

## ***Estudo comparativo dos custos de implantação de três tipos sistemas de energia fotovoltaico na cidade de Porto Nacional - TO***

Sabe-se que o mundo está em um momento em que a sociedade está buscando cada vez mais se adequar aos meios de desenvolvimento sustentável como forma de preservar o meio ambiente e manter-se em equilíbrio para que não haja esgotamentos dos recursos energéticos presentes no mundo. Um desses meios é a energia solar ou fotovoltaica, que se baseia na conversão da energia que é radiada pelo sol em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas, distribuídas em painéis que fazem parte do sistema de geração fotovoltaica. O presente trabalho tem como finalidade realizar um estudo comparativo do custo de implantação do sistema de energia solar com métodos de estruturas com rastreadores ativos, cronológicos e com sensores. Foi aferido os custos das implantações, além da identificação da eficiência de cada sistema juntamente com vantagens e desvantagens.

**Palavras-chave:** Energia; Fotovoltaica; Solar.

## ***Comparative study of the costs of implementation of three types of photovoltaic energy systems in the city of Porto Nacional - TO***

It is known that the world is at a time when society is increasingly seeking to adapt to the means of sustainable development as a way of preserving the environment and maintaining balance so that there is no depletion of the energy resources present in the world. One of these means is solar or photovoltaic energy, which is based on the conversion of energy that is radiated by the sun into electrical energy by means of photovoltaic cells, distributed in panels that are part of the photovoltaic generation system. The present work aims to carry out a comparative study of the cost of implantation of the solar energy system with methods of structures with active, chronological and sensor trackers. Implementation costs were assessed, in addition to identifying the efficiency of each system along with advantages and disadvantages.

**Keywords:** Energy; Photovoltaic; Solar.

Topic: Engenharia da Sustentabilidade e Meio Ambiente

Received: 09/06/2021

Approved: 10/07/2021

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Anna Júlia Pereira Mendes  
ITPAC Porto Nacional, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7116657623027403>  
[annajuliahappy@gmail.com](mailto:annajuliahappy@gmail.com)

Diogo Pedreira Lima   
Universidade Federal do Tocantins, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7967728577417186>  
<https://orcid.org/0000-0002-3849-2587>  
[diogo@ema.eng.br](mailto:diogo@ema.eng.br)



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0011

### **Referencing this:**

MENDES, A. J. P.; LIMA, D. P.. Estudo comparativo dos custos de implantação de três tipos sistemas de energia fotovoltaico na cidade de Porto Nacional - TO. **Engineering Sciences**, v.9, n.2, p.123-131, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0011>

## INTRODUÇÃO

A energia solar é um tipo de energia renovável que é obtida através do sol e pode ser utilizada como fonte de energia elétrica ou até mesmo para aquecimento das águas. O uso da mesma vem crescendo no mundo todo pelo fato de ser uma das formas limpas de produção de energia. Ela é utilizada em vários meios e de tecnologias distintas que estão em constante mudança, dentre eles estão o aquecimento solar, a energia solar fotovoltaica, a energia heliotérmica, a arquitetura solar e a fotossíntese artificial

A conversão da energia solar em energia elétrica se dá pelo processo de efeito fotovoltaico (*foto* que significa luz na língua grega e *volt* que é usado na unidade do *SI* para tensão elétrica). Este processo é feito utilizando uma superfície que é composta por um material semicondutor que tem como nome painel fotovoltaico. A tensão elétrica que ocorre é ocasionada pela excitação dos elétrons no material semicondutor devido à incidência de fótons componentes da radiação solar.

A cada dia que passa, o ser humano vem buscando meios renováveis para se manter sem agredir tanto o meio ambiente, e com isso vem crescendo o comércio de energia solar no mundo inteiro. Sendo assim, o ramo empresarial deste tipo de material cresce com várias opções. Há os painéis com rastreadores e os que são fixos. Os tipos rastreadores buscam a energia que vem do sol rastreando o seu movimento e assim captando uma quantidade maior da mesma, visto que sempre está em direção do sol. O tipo fixo fica somente em uma posição para captar a energia.

O presente trabalho propôs-se a aferir os custos de implantação de três tipos de sistema de energia solar, sendo eles ativos, que orienta os painéis em direção à máxima intensidade luminosa, por sensores, que funcionam sob o princípio da diferença de iluminação e o cronológico, que é baseado em data e tempo, averiguando também a eficiência de cada um deles e as suas vantagens e desvantagens em relação aos custos em manutenção a médio e longo prazo.

## REVISÃO TEÓRICA

### Energia Solar

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão da radiação solar em eletricidade por intermédio de materiais semicondutores. Esse fenômeno é conhecido como Efeito Fotovoltaico (BRAGA, 2008).

Sabe que esse efeito foi explorado pela primeira vez em 1839, pelo francês Edmund Becquerel, numa solução de selênio. Ele observou o aparecimento de uma solução entre os eletrodos de solução condutora, sempre que ela era iluminada pela luz solar. Em 1870, este efeito foi estudado em sólidos e em meados de 1880 foi construída a primeira célula fotovoltaica utilizando o selênio.

Segundo BRAGA (2008), os principais eventos na história do desenvolvimento dos equipamentos de conversão de energia solar foram: (1839) Efeito Fotovoltaico (Bequerel); (1870) Efeito fotovoltaico em sólidos; (1880) Construção da primeira célula fotovoltaica; (1950) Início das pesquisas para aplicações práticas; (1954) Primeira célula fotovoltaica de silício.

## Energia Solar no Mundo

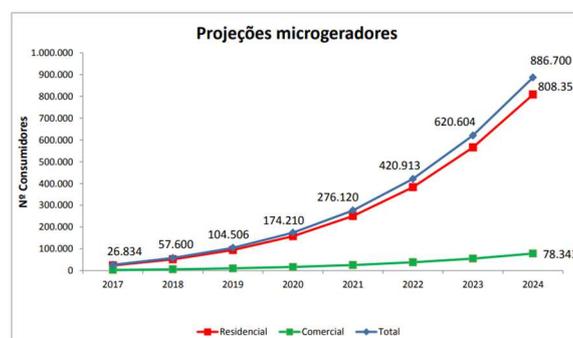
Os principais ramos de utilização da energia solar internacionalmente são para o aquecimento de água e para geração de energia elétrica sob efeito fotovoltaico. Bandeira (2012) explica que quanto à aplicação da energia solar para o aquecimento de água, segundo informações do Atlas da Energia Elétrica do Brasil – 3ª Edição 5, durante muito tempo Israel foi o único país a exigir uma participação mínima de aquecimento de água a partir da energia solar. A partir de 2006, a Espanha assumiu postura semelhante e passou a exigir níveis mínimos de energia solar tanto para o aquecimento de água quanto para a geração de eletricidade em novas construções como prédios residenciais, hotéis e hospitais. Em 2007, a iniciativa foi acompanhada por países como Índia, Coréia do Sul, China e Alemanha. Os percentuais exigidos variam de 30% a 70%, dependendo do clima, nível de consumo e disponibilidade de outras fontes de energia.

Todo o crescimento da capacidade instalada de aquecedores solares de água e painéis fotovoltaicos no mundo é fortemente subsidiado. Nos diversos países onde há crescimento significativo do uso da energia solar, tanto fabricantes, quanto investidores em equipamentos para captação e conversão da energia solar, contam com benefícios fiscais e incentivos nas tarifas de energia elétrica (BANDEIRA, 2012).

## Energia Solar no Brasil

Igualmente como nos ocorreu outros países, no Brasil também os principais meios de utilização da energia solar são para aquecimento de água e para geração de energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. Segundo Rella (2017), a capacidade instalada no Brasil, levando em conta todos os tipos de usinas que produzem energia elétrica, é da ordem de 132 gigawatts (GW). Deste total, menos de 0,0008% é produzida com sistemas solares fotovoltaicos (transformam diretamente a luz do Sol em energia elétrica). A geração fotovoltaica no país é residual comparada às demais fontes, como a eólica.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, se o Brasil aproveitasse todo o potencial solar existente, haveria uma produção de 283,5 milhões de MW por ano de energia fotovoltaica. Sendo assim, esta potência seria capaz de abastecer mais de duas vezes o atual consumo doméstico de 128,8 milhões de MW por ano do país.



**Figura 1:** Projeção de crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Fonte:** ANNEL (2017).

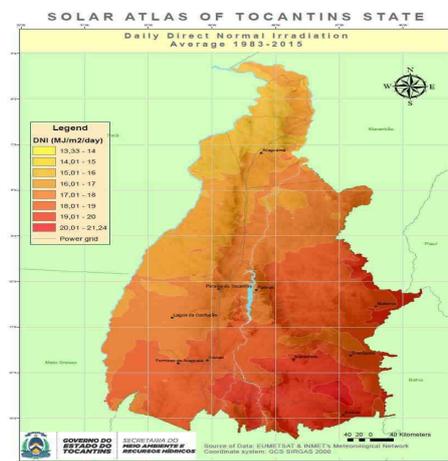
O Brasil atualmente conta com mais de 20 mil empresas que atuam no ramo da energia solar, segundo a Portal Solar. Os setores que mais se destacam são os fabricantes de equipamentos e serviços de instalação para a geração distribuída, e as principais empresas estão concentradas no estado de São Paulo.

De acordo com a agência nacional de energia elétrica (ANEEL), a previsão é de que, no ano de 2024, o país chegue a 886 mil unidades consumidoras com a potência total instalada de 3.208 Megawatts.

## Energia Solar no Tocantins

O uso da energia solar no Tocantins obteve um aumento de 30% no ano de 2018, principalmente nos períodos de seca. A instalação de painéis solares na região, ajuda os moradores a economizar nos custos de energia elétrica, além de contribuir com o meio ambiente que já está tão devastado, favorecendo ainda mais a utilização dos meios ecológicos.

O estado de Tocantins, segundo o Atlas Solarimétrico, possui altos níveis de incidência solar, o que ajuda a contribuir diretamente com a grande eficiência dos painéis fotovoltaicos e a geração de energia limpa e renovável. Sendo assim, o Tocantins caracteriza-se como o estado que possui a melhor irradiação solar da região norte do Brasil, aumentando constantemente o desenvolvimento do uso da tecnologia em residências e estabelecimentos comerciais.



**Figura 2:** Atlas solarimétrico do estado do Tocantins. **Fonte:** Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Palmas – TO (2018).

## NBR 16690

A NBR 16690 (2019) - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, inclui também as disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização de todo o arranjo fotovoltaico. Nela incluem todas as partes do arranjo fotovoltaico até os dispositivos de armazenamento de energia, as unidades de condicionamento de potência ou cargas.

## Placas com Rastreadores Ativos

Queiroz et al. (2018), afirmam que sistemas de rastreamento ativo possuem um conjunto que tem como integrantes motores e sensores capazes de orientar os painéis em direção a máxima intensidade luminosa. Como a produção de energia elétrica está diretamente relacionada com a incidência de energia luminosa, o rastreamento ativo melhora a eficiência do sistema. Normalmente se baseiam em um par de elementos fotossensíveis capazes de variar o nível de alguma grandeza elétrica de acordo com a radiação

luminosa incidentes.

O rastreador do tipo ativo engloba o uso de um ou mais motores elétricos em cada um dos eixos de rastreamento do suporte mecânico dos módulos fotovoltaicos. Os motores são controlados por meio de um circuito eletrônico que recebe dados da posição do sol por meio de sensores (MONTEIRO, 2007).

Os rastreadores solares ativos podem realizar o acompanhamento do sol em um ou em dois eixos. O rastreador de um eixo possui um único eixo na direção Norte-Sul, em torno do qual o arranjo fotovoltaico gira para se alinhar com o sol ao longo do dia. No caso do rastreador de dois eixos existe ainda um segundo eixo na direção Leste-Oeste que permite que o arranjo ajuste sua inclinação para se adequar às diferentes inclinações do sol ao longo das estações do ano (OLIVEIRA, 2007).



**Figura 3:** Rastreador de um eixo. **Fonte:** Oliveira (2007).



**Figura 4:** Rastreador de dois eixos. **Fonte:** Oliveira (2007).

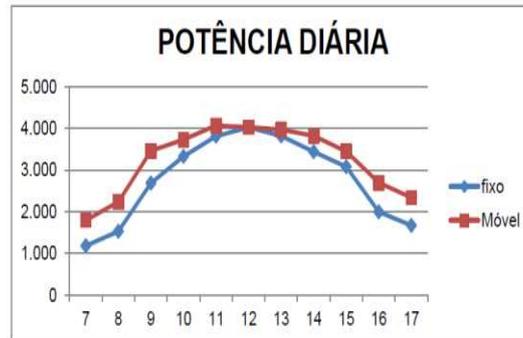
### Placas com Rastreadores Ativos e Cronológicos

A principal característica da estratégia de rastreamento baseado em sensores ótico-elétrico microcontrolados é o uso de uma unidade de processamento e no mínimo duas unidades de sensores óticos, que funcionam sob o princípio da diferença de iluminação. A estratégia de rastreamento baseada em data e tempo é caracterizada pelo uso de fórmulas e algoritmos, sensores, localização geográfica assim como o horário local, como entradas para o controlador, o qual gera sinais para os mecanismos de orientação do sistema (QUEIROZ et al., 2018).

Os rastreadores cronológicos possuem uma rotação de acordo com a velocidade aparente do sol. A revolução do sol é de 360° em 24 horas, então a estrutura do painel deve girar com velocidade de 15°/h durante o período de insolação. Portanto, essa forma de rastreamento pode receber como parâmetros as informações de localidade e executar em seu código o cálculo do posicionamento do sol e mandar um sinal de controle para atuação dos motores (GODOY, 2019).

## Ganho gerado pelo Rastreamento Solar

O aumento do ganho na geração de energia solar com uso dos rastreadores é uma das suas principais vantagens. Este ganho acontece pelo fato de os módulos sempre estarem voltados diretamente à posição do sol. A contar dos dados descritos, pode se observar que a utilização do sistema solar com rastreadores, de fato, aumenta formidavelmente a eficiência na geração de energia deles.



**Figura 5:** Comparação na energia solar em sistemas com e sem rastreamento solar. **Fonte:** Coelho (2013).

## Localizadores Solar

O sistema de rastreamento solar precisa de localizadores para que funcionem. Como tipo de localizadores, temos os físicos, híbridos e os localizadores por software. Os localizadores físicos são dispositivos que possuem sensores que podem realizar a leitura da localização solar e assim transmitir esse dado para que seja feita a localização do painel. O seu maior benefício é a facilidade de implementação do sistema, e a sua desvantagem é somente ter validade em horários em que o sol não está coberto.

Os localizadores por software são equipamentos que podem ser programados para executar a movimentação do painel para uma determinada posição assim, o painel vai ter uma determinada posição em certo horário do dia, essa movimentação já é pré-estabelecida para todas as mudanças do sol tanto no período diário como anual. Seu maior benefício é a possibilidade de utilização mesmo com o sol encoberto, pois o painel continuará seu trajeto automático, já seu empecilho seria o custo de implementação devido à programação complexa que o envolve. Os principais equipamentos que podem executar essa rotina são os micro controladores, CLPs e microcomputadores. E os localizadores híbridos são os que se movimentam através de software e hardware, tendo como vantagem a credibilidade do sistema, visto que mesmo com contratempos relacionados ao clima, ele continua a se movimentar. Como desvantagem, tem o alto custo de implementação, visto que precisa ser implantados sensores e microcontroladores (KUHN, 2013).

## Manutenção dos Módulos

A manutenção é o conjunto de ações responsáveis por manter os mecanismos em funcionamento, essas ações envolvem a conservação, adequação, restauração, substituição e a prevenção. Sem um bom programa de manutenção os prejuízos causados por equipamentos com defeito são elevados devido a atrasos ou interrupções na produção, o que pode causar perda de mercado devido a insatisfação dos clientes (CARMO, 2019).

Segundo Greco (2006), a atividade de manutenção precisa ser eficiente e eficaz; ou seja, não basta apenas reparar o equipamento ou instalação tão rapidamente quanto possível. É preciso manter a função do equipamento disponível para a operação, evitar a falha do equipamento e reduzir os riscos de uma parada de produção não planejada. A manutenção pode ser dividida em dois grupos que são separados em manutenção programada e não programada.

A manutenção não programada, também conhecida como corretiva é aquela em que é realizado um reparo ou substituição de alguma peça devido a ocorrência de alguma falha não prevista. Este tipo de manutenção é praticada somente depois que o equipamento ou a máquina estiver danificado. Não é recomendada a utilização de manutenção corretiva como principal estratégia de manutenção. A manutenção preventiva consiste no conjunto de procedimentos e ações antecipadas que visam manter a máquina em funcionamento. Presume-se que o serviço de manutenção possa ser planejado em termos de número de horas de operação de máquina ou mesmo de um tempo total decorrido, em horas, ano, ciclos, quilometragem percorrida, capacidade produzida dentre outras. As principais vantagens desse tipo de manutenção são a menor ocorrência de quebras repentinas e o fato de as paradas serem planejadas. Por outro lado, podem ocorrer trabalhos desnecessários e os defeitos ainda acontecem uma vez que o programa de manutenção, leva em consideração apenas as condições médias dos equipamentos da planta, baseado em histórico e/ou recomendação do fabricante (CARMO, 2019).

### **Viabilidade Econômica**

Segundo CARMO (2019), para a realização de uma análise de viabilidade econômica do sistema de rastreamento solar, o ganho na geração de energia obtido a partir da utilização do sistema de rastreamento solar é convertido para um valor monetário. Concomitante a isso os custos de manutenção também são estimados. De posse destes dados é possível determinar o prazo de recuperação do investimento ou Payback.

O Payback nem sempre é a ferramenta mais utilizada para a tomada de decisão, porém é uma técnica que pode ser usada na avaliação do investimento perante o fluxo de caixa no tempo. O prazo de recuperação é o tempo que o investimento leva para ser recuperado de acordo com o fluxo de caixa descontado. Partindo do pressuposto desses dados é possível inferir a respeito da viabilidade econômica do sistema de rastreamento solar.

### **METODOLOGIA**

Foi aferido os custos de implantação do sistema fixo e do sistema com rastreadores de energia solar, sendo eles ativados por sensores e o cronológico por meio de pesquisas nas empresas do ramo de energia solar na cidade de Porto Nacional e região usando o método de ligações telefônicas e e-mail.

A coleta de dados para comparação dos custos de implantação dos sistemas solares ocorreu nos meses de março e abril do ano de 2021. Os orçamentos foram feitos em duas empresas. Os custos do sistema fixo foram aferidos na empresa Portal Solar e os custos do sistema com rastreadores foram

pesquisados na empresa Oourolux Solar.

De início, precisaria que fossem definidas as potências médias para assim seguir com o orçamento, e assim foram escolhidas as potências de 500, 1500 e 3000 KWh/mês. A partir daí, foi solicitado os custos dos materiais juntamente com a instalação para cada uma das duas empresas selecionadas. A base de comparação foi em estrutura de solo, visto que é a que mais se aproxima de todos os modelos que serão analisados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A empresa Portal Solar, disponibilizou o orçamento com o preço a vista e financiado. Nele também consta a quantidade de painéis necessários para a potência e área mínima necessária para a instalação dos mesmos. A empresa Oourolux não fornece a instalação, somente os equipamentos.

**Tabela 1:** Orçamento do sistema solar fixo para produção mensal média de 500 kWh.

Sistema solar fixo	
Produção mensal	500 KWh/mês
Potência instalada	4,1 KWp
Área mínima necessária	32,8 m <sup>2</sup>
Quantidade de painéis	10 de 405 W
Valor à vista	24127,09 reais
Valor financiado	72x de 586,77 reais

**Tabela 2:** Orçamento do sistema solar fixo para produção mensal média de 1500 kWh.

Sistema solar fixo	
Produção mensal	1500 KWh/mês
Potência instalada	11,3 KWp
Área mínima necessária	90,4 m <sup>2</sup>
Quantidade de painéis	28 de 405 W
Valor à vista	51417,23 reais
Valor financiado	72x de 1250,47 reais

**Tabela 03 -** Orçamento do sistema solar fixo para produção mensal média de 3000 kWh.

Sistema solar fixo	
Produção mensal	3000 KWh/mês
Potência instalada	23,5 KWp
Área mínima necessária	188 m <sup>2</sup>
Quantidade de painéis	58 de 405 W
Valor à vista	102708,97 reais
Valor financiado	72x de 2497,88 reais

A empresa Oourolux Solar, ao fornecer a estimativa de custo do sistema com rastreadores, também forneceu o valor do frete. Este orçamento não contempla a instalação, somente o material. A forma de pagamento fornecida pela empresa é somente antecipada. Todos os sistemas são conectados à rede, mais conhecido como On Grid e o monitoramento dos mesmos é feito via software de cada inversor.

**Tabela 04:** Orçamento do sistema solar com rastreadores para produção mensal média de 500 kWh.

Sistema solar com rastreadores	
Produção mensal	500 KWh/mês
Valor materiais	R\$ 12376,77
Valor frete	R\$ 618,84
Total	R\$ 12995,61

**Tabela 5:** Orçamento do sistema solar com rastreadores para produção mensal média de 1500 kWh.

Sistema solar com rastreadores	
Produção mensal	1500 KWh/mês
Valor materiais	R\$ 45928,88

Valor frete	R\$ 2296,44
-------------	-------------

**Tabela 6:** Orçamento do sistema solar com rastreadores para produção mensal média de 3000 kWh.

Sistema solar com rastreadores	
Produção mensal	3000 KWh/mês
Valor materiais	R\$ 91857,76
Valor frete	R\$ 4592,88
Total	R\$ 96450,64

## CONCLUSÃO

De acordo com os resultados dos orçamentos do custo de implantação dos sistemas solares, para se instalar na cidade de Porto Nacional – TO, pode se observar que os valores são diferentes e apesar do sistema solar com rastreador, independente do seu tipo, captar mais energia devido às vantagens de seguir a máxima luminosidade solar, é sempre importante ver a viabilidade econômica de cada cidadão no ato da escolha de qual sistema usar.

O sistema fixo na empresa em que foi feito o orçamento, já vem com o valor de mão de obra incluso, e isso agrega na escolha de quem escolhe este tipo de sistema. Dependendo de quão complexo é o sistema, os custos de implantação são mais elevados.

Quando se trata de vantagens e desvantagens do sistema fixo e do sistema com rastreadores, é possível dizer que o sistema fixo tem um custo inferior quando comparado ao sistema com rastreador, mas em contrapartida, ele capta menos quantidade de insolação para que seja convertida em energia, visto que só fica em uma direção. O sistema que possui rastreador, tem um custo mais elevado pelo fato de necessitar de software e equipamentos a mais, mas com isso ele consegue captar mais insolação, porque consegue seguir a direção do sol.

O Brasil recebe uma grande quantidade de insolação por ano. Só no Nordeste, a incidência média solar diária varia entre 4,5 a 6 KWh. Baseado nesses dados, é possível observar que o Brasil tem uma abundante fonte energética, mas acaba aproveitando pouco este potencial tão grande e com características únicas que o país possui.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16690**: instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos: Requisitos de projeto. 2019.

BRAGA, R. P.. **Energia solar fotovoltaica**: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro, 2008.

BANDEIRA, F. P. M.. **O aproveitamento da energia solar no Brasil**: situação e perspectivas. Brasília, 2012.

CARMO, G. H. R.. **Análise comparativa de um sistema de rastreamento solar**: ganho na geração de energia e custos de manutenção. Divinópolis, 2019.

GODOY, L. G. K.. **Projeto de um rastreador solar digital de um eixo comparado a um rastreador analógico**. Rio de Janeiro, 2019.

MONTEIRO, F. A. M.. **Desenvolvimento de um sistema de controle de baixo custo para rastreador solar**. Recife, 2007.

OLIVEIRA, C. A. A.. **Desenvolvimento de um protótipo de rastreador solar de baixo custo e sem baterias**. Recife, 2007.

QUEIROZ, J. R.; SOUZA, A. S.; ANDRADE, C. M. G.. **Classificação dos rastreadores solares**: uma breve revisão. Curitiba, 2018.

RELLA, R.. Energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista de Iniciação Científica**, Criciúma, v.15, n.1, 2017.