



## Aplicação do Sistema Tracker em estruturas de Rastreo Solar

LEMOS, Luã.; RAMOS, Maiane.

Pós-graduando em Planejamento, Gestão e controle de Obras civis, NPPG/POLI - UFRJ.

### Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 20 Out 2019

Revisão: 29 Out 2019

Aprovação: 01 Nov 2019

Palavras-chave:

Energia solar

Solar Tracker

Rastreo Solar

### Resumo:

*Examinando o atual panorama energético do mundo, a busca por fontes alternativas de energia se mostra cada vez mais necessária, uma destas fontes alternativas é a energia solar ou energia fotovoltaica, sistemas de rastreamento solar já são uma realidade que proporcionam um melhor aproveitamento do sistema devido a estrutura das placas acompanharem o movimento do sol, melhorando o seu índice de exposição. Este trabalho tem como finalidade realizar uma pesquisa bibliográfica, levantando os principais sistemas de rastreo solar do mercado, abordando de forma sucinta como funciona cada tecnologia e por fim demonstrar através de um exemplo de aplicação que os sistemas de rastreamento solares são superiores em capacidade de gerar energia, com investimentos menores devido a um número menor de placas fotovoltaicas em sistemas de rastreo se comparado com sistemas fixos, o sistema de rastreo solar utilizado é o da Solar Tracker e traz valores reais de mercado.*

### 1. Introdução

O conceito de eficiência energética segundo Oliveira [1], é a atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia, ou seja, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado.

A energia solar é uma fonte inesgotável, tanto como fonte de calor quanto de luz. Hoje pode ser considerada uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária para o desenvolvimento.

A energia solar é dividida em três partes diretas:

- Energia solar passiva, onde é responsável pela arquitetura bioclimática;
- Energia solar ativa, onde é inserida diretamente em relação a temperatura;

- Energia solar fotovoltaica, para produção de energia elétrica.

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839, por Edmond Becquerel, ele se resulta no aparecimento de um diferencial de potência nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz.

A energia solar fotovoltaica é obtida diretamente através da conversão da luz em eletricidade. As principais tecnologias hoje no mercado na produção de células e módulos fotovoltaicos são: silício monocristalino, silício policristalino.

O consumo mundial de energia no ano de 2011, de acordo com *Trenberth et al*, foi cerca de 150 mil TW/h, no intervalo de duas horas a quantidade de energia solar recebida em toda superfície terrestre por hora foi de

cerca de 90 mil Tw/h, multiplicado por duas horas, é superior ao consumo energético anual global.

A radiação solar que chega à superfície terrestre pode ser constituída por três componentes. A radiação direta, que é aquela que provem diretamente da direção do Sol, a radiação difusa que é aquela que se espalha ao atingir a atmosfera, e no caso de haver uma superfície inclinada com relação ao horizonte, haverá um terceiro componente, chamado de albedo.

Com a crescente demanda por utilização de energias renováveis por parte dos consumidores finais, as tecnologias empregadas e a mão de obra especializada têm evoluído continuamente, e tornando mais viável do ponto de vista financeiro a aquisição de recursos alternativos de geração de energia.

Acompanhado disso resolução normativa número 482 [2] de 17 de abril de 2012, a qual possibilita a geração distribuída de fontes renováveis e estabelece as condições gerais de acesso a micro geração (centrais geradoras com potência instalada menor ou igual a 100kW) e mini geração (centrais geradoras com potência instalada superior a 100kW e menor ou igual a 1 MW) distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica, A partir desta resolução, o proprietário de uma pequena usina não necessita consumir toda a energia gerada, o excedente pode ser entregue a concessionária, recebendo créditos de energia, que podem ser recuperados conforme sua necessidade.

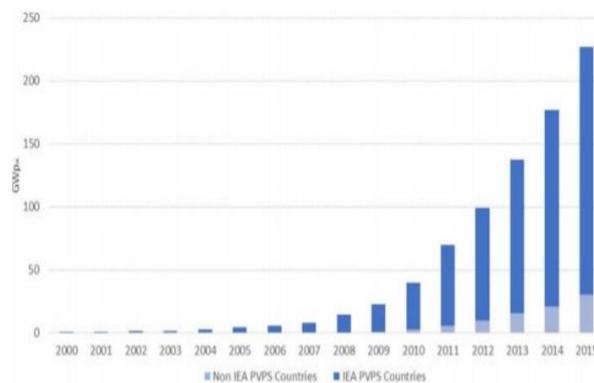
Segundo o ministério de minas e energias [3] o Brasil apresenta situação privilegiada em termos de utilização de fontes renováveis de energia. No país 43,9% da oferta interna de Energia (OIE) é renovável, enquanto a média mundial é de 14%.

## 2. Desenvolvimento do Texto

Um dos grandes passos para o impulsionamento do mercado fotovoltaico no mundo foi a crise do petróleo de 1973, a partir

dali foi feito muito investimento para viabilizar a utilização dos módulos fotovoltaicos para fins comerciais. O mercado foi crescendo exponencialmente de forma gigantesca, a Figura 1 demonstra bem a evolução da produção mundial das células fotovoltaicas através dos anos.

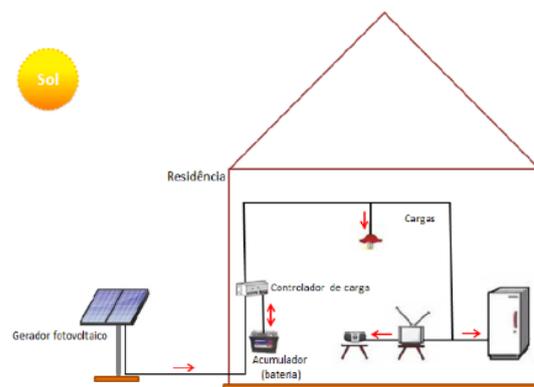
Figura 1 – Evolução da Capacidade Instalada de Energia Solar Fotovoltaica



Fonte: IEA [4]

O processo de conversão da energia solar utiliza células fotovoltaicas (normalmente feitas de silício ou outro material semicondutor). Quando a luz solar incide sobre uma célula fotovoltaica, os elétrons do material semicondutor são postos em movimento, desta forma gerando eletricidade.

Figura 2 - Modelo simplificado de sistema fotovoltaico domiciliar.



Fonte: CRESESB[5]

Um sistema fotovoltaico é constituído por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, em alguns

casos, um bloco de armazenamento, como pode ser visto na Figura 2.

Atualmente, no Brasil há diversos centros de pesquisas especialistas atuando em estudos e aplicações para aproveitamento dessas tecnologias. Através disso o COBEI (Comitê Brasileiro de Eletricidade, da ABNT) criou um grupo técnico sobre sistemas fotovoltaicos que foi responsável pela elaboração, entre outras, das Normas:

NBR 16149 Sistemas Fotovoltaicos (FV)- Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;

NBR16150 Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – procedimento de ensaio de conformidade.

Tabela 1 – Média anual para diferentes regiões do Brasil

Região	Produtividade kWh/kWp
Centro-Oeste	1460
Nordeste	1580
Norte	1500
Sudeste	1300
Sul	1250

Fonte: CRESESB[5]

O conhecimento da produtividade final típica de uma determinada região permite avaliar o desempenho de um sistema fotovoltaico na medida em que valores baixos em relação à média podem indicar problemas ou falhas de projeto, assim como valores elevados podem indicar um sistema bem dimensionado e conectado a uma rede elétrica de qualidade.

## 2.1 Células Fotovoltaicas

Uma célula fotovoltaica é um dispositivo responsável por converter a energia luminosa em energia elétrica. Um conjunto de células fotovoltaicas encapsuladas forma os chamados módulos fotovoltaicos também conhecido como placas solares ou painéis fotovoltaicos.

As células são produzidas com material semicondutor que, através do efeito fotovoltaico, convertem a radiação solar em energia elétrica.

Há vários tipos de células fotovoltaicas, ou seja, que utilizam tecnologias e/ou materiais diferentes, mas a mais popular (usada pelos fabricantes de painéis solares) é a que utiliza o silício cristalizado

## 2.2 Módulos Fotovoltaicas

Segundo a NBR 10899 (2013) [6], o módulo fotovoltaico é uma unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com objetivo de gerar energia elétrica. As células fotovoltaicas são associadas eletricamente e encapsuladas para formar o módulo fotovoltaico. Um módulo pode ser constituído por um conjunto de 36 a 126 células fotovoltaicas associadas em série e/ou paralelo, dependendo dos parâmetros elétricos mais adequados à aplicação a que o módulo se destina. Estas células são soldadas em tiras, geralmente com soldagem realizada por iluminação com lâmpadas alógenas ou radiação laser. Depois de soldadas, as células são encapsuladas a fim de proporcionar resistência mecânica ao módulo fotovoltaico.

Tabela 2– Potencia média de alguns módulos do mercado

Tecnologia	Potência/área (Wp/m <sup>2</sup> )
Si monocristalino – m-Si	150
Si policristalino – p-Si	135
Si amorfo – a-Si	85
Disseleneto de cobre-Índio (e Gálio) CI(G)S	100
Telureto de Cádmio - CdTe	110

Fonte: CRESESB[5]

A escolha de um módulo fotovoltaico depende de diversos fatores, como, custo, durabilidade, objetivo do projeto e etc. Cada tipo de modulo serve para um intuito e para atingir um público alvo, alguns são mais eficientes com o preco um pouco maior ou

outros com preço mais acessível. A Tabela 2 apresenta a potência média de alguns tipos de módulos em relação ao metro quadrado.

### 3. Sistema de Rastreo Solar

Um seguidor solar é um dispositivo que altera várias vezes a posição dos painéis fotovoltaicos durante o dia (Figura 3), seguindo o caminho do sol para aumentar a produção de energia solar do sistema fotovoltaico. O uso de seguidores solares é cada vez mais comum em usinas fotovoltaicas em outros países, uma vez que a indústria de energia solar tem provado continuamente os grandes benefícios que este sistema tem.

Figura 3 – Movimentação da placa solar seguindo o sol



Fonte: Solar Motors, 1993 [7]

A decisão de usar um rastreador solar ainda em uma análise de custo-benefício que vale a pena: Como por exemplo: 80% dos casos é possível atingir a produção que o cliente precisa e permanecer dentro da demanda contratada. A redução dos painéis devido ao aumento na produção diária, diminui a potência do inversor no ato do dimensionamento do sistema e automaticamente reduzindo o custo final para o cliente.

#### 3.1 Modelos de seguidores solar

Existem muitos tipos de seguidores solares, variando em custo, complexidade e funções. Eles podem fazer o seguimento através de vários eixos e garantir diferentes níveis de precisão. Os principais modelos que serão abordados neste trabalho serão:

- Seguidor solar de eixo único;
- Seguidor solar de eixo horizontal;
- Seguidor de eixo vertical ou azimute;
- Seguidor de dois eixos;
- Seguidor de plataforma rotativa.

Quanto maior o ângulo de incidência solar, aquele entre a posição do Sol com a uma reta perpendicular ao painel, menor será a potência de geração de energia. Ao se utilizar um seguidor solar, este ângulo é reduzido a zero e a produção de energia passa a ser máxima ou muito próxima da máxima durante determinado dia e com a radiação existente.

Os dois ângulos mais importantes na captação da energia solar são o ângulo azimutal do sol, na determinada área de estudo e o ângulo de inclinação do painel fotovoltaico durante a captação da radiação solar, em relação ao próprio sol.

##### 3.1.1 Seguidor solar de eixo único

Este tipo de seguidor tem um eixo Norte-Sul fixo num ângulo, normalmente o da latitude do local. Este eixo será adotado como eixo de rotação, garantindo a perpendicularidade do painel em relação aos raios de Sol nos equinócios da Primavera e de Outono.

Figura 4 – Seguidor solar de eixo unico

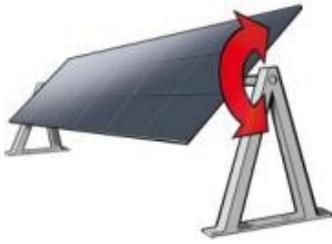


Fonte: Manual de engenharia fotovoltaica, 2014 [5]

##### 3.1.2 Seguidor solar de eixo horizontal

Este seguidor tem um eixo horizontal que vai servir como pivô para os painéis, permitindo deste modo um seguimento sazonal do sol. São seguidores muito simples e de instalação muito econômica e com pouca manutenção. A sua eficiência não é tão grande como a dos outros seguidores, mas mesmo assim são uma opção a considerar quando o objetivo é aumentar a eficiência total do sistema, visto que este sistema pode suportar um grande número de painéis.

Figura 5 – Seguidor de eixo horizontal



Fonte: Manual de engenharia fotovoltaica, 2014 [5]

O sistema de eixo horizontal ao contrário de outros sistemas, não necessita de um sistema automático de seguimento, podendo antes funcionar através de uma série de posições fixas, determinadas anteriormente a instalação

### 3.1.3 Seguidor de dois eixos

Este seguidor tem um poste vertical que vai permitir movimento segundo o eixo E-W e um poste horizontal que vai permitir movimento segundo o eixo N-S. A armação sobre a qual os painéis vão ser montados está presa ao poste que permite o movimento N-S. Até hoje são o tipo de seguidor mais comuns, usado principalmente nos parques solares e em instalações de grandes dimensões.

Figura 6 – Seguidor de dois eixos



Fonte: Manual de engenharia fotovoltaica, 2014 [5]

A grande desvantagem deste tipo de seguidor é o esforço a que estão sujeitos, principalmente devido ao seu peso e ao fato de que tem que ser bloqueados sempre que se registar muito vento. Em muitas aplicações, devido à complexidade mecânica que é necessária para este tipo de seguidor não se tornam competitivos quando comparados com um seguidor vertical.

### 3.1.3 Seguidor de eixo vertical ou azimute

Neste tipo de seguidor o painel vai rodar sobre uma base fixa, ou seja, vai provocar uma variação do azimute ao longo do dia.

Figura 7 – Seguidor vertical ou de azimute

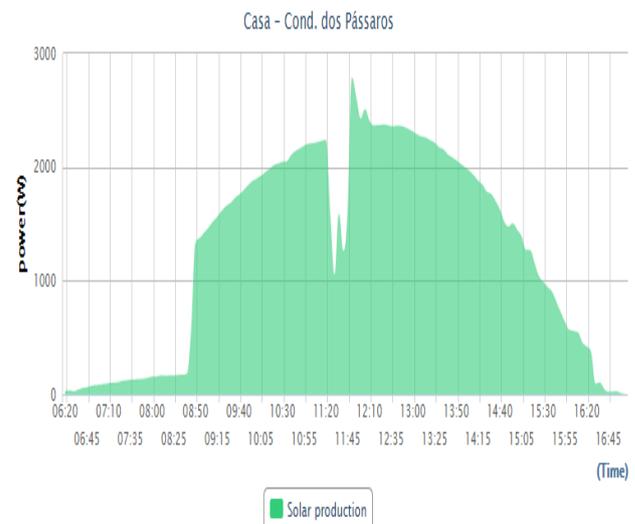


Fonte: Manual de engenharia fotovoltaica, 2014 [5]

## 4. Efeitos do Sombreamento em Placas Fotovoltaicas

No planejamento da instalação de sistemas fotovoltaicos, o local onde o painel será acomodado deve, antes de mais nada, ser criteriosamente analisado, considerando-se a incidência de luz nos diferentes períodos do dia, assim como nas quatro estações do ano. Dessa forma é possível aproveitar ao máximo o potencial dessa poderosa fonte.

Figura 8 – Produção energética



Fonte: Solarweb, 2018. [8]

Essa observação pode ser feita por exemplo por empresas como a *server growatt* empresa de sistemas fotovoltaicos, que

proporciona aos usuários de suas tecnologias gráficos diários, semanais e mensais, onde é possível verificar o sombreamento (figura 8).

O sistema fotovoltaico da figura 8 é fixo, e no horário de 6:20 h até 8:45 h observa-se uma pequena captação, esse fenômeno se dá devido ao sombreamento, problema muito comum em placas fixas.

Na figura 9 de um sistema fotovoltaico não fixo observa-se que essas interrupções pelo sombreamento são praticamente inexistentes.

Figura 9 Produção Energética



Fonte: Solarweb, 2018. [8]

Na figura 9, a produção energética apresenta uma linha com crescimento exponencial devido ao rastreador *Tracker*, diferente da figura 28 de modelo fixo. Os dados das figuras 8 e 9 são do mesmo dia e casas vizinhas.

## 5. Normas Para Módulos Fotovoltaicos

A Tabela 13 no apêndice C lista as normas nacionais e internacionais sobre módulos fotovoltaicos.

### 5.1. Registros de Módulos FV no Inmetro

A classificação das categorias de eficiência energética (A e E) é feita pelo Inmetro de acordo com as faixas de eficiência do módulo, como mostradas na Tabela 5.

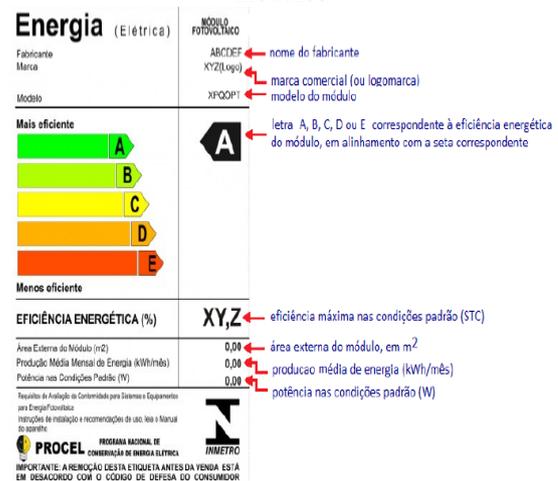
Tabela 3– Classificação de módulos fotovoltaicos no Brasil.

Classe	Faixa
A	Maior que 13,5%
B	Maior que 13% a 13,5%
C	Maior que 12% a 13%
D	Maior que 11% a 12%
E	Menor ou igual a 11%

Fonte INMETRO, 2019. [9]

Os módulos comercializados no Brasil devem ser ensaiados de acordo com o RAC do Inmetro, apresentar o registro e a etiqueta afixada na sua superfície posterior, como a da Figura 10.

Figura 10 – Modelo de etiqueta do Inmetro fixada nos módulos.



Fonte INMETRO, 2019[9]

## 6. Sistema Tracker

O sistema *Tracker* é uma tecnologia que pode aumentar significativamente a produção de energia produzida por painéis solares, ambos os módulos fotovoltaicos e coletores solares térmicos. O uso desta tecnologia é de extrema importância para obter uma produção satisfatória em seu projeto fotovoltaico.

Sistemas com seguidores solares geram mais energia do que os sistemas fixos. Isto ocorre devido ao aumento da exposição direta aos raios solares, esse ganho pode alcançar valores de 25 a 45%. De certa forma e com as

devidas características, faz sentido dizer que um sistema com seguidor solar que aumenta em 30% a produção de energia é semelhante a um sistema fixo 30% maior (contém mais painéis fotovoltaicos).

Outro aspecto muito importante a destacar é que, graças ao rastreamento solar não só a produção de energia aumenta, mas também melhora a forma como a potência é entregue. Na curva em cinza (curva menor) vemos uma evolução da produção de energia ao longo do dia, que aumenta gradualmente até chegando ao meio-dia, em seguida, retorna a diminuir. Mas, na curva verde (curva a, vemos a forma como abordamos a potência máxima desde o início da manhã e que esta produção é mantida até o final da tarde.

As desvantagens dos sistemas de rastreo solares são:

Sistemas com seguidores solares são ligeiramente mais caros, devido ao uso de tecnologias mais complexas e de peças móveis para seu funcionamento.

Mesmo com os avanços na confiabilidade, a manutenção necessária para manter o funcionamento de um sistema com seguidor solar é maior do que um sistema fixo, embora a qualidade do seguidor solar pode desempenhar um papel enquanto e quantas vezes essa manutenção será necessária.

Exigem uma maior preparação do local da instalação, cuidados com a mobilidade e com o cabeamento são necessários.

Seguidores solares são geralmente projetados para climas com pouca ou nenhuma neve, tornando-os uma solução mais viável em climas mais quentes. Um sistema fixo acomoda condições ambientais mais severas com mais facilidade do que os sistemas de rastreamento.

### 6.1 Informações Técnicas

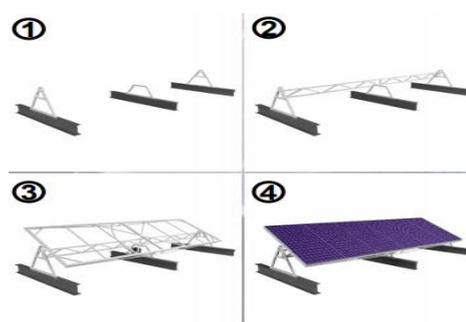
Um mecanismo que move ambos os eixos (azimute e elevação) oferece melhor desempenho - em termos de energia produzida - em comparação com outro, mas que move um único eixo mecânico, mas é

igualmente verdade que é mais complexo e caro.

É fácil de ver pouca utilidade para seguir o sol em eixo de elevação, em que a energia capturada é significativamente inferior para seguir o eixo de azimute.

Não é possível indicar com valores fixos um aumento na porcentagem que é obtida por movimento de um eixo em relação ao outro, porque muito depende da latitude da instalação do sistema.

Figura 11 – Estrutura mecânica de um solar Tracker



Fonte Solar Tracker Brazil, 2019[10]

#### 6.1.1 Controle de posicionamento

O controle de posicionamento é uma parte muito importante do sistema. Um controle de posicionamento não confiável pode afetar qualquer cálculo complexo sobre a posição do Sol. Alguns fabricantes de rastreadores solares usam como dispositivos de feedback encoders ópticos, sensores Hall ou tecnologias similares. Estes sistemas são extremamente confiáveis, eles são, de fato muitas vezes utilizado para aplicações que requeiram uma precisão absoluta, porém existe um alto custo benefício, pois normalmente a aplicasse uma função chamada back-tracking. No entanto, a principal desvantagem da utilização destes dispositivos é o alto custo de compra. A tecnologia de feedback aplicada ao RTPL é muito funcional simples e barata, pois executamos esta função através de monitoramento de queda de tensão, levando mais um benefício de baixo custo.

#### 6.1.2 Instalação e orientação do rastreados

Para instalar um rastreador solar devemos ter um espaço de área não-sombreada aberta (a ser verificado durante as diferentes estações do ano porque - como mencionado acima - o movimento aparente do Sol varia muito, dependendo Latitude) e proporcionar uma base firme. Em caso de instalação de várias unidades, é muito importante verificar a distância entre um e outro, para evitar possíveis sombreamento de outros rastreadores como já foi comentado anteriormente.

Figura 12 – Residência em Búzios



Fonte – Solar Tracker Brazil, 2019[10]

Uma primeira e aproximada orientação pode ser feita colocando a rastreadora perpendicular ao sol, uma vez que você iniciar o sistema, antes de fixar a estrutura mecânica. Uma orientação precisa é feita com clima de sol sem nuvens - durante o meio dia solar, - com sensor de proximidade sobre à posição zero e o centro de rotação mecânica do azimute.

## 7. Exemplo de aplicação

Após a demonstração teórica, sobre o sistema fotovoltaico e apresentação do sistema *Tracker*, torna-se necessário um exemplo prático, onde será demonstrado o potencial no sistema *Tracker* em placas fotovoltaicas.

O estudo será feito em uma residência de 2 pavimentos localizada na cidade de Cabo Frio, conforme planta baixa na figura 11 e 12 localizadas no apêndice A.

O levantamento de cargas elétricas seguirá a NBR 5410 (2005) [11], levando-se em

conta, tomadas de uso geral (TUG), tomadas de uso específicos (TUE) e iluminação para o cálculo de potência necessária.

O estudo de caso seguirá as seguintes premissas:

- Escolha do modelo fotovoltaico;
- Levantamento da média do consumo anual;
- Dimensionamento da quantidade de placas sem *Tracker*;
- Dimensionamento da quantidade de placas com *Tracker*;
- Custos.

Não será levado em consideração neste trabalho o cabeamento, dutos e nem divisão de fases, uma vez que o ponto principal do estudo é a resposta do sistema *Tracker* em placas solares.

A placa escolhida no estudo de caso segue os dados da tabela 3 e foi escolhida pela classificação “A” no IMMETRO[9].

### 7.1 Levantamento de cargas

A potência instalada assim como a descrição dos objetos segue na tabela 4 no apêndice A.

A potência instalada é da ordem de 39.27 kW e a demanda 14.82kVA.

O gerador solar fotovoltaico é dimensionado com base no consumo médio mensal de energia elétrica, tendo assim por características os dados a seguir:

Tabela 4 – Consumo estimado

Capacidade de Produção ao mês sem fator de 15% de perda	340 kWh/mês
Capacidade de Produção ao mês com fator de 15% inseridos	400 kWh/mês
Capacidade de Produção anual	4.800 kWh/ano

Fonte: Autor

O sistema fotovoltaico com e sem *Tracker* é dimensionado da mesma maneira, partindo da necessidade do cliente apontado na tabela 2, seguido da escolha do modelo da placa fotovoltaica tabela 3, de onde retira-se sua potência nominal que para esse estudo será de 325 Wp.

### 7.2 Sistema sem Tracker

O dimensionamento do sistema fotovoltaico, segue com o cálculo da potência da placa escolhida pela sua potência nominal, multiplicada pelo fator de incidência solar, que pode variar de 4.5 a 5.8 h/dia.

O coeficiente de incidência solar para este caso foi considerado de 4.7 após estudo realizado no site da CRESESB conforme figura 15 (Apêndice A) de irradiação solar em Cabo Frio, é necessário considerar um coeficiente de perda que para este modelo de placa o fabricante indica 15%.

Na tabela 5 segue o dimensionamento de potência da placa escolhida.

Tabela 5 – Dimensionamento potência de uma placa FV

Cálculo de dimensionamento	
Potência nominal	325 Wp
Incidência solar	4.7 h/m <sup>2</sup>
Potência da placa (diário)	1525.5 Wp
Potência da placa (mensal)	45.83KWp

Fonte: Autor

Após encontrar a potência da placa fotovoltaica escolhida e tendo a média necessária, para encontrar a quantidade de placas que supra a necessidade é feito o produto da necessidade pela potência da placa conforme tabela 6.

Tabela 6 – Sistema sem Tracker

Potência necessária	400 kWh/mês
---------------------	-------------

Potência mensal de uma placa fv	45.83Kwp
Total de lacas FV necessárias	9

Fonte: Autor

O sistema será composto por módulos, inversores e todos os acessórios pertinentes a um gerador solar fotovoltaico, inclusive estrutura metálica articulada e acessórios de monitoração e instalação, conforme detalhado na tabela 11 (Anexo B). Os valores adotados na tabela 11 e 12 são provenientes de um estudo de mercado direto com o fabricante.

O valor da homologação é em cima do valor total das placas.

A instalação gira em torno de 1.4 a 2.3 por Wp.

O material elétrico e a logística são em cima do valor total dos materiais.

Valor do Gerador Solar Fotovoltaico completo 28 476.65 \$.

No valor final acima não foi considerada os insumos pertinentes a instalação bem como o lucro.

Estimando um custo de R\$ 1,02/kWh (ENEL) retirado da conta de luz, não levando em conta inflação, reajustes anuais, bandeiras tarifárias e contribuição com iluminação pública. Chega-se à conclusão de uma economia R\$ 4.896,00/ano, dando como tempo de retorno do investimento 5 anos e 2 meses.

### 7.3 Sistema com Tracker

O dimensionamento do sistema fotovoltaico com *Tracker*, segue o mesmo cálculo, potência da placa escolhida pela sua potência nominal, multiplicada pelo fator de incidência solar, porem o coeficiente de incidência solar é diferente, sendo indicado pelo fabricante Solar *Tracker Brazil*, o coeficiente de 7.5.

Tabela 7– Dimensionamento potência de uma placa FV com Tracker

Cálculo de dimensionamento	
----------------------------	--

Potência nominal	325 Wp
Incidência solar	7.5 h/m <sup>2</sup>
Potência da placa (diário)	2437.5 Wp
Potência da placa (mensal)	73.13 Kwp

Fonte: Autor

Na tabela 7 segue-se o mesmo pensamento adotado no capítulo 7.2 para levantar a quantidade de placas necessárias ao sistema.

Tabela 8 – Sistema com *Tracker*

Potência necessária	400 kWh/mês
Potência mensal de uma placa fv	73.12Kwp
Total de placas FV necessárias	6

Fonte: Autor

Com a alteração do coeficiente de incidência solar devido a tecnologia *Tracker*, ocorreu um aumento de potência da placa solar, dando como resposta final uma quantidade menor de placas como apontado na tabela 8, uma economia de 3 placas (66%).

Na tabela 12 (apêndice C) segue a descrição dos componentes do gerador com o sistema *Tracker*. Foi utilizado quando possível os mesmos componentes para que não houvesse desvios grandes nos valores.

O valor da homologação é em cima do valor total das placas.

A instalação gira em torno de 1.4 a 2.3 por Wp.

O material elétrico e a logística são em cima do valor total dos materiais.

Valor do Gerador Solar Fotovoltaico completo 20.022.44 \$.

No valor final acima não foi considerada os insumos pertinentes a instalação bem como o lucro.

Estimando um custo de R\$ 1,02/kWh (ENEL), não levando em conta inflação, reajustes anuais, bandeiras tarifárias e contribuição com iluminação pública. Chega-se à conclusão de uma economia R\$ 4.896,00/ano, dando como tempo de retorno do investimento 4 anos.

#### 7.4 Estudo de custo benefício

O sistema *Tracker*, traz um aumento de produção energética com uma quantidade menor de placas solares, nas tabelas 13 e 16 observamos que diminuíram 3 placas do sistema fixo em relação ao sistema *tracker*, o valor unitário da placa fotovoltaica era de 869 reais, o que diminui 2 607 \$ reais.

No apêndice D tabela 13, é possível verificar o comparativo de custo do sistema com *tracker* e sem sistema de rastreamento solar.

#### 8. Conclusão

Falando de uma forma muito generalizada, comparando com um sistema solar fixo um sistema de seguimento solar consegue aumentar a captação de luz solar em cerca de 50% na época de verão e em cerca de 20% na época do inverno, (conforme discutido no capítulo 4) no entanto estes valores podem ser diferentes tendo em conta a geolocalização do sistema, como foi no caso do exemplo estudado no estudo de caso, realizado na mesma localidade percebeu-se um aumento de mais de 30% de potência em relação ao sistema fixo, conforme analisado nos capítulos 7.2 e 7.3 deste trabalho.

Sistemas com seguidores solares são ligeiramente mais caros, devido ao uso de tecnologias mais complexas e de peças móveis para seu funcionamento.

Mesmo com os avanços, a manutenção necessária para manter o funcionamento de um sistema com seguidor solar é maior do que um sistema fixo, embora a qualidade do seguidor solar possa desempenhar um papel enquanto e quantas vezes essa manutenção será necessária. Exigem uma maior preparação do local da instalação, cuidados

com a mobilidade e com o cabeamento são necessários.

Salientando que os sistemas fotovoltaicos com rastreamento solar, apresentam melhor desempenho quando o assunto é sombreamento, como citado no capítulo 4 deste trabalho.

O custo do sistema fotovoltaico com *Tracker* apresentou um investimento menor comparado com o sistema fotovoltaico fixo.

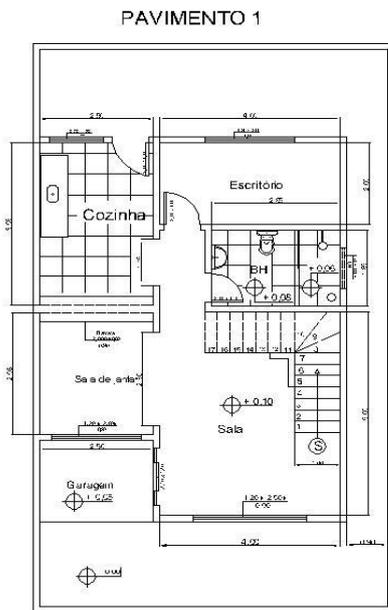
As 3 placas retiradas devido ao *Tracker* equivalem a 15 % do valor final do sistema, sendo um grande fator positivo ao sistema, que demonstrou excelente custo benefício, e como será visto no capítulo a seguir, não deixa a desejar em seus resultados.

## 9. Referencias

- [1] OLIVEIRA, L.B. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos e abatimento de emissões de gases do efeito estufa, 2001.
- [2] ANELL - Agência Nacional de Energia Elétrica., Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso 20 de outubro 2019.
- [3] MME. Balanço energético nacional 2016 – ano base: 2016. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional>>; acesso em 20/10/2019.
- [4] IEA. International Energy Agency. Snapshot of global photovoltaic markets. Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2016.
- [5] CRESESB. Balanço energético nacional 2016 – ano base: 2014. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=481>>; acesso em 20/10/2019.
- [6] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10899 (2013): Energia solar fotovoltaica — Terminologia.
- [7] SOLAR CHOICE. Disponível em: <<http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/>>. VIRILIO, P. O Espaço Crítico. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993.
- [8] FRONIUS SOLAR WEB. Disponível em <https://www.solarweb.com/> . acessado em 12/08/2018.
- [9] INMETRO – Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia. Disponível em ><http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/sistema-fotovoltaico.asp>> Acesso 20/10/2019.
- [10] SOLAR TRACKER BRAZIL. Disponível em ><https://www.solartrackerbrazil.com.br/home>> Acesso 20/10/2019.
- [11] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5410 (2008) Instalações elétricas de baixa tensão.
- [12] BOSH – Catálogo de placas fotovoltaicas. Disponível em ><https://www.unitron.com.br/catalogos/energia-solar/modulo-solar/bosch/bosch-solar-240w-module-c-si-m-60>>, Acesso 20/10/2019.
- [13] CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de S. Brito. Disponível em ><http://www.cresesb.cepel.br/>> Acesso 20/10/2019.

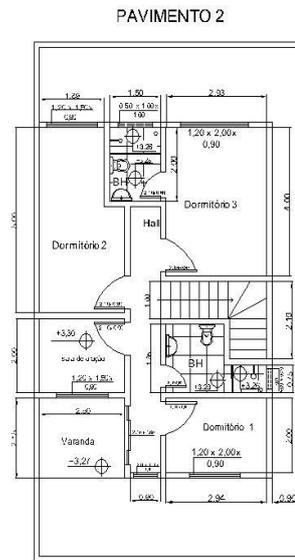
## ANEXO A – Estudo de caso

Figura 13 – Planta baixa



Fonte – Próprio, 2018

Figura 14 – Planta baixa



Fonte – Próprio, 2018

Tabela 9 – Dados do modulo fotovoltaico

Dados do modulo fotovoltaico	
Fabricante	Canadian solar
Modelo	CS6U-315P
Tecnologia	Silicio Policristalino
Potência nominal	325 Wp
Perda de potência anual	0.80%
Área do Painei	1.94 M <sup>2</sup>
Peso	22.4 kg
Tensão circuito aberto	45.1 V
Classificação na ENCE	A
Vida útil	25 anos

Fonte: Bosh [12]

Tabela 10 – Levantamento de carga

Descrição	W	Quantidade	Total
Lâmpada fluorescente 20 w	20	5	100
Lâmpada fluorescente 25 w	25	4	100
Lâmpada fluorescente 32 w	32	4	128
Lâmpada fluorescente 40 w	40	4	160
Chuveiro	5000	3	15000
Televisao	90	5	450
Ferro de passar roupa	1000	1	1000
Lavadora de roupa	1500	1	1500
Liquidificador	400	1	400
Secador de cabelo	1000	2	2000
Ventilador	100	3	300
Ventilador de teto	100	1	100
Ar condicionado 7500BTU'S	2.0 CV	2	4

Ar condicionado 1000BTU'S	3.0 CV	2	6
Batedeira	200	1	200
Cafeteira elétrica	1000	1	1000
Freezer	400	1	400
Forno de micro-ondas	1300	1	1300
Forno elétrico	1500	1	1500
Vídeo cassete	100	1	100
Cortador e grama	736	1	736

Fonte: Autor

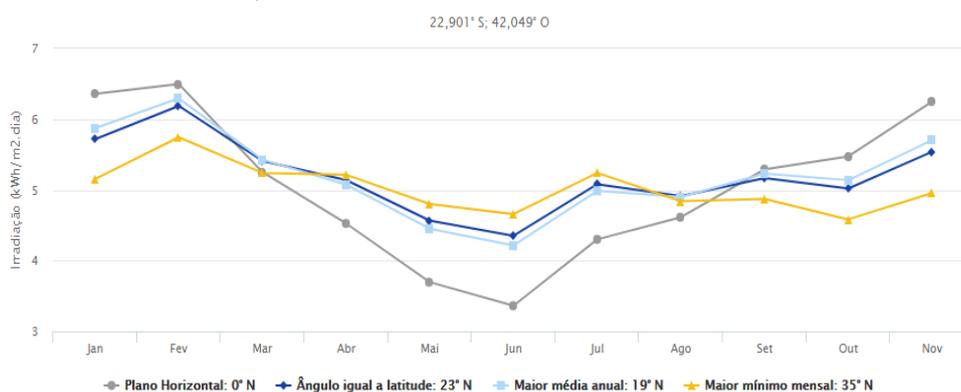
## ANEXO B – Sistema sem Tracker

Figura 15 – Irradiação solar no plano inclinado, Cabo Frio

Estação: Cabo Frio  
Município: Cabo Frio, RJ - BRASIL  
Latitude: 22,901° S  
Longitude: 42,049° O  
Distância do ponto de ref. (22,879444° S; 42,016611° O): 3,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☑	Plano Horizontal	0° N	6,36	6,50	5,25	4,53	3,70	3,36	3,43	4,30	4,61	5,29	5,48	6,25	4,92	3,14
☑	Ângulo igual a latitude	23° N	5,72	6,19	5,41	5,14	4,57	4,35	4,33	5,08	4,91	5,17	5,02	5,54	5,12	1,86
☑	Maior média anual	19° N	5,87	6,29	5,43	5,08	4,45	4,22	4,21	4,99	4,90	5,23	5,14	5,70	5,13	2,08
☑	Maior mínimo mensal	35° N	5,15	5,75	5,24	5,21	4,80	4,66	4,60	5,24	4,84	4,87	4,58	4,96	4,99	1,16

Irradiação Solar no Plano Inclinado – Cabo Frio-Cabo Frio, RJ-BRASIL



Fonte: cresesb, 2018 [13]

Tabela 11 – Descrição dos componentes do Gerador solar fotovoltaico

Quantidade	Descrição	Valor unitário	Valor total
3	Estrutura Painel Solar Romagnole 411111/411113 RS-228 e RS-225 p/ telha ondulada p/ 4 placas	350.00	1050.00
9	Painéis solares policristalinos Canadian Solar 325 Wp	869.00	7821.00
1	Comissionamento elétrico e mecânico completo (cabos UV e conectores MC4)	2079.85	2079.85
1	Inversor Solar Fronius 4210069 Primo 3.0-1 WLAN	6928.00	6928.00
1	String Box Ecosolys 1000V 32A 01 ou 02 Entradas / 01 Saída c/ fusível	650.00	650.00
	<b>Total de material</b>		<b>18.528.00</b>
1	Material elétrico	10%	1852.80
1	Logística	5%	926.40
1	Homologação	5%	391.05
1	Risco	5%	926.40
1	Instalação	2	5850.00

Fonte: Autor

### ANEXO C – Sistema com tracker

Tabela 12 – Descrição dos componentes do Gerador solar fotovoltaico

Quantidade	Descrição	Valor unitário	Valor total
6	Painéis solares policristalinos Canadian Solar 325 Wp	869.00	5214.00
1	Comissionamento elétrico e mecânico completo (cabos UV e conectores MC4)	1939.14	1939.14
1	Inversor Canadian Solar 41001345 CSI-1.5K-TL 1,5 kW. Monofásico 220V WLAN	3490.000	3490.00
1	Rastreador Solar modelo SIRIUS (para 6 módulos)	1500.00	1500.00
1	Central Smart-box de comando e proteção via PLC	300	300
1	String Box Ecosolys 1000V 32A 01 ou 02 Entradas / 01 Saída c/ fusível	650.00	650.00
	Total de material		13.843.00
1	Material elétrico	10%	1384.30
1	Logística	5%	692.15
1	Homologação	5%	260.7
1	Risco	5%	692.15
1	Instalação	2	3900

Fonte: Autor

### ANEXO C – Estudo de custo

Tabela 13 – Comparativo

Componentes	Custo com <i>Tracker</i>	Custo sem <i>Tracker</i>
Estrutura Painel Solar	Não se aplica	1050.00 \$
Painéis solares	5214.00 \$	7821.00 \$
Inversor Solar	3490.00 \$	6828.00 \$
Rastreador Solar	1500.00 \$	Não se aplica
Central <i>Smart-box</i>	300 \$	Não se aplica
<i>String Box</i>	650.00 \$	650.00 \$
Material elétrico	1384.30 \$	1852.80 \$
Logística	692.15 \$	926.40 \$
Homologação	260.7 \$	391.05 \$
Risco	692.15 \$	926.40 \$
Instalação	3900 \$	5850.00 \$
<i>Total</i>	20 772.44 \$	28 476.65 \$

Fonte: Autor

Tabela 14 – Lista das normas nacionais e internacionais sobre módulos fotovoltaicos.

Órgão	Código	Descrição	Aplicação
IEC – Comissão Internacional Eletrotécnicas	61215: 2005	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos de Silício monocristalino e policristalino
	61646: 2008	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos de filmes Finos
	61730-2: 2004	Estabelece ensaios para verificação da segurança elétrica e mecânica	Módulos fotovoltaicos
	61701: 2011	Estabelece o procedimento de ensaio da resistência de módulos a corrosão	Módulos fotovoltaicos
	62108: 2007	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos fotovoltaicos com concentração
ABNT	NBR11876:2010	Estabelece requisitos e critérios de aceitação de módulos fotovoltaicos	Módulos fotovoltaicos

---

INM ETR O	Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011	Especifica os procedimentos de ensaio para etiquetagem de módulos.	Módulos fotovoltaicos
-----------------	---	---	-----------------------

---

Fonte: Autor