

# COMO OTIMIZAR A PRODUÇÃO E A EFICIÊNCIA DE USINAS FOTOVOLTAICAS COM O USO DE RASTREADORES SOLARES

**Luiz Carlos A Lima** – l.carlos@exosun.net

Director Exosun Brasil Ltda

**Laurent Sarrade** – l.sarrade@exosun.net

Global Product Manager, Exosun, Graduate of the ‘Arts et Métiers’ Engineering School, Masters in Renewable Energy

**Resumo.** Maximizar o retorno de investimento é o objetivo primário dos investidores e construtores de usinas fotovoltaicas de grande porte. Atingi-lo exige uma combinação de um criterioso planejamento, uma modelagem eficiente e a melhor escolha possível de equipamentos. Com a implementação de rastreadores solares – estruturas motorizadas que orientam os painéis fotovoltaicos na direção do Sol, com o objetivo de coletar maior radiação solar direta, durante o dia – a geração da usina solar pode ser aumentada em até 30% em locais com alta radiação, como em algumas áreas do Brasil.

Através do Estudo de Caso conduzido pela especialista em rastreadores, a Exosun, no Estado de Pernambuco, esse artigo expõe as melhores práticas e os benefícios dos rastreadores solares, quando comparados aos painéis de inclinação fixa.

Depois de demonstrar que os rastreadores podem aumentar, consideravelmente, a produção e a receita de uma usina fotovoltaica, o artigo aborda as melhores formas de configuração de uma planta equipada com o sistema, para diminuir as despesas e ainda potencializar a geração considerando parâmetros como o GCR (Ground Coverage Ratio - Razão de Cobertura do Solo) e a orientação dos rastreadores.

**Palavras-chave:** Energia solar, Rastreadores solares, Eficiência usina fotovoltaica

## 1. INTRODUÇÃO

Maximizar o retorno de investimento é o objetivo primário dos investidores e construtores de usinas fotovoltaicas de grande porte (UFVs). Atingi-lo exige uma combinação de um criterioso planejamento, uma modelagem eficiente e a melhor escolha possível de equipamentos. Mesmo sendo uma questão bastante difundida, as discussões relacionadas à otimização dos componentes auxiliares (BoS - balance of system) para estas plantas estão, tipicamente, centradas nos inversores, nos sistemas de apoio e em algumas soluções para sistemas de ângulo fixo. Apesar disso, uma das maiores contribuintes para a potencial melhora da taxa interna de retorno do investimento (TIR), normalmente negligenciada, é a tecnologia de rastreamento solar. Através do Estudo de Caso conduzido pelos especialistas em rastreadores solares (trackers), da empresa Exosun ([www.exosun.net](http://www.exosun.net)), em Pernambuco, esse artigo expõe os benefícios dos rastreadores solares, quando comparados aos painéis fixos e mostra também como otimizar as usinas fotovoltaicas a partir da instalação desses sistemas.

## 2. RASTREADORES SOLARES

Os rastreadores solares expostos na Fig. 1 são estruturas motorizadas que orientam os painéis fotovoltaicos em direção ao Sol, do Leste para o Oeste, com o intuito de coletar uma maior quantidade de radiação solar direta durante o dia e, conseqüentemente, otimizar a geração da UFV. Os rastreadores conseguem manter o ângulo teórico ideal entre a radiação direta nos painéis por um tempo muito maior do que nos sistemas com estrutura fixa, mesmo movimentando apenas durante 30 minutos por dia.

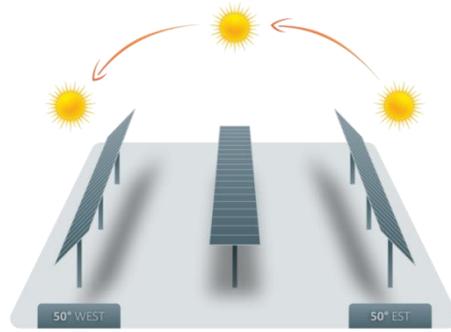


Figura 1 - Funcionamento de um rastreador solar.

### 3. COMPARAÇÃO DA PERFORMANCE ENTRE O RASTREADOR Exotrack® HZ E INSTALAÇÕES COM ÂNGULO FIXO

O Estudo de Caso abaixo compara as performances energética e financeira de duas tecnologias utilizadas numa planta fotovoltaica de 300 kWp, localizada no Estado de Pernambuco, no Brasil (coordenadas: 8°57'43.88"S 36°36'36"W): rastreador em um eixo Exotrack® HZ e uma instalação de ângulo fixo (<http://www.exosun.net/downloads?download=9:technical-datasheet-exotrack-hz>).

#### 3.1. Características do Sistema

As Tab. 1, Tab. 2, Tab. 3 e Tab. 4 descrevem as principais características da usina, as duas soluções tecnológicas e a estimativa das perdas utilizadas nos cálculos. As mesmas perdas hipotéticas e o mesmo layout foram utilizados nos dois sistemas.

Tabela 1 - Dados da Planta Fotovoltaica.

Local	Capacidade [kWp]	Tipo do Módulo	Num. de módulos	FDI (Fator de Dimensionamento do Inversor)
Pernambuco	300	72 células 300 Wp	1.000	0,9

Tabela 2 - Dados da instalação com ângulo fixo.

Azimute	GCR [%]	Ângulo [°]	Mod. / Strings	Num. Strings
0°	30	10	20	50

Tabela 3 - Dados da instalação com rastreador horizontal Exotrack® HZ.

Azimute	GCR [%]	Mod. / Strings	Num. Tables (Strings)
0°	30	20	50

Tabela 4 - Perdas estimadas.

Acúmulo de Sujeira	3%
Descasamento (mismatch)	2%
Não-idealidade do inversor MPPT	1%
Indisponibilidade	1%
Cabeamento c.c. e c.a.	1% e 0,5%
Equipamentos auxiliares	0,5%
Motorização	0,2%
Transformador	1%

### 3.2 Considerações da Modelagem

A Exosun desenvolveu uma ferramenta de modelagem com base em cálculos precisos utilizando passo de 15 minutos. Os componentes da ferramenta foram modelados com base em modelos padrões que são descritos na literatura existente, incluindo o modelo 1-diodo proposto por De Soto (2004). O modelo Perez (1987) foi usado para calcular a irradiação sobre superfície inclinada. Para a tecnologia de inclinação fixa, foi levado em consideração o sombreamento direto como descrito por Appelbaum et al. (1979) e Deline et al. (2009, 2013). Além disso, este modelo foi comparado com o PVSyst software comum e sua metodologia de cálculo descrito por Mermoud (2010), e permitiu alcançar uma excelente precisão.

Para o local escolhido, dados meteorológicos foram calculados a partir da interpolação com o software Meteonorm 7. Esses dados foram os únicos dados de entrada necessários para utilização do software de simulação, que se baseia em cálculos precisos com passo de 15 minutos. Além desses, nenhuma estimativa distante foi considerada na simulação.

### 3.3 Análise: Comparação do Output

A Fig. 2 mostra a produtividade (yield – Y) anual para as duas tecnologias durante o primeiro ano. Nas duas configurações, o mesmo GCR (Razão de Cobertura do Solo) e número de inversores conectados à rede foram considerados. O GCR é a razão entre a área dos módulos e a área do solo que eles ocupam, definindo a distância Leste-Oeste entre as fileiras de módulos.

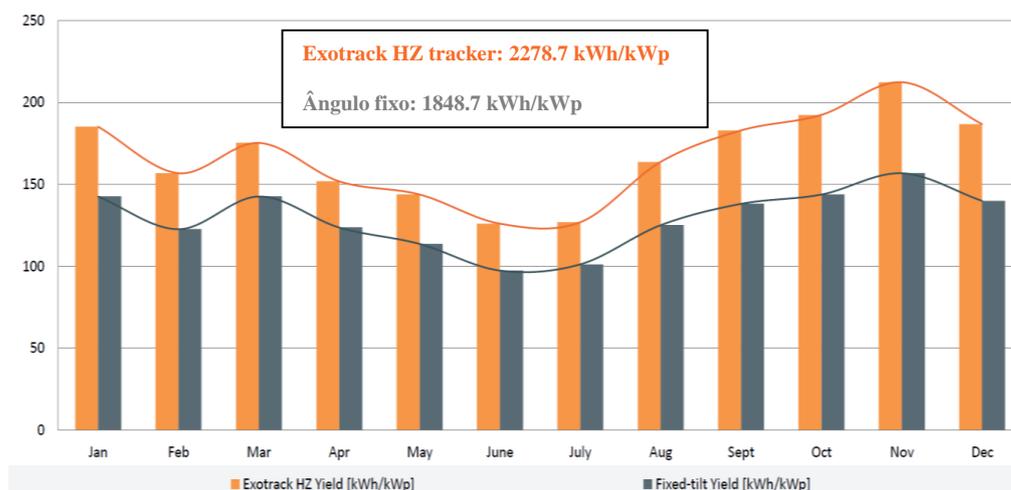


Figura 2 - Comparação do rendimento anual entre uma instalação com ângulo fixo (em cinza) e com o rastreador solar Exotrack<sup>®</sup> HZ (em laranja).

O rastreador Exotrack<sup>®</sup> HZ é capaz de produzir até 29.5% de energia a mais, por ano. A produção da planta é otimizada a cada mês, tendo um pico no mês de novembro (35.5% de aumento devido à tecnologia de rastreamento).

Outra vantagem do sistema de rastreamento é o aumento do período de geração e a manutenção de uma curva de geração mais constante ao longo do dia, conforme mostrado na Fig. 3, que corresponde a um dia de céu claro, sem nuvens. A geração se mantém constante no seu valor máximo durante 80% do dia, ao contrário da clássica curva Gaussiana de um sistema com ângulo fixo, que possui um pico ao meio dia. O Exotrack<sup>®</sup> HZ também permite capturar mais radiação solar quando o Sol está mais baixo no céu, permitindo a produção de energia elétrica mais cedo na manhã e por um maior período, durante a tarde. É o que resulta, por exemplo, em 34.5% a mais de produção de energia em 25 de dezembro (Fig. 3).

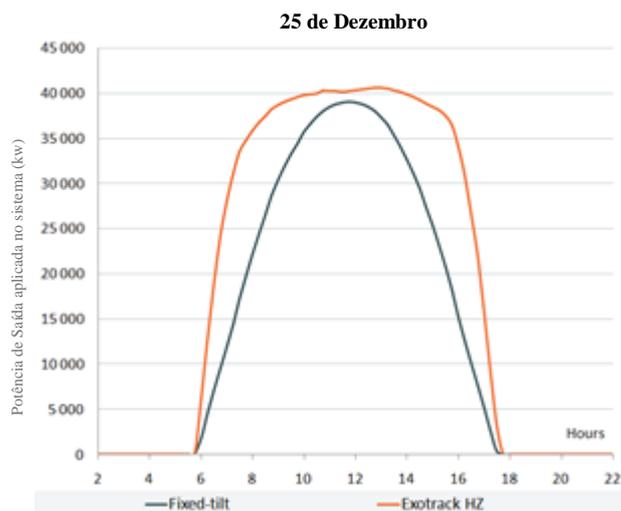


Figura 3 - Comparação da potência injetada ao longo de um dia entre as duas diferentes instalações. Em cinza, painel fixo e em laranja, o tracker Exotrack® HZ, em 25 de dezembro.

### 3.4 Qual é o impacto na receita do projeto?

A Eq. (1), mostra o cálculo dos ganhos na receita durante 20 anos devido ao uso do Exotrack® HZ:

$$R = PPA \times (E_{tracker} - E_{\text{ângulo-fixo}}) \quad (1)$$

Sendo R o ganhos na receita (US\$/ano), Exotracker a produção de energia com tracker (MWh/ano) e  $E_{\text{ângulo-fixo}}$  a produção de energia com ângulo fixo (MWh/ano). Quando levado em consideração o Power Purchase Agreement (PPA) de US\$ 0,08 por kWh, o aumento na receita, devido ao ganho na produção de energia com os trackers solares, pode chegar a US\$ 10.936,00 no ano e US\$218.720,00 em 20 anos, em comparação com sistemas fixos.

## 4. OTIMIZAÇÃO DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS EQUIPADAS COM OS TRACKERS

Depois de demonstrar que os rastreadores solares podem aumentar consideravelmente a geração e a receita de UFVs, focaremos agora em como configurar da melhor forma possível uma planta equipada com os trackers com o intuito de reduzir as despesas com o investimento inicial na UFV (CAPEX) e, potencializar ainda mais a geração.

### 4.1. Estudo de Caso: Considerando o GCR e a orientação dos rastreadores

Cada planta solar é dimensionada e equipada de acordo com as restrições do terreno (limites laterais irregulares, inclinações, falta de terraplenagem). Com o objetivo de garantir uma implementação eficiente do conjunto de painéis, a orientação dos trackers e o GCR devem ser considerados.

O GCR é a relação entre a área coberta e a não coberta pelos painéis PV. Quanto maior for o percentual GCR, mais próximos estão os painéis, o que aumenta o risco de sombreamento. Ao contrário das estruturas de ângulo fixo, os trackers podem se posicionar para evitar a sombra em painéis vizinhos. A orientação Norte-Sul também deve ser levada em consideração.

Voltando então para o local de estudo em Pernambuco (Irradiância Solar Global no plano horizontal: 2026.1 kWh/m<sup>2</sup>.ano) podemos demonstrar a influência do GCR e os parâmetros de orientação relacionados ao desempenho dessa planta equipada com rastreadores (Fig. 4).

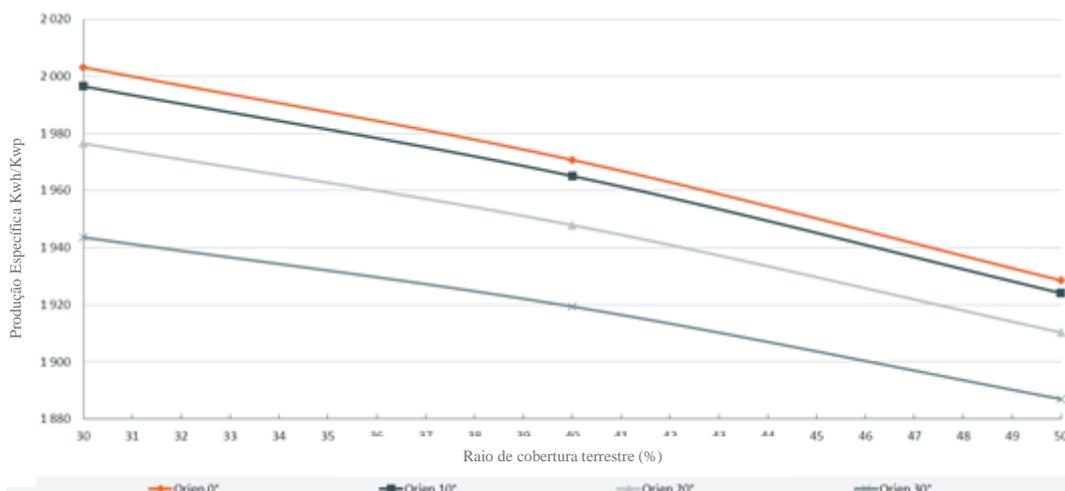


Figura 4 - Influência do GCR e da orientação do tracker no output da planta

Podemos observar que a produtividade decresce linearmente, enquanto o GCR aumenta, independente da orientação. Entre 30% e 50% GCR, a diferença na produtividade alcança 73,1 kWh/kWp, o que representa uma queda de 3,8%. Quanto mais baixo for o GCR, maior será o output e quando mais alto o GCR, maior a capacidade.

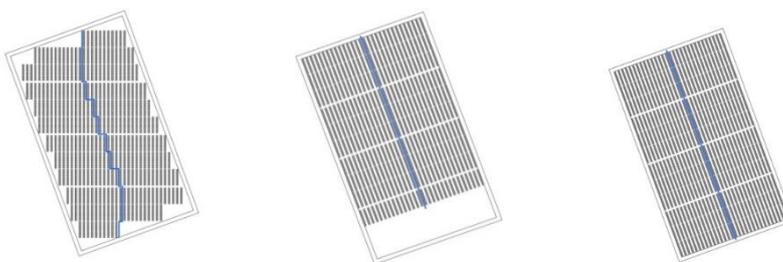
Os parâmetros de orientação têm menos influência na produção específica: entre 0° e 10°, a diferença no output fica em torno de -0,33% e entre 0° e 30° a diferença chega a -2,5%.

Consequentemente, podemos concluir que o GCR influencia mais do que a orientação dos rastreadores na produtividade da planta. Uma leve rotação a partir da direção Sul pode ser aplicada aos painéis para diminuir o GCR, aumentando a área de cobertura e otimizando a instalação.

#### 4.2. Estudo de caso: como a orientação dos rastreadores pode afetar o CAPEX e o output?

Os melhores layouts de usinas solares são resultado do equilíbrio perfeito entre os custos de investimento, configuração da planta e rendimento energético.

Tabela 5 - Exemplo de um layout otimizado de 2MWp com rastreador Exotrack HZ® unidirecional



	Orientação 0°	Orientação 20°	Orientação 20°
<b>Potência</b>	2 MWp	2 MWp	2.3 MWp (+ 16%)
<b>Motores</b>	12	10 (- 16%)	12
<b>Canaletas de fiação c.c.</b>	Infraestrutura complexa	100m mais curta (-31%)	60 m mais curta (-19%)
<b>Perda específica de produção</b>	N/A	< 1%	< 1%

A Tab. 5 indica a opção de implementação de três diferentes layouts para os trackers numa planta de 2 MWp. A primeira configuração está baseada em eixos com posicionamento Norte-Sul. A segunda e a terceira possuem orientação dos eixos na direção Noroeste-Sudeste com 20° de desvio em relação à direção Norte-Sul e muito pouca perda de produção. As opções 1 e 2 tem potência instalada de 2MWp enquanto a opção 3 permite instalar 2,3 MWp, com diferenças consideráveis na construção e nos custos gerais. Ao comparar as opções 1 e 2, podemos perceber que com uma configuração de 20°, as construções

na canaleta c.c são muito mais fáceis, já que todos os motores dos trackers estão localizados na mesma linha virtual. O total na canaleta c.c. é 100 metros mais curto e apenas 10 motores são necessários, contra 12, na opção 1. A opção 3 mostra que mesmo fornecendo uma maior capacidade, o número de motores permanece o mesmo que o da opção 1 e permite economizar 40 m de comprimento da fiação c.c, em comparação com a 2, na qual 100 metros podem ser economizados.

## 5. CONCLUSÃO

O estudo de caso baseado em um projeto de Usina Fotovoltaica alocado no Estado de Pernambuco demonstrou com clareza os benefícios dos rastreadores solares quando comparados com instalações de ângulo fixo, em termos de geração (mais de 29,5%, anualmente) e de receitas (mais de US\$ 218.720,00 durante 20 anos). Além disso, na segunda parte do artigo foi demonstrado que o CAPEX de uma usina equipada com rastreadores pode ser reduzido e a geração ainda mais otimizada se forem aplicadas as condições ideais de instalação dos rastreadores (GCR e considerações sobre as orientações dos rastreadores).

## REFERÊNCIAS

- Appelbaum, J., Bany, J., 1979, Shadow effect of adjacent solar collectors in large scale systems, Solar Energy, Vol 23, pp. 497-507.
- Deline, C., 2009, Partially shaded operation of a grid-tied PV system, 34<sup>th</sup> IEEE Conference.
- Deline, C., et al, 2013, A simplified model of uniform shading in large photovoltaic arrays, Solar Energy vol 96, pp. 274-282.
- De Soto, W., 2004, MSc Thesis, Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance, University of Wisconsin-Madison.
- Mermoud, A., Lejeune, T., 2010, Performance assessment of a simulation model for PV modules of any available technology, 25<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference.
- Meteonorm 7, [www.meteotest.com](http://www.meteotest.com)
- Perez, R., et al, 1987, A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. PVSyst 6, [www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com)

## HOW TO INCREASE PV PLANT OUTPUT AND EFFICIENCY WITH SOLAR TRACKERS

**Abstract.** Maximizing return on investment is the primary goal for ground-mounted solar plant developers, owners and IPPs. Achieving these objectives requires a combination of intelligent energy yield optimization, smart plant configuration and perfected industrial design. Implementing solar trackers - motorized structures that orient photovoltaic panels toward the sun in order to collect more direct sunlight throughout the day -, solar plant output can be increased up to 30% in high solar radiation areas, such as some areas in Brazil.

Through a case study on a PV plant project in the state of Pernambuco and best practices carried out by solar tracker expert Exosun, the article demonstrates the benefits of solar trackers in comparison with fixed-tilt installations.

After proving that solar trackers considerably increase the output and revenue of a PV plant, the article then outlines how to configure a tracker-equipped plant in the best possible way in order to reduce capital expenditure and further boost output, by considering the GCR (Ground Coverage Ratio) and tracker orientation.

**Key words:** Solar energy, Solar tracker, Solar plant efficiency