

# ANÁLISE DE VIABILIDADE DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADO À REDE, APLICADO A RESIDENCIAIS POPULARES: ESTUDO DE CASO EM ITUMBIARA-GO

Nayara S. Paula, Olívio C.S. Nascimento, Sérgio B. Silva

<sup>2</sup>NUPSOL – Núcleo de Pesquisa em Energia Solar, Instituto Federal de Goiás/IFG, Engenharia Elétrica, Itumbiara-GO  
nayarasantana50@yahoo.com.br; olivio.souto@ifg.edu.br; sergio.silva@ifg.edu.br;

**Resumo** - Nos últimos anos, a capacidade global de sistemas fotovoltaicos conectados à rede cresceu em média 60% ao ano, sendo significativamente maior que as taxas de crescimento obtidas pelas outras tecnologias renováveis. Após a publicação da Resolução Normativa 482 da ANEEL, os sistemas fotovoltaicos estão sendo instalados nos telhados em uma taxa crescente. Este artigo visa apresentar os resultados de um estudo realizado sobre os aspectos econômicos de instalações fotovoltaicos conectados à rede em casas de famílias de baixa renda localizadas em Itumbiara-GO. Dois tipos de consumidores de energia elétrica foram considerados nesta análise: um com sistemas de aquecimento solar e outro com chuveiro elétrico, os quais são grandes responsáveis pelo pico na curva de carga. Usando o programa computacional RETScreen, foram realizados estudos e os resultados mostram que o período de retorno financeiro dos sistemas fotovoltaicos pode ser de até 6 anos.

**Palavras-Chave** - Energia Solar, Geração Distribuída, Sistemas Fotovoltaicos.

## A FEASIBILITY ANALYSIS OF GRID-CONNECTED SOLAR POWER IN LOW-INCOME FAMILY HOMES: A CASE STUDY IN ITUMBIARA-GO

**Abstract** - In recent years, the global capacity of on-grid photovoltaic systems has been rapidly increasing by 60% per year, significantly higher than the growth rates achieved by other renewable technologies. After the Aneel 482 Resolution publication the number of residential rooftop mounted solar photovoltaic (PV) panels are being installed at an increasing rate. This paper aims to present the results of a study conducted on the economic aspects of installing grid-connected rooftop solar photovoltaic systems in low-income family homes located in Itumbiara-GO. Two types of electric power consumers were used in the analysis: some with solar water heating system and others with electric shower,

which is considered the most responsible for the peak of the load curve. Using the RETScreen computational program many studies were conducted and the results shows that the 6 years payback period is achieved with rooftop photovoltaic system.

**Keywords** – Distributed Generation, Photovoltaic Systems, Solar Energy.

### I. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o esgotamento de recursos hídricos bem como o aumento no preço de combustíveis fósseis utilizados em todo o planeta para geração de energia contribui para a busca de formas alternativas de produção de energia e tecnologias que agridem menos o meio ambiente.

Uma tecnologia crescente que tem se mostrado viável para a produção de energia, é a utilização de sistemas solares fotovoltaicos (FV). Essa tecnologia já passou da fase de testes, e o único empecilho para sua popularização é o custo elevado de seus componentes.

Nos últimos anos, a capacidade total de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) cresceu em média 60% ao ano, sendo significativamente maior que as taxas de crescimento obtidas pelas outras tecnologias renováveis. Em comparação, no mesmo período, as tecnologias tradicionais, como a hidrelétrica tiveram crescimento estimado entre 3 a 4% ao ano.

Os SFCR oferecem inúmeras vantagens, por exemplo: confiabilidade; durabilidade; baixo custo de manutenção e possibilita a expansão de forma modular. Já as desvantagens, vão desde a baixa eficiência de conversão, altos custos de instalação, até a falta de mão-de-obra especializada para projeto e instalação dos mesmos.

Apesar dos custos da energia FV ainda serem altos, quando comparados a outras fontes de geração, esse quadro vem se revertendo a cada ano. Os custos de produção dessa tecnologia vêm mostrando um decréscimo significativo desde o início de sua utilização para aplicações terrestres [1].

Segundo dados do relatório de 2016 da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA – *International Renewable Energy Agency*), a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos chegou próximo de 225 GWp em instalações fotovoltaicas na rede elétrica mundial [2]. A Figura 1 mostra a evolução da capacidade instalada mundial de energia solar FV nos últimos anos.

No Brasil, apesar das altas incidências de radiação solar diária, a qual possui uma média diária entre 1500 kWh/m<sup>2</sup>/ano e 2200 kWh/m<sup>2</sup>/ano, podendo alcançar valores na ordem de 2400 kWh/m<sup>2</sup>/ano, a aplicação de tecnologia



solar FV ainda é recente e insignificante na participação da matriz elétrica, correspondendo a pouco mais de 0,0144% [3, 4].

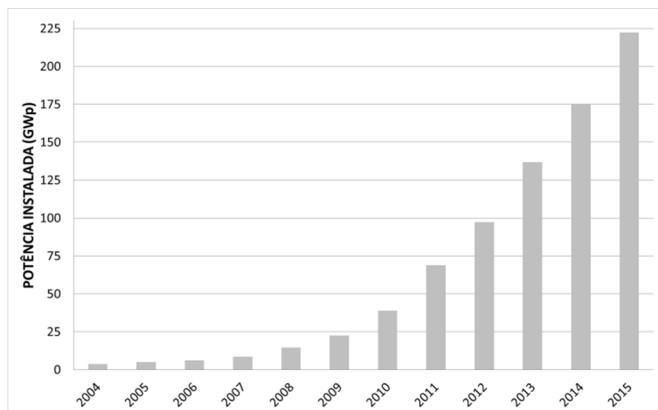


Fig. 1. Capacidade instalada de sistemas fotovoltaico global.  
Fonte: IRENA (2016).

O interesse pela geração solar FV teve como marco regulatório os anos de 2011 e 2013, a partir do qual a ANEEL aprovou a resolução normativa 482 [5]. Esta resolução permitir que qualquer cidadão, pudesse conectar o sistema FV à rede elétrica de baixa tensão, podendo assim inserir sua energia produzida no sistema elétrico.

Em 2015, a ANEEL passou a adotar nova forma de contabilizar e classificar as usinas, separando-as em “outorgadas e com registro” e em “micro e mini geração distribuídas”, estas últimas, a partir de informações geradas pelas Distribuidoras com base na resolução 482 da ANEEL [6]. Até outubro de 2015, foram registrados pouco mais de 1000 microssistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). Este número alcançou o valor de 3370 unidades instaladas até junho de 2016, representando um aumento de cerca de 330% em pouco mais de 8 meses. A Figura 2 ilustra o aumento exponencial da potência instalada produzida pelos sistemas FV no Brasil, considerando os sistemas cadastrados na RN482 e dos projetos cadastrados na forma de outorgas e com registro (REN) [4].

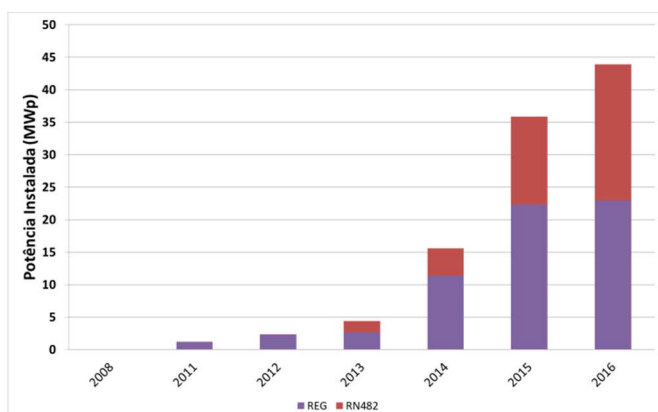


Fig. 2. Capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos no Brasil.  
Fonte: ANEEL (2016) - Adaptado.

Observa-se, na Figura 2, que a partir da RN482 o aumento do número de instalações FV cresceu aproximadamente 900% como consequência do incentivo dado pela resolução

proporcionando o sistema de compensação de energia ou “net metering”. Esta rápida expansão dos SFCR tem forçado os custos diminuírem tornando-os acessíveis a uma camada cada vez maior da população.

O estudo realizado neste trabalho considerou como universo de consumidores de energia aqueles associados ao Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Este programa social foi criado em 2009, tendo já entregue cerca de 2,3 milhões de unidades até junho de 2015 e está presente em 96% dos municípios brasileiros [7]. Conforme estabelece a Portaria 465 de 03 de outubro de 2011[8], todas as unidades residenciais devem contemplar sistemas de aquecimento solar (SAS) em substituição ao chuveiro elétrico, com objetivo de promover a eficiência energética.

Em qualquer empreendimento em que se analisa a possibilidade da instalação de SFCR, a primeira ação a ser realizada consiste no levantamento das oportunidades do uso racional da energia elétrica e, quando possível, promover a instalação de cargas mais eficientes do ponto de vista energético. Em uma residência a carga elétrica mais significativa é o chuveiro elétrico e sua substituição por SAS permite uma redução significativa no consumo de energia e, conseqüentemente, nos valores financeiros mensais pagos à concessionária.

Diante deste cenário é que surge este trabalho de pesquisa que teve por objetivo verificar a viabilidade econômica da instalação de SFCR em unidades residenciais do PMCMV, avaliando o cenário para as unidades com e sem o SAS.

## II. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, inicialmente procurou-se identificar as habitações populares referentes ao PMCMV na cidade de Itumbiara-GO. Uma vez definido o universo da pesquisa, questionários foram aplicados para identificar os hábitos de consumo, bem como o consumo mensal de energia elétrica. Vale observar, que embora exista a obrigatoriedade da instalação de SAS, verificou-se a existência de algumas unidades consumidoras sem tais sistemas, utilizando, portanto, o chuveiro elétrico. A partir desta constatação a análise financeira considerou, portanto, duas situações: a primeira observou unidades consumidoras com SAS e o segundo cenário considerou a residência com chuveiro elétrico.

A Figura 3 mostra uma foto aérea de um dos bairros visitados na cidade.



Fig. 3. Vista Aérea de bairro residencial atendido pelo PMCMV.

Para o dimensionamento dos SFCR utilizou-se dos dados de consumo mensal de cada residência e dos níveis de radiação solar de acordo com as coordenadas geográficas das mesmas.

### A. Radiação Solar

A cidade de Itumbiara-GO está localizada na região Centro-Oeste do Brasil com latitude: 18° 25' Sul e longitude: 49° 13' Oeste e altitude de 448 m sob o nível do mar. A média diária mensal para o plano inclinado da localidade selecionada resultou em 5,07 kWh/m<sup>2</sup>/dia, utilizando dados. A Figura 4 apresenta a média mensal da radiação solar diária cujos dados disponíveis pelo programa SunData [Cresesb], já no plano inclinado igual a latitude local.

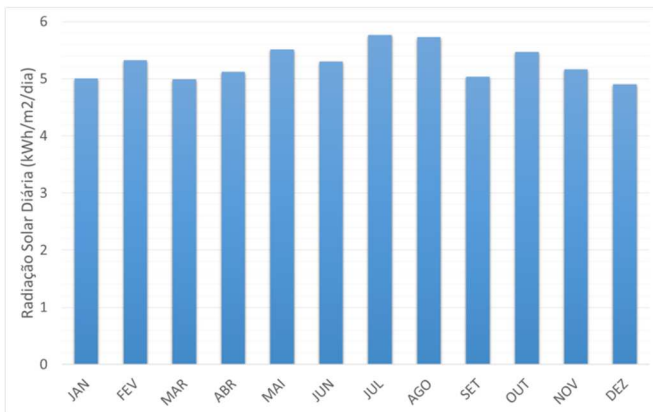


Fig. 4. Irradiação solar diária média mensal [kWh/m<sup>2</sup>.dia]

### B. Programa de Simulação

As análises computacionais foram realizadas empregando-se o programa RETScreen [9]. O RETScreen é um programa de gerenciamento de energia renovável destinado a analisar a viabilidade de projetos de eficiência energética, do uso de geração distribuída através de fontes renováveis de energia e da existência de sistemas de cogeração. O desempenho energético das instalações é realizado ao longo dos meses permitindo uma análise de longo prazo. O modelo de avaliação de projetos de energias renováveis criado pela RETScreen é um dos mais avançados para dar suporte à tomada de decisão no setor das energias renováveis. O programa é disponibilizado gratuitamente pelo Governo do Canadá como resultado do reconhecimento, por parte deste país, da necessidade de adotar uma abordagem integrada no tratamento das alterações climáticas e na redução da poluição [9]. A Figura 5 apresenta a tela inicial do programa, o qual é executado sobre a plataforma do programa da Microsoft Excel.

### C. Dimensionamento do SFCR

O dimensionamento do SFCR foi realizado visando apenas suprir a carga consumida em uma residência, pois conforme estabelece a RN482 [5] o sistema de compensação apenas gera créditos de energia que podem ser utilizados em um prazo máximo de 60 dias.

A potência do micro gerador que compõe um SFCR é calculada pela Equação 1 definida por [10]:



Fig. 5. Tela inicial do programa RETScreen.

$$P_{FV}(Wp) = \frac{E/TD}{HSP_{MA}} \quad (1)$$

Onde:

- $P_{FV}(Wp)$  -Potência de pico do painel FV;
- $E(Wh/dia)$  -Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste;
- $HSP_{MA}(h)$  -Média diária anual das HSP incidente no plano do painel FV;
- $TD$  - Taxa de desempenho (adimensional).

A taxa de desempenho ou o desempenho global do sistema (razão de performance - PR) é definido como sendo a razão entre a produtividade do sistema e a produtividade de referência obtida a partir dos dados de placa dos painéis fotovoltaicos. Este índice é utilizado para avaliações e comparações de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de diferentes latitudes.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De posse dos consumos mensais das unidades consumidoras pesquisadas e considerando aquelas com SAS, bem como as residências sem o SAS, ou seja, com chuveiro elétrico, calculou-se a média de consumo destas unidades para um período de um ano. A Figura 6 mostra o consumo médio do conjunto de casas pesquisadas registradas ao longo do período de análise.

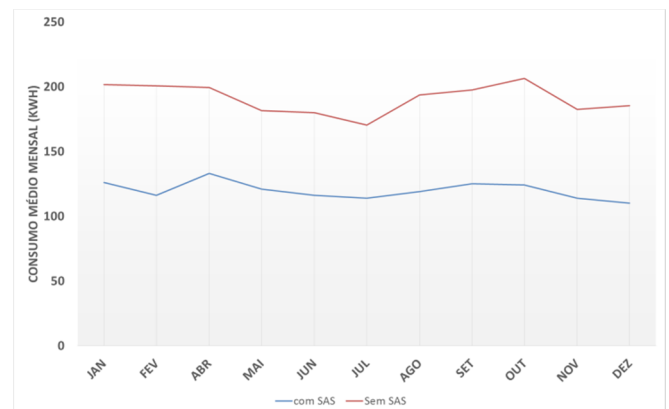


Fig. 6. Média mensal do consumo de energia [kWh/mês]

Fica evidenciado pela análise da Figura 6 que o uso de sistemas de aquecimento solar em substituição ao chuveiro elétrico proporciona uma redução da ordem de 40% no consumo de energia residencial.

Para os dois grupos de unidades residenciais selecionadas, foram calculadas as médias de consumo diário, e em seguida, realizado o dimensionamento do SFCR necessário para suprir a demanda anual de energia. A Tabela I apresenta os resultados da escolha dos SFCR para os casos apresentados, considerando o SFCR composto por módulos comerciais da *Yngli Solar*, YGE 60 CÉLULAS SÉRIE 2 (245 Wp).

Tabela I – Síntese dos SFCR.

Unidade	Energia [kWh/dia]	Taxa de desempenho considerada	Potência do arranjo FV [kWp]	NRO de módulos
Caso 01 com SAS	3,92	0,80	0,93	4
Caso 02 sem SAS	6,24	0,80	1,48	6

#### A. Simulação dos casos resultantes

Os estudos sobre a viabilidade econômica da instalação de sistemas FV foi realizado empregando o programa computacional RETScreen.

Os parâmetros necessários para a análise financeira foram:

- Vida útil do projeto: 25 anos;
- Taxa de juros anual: 10%;
- Tarifa de energia: R\$ 710,00/MWh (CELG-D).

As análises realizadas pelo programa computacional, consideram que toda a energia produzida pelo SFCR é exportada para a rede de energia a um custo de venda igual ao valor pago quando se consome da rede. A Tabela II mostra os resultados calculados mês a mês levando em consideração os dois cenários de estudo.

Tabela II – Recurso disponível mensal utilizado nas simulações.

Meses	Radiação solar diária inclinada [kWh/m <sup>2</sup> /d]	Temperatura Ambiente [°C]	Eletricidade exportada p/ rede [MWh]	
			sem SAS	com SAS
JAN	5,19	23,8	0,190	0,128
FEV	5,44	24,1	0,179	0,121
MAR	5,00	24,0	0,183	0,123
ABR	5,03	23,3	0,178	0,120
MAI	5,35	21,5	0,196	0,132
JUN	5,06	20,3	0,180	0,122
JUL	5,52	20,2	0,203	0,136
AGO	5,61	22,5	0,204	0,137
SET	5,00	23,9	0,177	0,119
OUT	5,56	24,7	0,202	0,136
NOV	5,33	24,3	0,189	0,127
DEZ	5,10	23,7	0,187	0,126
Anual	<b>5,26</b>	<b>23,0</b>	<b>2,268</b>	1,528

A partir do SFCR dimensionado e considerando as variáveis associadas aos estudos financeiros, obteve o fluxo de caixa para as duas situações em análise.

Os dois casos foram orçados, resultando em kits disponíveis comercialmente, nos valores de R\$14.500,00 para o SFCR a ser instalado na unidade consumidora sem o SAS e no valor de R\$12.000,00 para um micro sistema fotovoltaico a ser instalado em unidades com o SAS.

A Figura 7 mostra que para os consumidores que não possuem SAS o tempo de retorno do investimento realizado com a instalação do sistema FV é da ordem de 6,3 anos.

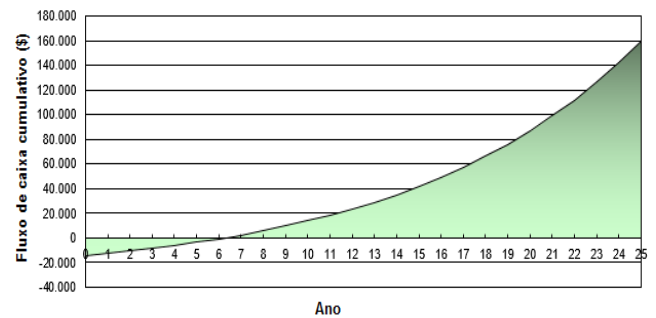


Fig. 7. Gráfico de fluxo de caixa cumulativo (sem SAS).

Para as unidades consumidoras que possuem SAS o tempo de retorno do investimento da instalação de geração FV foi aproximadamente 7,3 anos, conforme Figura 8.

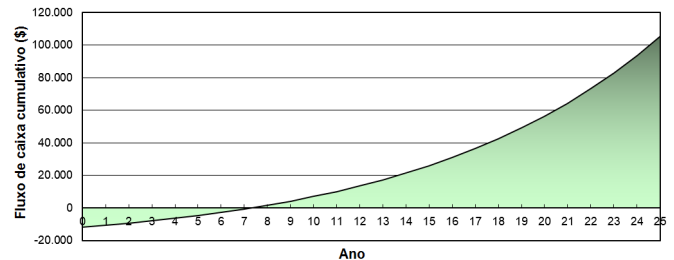


Fig. 8. Gráfico de fluxo de caixa cumulativo (com SAS).

A diferença observada no tempo de retorno do investimento deve-se ao fato de que o custo do kWp instalado nos SFCR com menor capacidade instalada, passa a ser superior aos gastos com energia elétrica quando se considera unidade consumidora sem SAS e o consumidor arcando com os custos da energia elétrica consumida pelo chuveiro elétrico.

## IV. CONCLUSÕES

As aplicações para o uso da energia solar tanto para fins de aquecimento como na geração de energia elétrica constitui-se de importante estratégia na redução dos custos financeiros com energia. Considerando os consumidores residenciais de baixa renda onde os gastos com energia elétrica comprometem uma parcela significativa do orçamento doméstico, qualquer ação que resulte na redução destes gastos torna-se atrativa e que deve ser avaliada. O Programa Minha Casa Minha Vida do governo federal que se já entregou cerca de 5,5 milhões de unidades habitacionais encontra-se em pleno desenvolvimento em parceria com estados e municípios. Neste programa já existe a obrigatoriedade da instalação de sistemas de aquecimento solar em substituição ao chuveiro elétrico com objetivo de reduzir a conta mensal com energia elétrica. A proposta deste trabalho foi realizar uma análise da viabilidade financeira da aquisição de um sistema de geração de energia fotovoltaica a ser instalado nestas unidades habitacionais de interesse social e avaliar o tempo de retorno do investimento. Dois cenários foram estudados: consumidores com sistemas de aquecimento solar e residências com chuveiro elétrico, ou



seja, sem aquecimento solar. O trabalho faz parte de uma série de estudos que estão sendo realizados pelo Núcleo de Pesquisas e Inovação em Energias Renováveis – NupSol do IFG-Itumbiara e que poderá subsidiar autoridades do referido programa com vistas a adotarem como obrigatoriedade a instalação de sistemas FV nas residências do programa. Os reflexos positivos com a adoção de sistemas FV em unidades consumidoras de baixa renda não estão associados apenas à redução dos custos mensais com energia, mas, também, proporciona uma conscientização ambiental e a redução de CO<sub>2</sub>. Utilizando-se de um programa computacional amplamente difundido no mercado e no meio científico, análises econômicas foram realizadas considerando sistema de geração FV dimensionada para suprir a carga instalada na residência, taxa de juros praticada no mercado financeiro e tempo de vida útil do sistema de 25 anos. O objetivo principal do trabalho foi responder ao seguinte questionamento: É economicamente viável instalar um sistema FV em unidades residências que não possuem sistema de aquecedor solar, ou é mais atrativo pagar pelo consumo de energia oriunda do funcionamento do chuveiro elétrico para aquecimento da água do banho? Os resultados mostraram que o retorno financeiro pode ser alcançado em um período máximo de pouco mais de 7 anos. Esse tempo, ainda pode ser reduzido, considerando a inclusão do SFCR diretamente no financiamento dos empreendimentos financiados pelo PMCMV.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pela bolsa de IC na execução desta pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- [1] D. Poponi, “Analysis of diffusion paths for photovoltaic technology based on experiences curves.” Solar Energy, v. 74, p. 331-340, 2003.
- [2] IRENA - International Renewable Energy Agency. “RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2016”. Acedido em 20 de maio de 2016 em <http://www.irena.org>.
- [3] F.R. Martins, R. Ruther, E.B. Pereira, S. L. Abreu. “Solar energy scenarios in Brazil. Part two: photovoltaics applications”. Energy Policy 2008.
- [4] ANEEL. “BIG - Banco de Informações de Geração - Capacidade de Geração do Brasil”. Acedido em 29 de junho de 2016 em <http://www.aneel.gov.br>.
- [5] ANEEL. “RESOLUÇÃO NORMATIVA 482”. Brasil: Agência Nacional de Energia Elétrica; 2012. Acedido em 01 de outubro de 2014 em: <http://www.aneel.gov.br>.
- [6] MME – Ministério de Minas e Energia. “Energia Solar no Brasil e no Mundo”. Ano de Referência – 2014”. Edição: 16/12/2015. Acedido em 01 de maio de 2016 em <http://www.mme.gov.br>.
- [7] BRASIL, 2015. “1º Balanço 2015 PAC”. Acessado em 10 de outubro de 2015 em <http://www.pac.gov.br>.
- [8] Ministério das Cidades. “PORTARIA n° 465, DE 3 DE OUTUBRO DE 2011”. Acedido em 01 de maio de 2015 em <http://www.cbic.org.br>.
- [9] RETScreen. “RETScreen International O que é o RETScreen”. Acedido em 11 de julho de 2015 em <http://www.retscreen.net>.
- [10] CRESESB. “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”. Rio de Janeiro. 2014.

#### DADOS BIOGRÁFICOS

**Navara Santana de Paula**, nascida em 20/05/1995 em Itumbiara-GO, é aluna do curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Itumbiara.

**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.

**Sérgio Batista Silva**, nascido em 28/02/1975 em Tupaciguara-MG, Brasil. Graduou-se como Engenheiro Eletricista e obteve o título de Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia em 1998 e 2003, respectivamente. Doutor pela Universidade de Brasília em 2010. Atualmente, é professor na engenharia elétrica do Instituto Federal de Goiás, em Itumbiara. Atuando principalmente na área de energia solar fotovoltaica.