

## Energia solar e seu aproveitamento como fonte de eletricidade na Amazônia

### Solar energy and its use as a source of electricity in Amazon

DOI:10.34115/basrv5n4-008

Recebimento dos originais: 06/06/2021

Aceitação para publicação: 15/07/2021

**Carlos Simões Pereira**

Doutor em Engenharia Elétrica

Aposentado

End: Rua Viracopos, 12, Bairro de Val-de-Cães, Belém-PA

e-mail: symoes@gmail.com

Arthur da Costa Almeida

Formação Acadêmica: Doutor em Engenharia Elétrica

Instituição: UFPA/Campus de Castanhal

End Institucional: Rua Augusto Corrêa, 1. Bairro do Guamá, Belém-PA

e-mail: arthur@ufpa.br

#### RESUMO

O aproveitamento da energia irradiada pelo sol e interceptada pela Terra pode ser efetivado pelo uso de células solares que funcionam com base no Efeito Fotoelétrico. Podemos estimar essa energia com auxílio das formulas de Stefan-Boltzmann, que estima um valor de energia recebida no topo da atmosfera terrestre de  $1.350 \text{ W/m}^2$ , valor chamado de constante solar. Esse valor é normalizado pelo padrão industrial denominado *STC-Standard Test Conditions*, considerando uma incidência de  $1.000 \text{ W/m}^2$ , ao nível do mar, abatendo-se as perdas na atmosfera, com o objetivo de uso em projetos solares e aplicado a células solares de Silício. O Efeito Fotoelétrico é descrito e as tecnologias de células solares são apresentadas com auxílio de um gráfico. Foram coletados os valores de insolação média anual do Global Solar Atlas, incidentes sobre as capitais brasileiras e em algumas capitais europeias e americanas para fins de comparação. Como complementação foi feito um acesso à estação meteorológica de Belém do Inmet, o Instituto de Meteorologia do Brasil, para adquirir os valores de insolação registrados. Embora apenas implícito no texto da constituição brasileira a declaração de 'uso livre em pequenas capacidades, de energia renovável' (energia solar) o seu escopo é real, e por isso, fazemos uma consideração à tentativa atual de se taxar o uso do sol, em sistemas *on grid*, na modalidade 'micro geração distribuída', nas capitais brasileiras, como inconstitucional e bi tributária.

**Palavras-chave:** Constante Solar, insolação, Efeito Fotoelétrico, tecnologia Fotovoltaica, STC.

#### ABSTRACT

The catchment of energy irradiated by the sun and intercepted by the earth can be effected by the use of solar cells that work based on the Photoelectric Effect, and this energy is

evaluated with the help of the Stefan-Boltzmann formulas, which estimates an energy value received at the top of the Earth atmosphere of 1,350 Watts per square meter. This value is normalized by the industry standard called STC-Standard Test Conditions, normalizing a value of  $1,000 \text{ W} / \text{m}^2$ , for the purpose of use in solar projects and applied to Silicon solar cells. The Photoelectric Effect is described and the solar cell technologies are presented with the aid of a graph. Global Solar Atlas average annual sunshine values were collected, showing the sunshine values incident on Brazilian capitals and in some European and American capitals for comparison purposes. As a complement, an access to the meteorological station of Belém, of the Inmet, the Meteorology Institute of Brazil, was made, to acquire the insolation values registered. Although only implicit in the text of the Brazilian constitution is the declaration of free use in small capacities, of renewable energy (solar energy) its scope is real, and for that reason, we make a consideration to the current attempt to tax the use of the sun, in systems on-grid, in the 'distributed micro generation' modality, in the Brazilian capitals as unconstitutional and bi-tax.

**Keyword:** Solar Constant, heat stroke, Photoelectric Effect, Photovoltaic technology, STC.

## 1 INTRODUÇÃO

O Sol emite um fluxo de energia eletromagnética em vários comprimentos de onda – é o epítome da energia renovável e limpa, por assim dizer – que varia continuamente de acordo com o ciclo de vida do tipo de estrela do sol e porque, situado em um dos braços espirais da galáxia Via Láctea, que no seu lento giro passa periodicamente por regiões com alta densidade de estrelas e presença de gases aquecidos e turbulentos que impõem drásticas reduções de emissão de energia pelo sol. Essa energia alimenta e influencia todo o processo de vida e clima da Terra.

O esloveno Josef Stefan e o austríaco Ludwig Boltzmann, nos idos de 1879 estabeleceram o valor dessa energia, estudando a emissão de calor por um corpo aquecido – o primeiro experimentalmente e o segundo na teoria –, pelo cálculo, através da fórmula:

$$Q/\Delta t = \sigma AT^4$$

onde A é a área da superfície do corpo, T é temperatura em graus Kelvin e  $\sigma$  é uma constante que ficou conhecida com constante de Stefan-Boltzmann =  $5,6703 \times 10^{-8} \text{ w}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$  e  $Q/\Delta t$  é o potencia, ou a taxa com que o calor é transportado

Aplicando-se essa fórmula ao sol, essa energia irradiada é estimada em:

$$Q/\Delta t = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

com  $T=5770 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $R = \text{raio do sol} = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$ , obtendo-se o valor de  $3,83 \times 10^{26} \text{ Watt}$

No entanto, devido ao espalhamento em todas as direções, essa energia diminui de intensidade com o quadrado da distancia percorrida, constituindo-se no que se denomina' perdas no espaço livre, à medida que se desloca na direção da Terra e podemos calcular a sua intensidade no topo da atmosfera terrestre dada por I, a potencia por unidade de área (Jordan et al., 1964) com a fórmula:

$$I = 1/4\pi r^2(Q/\Delta t) \text{ onde } r \text{ é a distancia do topo da atmosfera da terra ao sol}$$

Obtendo-se o valor 1.350 W/m<sup>2</sup> cognominado de constante solar, apesar de não ser constante, pois esse valor é um valor médio, em função da variação da distancia terra-sol ao longo do deslocamento da terra em sua orbita.

### **O Padrão STC**

Para efeito de cálculos de potência e energia produzidos por um painel solar é usado os parâmetros do padrão STC-Standard Test Conditions (Florida Solar Energy Center, 2010) aplicável às tecnologias que usam Silício amorfo e cristalino na forma de pastilhas e thin-film, que define – para uma latitude em torno de 38° W – os parâmetros: AM = 1,5 (massa de ar = 1/cos z, o angulo zenital do sol) representando o caminho da energia solar através da atmosfera, incidindo em um painel com angulo de inclinação 37°, vapor d'água 14,2 mm, ozônio 3,4 mm e turbidez 0,27, que causa uma perda desde o valor da constante solar até a superfície da terra.

Irradiância = 1.000 w/m<sup>2</sup> ao nível do mar considerando-se as perdas na atmosfera terrestre.

Temperatura de 25°C, a temperatura da célula solar em operação.

Com o valor da irradiância afetando diretamente a corrente fornecida pelo painel, enquanto a temperatura afeta inversamente o valor da tensão.

As condições STC são as encontradas na Europa e Estados Unidos; no equador com AM = 1, o valor da irradiância aumentaria para o valor da constante solar – 1.350 w/m<sup>2</sup> – que se abatendo as perdas através da atmosfera (Trenberth, et al., 2009), é aceito um valor de 1.250 w/m<sup>2</sup>.

Isso significa que se você vai usar o painel em outro lugar da Terra, que não o lugar onde foi definido o STC, tem que ter em mente que com um menor valor de massa de ar (AM), aumenta o valor da energia recebida, e em consequência, a corrente do painel; enquanto que se a temperatura de operação da célula solar for maior que 25 °C diminui a

tensão. E como a potencia é o produto da corrente pela tensão, na faixa do equador com  $AM=1$ , essas variações no mínimo acabam se autocompensando.

### **O Efeito Fotoelétrico**

A transformação do fluxo de energia solar para corrente continua ocorre em uma determinada substancia, pela absorção de um fóton de luz por um elétron na banda de valência do material, que com a energia recebida pula para a banda de condução, ficando disponível para gerar uma corrente elétrica. É o Efeito Fotoelétrico (Einstein, 1905), descoberto por Heinrich Hertz em 1886, e explicado por Albert Einstein em 1905, o que lhe valeu o premio Nobel de Física em 1921. Einstein usou a teoria de Max Planck sobre quantização da energia para explicar o Efeito Fotoelétrico, cujo mecanismo é ilustrado com auxilio de um desenho esquemático que está representado na Figura 1.

O Efeito Fotoelétrico ocorre quando um fóton de luz com energia pelo menos igual à energia de bandgap – quantidade de energia necessária pra um elétron passar da banda de valência para a banda de condução – da substancia química atingida pelo fóton incidente, que transferindo ao elétron sua energia excitando-o, pula para a banda de condução, ficando disponível para formar uma corrente elétrica, se o circuito externo a célula solar for fechado.

Lembrando que eletricamente, de acordo com o valor decrescente do bandgap, os materiais são classificados em isolantes, semicondutores e condutores.

Se a energia do fóton for menor que a energia do bandgap do material, nada acontece. Se a energia do fóton for maior que a do bandgap há ainda transferência de energia para o elétron, mas o excesso pode causar aquecimento, propiciando recombinações e dependendo da quantidade desse excesso, pode haver praticamente a anulação do Efeito Fotoelétrico.

Fig.1-Esquemático ilustrando o Efeito Fotoelétrico.



Com o objetivo de adaptar as características elétricas das substâncias e melhorar a absorção de energia solar, às vezes é usado o processo de dopagem no material básico, sendo a dopagem, a introdução de elementos químicos de valência diferente para estimular a disponibilidade de portadores de carga tanto positivo como negativo. Na figura abaixo com a Tabela 1, está mostrado os valores de energia em eletro volt dos componentes espectrais da luz solar e os valores de bandgap dos materiais mais usados. Esses dados devem ser vistos como a título de ilustração, pois muitos detalhes dessas tecnologias são mantidos como segredo industrial.

Tab.1- Energia por comprimento de onda do espectro solar e do bandgap para os materiais mais usados em tecnologias de células solares.

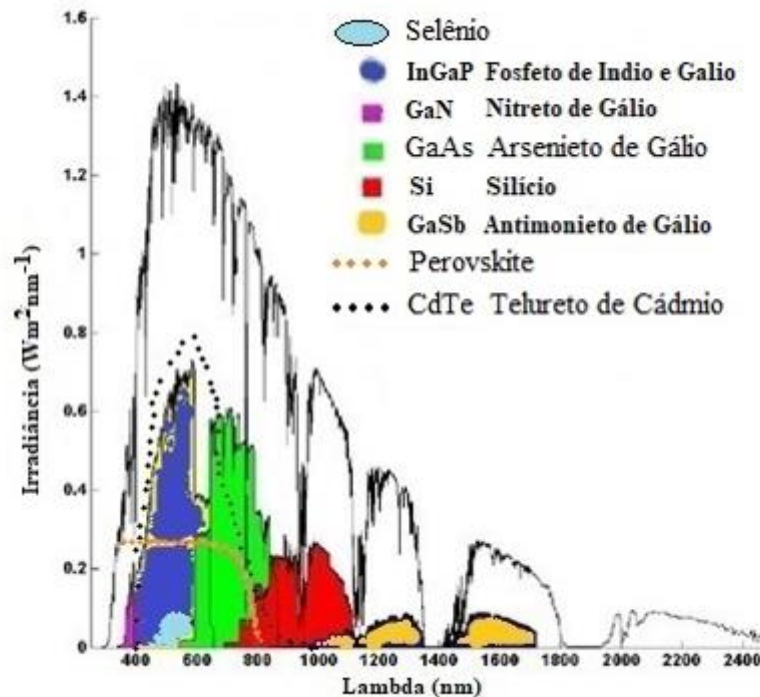
Cor	$\lambda$	eV	Material	Bandgap eV
			Antimoniato de Gálio	0,76
Infravermelho	>1000	<1,24	Silício	1,14
Vermelho	625-780	1,65-2	Arseniato de Gálio	1,43
Laranja	590-625	2 -2,1	Selenio	1,73
Amarelo	565-590	2,1-2,17	Fosfato de Gálio	2,26
Verde	485-565	2,25-2,34	Nitreto de Gálio	3,4
Azul	470	2,64	Fosfato de Índio e Gálio	3,9
Violeta	420	2,95	Germânio	0,67
Ultravioleta	200-300	4,15->6,2	Diamante	5,5

## O aproveitamento do Efeito Fotoelétrico

Os esforços na pesquisa de materiais fotossensíveis são enormes e para se ter uma pequena ideia dessas tecnologias, montamos um gráfico em que os valores de energia em eletro volt (eV), dos componentes da radiação solar e dos valores de *bandgap* dos principais materiais usados na conversão para energia elétrica à partir da irradiação direta do sol, é mostrado Figura 2, em que sobrepostos ao gráfico do espectro da radiação solar (na cor preta), estão em cores, as faixas de utilização dos diversos materiais em função

do *bandgap* e da localização no espectro de irradiância solar, mostrando, grosso modo, que faixa do espectro de radiação solar é absorvida pelo elemento utilizado na célula do painel solar utilizado.

Fig.2 - Espectro de absorção da terra com o espectro de absorção de materiais usados em algumas tecnologias.



Desse gráfico, da Figura 2, pode-se inferir que o Silício não absorve toda a energia solar disponível, mas só a faixa de comprimento de onda que vai de 700 a 1160 nm e o Perovskite, outro material atualmente com grande esforço de pesquisa, absorve as frequências de comprimento de onda de 300 a 800 nm – a banda com maiores níveis de energia – já entrando no ultravioleta.

O Gálio é o elemento principal de alguns compostos também usados na confecção de células solares, sendo, no entanto, escasso na natureza e caro.

Observe-se que o selênio que foi o primeiro elemento a ser utilizado na confecção de células solares, absorve na faixa do azul, com 580 nm de comprimento de onda. O Selênio foi abandonado pela sua relativa baixa ocorrência na natureza e pelo fato de que na época começava a utilização principalmente do Silício na confecção de transistores e circuitos integrados.

Outra observação que se pode fazer é que podemos combinar, por exemplo, dois ou três tipos de material e formar uma célula em tandem, com alta eficiência, pela

absorção da energia solar em quase todos seus componentes espectrais, sendo atualmente só usada em aplicações críticas por causa dos custos muito altos.

Mas a busca de elementos propícios à utilização em células solares não para, com pesquisas focadas em nanotecnologias com *Quantum Dots* ou pontos quânticos, células de elementos orgânicos e muito mais.

Mas havia uma pedra no meio do caminho do Silício, pois a mobilidade dos elétrons na rede cristalina do Silício é muito pequena o que permitia uma intensa recombinação de elétrons e buracos antes de conseguirem chegar ao circuito externo, motivando uma péssima eficiência de conversão.

A solução foi colocar artificialmente no meio da pastilha de Silício uma voltagem, que os impulsionaria rapidamente par os terminais da célula, aumentando substancialmente a eficiência.

Então a pastilha de Silício foi dividida em duas, uma na qual se adicionava quantidades diminutas de Boro que criava um déficit de elétrons ou uma carga positiva ou ainda um buraco, e na outra se adicionava o fósforo, que tem um elétron a mais que o Silício, disponibilizando uma carga negativa.

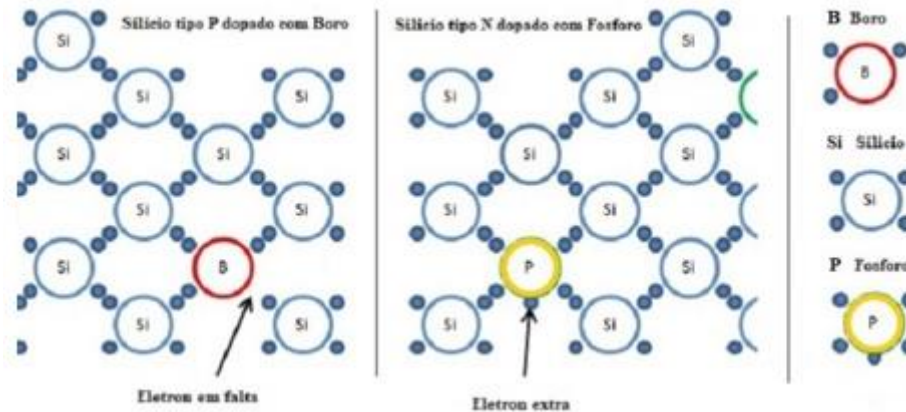
Eram uma banda do tipo P e outra do tipo N, que quando unidas formavam a tal voltagem, que melhorava a eficiência. Essa tecnologia ficou conhecida, por esse fato, como tecnologia fotovoltaica.

Uma desvantagem dessa técnica é que a voltagem introduzida passa a ser a voltagem da célula, neste caso um valor em torno de 0,68 Volts, enquanto em outras substancias, sem dopagem, a voltagem da célula chega a ser maior que 1 Volt, diminuindo o numero de células usadas em um painel.

A tecnologia fotovoltaica, que melhorava a eficiência do Efeito Fotoelétrico do Silício é citada atualmente como se fosse um efeito natural do Silício, substituindo o nome correto de Efeito Fotoelétrico por efeito fotovoltaico, o que atribuímos a uma possível guerra de patentes.

Na Figura 3, seguinte, pode-se ver um mecanismo de dopagem para a produção de Silício P e Silício N, que viabilizou as células de Silício, sendo atualmente o material preponderante na construção dos painéis solares.

Fig.3 - Um esquema de dopagem do Silício.



Esse processo de dopagem do Silício em tipos P e N são sua glória e perdição, pois aumenta a eficiência e a extrema durabilidade das células de Silício, mas é um processo caríssimo que só o uso maciço dessas células justificara o seu uso no futuro.

Atualmente o dispositivo mais pesquisado para "substituir" o Silício é o Perovskite, o  $\text{CaTiO}_3$  Titanato de Cálcio, que foi descoberto por um cientista russo, nas montanhas Urais, e que tem uma estrutura cristalina que permite rápido tráfego dos elétrons na estrutura do cristal, não necessitando da introdução da voltagem por dopagem, e de seus altos custos, e que apresenta um valor em torno de 1 Volt para a voltagem da célula.

Um composto que possui a estrutura cristalina Perovskite é o Triiodeto de Amônia e Chumbo, abundante, barato e fácil de produzir, pois diziam que no seu próprio fogão você pode misturar os componentes e derramá-los no interstício de duas placas de vidro, munidas de condutores, e está pronta a sua célula de Perovskite ou PSC - *Perovskite solar Cell*, a nova tecnologia para a fabricação de células solares.

Com a grande esperança no uso de células solares com Perovskite, chegou a ser produzido kits de demonstração para experiências colegiais para a produção dessas células, demonstrando sua facilidade de construção.

Mas há uma pedra ainda maior no meio do caminho das células PSC, pois em uso acabam se contaminando, reduzindo drasticamente a eficiência e a durabilidade das células e teve que voltar pras pranchetas de pesquisa, deixando o Silício na posição cômoda que se encontra atualmente.



## Metodologia de aproveitamento Elétrico do Sol

O processo básico de definição de uma instalação de geração através de células solares começa na estimativa da insolação anual média na região onde serão instaladas as placas. Essa insolação média é medida através de instrumentos chamados piranômetros (Hukseflux, 2015), que são comumente instalados em dispositivos chamados 'estação meteorológica de superfície', que mede continuamente essa grandeza.

Algumas organizações, como o Banco Mundial que suporta um site da Internet, denominado Global Solar Atlas (<https://globalsolaratlas.info>), onde os valores de insolação média diária, em base anual, em  $\text{kwh/m}^2$  é disponibilizado aos projetistas e pesquisadores da matéria. Na elaboração desse atlas são utilizadas medições de estações meteorológicas e imagens de satélite.

Utilizando-se esse atlas montamos uma tabela mostrando os valores para as capitais brasileiras, e colocamos também como comparação os valores de algumas cidades europeias e americanas, com expressivo uso de painéis solares nessas cidades.

Como a base de cálculo é  $1.000 \text{ W/m}^2$  no STC, ocorre que esse valor também representa o numero de horas de sol pleno, por dia ocorrendo na localização indicada, que é o parâmetro básico, para a determinação da potencia em watts do painel solar a ser usado, para uma determinada quantidade de energia em kwh a ser gerado por mês.

Tab.2 - Insolação nas capitais brasileiras segundo o Global Solar Atlas, ressaltando-se Aracaju com maior insolação e Florianópolis com valor menor de insolação.

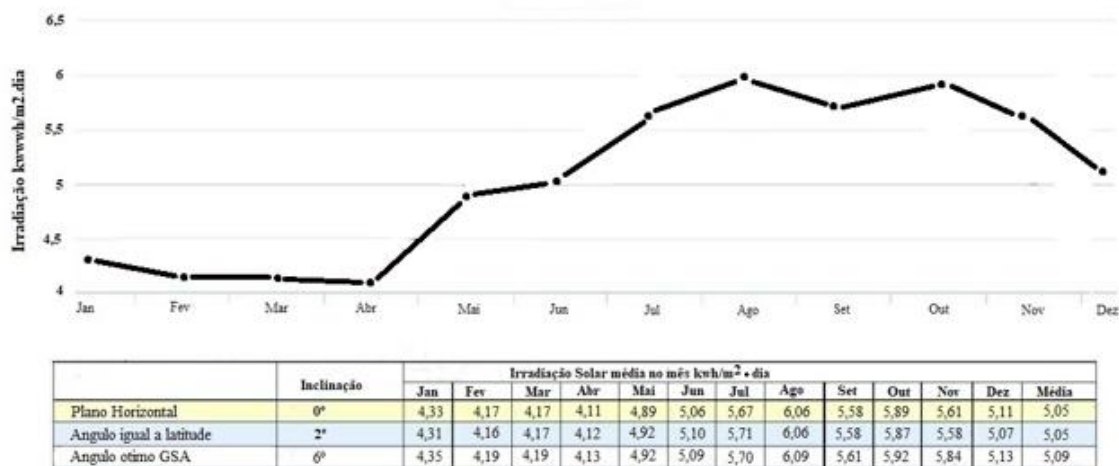
Valores de insolação media diária com base anual, para as capitais brasileiras segundo o Global Solar Atlas			
<b>GTI (Global tilted irradiation at optimum angle) <math>\text{kwh/m}^2.\text{dia}</math></b>			
Macapá	5,532	São Paulo	4,973
Belem	5,553	<b>Florianopolis</b>	<b>4,707</b>
São Luis	5,488	Porto Alegre	5,041
Teresina	6,022	Curitiba	4,762
Fortaleza	6,048	Belo Horizonte	5,634
Natal	6,035	Brasilia	5,791
João Pessoa	5,897	Goiania	5,872
Recife	5,801	Cuiaba	5,605
Maceio	5,811	Palmas	5,697
<b>Aracaju</b>	<b>6,069</b>	Porto Velho	5,173
Salvador	5,607	Rio Branco	5,162
Vitoria	5,188	Manaus	5,219
Rio de Janeiro	5,166	Boa Vista	5,518
Lisboa	5,353	Miami	5,684
Madrid	5,621	Washington	4,898
Paris	3,679	Berlin	3,457
Londres	3,296	Roma	5,101

Como se observa analisando-se a Tabela 2 a média nas capitais do mundo e do Brasil está em 5,00 kWh/m<sup>2</sup>.dia, ou 5 horas de sol pleno por dia; conforme fornecido pelo o Global Solar Atlas. Nesse mesmo site podem-se observar valores máximos em áreas desérticas como o deserto de Atacama, que tem índice em torno de 9 horas de sol pleno por dia, um lugar que dizem, só chove de cem em cem anos.

Algumas capitais como Londres e Berlim estão com valores mais baixos, sendo no entanto grandes usuários de energia solar nos telhados dessas cidades, talvez por isso a União Europeia tem como meta a utilização de uma manta transparente para focalização dos raios solares dispersos pela nebulosidade, aplicadas aos painéis solares produzidos e a disponibilização de mantas para adição a painéis já instalados.

Á título de comparação dos valores de insolação fornecidos pelo Global Solar Atlas, está apresentado na Figura 4, seguinte, um acesso à estação meteorológica de Belém do Inmetro, o Instituto de Metrologia brasileiro, mostrando as medias dos dados de insolação do ano anterior até o presente deste trabalho.

Fig.4 - Insolação medida pela estação meteorológica de Belém (Inmetro).



Como se observa o valor médio anual medido na estação meteorológica de Belém – com média 5,05 – mostra que o valor obtido do Global Solar Atlas – com média de 5,553 – está em concordância.

Como o fluxo de energia solar, a irradiância, é uma grandeza vetorial, a orientação e inclinação do painel solar interferem na máxima produção anual de energia. Quando o sol está no equinócio o angulo de inclinação ótimo do painel coincide com a latitude do local de instalação, havendo a disponibilidade de softwares para avaliação do angulo de incidência do sol durante o transcurso de um ano típico e assim estimar o valor do angulo

ótimo de inclinação (Almeida et al., 2016; Mondol et al., 2006, Campos et al, 2013; Krenzinger et al, 2010; Moreira et al. 2019).

### **A Influência Política no Uso de Energia Solar**

Mas no Brasil também ha uma pedra no meio do caminho da utilização de painéis solares, principalmente nas capitais, motivado por informações falsas e a gula por arrecadação da União, que pretende taxar até o sol em sua ânsia por arrecadar mais.

A Constituição Federal Brasileira no titulo VII Da ordem econômica e financeira em seu artigo 176 estabelece que os potenciais de energia hidráulica sejam propriedade da união, mas no paragrafo 4 do mesmo artigo, diz que "não dependera de autorização ou concessão o aproveitamento do potencial de energia renovável de capacidade reduzida".

Embora o aproveitamento solar esteja apenas implícito na Constituição do Brasil, isso significa que você pode instalar um sistema fotovoltaico completamente independente em sua residência, sem precisar pagar nenhum imposto.

No caso de um sistema interligado à rede de uma concessionaria, na modalidade 'micro geração distribuída', portanto um aproveitamento de capacidade reduzida, como citado na Constituição, regido pela Resolução Normativa ANEEL 482, que não pode invalidar o que consta na Constituição Brasileira. Essas Resoluções estabelecem o seguinte:

Se o meu sistema exportar energia para a rede da concessionaria, como normalizada pela ANEEL - Agência brasileira para Eletricidade, ela recebera esses kwh a titulo de empréstimo e os retornara nas contas posteriores.

Observe-se que neste caso o ponto de entrega é o próprio ramal do consumidor, não estando utilizando o sistema de distribuição nem o de transmissão da concessionaria, por isso não pode incidir impostos correspondentes a esses intercâmbios, por ser inconstitucional.

Além do mais essa energia que é exportada para a concessionaria, é assimilada por outro consumidor que paga integralmente o seu consumo, com todos os impostos. Cobrar esses consumidores, além de ser inconstitucional caracteriza também bitributação.

Nos casos em que o consumidor, usar parte da energia gerada para abater na conta de consumo, é passível de a concessionaria adicionar ao valor abatido os impostos de distribuição e ou transmissão, de acordo com a localização do ponto de desconto, se localizado na área da mesma subestação ou área atendida por sistema de transmissão, mas só neste caso.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA et al, 2016: Arthur, Estudo para Posicionamento Ótimo de Painéis Fotovoltaicos nas latitudes Amazônicas, II Congresso Amazônico de Meio Ambiente & Energias Renováveis, Belém, Para.

ANEEL, 2012: Resolução 482, Condições para acesso a micro e mini geração distribuída e ao sistema de compensação de energia elétrica.

BRASIL, 1988: Assembleia Nacional, Constituição da Republica Federativa do Brasil, Brasília.

CAMPOS et al., 2013: Mayara Soares, Programa para Calculo da Variação da Direção de Incidência dos Raios Solares ao longo do Ano, COBENGE 2013, Gramado, Rio Grande do Sul.

EINSTEIN, 1905: Albert, Zur Elektrodynamik bewegter Körper, Annalen der Physik, September 26, 1905.

FLORIDA SOLAR ENERGY CENTER, 2010: STC, FSEC Standard, Test Method for Photovoltaic Module Power Rating, [www.fsec.ucf.edu](http://www.fsec.ucf.edu).

GLOBAL SOLAR ATLAS, <https://globalsolaratlas.info>, acessado em 13/05/2021.

HUKSEFLUX, 2015: Thermal Sensors, Pyranometer app 2.0, [www.hukseflux.com](http://www.hukseflux.com).

JORDAN et al., 1964: Electromagnetic Waves & Radiating Systems, Prentice Hall Inc, Englewood, N.J., USA

KRENZINGER et al., 2010: Arao, Radiosol2-Software para Sintetizar dados de Radiação Solar, IV Conferencia Latino Americana de Energia Solar, Cuzco, Peru.

MONDOL et al., 2006: Jayanta Deb, The impact of array inclination and orientation on the performance of a grid connected photovoltaic system, ELSEVIER, ScienceDirect.com.

MOREIRA et. al. 2019. Estudo comparativo de técnicas de rastreamento solar para geração de energia solar fotovoltaica. Brazilian Applied Science Review, v. 3, n. 3,p. 1551-1563, DOI: 10.34115/basrv3n3-005.

TRENBERTH et al., 2009: Kevin E., Earth's Global Energy Budget, American Meteorological Society.