

Aplicação da Tecnologia Fotovoltaica em Prédios Conectados à Rede: Estudo para a Reitoria da Universidade Federal do Ceará

A. B. Moreira, A. H. Pereira, C. R. Schmidlin Jr, L.C.J. Silveira, P.C.M. Carvalho e T. N. Cavalcante Neto.

Resumo—O artigo propõe um estudo da utilização da tecnologia solar fotovoltaica (FV) em prédios conectados à rede em Fortaleza. Uma nova fase se inicia a nível de Brasil, seguindo tendência já verificada nos países industrializados, com a inserção da tecnologia em ambientes urbanos. O uso da energia solar via tecnologia FV possui grande potencial para atender à crescente demanda de energia elétrica da região Nordeste, devido às características climáticas. O estado do Ceará, por exemplo, é caracterizado por insolação superior a 2.800 horas/ano e um valor médio diário para a radiação solar sobre uma superfície horizontal da ordem de 5,4 kWh/m²/dia. O sistema FV proposto para a Reitoria da Universidade Federal do Ceará pode contribuir para a autonomia energética da edificação.

Palavras-chave — geração fotovoltaica, sistemas interligados à rede.

I. INTRODUÇÃO

A Tecnologia solar fotovoltaica (FV) vem, ao longo dos últimos anos, inserindo-se paulatinamente no mercado mundial. Os módulos FV têm assumido um lugar diferenciado entre as novas tecnologias, em parte devido aos esforços coordenados de engenheiros, arquitetos, especialistas em sistemas elétricos, fabricantes e a indústria de materiais. A indústria FV cresceu cerca de 30 % ao ano na década passada. De acordo com dados preliminares, a produção global de módulos FV alcançou 740 MW em 2003 [2].

Os sistemas FV, primeiramente não conectados à rede em aplicações remotas, estão sendo utilizados em larga escala no desenvolvimento de projetos residenciais e comerciais interligados à rede elétrica. Estes sistemas FV são como unidades geradoras complementares às grandes centrais geradoras elétricas convencionais.

Dentre as vantagens deste tipo de instalação interligada à rede pode-se destacar:

- não requer área extra fazendo uso de telhados e fachadas e estruturas adicionais ;
- pode ser utilizada no meio urbano, próximo ao ponto de consumo, eliminando perdas por transmissão e distribuição;
- constitui inovador material arquitetônico e estético dando imagem ecológica ao projeto.

II. EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Na Alemanha, a edificação do Instituto de Sistemas de Energia Solar Fraunhofer (ISE) possui um exemplo de desenho de edificação energeticamente eficiente. Os sistemas FV incorporados ao envelope do edifício somam 20 kWp, produzem uma base anual de energia elétrica necessária à demanda de iluminação dos escritórios, cerca de 15 MWh [9].

A estação de trem Lehrter, em Berlim, utiliza a incorporação dos elementos FV às fachadas das plataformas, os quais exercem várias funções na estrutura. Estes elementos integrados fornecem sombreamento e abrigo, bem como produzem eletricidade. Os módulos instalados variam sua forma na estrutura e apresentam inclinação entre 7° e 19°, somando um total de 78.000 células FV (780 módulos) de alta eficiência com uma área de célula ativa de aproximadamente 1142 m². A planta FV tem uma potência nominal instalada de 189 kWp com uma área total instalada de 1870 m². Um controle baseado em computador e sistema de monitoração foi também instalado. A instalação alimenta a rede com 160.000 kWh/ano [3].

O edifício ZICER, parte integrante da Universidade de East Anglia, na Inglaterra, é um dos mais eficientes energeticamente da Europa. Em sua estrutura conta com 33 kWp instalados em 2003 [4].

O museu das Crianças de Roma, na Itália, tem um desenho inovador de uma planta FV de 15,2 kWp. Esta planta fornece 60% da iluminação artificial total do pavilhão ou 30% da energia requerida para operar as exposições do museu [5]-[6]. A instalação é dividida em dois sistemas: Um sistema de 7 kWp, na fachada, utiliza 108 módulos medindo 555 x 1215 mm, cobre uma superfície total de 76 m²; O outro no telhado do museu tem capacidade de 8,2 kWp, utiliza 72 módulos medindo 1145 x 1145 mm e cobre uma superfície total de 142 m² [6].

Segundo o protocolo de Quioto, a Itália reduz a emissão de CO₂ em aproximadamente 1,8 t/ano antes de 2010. Isto significa que a planta FV do Museu das Crianças de Roma tem balanceada a emissão de CO₂ de 10 italianos [6]. Com tal projeto a tecnologia FV conseguiu maior publicidade efetiva para disseminação dos sistemas FV na Itália.

III. EXPERIÊNCIA BRASILEIRA

Os projetos implementados até o presente momento têm caráter experimental e didático devido às barreiras econômicas ainda enfrentadas.

Em setembro de 1997 foi posta em operação, no campus da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis, a primeira instalação solar FV interligada à rede elétrica no Brasil [1]. O sistema FV conta com uma potência nominal de 2 kWp, foi originalmente dimensionado para atender uma demanda energética anual de uma família de quatro pessoas em uma residência urbana brasileira típica; desta forma, quando os painéis solares geram mais energia do que a necessária para atender à instalação consumidora, o excesso é injetado na rede elétrica. Por outro lado, quando o sistema FV gera menos do que o necessário para atender à instalação consumidora, então é buscado na rede elétrica o complemento.

O sistema foi integrado à fachada superior norte de uma edificação de três pavimentos, que abriga o Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) do Departamento de Engenharia Mecânica/UFSC em Florianópolis. O sistema, com superfície total de aproximadamente 40m², foi montado com uma inclinação igual à latitude local (27°) e orientado para o norte geográfico a fim de maximizar a incidência solar anual [1].

A instalação completou um ano de operação em 1998 e apesar da relativamente baixa insolação local gerou no período uma quantidade de energia elétrica de 2,6 MWh, o suficiente para abastecer uma residência urbana média ao longo de um ano. A instalação FV compreende: 54 painéis opacos e 14 painéis semitransparentes de a-Si:H de junção dupla, um sistema inversor CC/CA; medidores de irradiação solar e temperatura e um sistema de aquisição de dados com computador dedicado. O monitoramento da energia gerada inclui potência CC, potência CA efetiva e energia total gerada [1].

Outro sistema instalado é o da Universidade de São Paulo (USP), na fachada norte do edifício da administração do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP. O sistema tem potência nominal de 6,3 kWp, aproximadamente 63 m², e produz cerca de 25% da demanda de eletricidade da edificação [7].

O gerador FV de 6,3 kWp e um inversor CC/CA de 4,4 kW constituem o sistema instalado. A potência de 4,4 kW é obtida através da associação de quatro inversores de 1,1 kW conectados em paralelo à rede de baixa tensão. A potência CC de 6,3 kW foi dividida em quatro arranjos, cada um contendo 20 módulos eletricamente associados.

Em dezembro de 2002, foi inaugurado no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) um sistema FV conectado à rede instalado no Centro de Aplicações de Tecnologias Eficientes (CATE). O sistema é constituído por 204 módulos FV (80 Wp), com 17 módulos em série e 12 em paralelo, perfazendo uma potência instalada de 16,32 kWp. Os módulos de silício cristalino instalados têm eficiência nominal na faixa de 16 a 17% [8]-[12].

A injeção de energia gerada é feita por 6 inversores (2500 W), conectados em delta na rede trifásica de 220 Vac do

prédio. Um sistema digital de monitoração/aquisição de dados possibilita o acompanhamento em tempo real do funcionamento e desempenho do sistema FV [8].

As estimativas a priori indicam que o sistema é capaz de produzir cerca de 19 MWh por ano. O consumo de energia do CEPEL está na faixa de aproximadamente de 220 MWh/mês (inverno) e 350 MWh/mês (verão); então a geração FV é esperada para alcançar uma parcela de 1% do consumo de energia elétrica do edifício [11].

Em 2004, o professor Ricardo Rüther lança o livro “Edifícios Solares Fotovoltaicos”, que é uma referência na área a nível nacional. Uma das poucas literaturas em sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica no Brasil.

IV. ESTUDO DE CASO

A. Características da Reitoria da UFC

O atual prédio foi construído especificamente para abrigar a Reitoria da UFC. O interior do palacete foi enriquecido pelo Reitor Martins Filho com duas escadarias de bronze e latão. Móveis de estilo foram adquiridos, assim como lustres de cristal, alguns comprados na Bahia, para ornamentação de vários salões. É um prédio tombado pelo patrimônio histórico (Fig. 1).



Fig. 1. Reitoria da UFC.

O prédio da Reitoria da UFC conta com 131 ambientes, dentre estes a grande maioria desempenha atividades técnico-administrativas, dentre os ambientes estão: Gabinetes do Reitor e do Vice-Reitor, as Pró-Reitorias de Planejamento e Administração, o Cerimonial, a Sala dos Ex-Reitores, a Ouvidoria, a Coordenadoria de Comunicação Social, a Coordenadoria de Assuntos Internacionais, a Procuradoria Geral, as assessorias especiais do Reitor, o Setor de Passagens, o Setor de Transportes, o Conselho Universitário, a Divisão de Integração Universidade-Empresa da Pró-Reitoria de Extensão. A edificação possui 3.994 m² de superfície construída. É um cliente que se enquadra como grande consumidor de energia elétrica que tem tarifa horosazonal verde, ou seja, a estrutura tarifária utiliza valores de demanda na ponta e fora de ponta e consumo no período na ponta e fora de ponta para o período seco e o período úmido.

Segundo dados cedidos pelo Programa de Eficiência no Consumo de Energia Elétrica da UFC - PROCEN, a Reitoria tem uma demanda de 200 kW e de consumo ativo por ano de

283.500 MWh. A TABELA I mostra o consumo de energia elétrica da edificação.

TABELA I
CONSUMO MENSAL DE ENERGIA ELÉTRICA DA REITORIA DA UFC.

Mês	Consumo (kWh)
abr/03	26.812
mai/03	18.855
jun/03	22.630
jul/03	21.250
ago/03	22.439
set/03	22.767
out/03	25.988
nov/03	28.736
dez/03	26.479
jan/04	25.229
fev/04	22.059
mar/04	20.256

O PROCEN tem analisado constantemente as contas de energia elétrica da Reitoria, com o intuito de reduzi-las através de medidas que visam a eficiência energética. Entre as medidas sugeridas estuda-se a viabilidade técnica da geração FV para a Reitoria.

B. Dados de Radiação Solar Global

O uso da energia solar via tecnologia FV possui grande potencial para atender à crescente demanda de energia elétrica da região Nordeste, devido às características climáticas. O estado do Ceará, por exemplo, é caracterizado por insolação superior a 2.800 horas/ano e um valor médio diário para a radiação solar sobre uma superfície horizontal da ordem de 5,4 kWh/m²/dia. Devido à proximidade à linha do Equador, este potencial solar se encontra à disposição em todos os meses do ano, sendo desprezíveis as mudanças climáticas causadas pelas estações do ano.

O Grupo de Processamento de Energia e Controle da UFC

– GPEC, desde abril de 2003, coleta dados de radiação solar global através de um pirâmetro localizado no telhado do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE). Os dados são coletados de 10 em 10 minutos. A partir dos dados de radiação coletados é possível estimar o potencial de geração de sistemas solares FV em qualquer ponto de Fortaleza. Na Fig.2., observa-se a radiação solar global média mensal para Fortaleza.

C. Sistema Proposto

O sistema FV proposto na edificação da Reitoria da UFC é um estudo inicial de aplicação da tecnologia FV interligado à rede na universidade que visa dar uma autonomia energética, ou seja, aproveitar a disponibilidade de energia solar via tecnologia FV durante todo o ano.

A instalação proposta é composta por gerador FV de 25,35 kWp e um arranjo de inversores de 26kW, obtida através da utilização de inversores de 1 kW, com alto rendimento (eficiência de 93%, comutados pela rede e onda senoidal), conectados em paralelo à rede de baixa tensão (Fig.3).

A instalação proposta é composta por gerador FV de 25,35 kWp e um arranjo de inversores de 26kW, obtida através da utilização de inversores de 1 kW, com alto rendimento (eficiência de 93%, comutados pela rede e onda senoidal), conectados em paralelo à rede de baixa tensão (Fig.3).

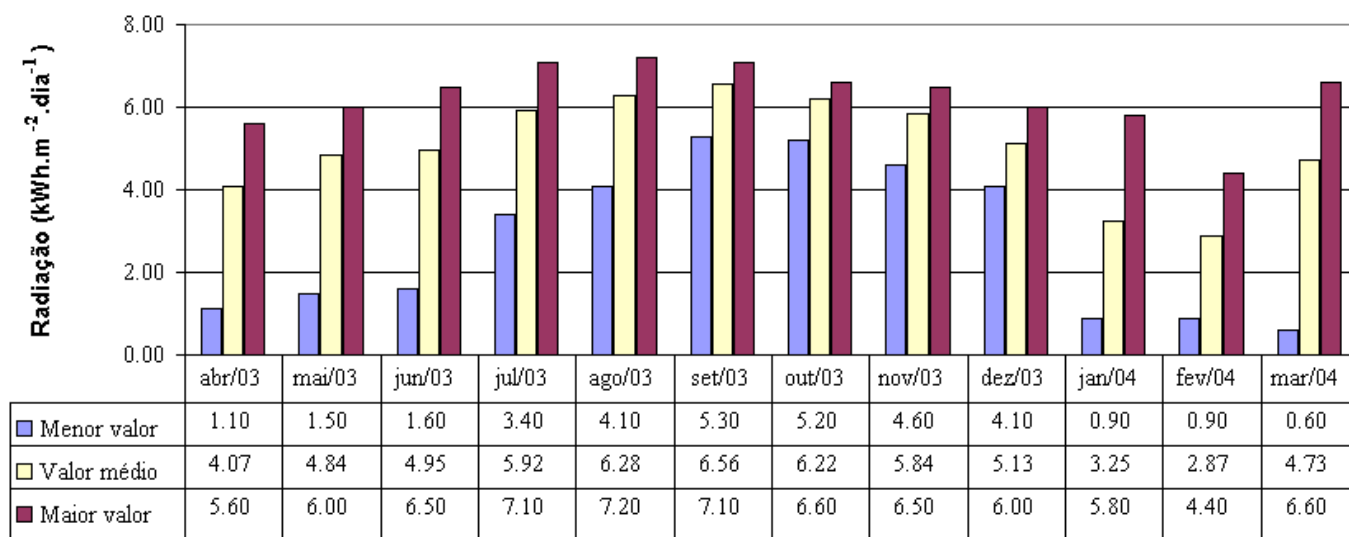


Fig. 2. Valores mensais de radiação para o período de Abril de 2003 a Março de 2004 para a cidade de Fortaleza.

A potência CC de 25,35 kW foi dividida em 26 arranjos, cada um contendo 13 módulos eletricamente associados em

série. Para formar os arranjos, 338 módulos de silício monocristalino de 75 Wp, tensão 156 V foram utilizados,

medindo 1200 mm x 527 mm, cada.

O arranjo dos inversores escolhido visa maior confiabilidade do sistema, visto que o inversor é o elemento mais susceptível à falha. Com a configuração escolhida, a falha do inversor não indisponibiliza a instalação FV, tornando mais confiável a planta.

O ângulo de inclinação é de aproximadamente 15° , com painéis dirigidos para o norte; com isso pretende-se maximizar a disponibilidade de radiação solar ao longo do ano e ainda facilitar a limpeza dos painéis.

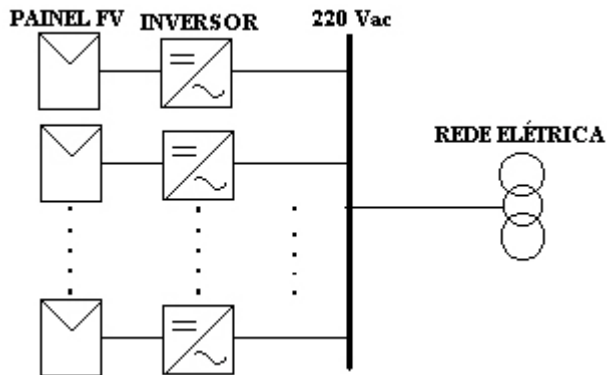


Fig. 3. Diagrama Esquemático do sistema proposto.

A Reitoria é uma edificação de estilo clássico, tombado pelo patrimônio histórico do Ceará, sendo assim encontra-se dificuldade em realizar alterações em sua estrutura. Então, o projeto propõe a aplicação de cobertura FV para o estacionamento.

A área hachurada (Fig.4) representa o local proposto para a implementação de cobertura de parte do estacionamento com elementos FV, pois não sofre sombreamento do edifício ou de áreas verdes. Desta forma, a estrutura se beneficia com a eletricidade e abrigo para os veículos automotivos.

O estacionamento (Fig.5) conta com uma superfície total de aproximadamente 826 m². O projeto envolve o equivalente a um quarto da área do estacionamento, sem trazer qualquer dano à área verde ou à estrutura arquitetônica da Reitoria.

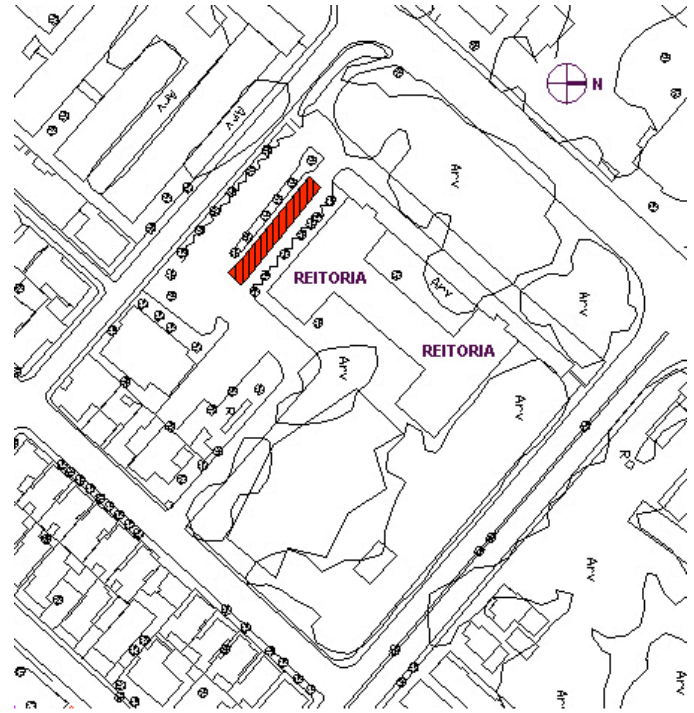


Fig. 4. Planta de situação do prédio da Reitoria, mostrando a área hachurada do estacionamento.



Fig. 5. Estacionamento da Reitoria da UFC.

D. Estimativa de energia elétrica gerada

A implementação da instalação FV proposta pode contribuir com uma parcela média de 13% do consumo de energia elétrica da Reitoria da UFC. A instalação operando em uma base anual pode fornecer 36 MWh. O fornecimento estimado é decorrente dos dados de radiação solar global disponível (Fig.2) e superfície do arranjo FV instalado, considerando um fator de eficiência de 10%.

A planta FV de 25,35 kWp interligada à rede, pode fornecer o equivalente a toda a carga de iluminação artificial da Reitoria da UFC (Fig. 6), ou o equivalente a uma parcela de 15% do consumo de aparelhos condicionadores de ar (Fig.7). O consumo dos

condicionadores de ar representa cerca de 82% do consumo total da Reitoria da UFC.

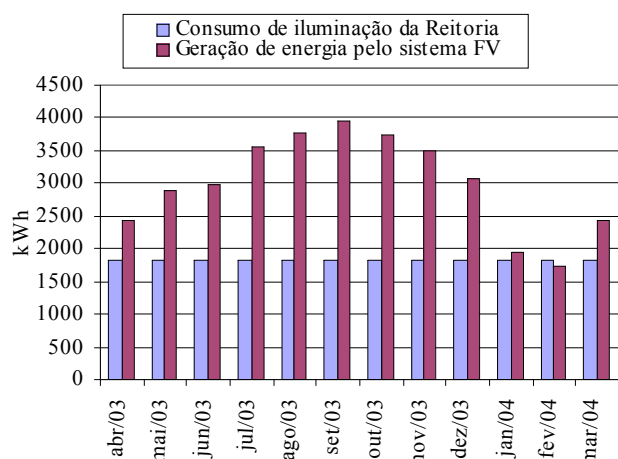


Fig. 6. Comparação da geração de energia pelo sistema FV e o consumo de energia elétrica (kWh) da Reitoria.

O *retrofit* dos aparelhos antigos por outros eficientes, ou ainda, a utilização de sistema solar passivo visando a redução de carga térmica do ambiente são alternativas que devem ser melhor analisadas.

V. CONCLUSÕES

O sistema FV proposto possui uma contribuição média de 13% do consumo de energia elétrica da Reitoria da UFC, ou toda a carga de iluminação artificial, dando autonomia energética ao prédio.

No prédio da Reitoria da UFC, o gerador FV pode atuar como fonte complementar da rede elétrica, aproveitando a energia solar, que é uma fonte energética não poluente e renovável.

A realização do projeto traz uma publicidade efetiva para a tecnologia FV no Estado, além de aproveitar o potencial solar disponível durante todo o ano, sendo a primeira instalação interligada à rede proposta no Estado do Ceará.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos às Centrais Elétricas Brasileiras S.A – ELETROBRÁS, ao PROCEN e ao DEE-UFC.

VII. REFERÊNCIAS

Livro:

- [1] R. Ricardo, *Edifícios Solares Fotovoltaicos*, vol. I. Florianópolis: Labsolar, 2004, p. 48-49.

Revistas:

- [2] A. F. Fischbach. Photovoltaic systems harnessing the power of the sun. E&C, 2003.
- [3] C. F. Lange. Lehttrter Station. Renewable Energy World. Vol. 6 no.5, 2003.

- [4] D. Howey. The ZICER building. Renewable Energy World. Vol. 6 no. 6, 2003.
- [5] C. Abbate. Photovoltaic designs for a solar genration. Renewable Energy World. Vol. 6 no. 4, 2003.
- [6] C. Vigevano and C. Abbate, "The Children museum of Rome : the architectural integration of a 15,2 kWp photovoltaics system," Available: http://www.aearchitetti.it/abstract_mdb_eng.htm
- [7] R. Zilles, S. H. F. de Oliveira. "Sistema de geração de energia elétrica com células fotovoltaicas integradas em edificações," Técnica, São Paulo, v.63, p.69-71, 2002.
- [8] M. A. Galdino, "Energia Solar Fotovoltaica 16 kWp conectados à rede no CEPEL," CRESESB Informe, Rio de Janeiro, junho 2003.

Artigos :

- [9] H. Laukamp, S. Herkel, K. Kiefer, K. Voss and S. Andersen, "Architectural integration of photovoltaic systems – the new premises of Fraunhofer ISE," in *Proc. 17 th European Photovoltaic Solar Energy Conf.*, pp. 2359-2362, 2001.
- [10] R. Zilles, S.H. de Oliveira, "6.3 kWp Photovoltaic Building Integration at São Paulo University," in *Proc. 17 th European Photovoltaic Solar Energy Conf.*, 2001.
- [11] R. Rütther, "Sistemas solares fotovoltaicos integrados à arquitetura de edificação urbana e interligado à rede elétrica pública," presented at the XV SNPTTE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, Brasil, 2003.
- [12] M. A. Galdino, "The implantation of a grid-connected pv system at CEPEL," presented at the RIO3 – World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, Brazil., pp. 65-74, 2003.

VIII. BIOGRAFIAS



Adson Bezerra Moreira, nascido em Fortaleza, Brasil em setembro de 1979. Graduado na Universidade Federal do Ceará - UFC – em 2003 em Engenharia Elétrica. Atualmente é membro do PROCEN – Programa de Eficiência no Consumo de Energia Elétrica da UFC e mestrando na área de conservação de energia e fontes alternativas de energia.



Adriano Holanda Pereira, nascido em Fortaleza, Brasil em junho de 1977. Técnico em Eletricidade e Eletrônica, Graduado na Universidade Federal do Ceará – UFC em 2003 em Engenharia Elétrica. Atualmente é membro do PROCEN – Programa de Eficiência no Consumo de Energia Elétrica da UFC e mestrando na área de eficiência energética industrial e eletrônica de potência.



Celso Rogério Schmidlin Júnior, nascido em Guaratuba, Paraná, Brasil, em 23 de março de 1980. Graduado no ano de 2003 em Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas de Energia, na Universidade Federal do Ceará. Atualmente é membro do PROCEN – Programa de Conservação de Energia Elétrica da Universidade Federal do Ceará e está cursando o mestrado na área de Eficiência Energética e fontes alternativas de energia.

Leila Cristina Jovina da Silveira, nascida em Teresina, em dezembro de 1978. Graduada na Universidade Federal do Ceará – UFC – em 2003 em



Engenharia Elétrica.

Participou de grupo de estudo de fontes alternativas de energia elétrica, notadamente eólica e atualmente é membro do PROCEN – Programa de Eficiência no Consumo de Energia Elétrica da UFC e mestranda na área de conservação de energia e fontes alternativas de energia.



Paulo César Marques de Carvalho, nascido em Fortaleza em abril 1963. Doutor pela Universidade de Paderborn - Alemanha 1993-1997, professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará.

Pesquisador na área de Sistemas de energia, com várias publicações na área de geração fotovoltaica e eólica.



Tomaz Nunes Cavalcante Neto, nascido em 1954 em Fortaleza, Brasil. Mestre em Distribuição de Energia Elétrica na Universidade de São Paulo, professor da disciplina de conservação de energia elétrica e coordenador do PROCEN – Programa de Eficiência no Consumo de Energia Elétrica da Universidade Federal do Ceará.