

ANÁLISE COMPUTACIONAL DA TARIFA BRANCA UTILIZANDO O SOFTWARE HOMER PRO EM UNIDADE RESIDENCIAL CONSIDERANDO O USO DE AQUECEDOR SOLAR

Diogo M. Souza, Carlos A. A. Campos, Felipe G. Vicente, Gabriel O. Kolailat, José F. Amaral, Olívio C.N. Souto, Sergio B. Silva,

NUPSOL – Núcleo de Pesquisa em Energias Renováveis, Instituto Federal de Goiás/IFG, Engenharia Elétrica, Itumbiara - GO
diogomachado1@live.com; felipegomvic@gmail.com; gabrielkolailat@gmail.com; betocarlosalberto@hotmail.com; jose10flavio@hotmail.com; olivio.souto@gmail.br; sergio.silva@ifg.edu.br

Resumo - Para estimular o uso eficiente de energia a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, após inúmeras audiências públicas, estabeleceu uma nova modalidade tarifária, denominada por Tarifa Branca. Este artigo tem por objetivo, avaliar a opção desse novo sistema de tarifação de energia frente a tarifação convencional. Para essa análise, simulações foram realizadas utilizando a ferramenta computacional *HOMER Pro Energy v3.6.1* aplicado a consumidores residenciais, considerando o perfil de carga com o uso de sistema de aquecimento solar e outro com perfil de carga considerando o uso de chuveiro elétrico. O estudo apresenta ainda um comparativo das tarifas aplicadas no estado do Goiás e no estado de Minas Gerais, os quais apresentam diferentes preços do kWh. Em todos os casos os resultados mostraram ser desfavorável a mudança para o novo sistema de tarifação.

Palavras-Chave – Aquecedor Solar, Análise Econômica, Custo da Energia, Tarifa Branca.

COMPUTER ANALYSES OF WHITE TARIFF IN RESIDENCIAL UNITY CONSIDERING THE USE OF HEATING SOLAR SYSTEM.

Abstract – To stimulate the efficient use of energy, the National Agency of Electric Energy (ANEEL, in Portuguese), after numerous public hearings, has established a new tariff mode, it's named white tariff. This article deals about evaluate the option of this new system compared to the conventional tariff. To this analysis, the simulations has been made with *HOMER Pro Energy v3.6.1* applied to residential consumer, considering the load curve profile with solar heating system and other load profile considering the electric shower use. The article also shows a comparative between tariffs at State of Minas Gerais and Goiás which have different price of the kWh. In all cases the results have showed be unfavorable to change to the new tariff system.

Keywords – *Cost of Energy, Economic Analysis, Solar Heating System, White rate.*

I. INTRODUÇÃO

O banho diário utilizando água aquecida é um hábito do brasileiro que persiste desde a época da colonização. No Brasil o que predomina para o aquecimento de água é o uso de chuveiro elétrico. Nos países europeus e mesmo nos EUA os hábitos em relação a banhos são diferentes do que no Brasil, e o aquecimento da água é realizado por sistemas a gás ou por aquecimento solar. A participação do chuveiro elétrico no consumo residencial de energia elétrica é estimada em 24%, podendo variar nos períodos mais frios do ano. Em residências de baixa renda a energia elétrica consumida pelo chuveiro elétrico é responsável por 45% da fatura mensal de energia, o que mostra um alto potencial do uso de sistemas de aquecedores solares em substituição ao chuveiro elétrico [1].

Outro fator favorável para o emprego de aquecedores solares deve-se ao fato de que o território brasileiro está localizado na região intertropical que possui um alto índice de irradiação solar. Os níveis médios anuais de irradiação global no Brasil são um dos maiores do mundo variando de 1.500 kWh/m² na região sul a 2.100 kWh/m² na região nordeste. A Alemanha é o líder europeu na utilização de aquecedor solar, mesmo com um clima temperado. E esta liderança foi atingida a partir de incentivos através de políticas públicas. O mercado solar térmico alemão se beneficia não apenas do aumento dos preços da energia, mas também dos programas de subsídios concedidos pelo governo [2].

A estrutura tarifária para os consumidores atendidos em tensão inferior a 2,3 kV está definida no Grupo B. Para os consumidores residenciais emprega-se a tarifa convencional com apenas um posto tarifário conforme estabelece o subgrupo B1. O valor da tarifa é composto por duas componentes: Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Energia (TE). A primeira é relativa ao faturamento mensal de usuários do sistema de distribuição pelo seu uso. A segunda refere-se ao faturamento mensal de consumo de energia da unidade consumidora. Na tarifa convencional o preço do kWh não varia durante as horas do dia [3].

Com a crise energética e a necessidade da inserção das termoeletricas para suprir o consumo energético do país, ocorreu um aumento significativo das tarifas de energia acarretando inúmeras consequências para os consumidores. Para estimular o uso eficiente de energia a ANEEL, após



inúmeras audiências públicas, estabeleceu uma nova modalidade tarifária, denominada por Tarifa Branca. Trata-se de uma tarifa com três postos tarifários: ponta, intermediário e fora de ponta.

O horário de ponta consiste de um período de 3 horas consecutivas, ou seja, das 18h às 21h (fora do horário de verão), exceto sábado, domingo e feriados. No horário de ponta o valor da tarifa é cinco vezes maior que a tarifa praticada no horário fora de ponta. O período intermediário está estabelecido como sendo uma hora anterior e uma hora posterior ao horário de ponta, totalizando duas horas diárias, neste período o valor da energia é três vezes superior que aquela praticada no horário fora de ponta. No período fora de ponta a tarifa é 55% inferior àquela praticada pela Tarifa Convencional. A Figura 1 ilustra os postos tarifários praticados pela Tarifa Branca para o período dos dias úteis da semana. Para o período de sábados, domingos e feriados, o valor da Tarifa Branca a ser cobrado, é o mesmo para o horário fora de ponta.

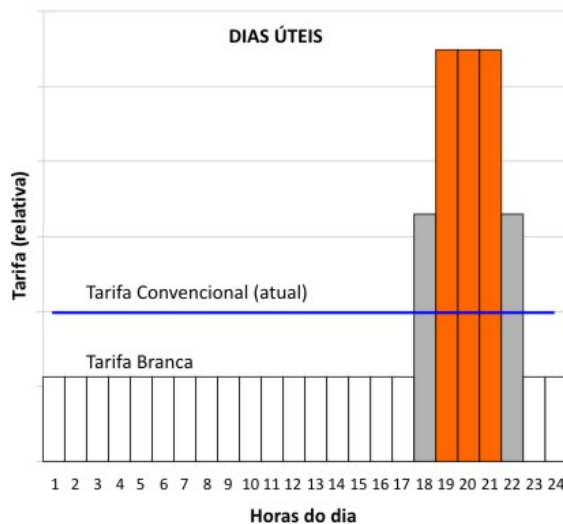


Fig. 1. Comparativo entre Tarifa Convencional e Tarifa Branca.

A Tarifa Branca busca influenciar os hábitos de consumo de energia elétrica para o consumidor de baixa tensão. Esta modalidade tarifária possibilita que o consumidor pague valores diferentes pela energia consumida de acordo com a hora e do dia da semana. Neste primeiro momento o consumidor poderá optar por esta modalidade tarifária e sua efetiva aplicação depende da adequação das concessionárias de energia com a instalação de medidores eletrônicos de energia.

No entanto, não basta apenas realizar a opção pela Tarifa Branca para se obter uma redução na fatura mensal da energia elétrica. O consumidor deverá alterar seus hábitos de consumo deslocando seu consumo para horários no período fora de ponta. Antes de aderir à Tarifa Branca é necessário realizar um estudo do perfil de consumo e avaliar a diferença entre a Tarifa Branca e a Convencional. Quanto maior a diferença entre a Tarifa Branca e a Convencional e quanto mais o consumidor deslocar seu consumo para fora do horário de ponta, maiores serão seus benefícios.

Importante citar que antes de aderir a Tarifa Branca deve-se realizar uma auditoria energética com vistas a identificar as cargas elétricas utilizadas na unidade residencial e

verificar a possibilidade de substituição por outras mais eficientes. Para os consumidores que utilizam o chuveiro elétrico para aquecimento da água de banho, a primeira alternativa é a instalação de um sistema de aquecimento solar (SAS). Conforme medições realizadas em diversas residências, o uso do chuveiro elétrico ocorre, via de regra, no horário de ponta, o que tornaria a fatura mensal ainda mais onerosa caso houvesse a opção pela Tarifa Branca.

Uma alternativa para não mudar o perfil de consumo e desfrutar dos benefícios da Tarifa Branca é a utilização da energia solar térmica, pois essa reduziria o gasto energético referente ao chuveiro durante o horário de ponta. Portanto as concessionárias de energia elétrica, especialmente no horário de ponta, podem se beneficiar da melhor utilização da eletricidade quando se opte pela instalação de aquecedores solares para o banho. Para o consumidor, a agregação da energia solar ao banho diminui custos com energia elétrica, consequentemente aumentando a renda mensal das famílias. Pelas razões anteriormente expostas e também devido aos custos evitados pelo setor elétrico e aos benefícios ambientais associados, sistemas domésticos de aquecimento solar para a população de baixa renda devem ser estimulados por políticas governamentais [4-6].

Diante deste contexto surge este trabalho que tem por objetivo avaliar a viabilidade econômica da implantação de SAS em substituição ao chuveiro elétrico em consumidores residenciais considerando a Tarifa Branca. O trabalho faz ainda, uma comparação considerando-se os valores das tarifas praticadas pela CEMIG e pela CELG.

II. METODOLOGIA

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho de pesquisa, utilizou-se o programa computacional *HOMER Pro Energy* que permite avaliar o desempenho técnico e econômico quando da inserção de sistemas de geração distribuída em unidades consumidoras, considerando modalidades tarifárias diversas, simular sistemas conectados à rede, isolados ou híbridos, combinando diferentes tipos de geração.

O programa considera a curva de carga da unidade consumidora sob análise o que permite um estudo mais próximo da realidade. O *HOMER Pro Energy* possui descrições de modelos simplificados de sistemas, realiza cálculos em base de tempo horária para centenas de configurações, apresentando como resultado a melhor solução do ponto de vista econômico. Através da otimização de parâmetros técnicos específicos para cada situação de análise e, ainda considerando os custos da tarifa praticada, o programa simula diversas situações apresentando resultados detalhados para cada configuração [7]. Quatro cenários foram idealizados para a realização dos estudos propostos neste trabalho. A Tabela I resume as características de cada caso.

Tabela I – Casos Simulados.

Casos	Modalidade Tarifária		Sistema de Aquecimento de Água	
	Tarifa Convencional	Tarifa Branca	Chuveiro Elétrico	Solar
01	■	□	■	□
02	□	■	■	□
03	■	□	□	■
04	□	■	□	■

A. Caso 01

O primeiro caso considerado como referência para os demais, consiste em um consumidor residencial típico sem levar em consideração a aplicação de sistema de aquecimento solar e com fatura de energia sendo calculada pela Tarifa Convencional.

Trata-se de uma situação comum para a grande maioria dos consumidores residenciais. As simulações levam em consideração, para título de comparação, os valores da tarifa convencional praticados pela CEMIG em Minas Gerais e pela CELG-D em Goiás, cujos valores médios das tarifas de energia aplicadas ao grupo B1 são, respectivamente, R\$ 0,80 e R\$ 0,70 (incluindo impostos). A curva de carga do consumidor residencial em estudo está representada na Figura 02.

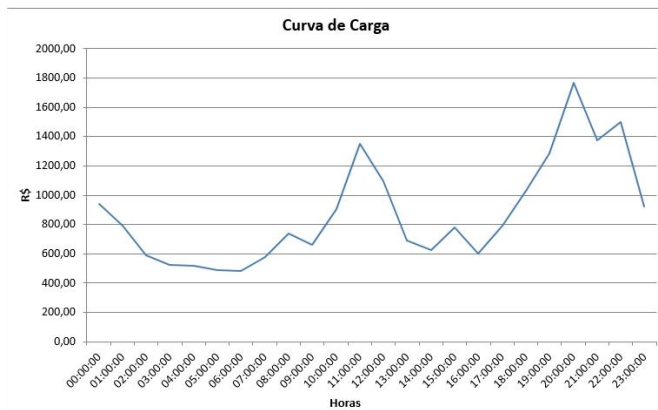


Fig. 2. Curva de carga – consumidor residencial.

B. Caso 02

O segundo cenário em análise consistiu-se em avaliar a mesma unidade consumidora com faturamento da energia consumida utilizando a Tarifa Branca, sem qualquer ação para alterar os hábitos de consumo, ou seja, sem adequar sua curva de carga aos postos tarifários mais onerosos conforme estabelece esta nova modalidade tarifária.

Os valores praticados para os diversos postos tarifários, pelas duas concessionárias, são dados na Tabela II.

Tabela II - Valores dos postos tarifários – Tarifa Branca.

Distribuidora	Fora de Ponta [R\$]	Intermediário [R\$]	Ponta [R\$]
CEMIG	0,44	2,40	4,00
CELG	0,38	2,10	3,50

C. Caso 03

Após avaliar a unidade consumidora considerando as duas modalidades tarifárias (Convencional e a Tarifa Branca) praticadas pela CEMIG e CELG, a próxima etapa consistiu na substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar.

Nesta nova condição operacional tem-se uma nova curva de carga que o programa deve levar em consideração nas análises.

A Figura 03 apresenta a nova curva de carga após a substituição do chuveiro elétrico pelo sistema de aquecimento solar, resultando numa redução da ordem de 24% no consumo de energia elétrica [1]. Para uma melhor comparação, optou-se por apresentar as duas curvas de carga da unidade consumidora.

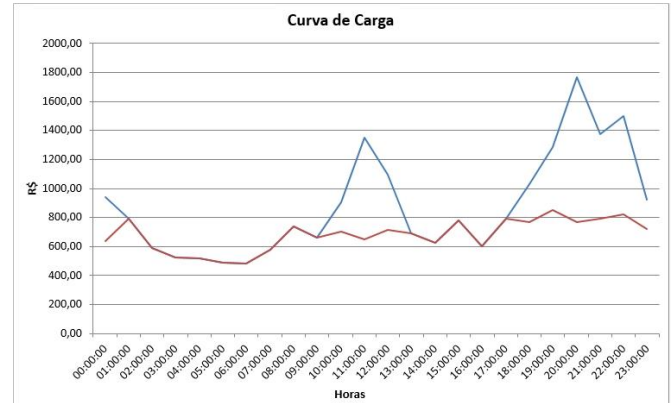


Fig. 3. Curvas de carga com e sem aquecedor solar.

D. Caso 04

O último cenário de análise consiste em avaliar a unidade consumidora após a substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar considerando a opção pela Tarifa Branca. Os valores praticados para os postos tarifários são apresentados pela Tabela II.

III. MODELAGEM DO SISTEMA NO HOMER PRO

O sistema analisado consiste de uma unidade consumidora residencial cuja curva de carga foi obtida através de um medidor de energia ao longo de 7 dias. Os estudos realizados pelo programa computacional *HOMER Pro* necessitam de diversos parâmetros para que o mesmo possa apresentar a melhor opção sob o ponto de vista técnico e econômico. Seu processo de otimização necessita, entre outros, dos seguintes dados:

- Curva de carga da unidade consumidora;
- Modalidade tarifária;
- Valores de tarifa de energia para os postos tarifários;
- Características dos diversos componentes que perfazem o sistema em análise.

As Figuras 4 e 5 mostram os perfis de consumo utilizados neste artigo após a inserção dos dados no programa.

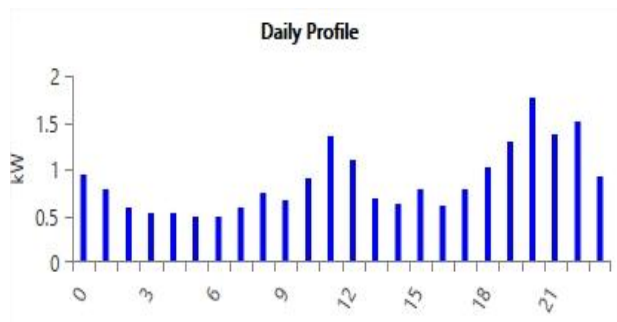


Fig. 4. Perfil de carga anual para residência sem SAS.

O sistema computacional é de fácil manuseio e a montagem de uma configuração é totalmente interativa. A Figura 6 apresenta o esquemático do sistema após inserção dos dados.

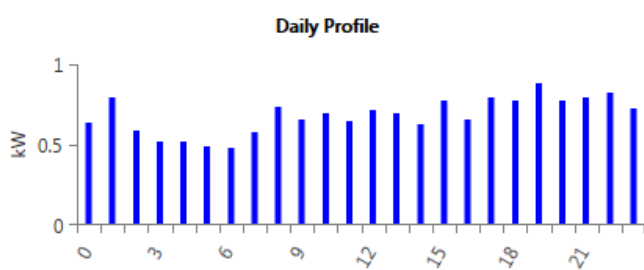


Fig. 5. Perfil de carga anual para residência com SAS.

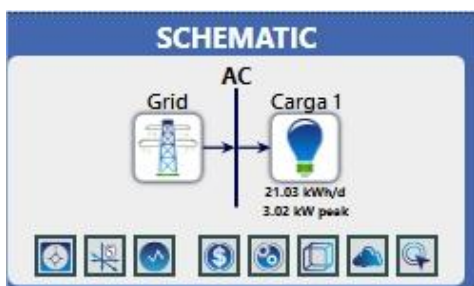


Fig. 6. Sistema modelado no HOMER Pro.

O programa *HOMER Pro* após o processo de otimização, classifica os resultados encontrados por meio do custo final de energia (do inglês: *cost of energy* - COE). O COE é a média do custo por kWh consumido, seja este produzido pelo sistema de geração ou comprado da rede. A Equação 1 apresenta a formulação utilizada pelo programa para calcular o COE.

$$COE = \frac{C_{anual_Total}}{E} \quad (1)$$

Onde:

- C_{anual_Total} - Custo anual total da energia.
- E - Energia entregue a carga.

O programa usa vários fatores para se calcular o custo anual total da energia, tais como o custo base do kWh, fatores financeiros diversos (Inflação, taxa de desconto), entre outros.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizar as simulações computacionais, considerando os casos supracitados, apresenta-se, inicialmente os resultados nas Tabela III e IV, considerando os valores praticados pela CELG e CEMIG.

Tabela III - Resultados para CELG.

Casos	COE (R\$/kWh)	Custo Operacional (R\$/ano)	Consumo Anual De Energia (kWh/Ano)	Emissão de Dióxido de Carbono (Kg/Ano)
03	0,700	4184,33	5978	3777,9
01	0,700	5372,29	7675	4850,4
04	0,836	4962,97	5978	3777,9
02	0,906	6954,06	7675	4850,4

A partir da Tabela III, nota-se que a retirada do chuveiro com a Tarifa Convencional (Caso 03), gera uma redução de cerca de 1697 kWh/ano em relação a simulação do Caso 01, o que resulta numa economia anual de R\$1187,96.

Tabela IV - Resultados para CEMIG.

Casos	Levelized COE (R\$/Kwh)	Custo Operacional (R\$/ano)	Consumo Anual De Energia (KWh/Ano)	Emissão de Dióxido de Carbono (Kg/Ano)
03	0,800	4.782,10	5978	3777,9
01	0,800	6.139,76	7675	4850,4
04	0,949	5.671,55	5978	3777,9
02	1,040	7.948,53	7675	4850,4

Ao comparar a diferença da fatura mensal com a Tarifa Branca à mesma atinge um valor de R\$1.991,12 (Casos 02 e 04). Já a diferença da Tarifa Convencional com a Tarifa Branca, considerando o uso do chuveiro elétrico (Casos 01 e 02), ocorreu um aumento no custo anual da energia, de cerca de R\$1.581,8. Já a análise da simulação considerando o uso do SAS e as duas modalidades tarifárias (Casos 03 e 04) o aumento do custo anual com energia elétrica foi da ordem de R\$ 778,64.

A partir da Tabela IV, nota-se que a retirada do chuveiro no Caso 03 gera uma economia anual de R\$ 1.357,66. Ao se comparar os casos com Tarifa Branca (casos 02 e 04) a diferença ao final do ano é de R\$ 22.76,98. Já a diferença dos valores com energia anual entre os casos de Tarifa Branca e Tarifa Convencional com chuveiro elétrico (casos 01 e 02) é de R\$ 1.581,77, e a diferença dessas tarifas com o sistema de aquecimento solar (casos 03 e 04) é de R\$ 889,45.

Em todos os casos, o custo final da energia ficou mais elevado, considerando a mudança na modalidade de cobrança, da Tarifa Convencional para Tarifa Branca, mesmo com a substituição do chuveiro pelo SAS.

De forma muito similar, as mesmas considerações e os mesmo resultados obtidos pela análise da Tabela III (CELG), podem ser consideradas ao analisar a Tabela IV (CEMIG).

V. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que houve uma redução de cerca de 24% no consumo de energia no horário de ponta, significando uma redução no consumo anual de 7948 KWh para 5672 KWh, conforme os estudos realizados e simulados no

programa computacional supracitado. A redução do consumo de energia elétrica reflete diretamente na diminuição da emissão de dióxido de carbono. Para o caso simulado o resultado das simulações indicou uma redução anual de 1072.8 kg.

O cenário mais favorável apontado nos estudos esta associado àquele em que se considerou as tarifas praticadas no estado de Goiás. Nesta condição tem-se maiores vantagens financeiras com a substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar.

Importante ressaltar que as simulações computacionais mostraram que a opção pela Tarifa Branca e, considerando a curva de carga da unidade consumidora escolhida nos estudos, não resultou em vantagens financeiras em nenhuma das concessionárias avaliadas.

Este trabalho é o início de uma série em que se busca avaliar as melhores opções para o consumidor residencial em reduzir o consumo de energia elétrica.

Não há dúvidas que qualquer ação de eficiência energética reduz o consumo de energia com reflexo imediato na diminuição dos gastos deste insumo.

Trabalhos futuros já se encontram em estudos que consiste em considerar a inserção da geração distribuída através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica e o uso de sistemas de armazenamento de energia para uso no horário de ponta.

REFERÊNCIAS

- [1] L.E.M. Vasconcellos, M.A.C. Limberger, (Org.). “Energia solar para aquecimento de água no Brasil: contribuições da Eletrobras Procel e parceiros”. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.
- [2] F.R. Martins, R. Ruther, E.B. Pereira, S. L. Abreu. “Solar energy scenarios in Brazil. Part two: photovoltaics applications”. Energy Policy 2008.
- [3] ANEEL. Resolução 456, de 29 de Novembro de 2000. “Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica”.
- [4] H.F. Napolini, R. Ruther. “Agregação da energia solar ao banho: influência da resolução temporal da técnica de medição da demanda sobre sua redução no horário de ponta”. V Congresso Brasileiro de Energia Solar – V CBENS, Recife-PE, 2014.
- [5] H.F. Napolini, R. Ruther. “Avaliação do potencial de inserção de sistemas de aquecimento solar na moradia popular através da criação de um fundo de investimento em energia solar”. V Congresso Brasileiro de Energia Solar – V CBENS, Recife-PE, 2014.
- [6] H.F. Napolini, R. Ruther. “Avaliação da viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar térmica ao banho na habitação popular”. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar – IV CBENS e V Conferência Latino Americana da International Solar Energy Society – ISES, São Paulo-SP, 2012.
- [7] T. Lambert, P. Gilman, P. Lilenthal. “Micropower system modeling with HOMER”. In: Farret FA, Simões

MG, editors. Integration of alternative sources of energy. John Wiley and Sons; 2006.

- [8] Instituto Nacional de Estatística (2003). *Índices de Preços na Produção Industrial*. Acedido em 24 de Novembro de 2003, em: <http://www.ine.pt>.

DADOS BIOGRÁFICOS

Diogo Machado de Souza, nascido em 22/12/1995 em Santa Terezinha de Goiás-GO, é aluno do curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Goiás - Campus Itumbiara.

Felipe Gomes Vicente, bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Itumbiara (ingresso 2014), bolsista de iniciação científica (PIBIC – 2015) vinculados à qualidade de energia e fontes renováveis.

Carlos Alberto Alves Campos, bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Itumbiara (ingresso 2014), bolsista de iniciação científica (PIBIC – 2015) vinculados à qualidade de energia e fontes renováveis

José Flávio dos Santos Amaral, bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Itumbiara (ingresso 2014), bolsista de iniciação científica (PIBIC – 2015) vinculados á qualidade de energia e fontes renováveis.

Gabriel Oliveira Kolailat, possui ensino médio segundo grau pelo Colégio Ressurreição Diocesano Itumbiara (2010). Atualmente é do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica.

Sergio 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.

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.