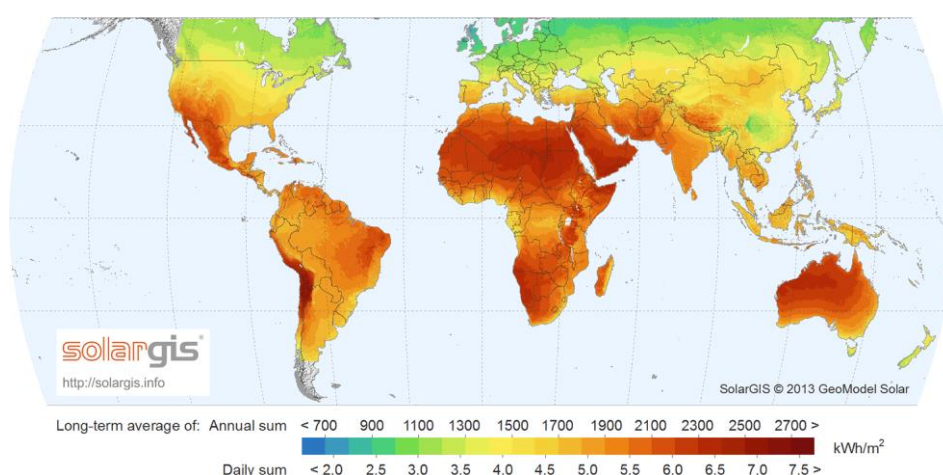
INTRODUÇÃO

A atual matriz elétrica brasileira é composta principalmente por usinas hidroelétricas e térmicas, segundo o ministério de minas e energia, 64% da energia elétrica produzida no Brasil vem de usinas hidrelétricas (GOVB, 2020). Apesar de serem consideradas limpas e renováveis, as usinas hidrelétricas causam um grande impacto social e ambiental na região, devido a realocação de populações ribeirinhas, alagamento de grandes áreas e processo de degradação anaeróbica das áreas alagadas gerando gases do efeito estufa. Além disso, grande parte dos rios de alta capacidade de geração já vem sendo utilizados no Brasil (ARAÚJO et al. 2016, p20).

As placas fotovoltaicas são uma solução para geração de energia limpa e renovável (FIEP,2018), as placas possuem flexibilidade de instalação, mínima necessidade de manutenção e uma boa relação energia gerado por metro quadrado, esses são alguns dos fatores que vem acarretando nesse crescente aumento da geração de energia solar nos últimos anos (KRUANGAM et al. 2006).

O Brasil tem destaque para instalação de placas solares devido ao seu posicionamento estratégico, o projeto de sistemas fotovoltaicos normalmente exigem uma radiação de no mínimo 3 ou 4 kWh/(m² .dia) (PINHO, 2014). Na Figura 1 é possível observar o potencial disponível para o Brasil comparado com países da Europa, vários dos quais já utilizam largamente a geração de energia elétrica por placa solar como a Alemanha e a Espanha (PINHO, 2014).

Figura 1 - Mapa de irradiação no mundo



Fonte: (Solargis, 2013).

Segundo a Empresa de pesquisa Energética as placas fotovoltaicas já representavam em 2018 uma fatia de 65% da geração de energia distribuída pelo Brasil. Entretanto, mesmo

com o crescente aumento na geração de energia solar, a porcentagem referente a geração de energia estava em 0,5% do total de energia gerada no Brasil (ENERGÉTICA, 2019), demonstrando assim o grande potencial de crescimento desse setor.

As principais dificuldades enfrentadas para uma expansão na utilização de sistemas fotovoltaicos em residências, indústrias e comércios são o alto investimento inicial na aquisição e instalação das placas solares e o tempo de retorno de investimento (ROI) das placas. No Brasil, o tempo de ROI pode variar bastante, devido aos diferentes climas presentes nas regiões e dos valores cobrados em cada local, por isso, é importante que cada caso seja estudado individualmente, entretanto, segundo uma projeção realizada pela ANEEL em 2017, o tempo de retorno médio no país é de 6,6 anos.

Um dos fatores que aumentam esse tempo de retorno do investimento é a eficiência de conversão das células solares, essa medida é dada pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as células comerciais apresentam um índice de eficiência entre 15% e 19% (DOS PASSOS, 2017, p23).

Com o propósito de melhorar a eficácia deste processo de geração, várias técnicas de otimização foram desenvolvidas, algumas simples como a instalação da placa com as inclinações corretas para otimizar a incidência solar diária, outras mais elaboradas como seguidores solares, técnicas de arrefecimento e uso de refletores.

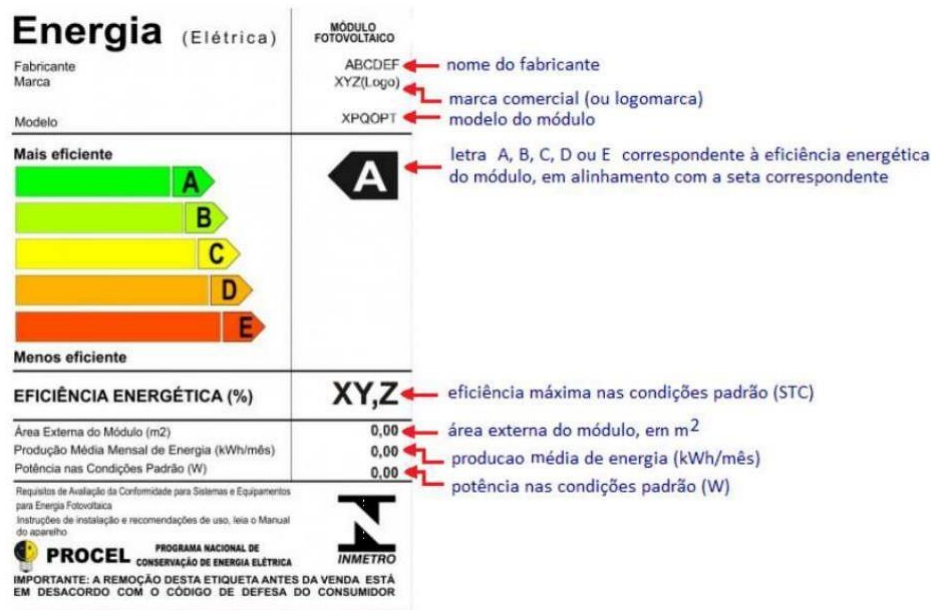
REFERENCIAL TEÓRICO

Eficiência energética é a medida da proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica, segundo a ANEEL a eficiência energética de uma placa fotovoltaica convencional gira em torno de 14% a 25%.

O INMETRO (Instituto Nacional de Meteorologia Qualidade e Tecnologia) estabelece os requisitos e ensaios pelos quais os módulos fotovoltaicos devem ser submetidos para receber a homologação e o respectivo selo de conformidade que pode ser observado na Figura 2, permitindo assim a utilização do módulo em sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica (SILVA et al. 2014).

Após a realização dos ensaios em laboratório, é realizada uma classificação de "A" até "E", sendo "A" a melhor categoria para eficiência energética e "E" a pior (PINHO et al. 2014).

Figura 2 contém um exemplo da etiqueta padrão utilizada.

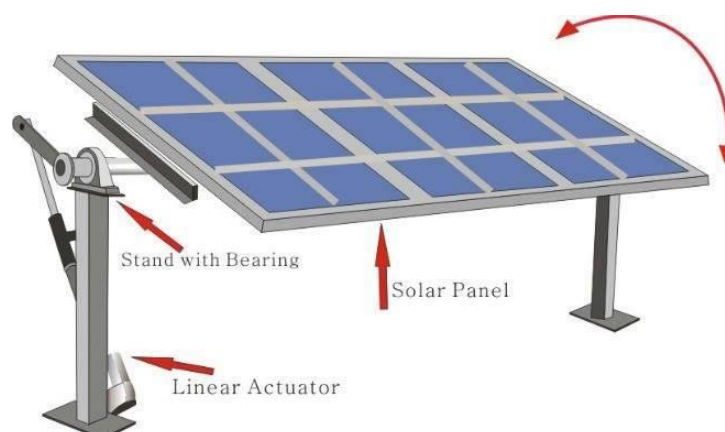


Fonte: (SILVA, 2014)

O *Tracker* ou seguidor solar é um equipamento que é acoplado ao suporte da placa fotovoltaica, permitindo que ela rotacione em volta do próprio eixo, a rotação pode ter um ou dois eixos de liberdade (DA SILVA LEMOS, 2020).

Essa liberdade de rotação permite que a placa acompanhe a direção com maior irradiação solar, assim aumentando seu tempo de exposição e gerando mais energia (BLASZCZAK, 2017). Em teste realizados pelo o pelo Departamento de Mecânica e Engenharia da Universidade de Bhubaneswar na Índia, um *tracker* com um eixo de liberdade demonstrou um desempenho superior em todos os horários e em todas as condições climáticas, produzindo em média um aumento de 22% na eficiência dos painéis fotovoltaicos fixos, tendo uma melhora mais significativa em dias nublados e em horários com menos intensidade de raios luminosos (JENA et al. 2015). Na Figura 3 é possível observar um esquema de um *tracker* com um grau de liberdade.

Figura 3 - Exemplo de *Tracker* com 1 eixo de rotação.



Fonte: (DA SILVA LEMOS, 2020)

Em um estudo realizado pela Universidade de São Paulo escola de engenharia de São Carlos, demonstrou que um seguidor solar, com dois eixos de rotação apresenta um aumento de 18% de eficiência em relação ao um seguidor de apenas um eixo de rotação e um aumento de 39% em relação a uma placa fixa. Esse mesmo estudo também apresenta um aumento de 25% de eficiência entre uma placa com um seguidor solar com dois eixos de liberdade e uma placa fixa posicionada de forma otimizada em relação a sua localização geográfica (TREVELIN, 2014).

O equipamento seja de 1 ou 2 eixos de liberdade pode ter seu movimento pré-estabelecido, assim fazendo todos os dias as mesmas posições nos mesmos horários, ou ele pode funcionar de maneira inteligente, valendo-se do uso de sensores e microcontroladores de baixo custo e alto desempenho, para assim decidir a melhor posição para cada momento do dia (CORTEZ et al. 2013).

O arrefecimento da placa fotovoltaica é possivelmente o mais eficiente e menos explorado das técnicas de otimização conhecidas, o aumento da temperatura do painel solar compromete sua capacidade de gerar energia (JURANIC, 2020).

A potência do gerador Fotovoltaico cai entre 0,3 e 0,4% a cada aumento de 1°C. Os painéis fotovoltaicos normalmente não operam em locais com condições ideais para seu funcionamento, no caso da temperatura os ensaios laboratoriais são realizados a 25 graus Celsius, tendo na maioria das aplicações a temperatura do painel muito superior, acarretando assim em uma perda na sua potência (ALMEIDA, 2012).

Segundo Vinícius Oliveira da Silva, mestrando em sistemas de potência pela USP, que desenvolveu um Protótipo de equipamento resfriador de painéis fotovoltaicos, após a temperatura de um painel solar atingir 45 graus Celsius, há uma perda de 0,5% da eficiência na geração de energia a cada grau de aumento (DA SILVA, 2016).

De acordo com uma pesquisa realizada na Universidade Federal do Rio de Janeiro, por Gustavo Marques Mattos, o aumento da temperatura na placa diminui os seus valores de tensão e consequentemente, sua potência. Já a corrente elétrica não apresenta variação relevante com o aumento da temperatura. Portanto, o que faz a potência da placa fotovoltaica diminuir com o aumento da temperatura é exclusivamente a queda em seus valores de tensão (MATTOS, 2016).

Até o momento, a principal forma de se reduzir a temperatura de uma placa fotovoltaica foi a instalação da placa sobre a água, local em que a temperatura tende a ser mais baixa que no solo (NASCIMENTO, 2020). A Figura 4 contém uma fotografia de instalação de painéis solares sobre a água, com o objetivo de arrefecimento.

Figura 4 - Exemplo de instalação de placas fotovoltaicas sobre a água.



Fonte: (DOS REIS, 2020).

Em virtude da tentativa de aumentar o aproveitamento da radiação solar, alguns sistemas fotovoltaicos recorrem refletores para redirecionar raios que não seriam capturados pelas placas, possibilitando assim uma maior quantidade de irradiação diária. O desenvolvimento de um sistema mecânico que acopla espelhos junto as placas fotovoltaicas pode gerar um aumento de 7% na sua eficiência (CORNELIUS, 2017). A Figura 5 contém fotografia e dados de eficiência de placa solar usada com e sem espelho.

Figura 5 - Comparação entre placa fixa e placa com acoplamento de espelho.

Tabela 1 - Características de teste		
Painel Solar	Sem espelho	Com espelho
V_{OC} (V)	29,1	29,4
I_{SC} (A)	2,63	3,4

Tabela 2 - Resultados com carga		
Painel Solar	Sem espelho	Com espelho
Tensão (V)	12	12
Corrente (A)	1,71	1,84
Potência (W)	20,52	22,08
Eficiência (%)	7,57	8,15

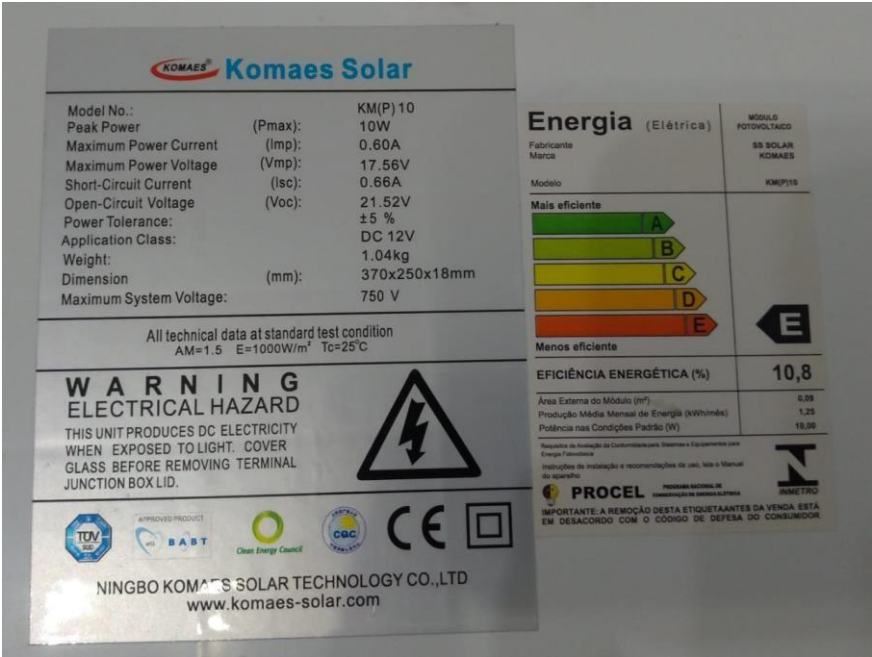


Fonte: (CORNELIUS, 2017).

METODOLOGIA

Com o objetivo de se detalhar e confirmar os dados obtidos no referencial teórico, foram realizados ensaios de campo com algumas das técnicas e equipamentos citados. Na realização dos ensaios foram auferidas medições simultâneas em duas placas fotovoltaicas de mesmo fabricante e características. Os dados técnicos das placas podem ser examinados na fotografia do selo INMETRO da Figura 6 e os dados da Tabela 2.

Figura 6 - Dados de Referência da Placa Solar



Fonte: os autores

Tabela 2 – Dados Relevantes da Placa Solar

Característica	Valor
Potência Máxima (Pmax)	10 W
Tensão Máxima Potência (Vmp)	17,56 V
Tensão Circuito Aberto (Voc)	21,52 V
Corrente Máxima Potência (Imp)	0,60 A
Corrente de Curto Circuito (Isc)	0,66 A
Temperatura Referência (T0)	25 °C
Medidas	370x250x18mm
Peso	1040 g

Fonte: os autores

Para a confirmação de eficiência do acoplamento de espelhos nas placas solares, foram instaladas duas placas paralelas ao solo, em uma das placas foi colocado um espelho de 350mm x 250mm perpendicularmente ao solo. Foram realizadas medições simultâneas dos valores de tensão e corrente de ambas as placas das 10 horas até as 17 horas e 30 minutos durante vários dias. O ensaio foi realizado em dias ensolarados na cidade de Santos. Os valores de tensão e corrente médios coletados nas medições são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados de Tensão e Corrente coletados

Horário	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30
Sem Refletor	18,24V 0,17A	19,37V 0,18A	19,34V 0,18A	19,61V 0,18A	19,45V 0,18A	18,94V 0,17A	18,12V 0,16A	17,23V 0,16A
Com Refletor	18,39V 0,18A	19,36V 0,19A	19,39V 0,19A	19,73V 0,19A	19,59V 0,19A	18,93V 0,18A	18,25V 0,17A	17,26V 0,17A
Horário	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30
Sem Refletor	16,43V 0,14A	14,34V 0,13A	10,78V 0,09A	8,89V 0,08A	7,21V 0,06A	3,92V 0,02A	3,12V 0,02A	1,57V 0,01A
Com Refletor	16,47V 0,15A	14,46V 0,14A	10,83V 0,10A	9,97V 0,08A	7,23V 0,07A	3,87V 0,03A	3,40V 0,02A	1,75V 0,01A

Fonte: os autores

Para a confirmação de eficiência do arrefecimento das placas solares, foi instalado duas placas paralelas ao solo, uma das placas foi instalada sobre uma superfície de água disponível em um recipiente de pequena espessura, aproximadamente 15 cm, e de tamanho próximo ao da placa utilizada. Foram realizadas medições simultâneas dos valores de tensão e corrente de ambas as placas das 10 horas até as 17 horas e 30 minutos, o ensaio foi realizado durante alguns dias ensolarados na cidade de Santos. Os valores de tensão e corrente médios coletados nas medições são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados de Tensão e Corrente coletados com arrefecimento

Horário	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30
Solo	17,73V 0,16 ^a	17,56V 0,16A	18,87V 0,17A	19,23V 0,17A	19,52V 0,18A	19,31V 0,18A	18,23V 0,17A	17,07V 0,16A
Água	18,58V 0,17 ^a	18,39V 0,17A	19,79 0,18	20,16V 0,18A	20,34V 0,19A	20,26V 0,18A	19,08V 0,17A	18,01V 0,17A
Horário	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30
Solo	16,12V 0,15 ^a	15,67V 0,14A	12,85V 0,12A	7,63V 0,07A	5,37V 0,05A	4,17V 0,04A	3,23V 0,03A	2,15V 0,02A
Água	16,87V 0,16 ^a	16,27V 0,15A	13,46V 0,12A	7,96V 0,07A	5,48V 0,05A	4,20V 0,04A	3,22V 0,03A	2,16V 0,02A

Fonte: os autores

Para os cálculos de potência elétrica média gerada, são utilizados os valores de tensão e corrente para cada um dos horários de medição, de acordo com a Equação 1 apresentada abaixo. Tal cálculo é aplicado para os valores medidos apresentados nas Tabelas 3 e 4. Finalmente os valores de eficiência são calculados. Para tal nas potências médias da Tabela 3, utiliza-se a Equação 2, em que a potência média 2 é o valor de referência, ou seja, sem a utilização de refletor (espelho). De forma análoga é realizado o cálculo de eficiência da técnica de arrefecimento com água, tomando-se por base, ou a potência média 2, a gerada pela placa sobre o solo. Finalmente, os resultados obtidos são então apresentados na Tabela 5.

$$\text{Potência média} = (V1.I1 + V2.I2 + \dots + Vn.In) / n \quad (1)$$

$$\text{Eficiência (\%)} = [(Pot. Média 1 - Pot. Média 2) / (Pot. Média 2)].100 \quad (2)$$

Tabela 5 - Valores de Potência Média, Eficiência Média e Instantânea (e horário)

	Sem Refletor	Com Refletor	Eficiência
Potência Média e Eficiência baseada na Média	2,03 W	2,16 W	6,70%
Horário de Maior Eficiência Instantânea (16h30)	78,4 mW	96,8 mW	23,40%
Horário de Menor Eficiência Instantânea (10h30)	3,49 W	3,69 W	5,82%

	Placa no SOLO	Placa na AGUA	Eficiência
Potência Média e Eficiência baseada na Média	1,47 W	1,59 W	8,41%
Horário de Maior Eficiência Instantânea (10h)	28 mW	31,6 mW	14,11%
Horário de Menor Eficiência Instantânea (17h30)	43 mW	43,2 mW	0,46%

Fonte: os autores

Com o propósito de se comparar a relação entre cada equipamento ou método foi considerado uma placa fotovoltaica padrão para instalação em residências, sendo selecionado uma placa de 395W tipicamente usada com capacidade de geração média de 1,2kWh/dia, as características da placa podem ser observadas na Tabela 6 (NEOSOLAR, 2020).

Tabela 6 - Características da placa de 395W

Característica	Valor
Potência Máxima (Pmax)	395 W
Tensão Máxima Potência (Vmp)	40,2 V
Tensão Circuito Aberto (Voc)	49,1 V
Corrente Máxima Potência (Imp)	9,83 A
Corrente de Curto Circuito (Isc)	10,31 A
Temperatura Referência (T0)	25 °C
Medidas	2000x992x40 mm
Peso	22500 g

Fonte: (NEOSOLAR, 2020)

A Tabela 7 contém a comparação da relação entre investimento inicial (custo dos sistemas), aumento de eficiência e custos adicionais de cada uma das técnicas e equipamentos apresentados no referencial teórico (*tracker*, nas duas primeiras linhas) e nos ensaios realizados (duas últimas linhas – uso de refletor e refrigeração). Não foi possível realizar os ensaios práticos com o sistema *tracker* de 1 eixo e 2, em função das limitações impostas no período de execução do corrente trabalho (COVID). Os valores dos preços de investimento inicial e custos de manutenção foram coletados da internet sendo realizado uma média entre 3 a 5 produtos de cada item. Para a tabela foi considerado apenas custos de equipamentos e suportes, não foi incluso mão de obra para instalação de nenhum item.

Tabela 7 - Investimento necessário e melhora na eficiência de geração

	Investimento Inicial	Aumento de Eficiência	Custos Adicionais por mês
Tracker 1 eixo	R\$ 212,30	22,00%	Aprox 0,15% da geração
Tracker 2 eixos	R\$ 441,15	39,00%	Aprox 0,2% da geração
Refletor	R\$ 70,00	6,70%	R\$ 0,00
Arrefecimento	R\$ 200,00	8,41%	R\$ 0,00

Fonte: os autores

Para a proposição de valores apresentados na Tabela 8:

- Considerou-se a placa comercial típica de 395W. O custo médio adotado para a placa é de R\$1052,55, de acordo com NEOSOLAR (2020), e seu suporte de instalação em R\$220,71.
- Para cálculos de consumo e custo de geração, considerou-se o valor do kWh de R\$0,653 que é o valor da tarifa branca intermediária da Enel SP, distribuidora da cidade de São Paulo. (ANEEL, 2020)
- Para os cálculos, adotou-se a eficiência apresentada na Tabela 7 para os diversos métodos. Sabe-se que, para as mesmas referências de padrão de instalação, as eficiências obtidas para placas de mesmo material são as mesmas (DOS SANTOS GONÇALVES, 2020).
- Na coluna de investimento inicial foi realizada a soma do investimento inicial do equipamento mais o custo da placa fixa.
- Por fim, sabendo da Tabela 6 que a sua capacidade de geração estática (última linha da Tabela) é de 1,2 kWh/dia (placa fixa), realizaram-se os cálculos, respeitando os requisitos comentados.
- Para as comparações na próxima Seção, utiliza-se então o valor e características de geração da placa fixa (instalação padrão) como a referência para entender o suporte que os demais métodos de otimização de geração apresentados impactam no retorno do investimento final.

Tabela 8 – Investimentos necessários, geração média mensal e tempo de retorno estimado.

	Investimento Inicial	Geração de energia	Tempo de Retorno
Tracker 1 eixo	R\$ 1.485,56	43,87 kWh/mês	51,86 meses
Tracker 2 eixos	R\$ 1.714,41	49,97 kWh/mês	52,54 meses
Refletor	R\$ 1.343,26	38,41 kWh/mês	53,56 meses
Arrefecimento	R\$ 1.473,26	39,03 kWh/mês	57,80 meses
Placa Fixa	R\$ 1.273,26	36,00 kWh/mês	56,14 meses

Fonte: os autores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os dados apresentados na Tabela 8 é possível verificar que o acoplamento de espelhos e o uso do *Tracker* com 1 eixo de rotação auxiliam a diminuir o prazo para obter o retorno de investimento da instalação. Sendo assim, a construção de um protótipo ideal, deve utilizar essas duas técnicas em conjunto. Na Tabela 9 é então apresentada a comparação entre o ROI de uma placa fixa e o ROI estimado da junção entre o acoplamento de espelhos e o *Tracker* com 1 eixo de rotação, baseado nas informações da Tabela 7. O protótipo então apresentaria uma diminuição de 6 meses no retorno de investimento em relação a instalação de uma placa fotovoltaica fixa.

Tabela 9 - Relação entre o protótipo idealizado e uma placa solar fixa.

	Investimento Inicial	Geração de energia	ROI
Protótipo	R\$ 1555,56	46,86 kWh/mês	4 anos e 3 meses
Placa Fixa	R\$ 1273,26	36 kWh/mês	4 anos e 9 meses

Fonte: os autores

É possível verificar que o acoplamento de espelhos obteve os melhores resultados em horários de menores incidência de raios solares 16h30, por outro lado, a técnica de arrefecimento obteve os melhores resultados em horários de alta incidência solar 10h, horários onde a temperatura tende a ser mais alta.

Vale comentar que o investimento inicial para se realizar a instalação de um sistema solar e sua manutenção constituem obstáculos para que o uso da energia solar seja difundido mais rapidamente. Este custo naturalmente depende de materiais e mão de obra especializada. Quanto mais empresas especializadas em um cenário competitivo como este estiverem atuando, a tendência é que tais custos sejam mais agressivos, reduzindo o ROI estimado como sumário na Tabela 9.

Outro fator que precisa ser levado em consideração é o preço do kWh da região. Para as discussões do corrente trabalho, foi considerado um kWh de R\$0,653 (ANEEL, 2020). Sabe-se que em algumas regiões e dependendo da época do ano esse valor pode ser consideravelmente maior (ANEEL, 2020). E, desta forma, quanto maior for o preço do kWh mais atrativo se tornam esses equipamentos e técnicas que melhoram a geração da placa.

Para a instalação com arrefecimento, cujo ROI não foi interessante, cabem alguns comentários. Para o protótipo, simplesmente considerou-se um recipiente de tamanho próximo aos das dimensões da placa e com espessura determinada. Porém, neste caso, não existe a circulação de água, que poderia melhorar ainda mais a refrigeração da placa e seu consequente desempenho. Cabe ressaltar que o arrefecimento de placas fotovoltaicas pode ter um preço consideravelmente variável, dependendo da técnica e local a ser trabalhado. Isto

ocorre com o exemplo mencionado na Figura 4, que poderia ter a infraestrutura inicial de suportes de instalação um pouco mais cara, porém alavancar a capacidade de geração do sistema, pela livre circulação e água. Vale dizer então, que este é um processo que pode ainda ser amadurecido e padronizado em padrões construtivos pelas empresas do setor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No corrente trabalho foram estudados e evidenciados os diversos métodos preconizados para aumentar a eficiência de geração de energia de placas fotovoltaicas. Foram estudados, ensaiados e analisados em particular: a utilização de espelhos refletores acoplados, direcionamento de placas através de mecanismos com um ou dois graus de liberdade (*trackers*), arrefecimento do dispositivo com água. Para cada método sugerido, elaborou-se um protótipo ou modelo fotovoltaico de referência e foram comparados os resultados de geração com outro, em que cada método foi aplicado. Os resultados de geração foram apresentados e discutidos. Em sequência, procedeu-se a extrapolação dos resultados considerando placas fotovoltaicas tipicamente instaladas comercialmente. Os custos foram levantados e dadas a diferenças na geração, os melhores métodos foram identificados. Pelos resultados obtidos, chega-se a conclusão que o uso de *tracker* com 1 grau de liberdade e espelhos devem ser usados para otimizar a geração e consequentemente reduzir o ROI do projeto. Nas condições ponderadas, o ROI da instalação fotovoltaica foi melhorado em 6 meses. Por outro lado, o uso de arrefecimento nas condições prototipadas não se mostrou eficiente.

Para trabalhos futuros, seria interessante o estudo de outras formas de arrefecimento de placa, como alguma forma alternativa de diminuir a temperatura da placa em lugar sem acesso a água em abundância. Sugere-se a utilização de algum tipo de gel de arrefecimento ou o uso de sistemas com fluxo de ar para retirar calor da placa. Outro aspecto que poderia ser abordado são as formas alternativas para o controle dos sistemas de seguidor solar, utilização de microcontroladores de baixo custo, a fim de reduzir os valores de investimentos inicial desse equipamento.

REFERÊNCIAS

ANEEL, **Relatório de Tarifas 2020**. Acessado em 18 de setembro de 2020. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/relatorio-ranking-tarifas>>

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, Ana Júlia Nunes de; RANK, Narah luata; BUENO, Talita Bezerra de Araujo. **Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BLASZCZAK, Vinícius. **Análise de eficiência de painel fotovoltaico com sistema tracker seguidor solar**. Universidade Federal da Fronteira Sul. 2017.

CORNELIUS, Richard Gonçalves; BENDER, Vítor Cristiano; MAIA, Amanda Costa. OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICOS ATRAVÉS DA REFLEXÃO DE ESPELHOS. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 8, n. 2, 2017.

CORTEZ, Ramiro José Monteiro et al. **Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica**. Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade de engenharia da Universidade do Porto. 2013.

DA SILVA, Vinícius Oliveira et al. **Análise técnica para concepção/projeto de usina solar fotovoltaica arrefecida em UHE**. Universidade de São Paulo, 2016.

DA SILVA LEMOS, Luã; RAMOS, Maiane. Aplicação do Sistema Tracker em estruturas de Rastreio Solar. **Boletim do Gerenciamento**, v. 16, n. 16, p. 60-74, 2020.

DOS PASSOS, David et al. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PLACAS FOTOVOLTAICAS (PROJETO SEGUE O SOL). **Maiêutica-Engenharias**, v. 3, n. 01, 2017.

DOS REIS, João Rodrigo Leitão; FARIA, Ivani Ferreira; FRAXE, Therezinha de Jesus Pinto. Geoconservação e Geoturismo na Amazônia. **Revista Turismo Em Análise**, v. 31, n. 1, p. 50-76, 2020.

DOS SANTOS GONÇALVES, Paulo Vitor et al. O NEXUS ENERGIA-ÁGUA NA ECONOMIA CIRCULAR URBANA: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE BELÉM, PARÁ, BRASIL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 308-326, 2020.

ENERGÉTICA, EPE EMPRESA DE PESQUISA. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL: Relatório síntese, ano base 2018. **Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia**, 2019.

FIEP, Federação das Indústrias do Estado do Paraná, **Como está e até onde pode ir a energia limpa no Brasil**, 2018.

GOVB, Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira, **Governo do Brasil**, 21 de jan. 2020. Disponível em: <[JENA, S.P. Jena, S.K. Acharya, C. Deheri. **Performance Analysis of a SelfActivating Solar Tracking Setup**, International Journal for Research in Applied Science & Engineering](https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira#:~:text=Fontes%20de%20energia%20renov%C3%A1veis%20representam%2083%25%20da%20matriz%20el%C3%A9trica%20brasileira,-No%20Brasil%2C%20as&text=O%20Brasil%2C%20atualmente%2C%20tem%2083,Minas%20e%20Energia%2C%20Reive%20Barros.>></p></div><div data-bbox=)

Technology (IJRASET), 2015.

JURINIC, Francesco. **Estudo para melhoria na performance e eficiência de placas fotovoltaicas: através de um sistema combinado de inclinação e resfriamento**. 2020.

KRUANGAM, Dusit et al. Growth of Photovoltaic Industry and Market in Thailand, A Case Study of Solartron PCL. In: **2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference**. IEEE, 2006.

MATTOS, Gustavo Marques. Estudo de rendimento e temperatura de painéis fotovoltaicos com uso de técnica de concentração solar. **Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ**, 2016.

NASCIMENTO, Francisleile Lima. PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ENERGIA ALTERNATIVA E SUSTENTÁVEL PARA O ESTADO DE RORAIMA-RR. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 1, n. 3, p. 25-34, 2020.

NEOSOLAR. **Painéis Solares**. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-395w-ulica-ul-395m-144.html?gclid=Cj0KCQjw-uH6BRDQARIsAI3I-UdoU3X-tsJIYLWfLKGBpQwYt7rsP-Li1y0ttVsMANSPp8ZI7Wuo-XAaAtY7EALw_wcB. Acessado em 19/set./2020.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. 2014.

SILVA, **Estudo de perdas em sistemas fotovoltaicos**, Pedro Henrique Tronco Silva, Fabiana Florian, Fernando Augusto Baptistini Pestana, Universidade de Araraquara, 2014.

TREVELIN, Felipe Camargo; GESUALDO, E. Estudo Comparativo entre métodos de rastreamento solar aplicados a sistemas fotovoltaicos. **Monografia (Graduação)–Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos**, 2014.

Contatos: viniciuspdelisin@hotmail.com e antonio.licciardi@mackenzie.br