



Análise da Contribuição Energética para Aplicação de Tecnologia Solar Fotovoltaico Conectado a Rede de Energia Elétrica em Prédios Públicos no Estado do Tocantins

Sergio B. Silva¹, Paulla H. F. Vasconcelos²

¹Doutor do Curso de Sistemas Elétricos do IFTO. e-mail: sergio@ifto.edu.br;sergio.eng@gmail.com

²Aluna de PIBIT/Sistemas Elétricos do IFTO. e-mail: paullahortencia@hotmail.com

Resumo: O objetivo deste artigo é apresentar uma análise da contribuição energética de sistemas solares fotovoltaicos conectados a rede de energia elétrica em prédios públicos no estado do Tocantins. Esses sistemas podem ser úteis para fornecer energia durante o dia, em locais com alta demanda no mesmo período do dia, como por exemplo, para atendimento ao consumo associado aos aparelhos de ar condicionado. A avaliação parte do estudo de caso desenvolvido na sede da Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado do Tocantins (SEAGRO-TO), localizada na cidade de Palmas – TO, Brasil. Utilizando o programa computacional HOMER© (*Hybrid Optimization Modeling Energy*) foram realizadas as análises a partir da curva de carga e das características sazonais local da radiação solar para um período de 1 (um) ano. Os resultados desse estudo permitem concluir que o aproveitamento da energia solar fotovoltaica em prédios públicos no Brasil pode reduzir tanto o consumo como a demanda de energia contratada, reduzindo assim, os custos de energia da edificação.

Palavras-chave: Fontes Renováveis, Geração Distribuída, Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o esgotamento e a alta dos preços dos combustíveis fósseis, bem como com os riscos ambientais causados pela sua utilização em larga escala em todo o planeta, contribuem para uma demanda crescente por soluções tecnológicas para a produção de energia, que sejam sustentáveis e ambientalmente amigáveis.

O uso de algumas tecnologias, que aproveitam recursos renováveis, como as usinas eólicas ou a energia solar fotovoltaica (FV), vem crescendo no mundo todo. Essas tecnologias já superaram os primeiros estágios de desenvolvimento tecnológico e apenas o custo da energia produzida ainda representa uma barreira para a sua utilização em larga escala.

Woyte et al. (2003) comentam que nos países industrializados os sistemas fotovoltaicos conectados a rede (SFCR) estão sendo instalados, na maioria das vezes, de forma integrada às edificações. A integração destes sistemas com o ambiente construído oferece um grande potencial para a redução de custos, tanto da concessionária quanto da construção, além de poder ser considerado de grande valor para a arquitetura urbana. No Brasil, o uso desta tecnologia de forma integrada à edificação urbana e conectada à rede elétrica ainda é bastante reduzido, havendo até o momento somente algumas aplicações desta modalidade, na sua maioria em campi universitários (ZILLES e OLIVEIRA, 2001); (RÜTHER, 2004).

A energia produzida pelos SFCR é inserida diretamente na rede elétrica convencional. Estes sistemas são mais simples e, conseqüentemente, mais econômicos, quando comparado aos sistemas fotovoltaicos isolados, pois não necessitam de baterias para o armazenamento de energia.

O ano de 2011 pode ser considerado um marco para o uso da energia solar fotovoltaica no Brasil, com a publicação, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), da Chamada de Projeto de P&D Estratégico nº 013/2011 – “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. Como resultado dessa iniciativa, serão instalados cerca de 25 MWp de usinas solares fotovoltaicas (CFER – centrais fotovoltaicas conectadas à rede) com potências individuais na faixa de 1 a 3 MW.

Em abril de 2012 a diretoria da ANEEL aprovou regras destinadas a reduzir barreiras para instalação de geração distribuída de pequeno porte, que incluem a microgeração, com até 100 kW de potência, e a minigeração, de 100 kW a 1 MW (ANEEL, 2012). A Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012 criou o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar



pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. A regra é válida para geradores que utilizem fontes incentivadas de energia (hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada). Paralelamente ao sistema criado, a ANEEL aprovou novas regras para descontos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD e na Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão – TUST para usinas maiores (de até 30 MW) que utilizarem fonte solar.

O aproveitamento de energia solar fotovoltaica em prédios públicos pode contribuir significativamente para redução dos custos da energia para esse setor da economia, considerando a simetria entre o consumo e a produção de energia.

Nesta pesquisa, avalia-se o potencial de utilização de SFCR em prédios públicos na cidade de Palmas Tocantins. A avaliação parte de um estudo de caso a ser realizado na Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado do Tocantins (SEAGRO) a partir das características da curva de carga consumida, das características sazonais local da radiação solar da cidade citada anteriormente, do custo da energia no estado e dos custos dos equipamentos para instalação do sistema FV de geração de energia.

A pesquisa busca contribuir com banco de dados sobre as características do estado quanto ao potencial da energia solar. Espera-se que a pesquisa contribua para a disseminação da energia solar fotovoltaica como geração distribuída no Brasil em direção ao desenvolvimento sustentável.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O método utilizado foi analisar diferentes condições técnicas e econômicas para aplicação solar fotovoltaica integrada a prédios públicos em Palmas, Tocantins.

Palmas é a capital do Estado do Tocantins, situada na região Norte do Brasil na Latitude: 10.1908° Sul e Longitude: 48.3019° Oeste. Fundada em 20 de maio de 1989, destacando-se por ser uma cidade planejada a partir de um Plano Diretor, criado com o propósito de ter características de cidade tradicional, mas concebida a partir de referências do urbanismo moderno, e estruturada por uma macro malha viária, que acessibilidade a toda a cidade através da continuidade e conexão dos corredores e espaços público.

Sua arquitetura também pode ser destacada com prédios significativos, localizados em sua maioria na Praça dos Girassóis. Além da arquitetura presente em suas edificações, a Praça dos Girassóis é considerada a maior praça pública da América e uma das maiores do mundo com 570 mil metros quadrados. Está localizada no eixo que divide Palmas em Norte, Sul, Leste e Oeste. A praça abriga as sedes dos três poderes estaduais e tem amplos espaços de lazer.

Neste trabalho ainda em desenvolvimento, foi escolhido o prédio da SEAGRO, a qual está a desenvolver um estudo para implementar a construção de um SFCR em sua estrutura.

Foi utilizado o programa computacional HOMER (*Hybrid Optimization Modeling Energy*). A utilização deste proporcionou a otimização do projeto, mostrando as opções técnicas e econômicas mais viáveis.

2.1 CONSUMO DE ENERGIA

A concessionária local forneceu os dados de demanda horária e de consumo de energia da secretaria. Os dados foram registrados no equipamento SAGA1000 Landis+Gyr, e fornecem valores registrados a cada 15 minutos. Esses dados permitiram, com a utilização do HOMER, simular a curva de demanda de carga mensal para o sistema e gerar o perfil diário de consumo presente na Figura 1. No sábado e domingo, o consumo de energia é mínimo, sendo registrado apenas um valor praticamente fixo de aparelhos que permanecem constantemente em operação. Há também redução característica do consumo de energia no período entre as 12:00 e 14:00 do dia durante os demais dias da semana. O custo da energia convencional para grandes consumidores aplicado a SEAGRO foi de R\$0,20 em Novembro de 2011. O valor da Demanda Contratada aplicado no mesmo período foi de R\$64,52.

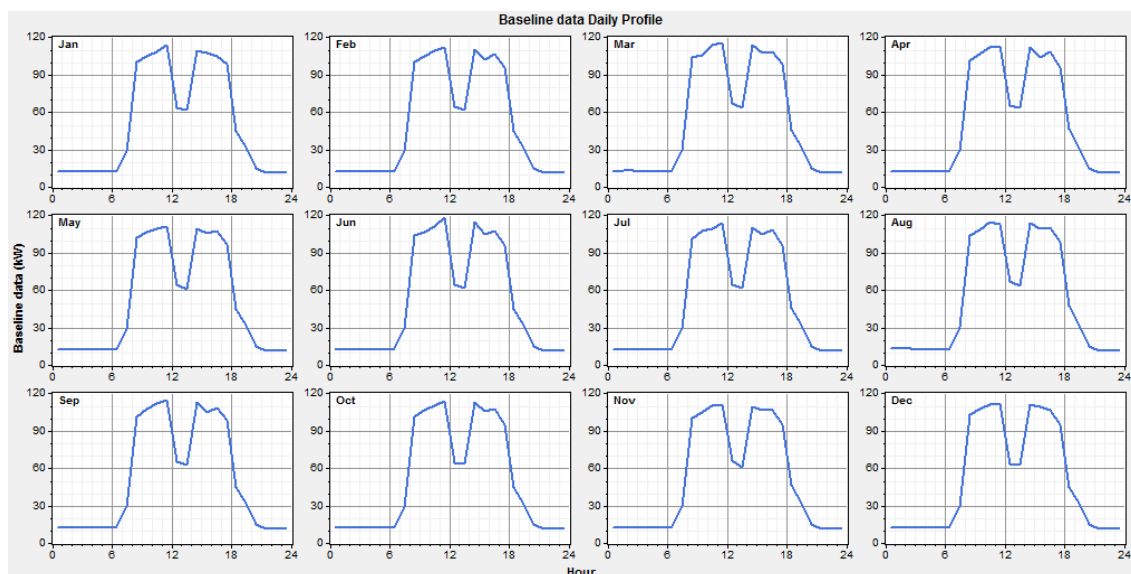


Figura 1 - Demanda mensal da edificação

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

A partir de dados de radiação solar coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a inserção destes no HOMER, a Figura 2 permite mostrar o comportamento da radiação global mensal em Palmas, com os dados horários sintetizados a partir da média mensal dos mesmos. De junho a setembro compreende o período de melhor radiação, onde apresentam maior índice de claridade.

O valor médio diário da radiação registrada para a cidade de Palmas é de 4,78 kWh/m²/dia para o ano de 2011.

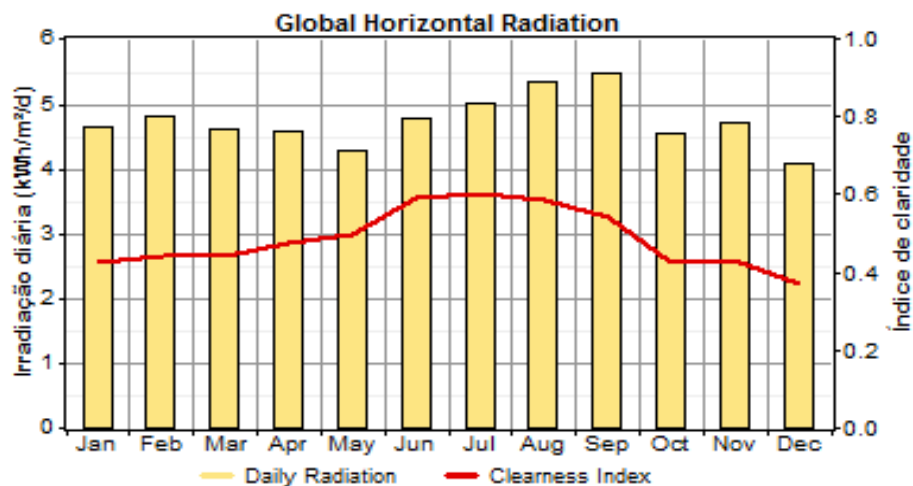


Figura 2 - Curva de irradiação global mensal em Palmas-TO.

2.3 ÁREA PARA INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Devido às características da Praça dos Girassóis, cada secretaria é espaçada suficientemente para não sofrer influência de sombra entre eles. A área total disponível nos telhados foi de 800 m², enquanto a área disponível nos estacionamentos foi de 640 m².

Dois modelos de painéis fotovoltaicos foram escolhidos para atender as necessidades do projeto. O modelo de painel flexível PVL-136 do fabricante UNISOLAR foi definido para área disponível dos estacionamentos devidos suas características e a opção de modelar a cobertura dos



estacionamentos. Já o modelo KD-135 da Kyocera, foi escolhido para utilização na cobertura do telhado. A Tabela 1 apresenta as características dos módulos utilizados.

Tabela 1 - Características do módulo FV em condições padrões

Modelo	P _{max,0}	V _{pm}	I _{mp}	Área	NOCT	Eff.
KD135	135W _p	17,7V _{cc}	7,63A	1 m ²	47,9°C	13,47%
PVL-136	136W _p	33V _{cc}	4,13A	2,16 m ²	46 C	6,29%

A equação (1) apresenta o cálculo para determinar a potência nominal do SFCR para o atendimento a demanda diária da edificação. O rendimento do sistema foi considerado igual a 90%, considerando as perdas nos cabos mais as perdas associadas na conversão CC/CA.

$$P_{cc} = \frac{E}{G_m} \cdot \frac{1}{R} \quad (1)$$

Em que:

P_{cc} - Potência média necessária (kW_p).

G_m - Horas de sol média diária (h/dia).

E - Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia).

R - Rendimento do Sistema (%).

A equação (2) é utilizada para o cálculo da área necessária para instalações dos módulos FV.

$$A_T = \frac{P_{cc} \cdot 100}{E_{ff}} \quad (2)$$

Em que:

A_T - Área total requerida pelos módulos FV (m²).

E_{ff} - Eficiência do módulo FV (%).

Para analisar sua operação, foi usado um modelo baseado nas seguintes hipóteses:

- Todas as células do arranjo PV são idênticas e operam com a mesma radiação e temperatura;
- Não existem perdas no arranjo com o sistema FV;
- O arranjo FV opera sempre no ponto de potência máxima para todas as condições ambientais de radiação e temperatura;
- Se as condições ambientais de radiação e temperatura variarem, o modelo se adapta automaticamente para seu ponto de potência máxima;
- A temperatura das células solares depende exclusivamente da radiação e temperatura ambiental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O HOMER gerou valores alternados de pico de demanda para cada mês. Estes valores são apenas teóricos, pois a SEAGRO possui demanda contratada fixa de 200 kW. A Figura 3 apresenta dados do sistema que utiliza apenas a rede convencional. O resultado de custo de energia para esse caso foi de R\$ 0,495/kWh¹. Pode-se notar um resultado não realístico no programa quanto à análise do pagamento da demanda contratada. O programa realizou o cálculo do custo da demanda, multiplicando o valor de pico mensal pelo respectivo valor da demanda contratada. Na prática, esse valor é fixo, representando o valor contratado versus o custo da demanda.

¹ Apesar dos valores apresentados nas figuras, extraídas do HOMER estarem com a cifra \$, todos os valores utilizados e analisador foram em R\$.



Month	Energy	Energy	Net	Peak	Energy	Demand
	Purchased (kWh)	Sold (kWh)	Purchases (kWh)	Demand (kW)	Charge (\$)	Charge (\$)
Jan	30,652	0	30,652	132	6,130	8,496
Feb	26,728	0	26,728	144	5,346	9,319
Mar	30,000	0	30,000	129	6,000	8,308
Apr	28,587	0	28,587	139	5,717	8,985
May	30,360	0	30,360	132	6,072	8,519
Jun	28,761	0	28,761	135	5,752	8,717
Jul	29,647	0	29,647	134	5,929	8,649
Aug	31,201	0	31,201	133	6,240	8,558
Sep	27,813	0	27,813	142	5,563	9,155
Oct	30,621	0	30,621	133	6,124	8,555
Nov	29,194	0	29,194	129	5,839	8,292
Dec	28,661	0	28,661	131	5,732	8,444
Annual	352,225	0	352,225	144	70,445	103,998

Figura 3 - Simulação de custo de energia da rede

Com a análise da Figura 4, pode-se afirmar que a integração da geração solar fotovoltaica contribuirá com a redução do consumo de energia da edificação, pela coincidência temporal entre a geração e o consumo. A média mensal de produção de energia ao se utilizar 19% de fonte renovável mais o que é consumido pela rede convencional fará com que o custo de energia seja R\$ 0,508/kWh.

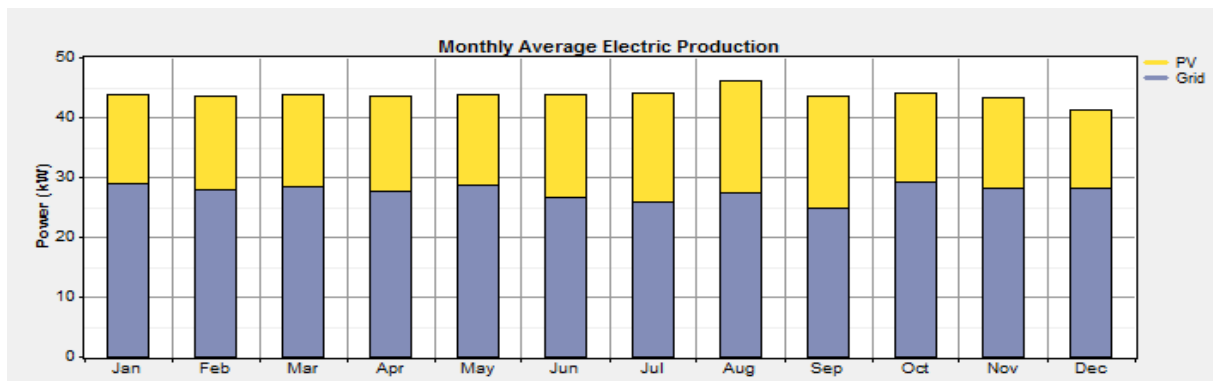


Figura 4 - Média mensal de produção de energia

As simulações feitas pelo HOMER (Figura 5) permitem observar que é mais viável utilizar apenas a rede convencional, onde o custo de energia será menor se comparado ao sistema que utiliza fonte renovável. Este cálculo econômico foi realizado considerando-se 25 anos de vida do projeto e para esse período não é possível recuperar o valor do investimento.

	PV (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
			200	\$ 0	174,443	\$ 2,229,970	0.495	0.00
	50	50	200	\$ 385,235	153,421	\$ 2,346,473	0.508	0.19
	100	50	200	\$ 670,235	139,184	\$ 2,449,474	0.511	0.33
	50	100	200	\$ 485,471	154,749	\$ 2,463,689	0.534	0.19
	100	100	200	\$ 770,471	137,569	\$ 2,529,070	0.520	0.36
	152	100	200	\$ 1,066,871	121,327	\$ 2,617,836	0.500	0.51
	152	50	200	\$ 966,635	132,755	\$ 2,663,695	0.549	0.38

Figura 5 – Resultados de otimização do SFCR



6. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta as contribuições de um SFCR para edificações públicas no Estado do Tocantins. O trabalho ainda em desenvolvimento visa realizar um levantamento técnico e econômico, apresentando os benefícios e desafios da tecnologia para aproveitamento da energia FV na região.

Baseado nos resultados iniciais da pesquisa em desenvolvimento, a contribuição do SFCR alcançou característica redução do consumo de energia do prédio. Porém o valor de demanda ainda torna o sistema FV inviável, não compensando o valor do investimento em 25 anos. Novo contrato de demanda pode ser realizado com uma redução de aproximadamente 10% do valor contratado, contribuindo para redução dos custos de energia e conseqüentemente o pagamento dos custos de implantação do SFCR. As condições climáticas no Brasil favorecem a utilização desses sistemas de geração distribuída, no entanto, faltam ainda políticas públicas para definição de modelos de tarifas e legislações específicas para SFCR.

REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional De Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482, De 17 De Abril De 2012**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: 1 agosto 2012.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**: Documento propositivo de ações para políticas públicas. Brasília, DF: CGEE, 2009.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Estação meteorológica automática de Palmas/TO**: radiação global. Disponível em: <www.inmet.gov.br> Acesso em: 18 de Maio 2011.

RÜTHER, R J. Cueto, G.T. Mani, A.A. Montenegro, B.V. Roedern. **Progress in understanding exposure history stabilization effects**, In: 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2008, San Diego –EUA. Proceedings of the 33rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference. New York : IEEE, 2008.

RÜTHER, R J. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**: O Potencial de Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública. Editora UFSC. LABSOLAR Florianópolis, 2004.

WOYTE, A.; NIJS, J.; BELMANS, R. **Partial shadowing of photovoltaic arrays with different system configurations: literature review and field test results**. Solar Energy, n.74, p. 217-213, 2003.

ZILLES, R.; OLIVEIRA, F. H. S. **6,3kWp Photovoltaic Building Integration at São Paulo University**. In: 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Munique, Alemanha, 2001.