



## ANÁLISE COMPUTACIONAL DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM E SEM RASTREAMENTO SOLAR CONECTADOS À REDE: ESTUDO DE CASO EM ITUMBIARA-GO

Welberth Henrique Alves Marques<sup>1</sup>, Sergio B. Silva<sup>1</sup>, Olívio C. S Nascimento<sup>1</sup> e Willian M. Leão<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NupSOL - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG/Itumbiara

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi analisar as melhorias que mecanismos de rastreamento solar oferecem aos sistemas fotovoltaicos de micro geração de energia elétrica. Mensurar os ganhos de geração obtidos a partir dos rastreadores é importante para definir se estes sistemas são viáveis a partir do balanço entre custo e benefício. A plataforma escolhida para realizar as análises foi o System Advisor Model (SAM), software gratuito desenvolvido pela NREL. Na avaliação de sistemas com rastreadores solares verificou-se melhorias de até 30,85% na geração de energia elétrica em relação aos sistemas fotovoltaicos convencionais.

**Palavras-Chave** - Energia renovável, Energia Solar, Rastreador solar, SAM, Sistema fotovoltaico.

### COMPUTATIONAL ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH AND WITHOUT SOLAR TRACKING CONNECTED TO THE GRID: CASE STUDY IN ITUMBIARA-GO

**Abstract** - The objective of this work was to analyze the improvements that solar tracking mechanisms offer to photovoltaic systems of micro electric power generation. Measuring the generation gains obtained from the trackers is important to define if these systems are feasible from the balance between cost and benefit. The platform chosen to perform the analyzes was System Advisor Model (SAM), a free software developed by NREL. In the evaluation of systems with solar trackers, up to 30.85% improvements were observed in the generation of electricity compared to conventional photovoltaic systems.

**Keywords** - Photovoltaic System, Renewable Energy, SAM, Solar Energy, Solar Tracker.

#### I. INTRODUÇÃO

A preocupação mundial com a crescente tendência das demandas de energia elétrica, a redução dramática dos

recursos de combustíveis fósseis, bem como o aquecimento global, torna a utilização de fontes alternativas de energia elétrica uma prioridade no contexto atual.

Países desenvolvidos e em desenvolvimento tem optado pelas energias renováveis para expandir sua oferta de energia. Neste sentido, o uso da energia solar no mundo tem crescido consideravelmente em suas principais modalidades de aproveitamento: térmica e fotovoltaica (FV).

Devido às grandes vantagens dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR), fácil instalação e baixos custos de operação e manutenção (O&M), este sistema alcançou maior popularidade em relação a outros recursos emergentes disponíveis. No Brasil, cerca de 99% dos empreendimentos de geração distribuída sob a regulamentação da resolução 482 da ANEEL, são de micro e mini geração solar conectados à rede [1].

Apesar da constante evolução da tecnologia fotovoltaica ao longo das últimas décadas, o custo de instalação e produção dessa energia continua sendo elevado quando comparado à energia produzida por sistemas convencionais [2].

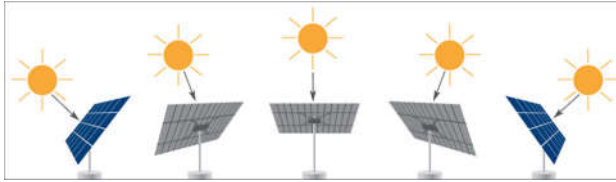
Neste sentido, inúmeras pesquisas [3-6] têm sido realizadas com vistas a proporcionar o aumento da produção de energia elétrica em SFCR, como por exemplo, o uso de dispositivos de acompanhamento do movimento do sol, conhecidos como *trackers* (rastreadores).

Estes rastreadores têm como objetivo maximizar a incidência de radiação sobre os módulos fotovoltaicos ao longo do dia direcionando-os para a posição de máxima incidência em tempo real do sol [7].

Os sistemas fotovoltaicos equipados com rastreadores solar conseguem produzir mais energia do que os sistemas fixos de mesma capacidade, isto ocorre devido ao aumento da exposição direta aos raios solares. Estudos indicam que os ganhos podem alcançar valores de 20% a 45% [8]. 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 (que contém mais painéis fotovoltaicos).

<sup>1</sup> sergio.eng@gmail.com

Fig. 1. Funcionamento de um SFCR com rastreador solar [9].



Existem no mercado internacional diversos modelos de rastreadores solares. No entanto, faz-se necessário realizar pesquisas destinadas a desenvolver rastreadores nacionais com tecnologia de baixo custo e tão eficiente quanto os disponíveis internacionalmente [10].

A potência de saída dos SFCR depende da temperatura ambiente, da radiação solar e do ângulo de incidência entre os raios solares e a superfície do módulo FV, sendo assim, a produção de energia pode ser aumentada utilizando dispositivos que permitam direcionar os módulos fotovoltaicos para a máxima absorção dos raios solares.

Os rastreadores podem ser classificados conforme o número de motores em movimento, método de fornecimento de energia, algoritmo de rastreamento, mecanismo elétrico ou térmico, mecanismo de inclinação ou de elevação de azimute, ângulos de rastreamento, entre outros.

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar os ganhos obtidos com o uso de rastreadores solares comparando dois microssistemas fotovoltaicos conectados à rede na cidade de Itumbiara-GO. Trata-se de um sistema fotovoltaico fixo e outro com rastreador solar de um eixo, ou seja, o dispositivo possui apenas uma direção de movimento.

Para os estudos, utilizou-se o programa computacional *System Advisor Model* (SAM) desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram estudados casos de aplicação de rastreadores em microssistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica e seus impactos no sistema, como: perdas devido ao motor utilizado para movimentação, erros de posicionamento dos módulos fotovoltaicos, melhorias na produção de energia elétrica, etc.

Os dois microssistemas foram simulados no programa, o qual é baseado em um mecanismo de simulação de hora em hora que interage com os modelos de desempenho e finanças para calcular a geração de energia, os custos e os fluxos de investimentos e retorno.

Os algoritmos do SAM fazem cálculos a cada hora resultando em uma saída que representa a produção de eletricidade do sistema ao longo de um único ano, projetando estes dados para posteriores 25 anos considerando as quedas de rendimento dos equipamentos.

O SAM faz previsões de desempenho e estimativas de custo de energia para projetos de SFCR com base nos custos de instalação e operação e nos parâmetros de projeto do sistema especificados como entradas para o modelo.

A escolha do SAM foi em virtude de sua capacidade de permitir diversas análises sobre os sistemas escolhidos, sua facilidade de trabalho e disponibilidade devido ao fato de ser gratuito [11].

As simulações foram realizadas considerando dados do SFCR fixo instalado no campus do IFG em Itumbiara-GO (visto na Figura 2).

O SFCR de 5,4 kWp e composto por 20 módulos FV modelo Canadian Solar CS6P – 270P direcionados ao norte com um ângulo de 20°. O inversor é único e do modelo SMA America: SB5000US – 12 [240V]. Os dados de capacidade de geração de energia elétrica desses equipamentos, assim como seus rendimentos e os demais dados de placa estão na base de dados do software utilizado para as simulações e análises (SAM).

Fig. 2. SFCR instalado no campus do IFG em Itumbiara-GO.



## III. SIMULAÇÕES

As simulações foram realizadas com os dados de incidência de radiação solar na cidade de Itumbiara-GO obtidos a partir da base de dados do software escolhido. O SAM utiliza o *National Solar Radiation Database* (NSRDB) - também desenvolvido pela NREL - como fonte primária para os dados de clima, ainda assim é possível fazer a importação de qualquer fonte deste tipo de dados apenas mantendo o formato de entrada padrão do programa.

No Brasil pode-se encontrar dados de irradiação solar média em qualquer localidade do território nacional por meio do programa SunData, que é uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos [12]. Após a publicação da 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017 [13], o CRESESB o utilizou para atualizar sua base de dados.

A configuração do sistema na interface do SAM está exibida na Figura 3.

Fig. 3. Configuração do sistema fixo na interface do SAM.

**System Sizing**

Specify desired array size       Specify modules and inverters

Desired array size: 5.390 kWdc      Modules per string: 10

DC to AC ratio: 1.20      Strings in parallel: 2

Number of inverters: 1

---

**Configuration at Reference Conditions**

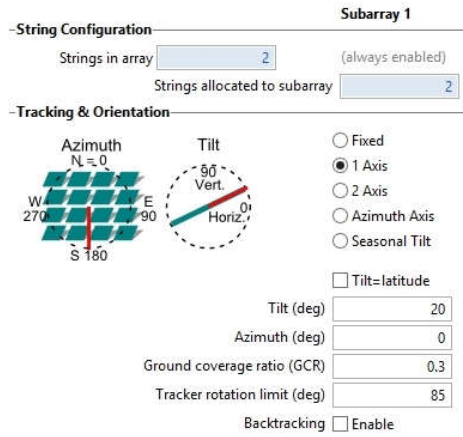
Modules		Inverters	
Nameplate capacity	5.390 kWdc	Total capacity	5.000 kWac
Number of modules	20	Total capacity	5.216 kWac
Modules per string	10	Number of inverters	1
Strings in parallel	2	Maximum DC voltage	480.0 Vdc
Total module area	31.9 m <sup>2</sup>	Minimum MPPT voltage	100.0 Vdc
String Voc	379.0 V	Maximum MPPT voltage	480.0 Vdc
String Vmp	308.0 V	Battery maximum power	0.000 kWdc

Sizing messages (see Help for details):  
Actual DC/AC ratio is 1.08.

Voltage and capacity ratings are at module reference conditions shown on the Module page.

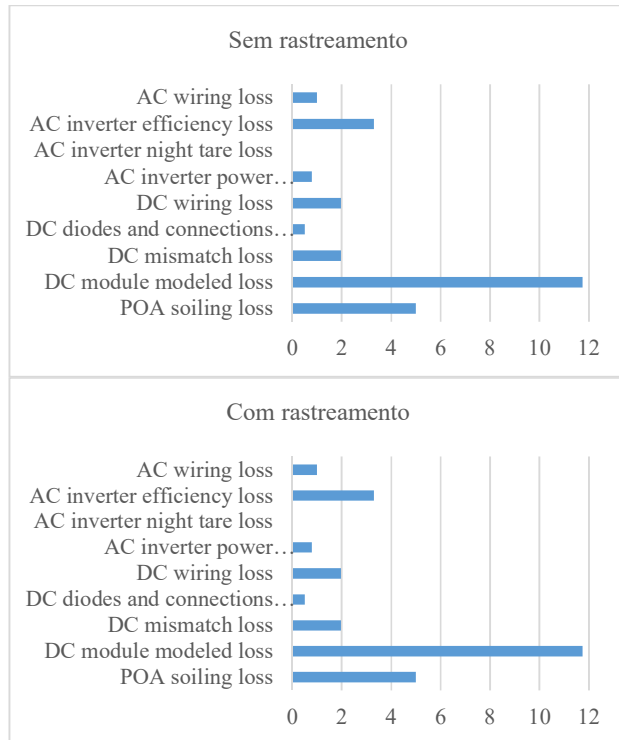
Para a segunda etapa das simulações foi adicionado ao sistema um rastreador solar de um eixo de mobilidade. A tela do SAM com os valores utilizados é apresentada na Figura 4.

Fig. 4. Configuração do *tracker* na interface do SAM.



O SAM foi capaz de apresentar resultados de geração de energia para ambos os casos, bem como a queda de rendimento dos módulos fotovoltaicos e as perdas devido à adição do rastreador. Estão representados na Figura 5 os resultados referentes às perdas considerando as duas situações operacionais.

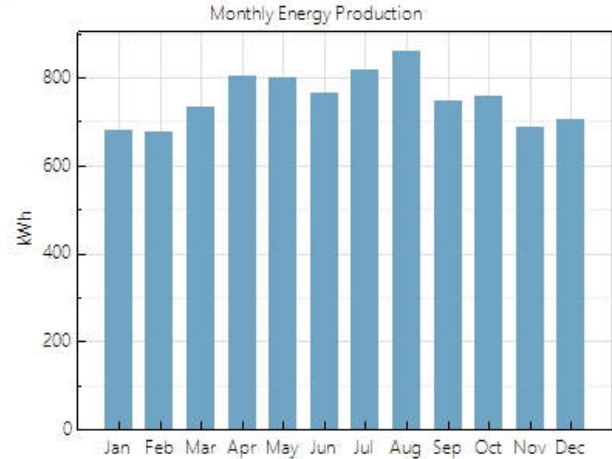
Fig. 5. Perdas nos sistemas simulados.



A produção mensal de energia elétrica para o sistema fixo (sem rastreamento solar) é apresentada na Figura 6.

Observa-se que o mês de agosto apresenta o maior rendimento do sistema devido a uma maior incidência solar, como esperado segundo os dados disponíveis no SunData [12], o que mostra que o banco de dados do SAM está concordante com outros bancos de dados confiáveis. E a produção total no primeiro ano é de aproximadamente 9029 kWh, este dado é importante para comparação com o próximo sistema com adição do rastreador.

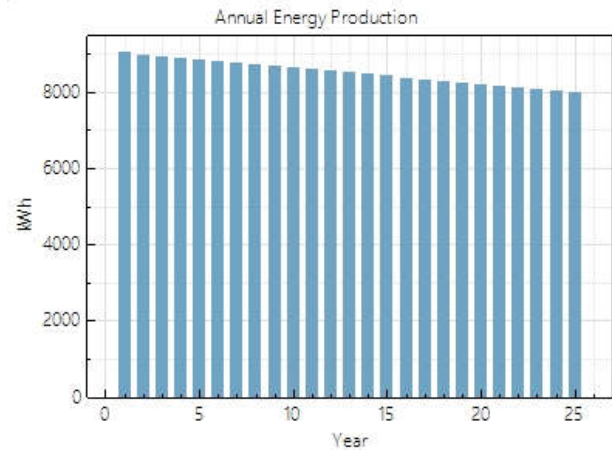
Fig. 6. Produção mensal do sistema fixo em Itumbiara.



A Figura 7 apresenta a produção anual considerando um horizonte de 25 anos. O SAM considera as perdas de degradação dos módulos ao longo da vida útil do projeto.

É possível observar a de eficiência do sistema ao longo da vida útil do projeto devido à característica dos módulos fotovoltaicos. Essa queda de eficiência é tipicamente na ordem de 20% (garantido pelos fabricantes). Na simulação com o SAM, resultou em uma redução de aproximadamente 11% ao longo de 25 anos de uso constante do SFCR.

Fig. 7. Produção anual do SFCR fixo em Itumbiara.

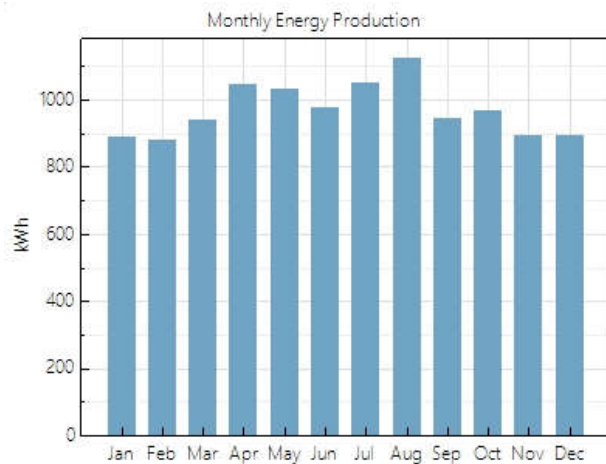


Para as simulações considerou-se a manutenção no sistema responsável pelo rastreamento como ideal, portanto, evitando qualquer queda de eficiência ou precisão do mesmo ao longo do tempo.

Estudos com um microsistema real no campus do IFG/Itumbiara estão sendo realizados, de forma a avaliar o

consumo de energia e desgaste do sistema de automação do rastreador solar. Estes resultados serão acrescentados em novas simulações na conclusão final desta pesquisa.

Fig. 8. Produção mensal para SFCR móvel de um eixo em Itumbiara.

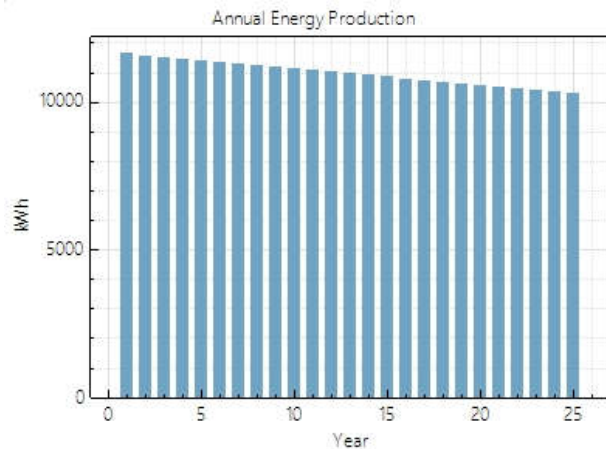


Tal como o sistema fixo, o sistema com rastreamento solar (Figuras 8 e 9), também demonstra pico de geração anual no mês de agosto, porém com uma eficiência superior de 30,75% neste mês em relação ao sistema fixo.

A Figura 9 apresenta uma produção total no primeiro ano de aproximadamente 11633 kWh, uma melhoria de 28,84% em relação a produção do primeiro ano no sistema fixo.

A produção anual do sistema com rastreamento apresenta a mesma queda de rendimento ao longo dos mesmos 25 anos de uso constante, comparadas ao sistema fixo. Evidenciando, portanto, que o comportamento natural dos sistemas com módulos fotovoltaicos é perder certa eficiência ao longo dos anos.

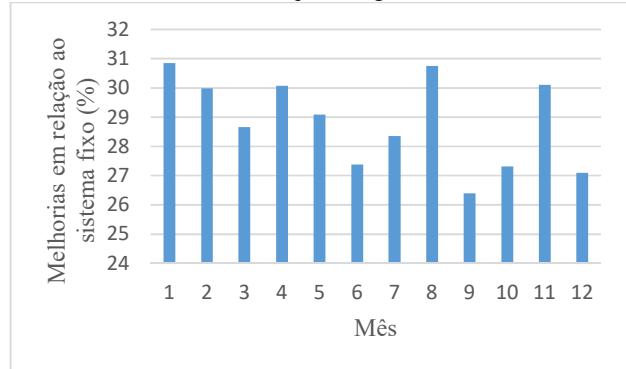
Fig. 9. Produção anual do SFCR móvel de um eixo em Itumbiara.



A partir das simulações e comparações entre os sistemas fixos e sistemas com rastreador solar de um eixo, foram verificadas melhorias entre 26,4 e 30,85% em relação a sistemas fotovoltaicos fixos.

Na Figura 10 é possível observar em porcentagem o quanto de energia elétrica o sistema com rastreador solar gerou a mais em relação ao sistema fixo ao longo do período de um ano.

Fig. 10. Melhorias do SFCR com um eixo em relação ao sistema fixo em porcentagem.



#### IV. CONCLUSÕES

Por meio dos dados de geração a partir das simulações no SAM, foi possível observar como um sistema com rastreador solar aproveita melhor a radiação incidente sobre os módulos se comparado com sistemas com painéis fotovoltaicos fixos.

Os resultados apontaram que as melhorias na geração de energia elétrica estão em torno de 28%, podendo chegar à 30,8% em períodos de maior irradiação solar.

Este artigo mostrou, portanto, como um sistema fotovoltaico com rastreador solar é uma alternativa viável e satisfatória para geração de energia elétrica se comparado a um sistema fixo idêntico e de mesmo porte, visto que ocupa a mesma área para instalação e gera mais energia elétrica.

O objetivo com o resultado da pesquisa ainda em desenvolvimento é avaliar se os custos de investimento em um sistema de rastreamento fotovoltaico e a produção de energia a mais, comparado a um sistema fixo, são realmente vantajosos para o cliente final. Ou ainda, havendo espaço disponível, a inclusão de mais módulos em um sistema fixo, não o torna mais vantajoso, quando comparado com um sistema com rastreamento. Além dos fatores apontados acima, é sabido que a energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos possui forte dependência da influência da temperatura nos módulos fotovoltaicos [4], e que, em locais quentes, a temperatura do sistema pode elevar com a adoção de sistemas com rastreamento solar, consequentemente estudos neste sentido podem esclarecer melhor estas questões.

Assim, como próximo passo, será realizado uma análise detalhada das implicações econômicas e fatores adversos sobre a geração fotovoltaica com rastreamento solar utilizando dados dos sistemas existentes para estudo no IFG campus Itumbiara-GO e fazendo paralelos com simulações mais detalhadas utilizando a ferramenta SAM.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa. E ao NupSOL pelo espaço e materiais de trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL. Geração distribuída. Acedido em 27 de julho de 2018, em: [http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD\\_Fonte.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp).
- [2] ORTIZ, Fernando. ALVES, Vinicius. HOLDEFER, Antônio. MEDEIROS, Antônio. “Desenvolvimento de sistema automático de rastreamento solar para painéis fotovoltaicos”. *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, abril, 2018.
- [3] DAS, Krishanu. GHOSH, Hridi. SENGUPTA, Maitrayee. “Single Axis Solar Tracking System using Microcontroller (ATmega328) and Servo Motor”. 2016. *International Journal of Scientific and Research Publications*. Volume 6, Issue 6, junho 2016. Dr Sudhir Chandra Sur Degree Engineering College, Kolkata, India.
- [4] CASSARES, Maurício Andrés. “Avaliação operacional de sistemas fotovoltaicos com seguimento solar: sistemas com e sem concentração”. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- [5] OTTO, Ali. MURAD, Abdulmajid. AL- ZAMIL, Hatem. “Design and implementation of solar tracking system for photovoltaic cells”. 2014. Electrical Engineering Department, College of Engineering, Qassim University, 2014.
- [6] SILVA, Tiago Venturini da. “Análise de eficiência de um seguidor solar em sistema conectado à rede: viabilidade econômica”. 2017. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte, Espírito Santo, 2017.
- [7] NASCIMENTO, Lucas Rafael do. VERÍSSIMO, Pedro Henrique. PIRES, Anelise Medeiros. RUTHER, Ricardo. SOBRAL, César. “Geração solar fotovoltaica com sistema de rastreamento de dois eixos no município de Jaguari-RS”. *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, abril, 2018.
- [8] BENTAHER, Hatem. KAICH, H. AYADI, N. HMOUDA, M. Ben. MAALEJ, A. LEMMER, Uli. “A simple tracking system to monitor solar PV panels”. *Energy Convers. Manag.* 78 (February 2014) 872 e 875.
- [9] DEGER ENERGIE. *Operating Manual – 2012*. Horb am Neckar (Alemanha), 2012. 19 p.
- [10] OLIVEIRA, Carlos Antonio Alves de. “Desenvolvimento de um protótipo de rastreador solar de baixo custo e sem baterias”. 2007. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- [11] JO, Jin Ho. ALDEMAN, Matt. LEE, Han-Seung Lee. AHN, Yong Han. “Parametric analysis for cost-optimal renewable energy integration into residential buildings: Techno-economic model”. *Renewable Energy*, v. 125, p. 907-914, setembro, 2018.
- CRESESEB. Potencial Solar - SunData v 3.0. Acedido em 09 de outubro de 2018, em: <http://www.cresesb.cepel.br/>
- [12] PEREIRA, Enio B. MARTINS, Fernando R. GONÇALVES, André R. COSTA, Rodrigo S. LIMA, Francisco J. L. de. RÜTHER, Ricardo. ABREU, Samuel L. de. TIEPOLO, Gerson M. PEREIRA, Silvia V. SOUZA, Jefferson G. de. *Atlas Brasileiro de Energia*

*Solar*. 2.ed. - São José dos Campos-SP: INPE, 2017. ISBN 978-85-17-00089-8, p 1-80.

- [13] PRINSLOO, G. J., Dobson, R. T. *Solar Tracking*. 2015. Stellenbosch: SolarBooks. ISBN 978-0-620-61576-1, p 1-542.

## DADOS BIOGRÁFICOS

**Welberth Henrique Alves Marques**, nascido em 21/03/1996 em Itumbiara-GO, graduando em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) - Campus Itumbiara. Atualmente é aluno pesquisador em fontes renováveis de energia. Suas áreas de interesse são: Energias Renováveis, Qualidade de Energia Elétrica e Sistemas de Controle e Automação.

**Sergio B. Silva**, é graduado em Engenharia Elétrica e Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia (1999/2003). Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (2010). Foi professor no Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Tocantins (IFTO), de 2003 a 2013. Desde 2013 atua como professor no Instituto Federal de Goiás (IFG) no curso de Engenharia Elétrica e na Especialização em Fontes Renováveis de Energia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em geração da energia elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: fontes renováveis de energia, sistemas híbridos de geração distribuída e análise de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

**Olívio Carlos Souto do Nascimento**, nascido em 05/06/1963 em Uberlândia-MG, Brasil. Graduou-se como Engenheiro Eletricista e obteve o título de Mestre e Doutor pela Universidade Federal de Uberlândia em 1998 e 2003, respectivamente. Atualmente, é professor no curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Goiás, em Itumbiara, GO. Sua área de pesquisa está relacionada a qualidade da energia elétrica, eficiência energética, fontes renováveis de energia, geração distribuída e impacto no sistema elétrico.

**Willian Martins Leão**, possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Controle e Automação pela Universidade Federal de Uberlândia (2013) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2015). Atualmente, é professor dedicação exclusiva do Instituto Federal de Goiás, em Itumbiara/GO. A sua pesquisa concentra-se nos temas: robótica, controle robusto, identificação de sistemas, eficiência energética, energias renováveis, automação e instrumentação.