

CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO ELETRICIDADE POR MEIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE NO BRASIL

R. S. Benedito¹, R. Zilles²

Instituto de Eletrotécnica e Energia – Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto 1289, CEP 05508-010, São Paulo, Brasil
Tel. 11 3091-2632 - Fax (11) 3816-7828 - e-mail: risibe@usp.br

RESUMO: Este trabalho visa caracterizar a produção de eletricidade por meio de SFCR - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil. A maior parte da capacidade instalada de 161,2 kW_p encontra-se nos Estados do Sul e Sudeste e serve para fins de pesquisa e ensino. O custo médio de geração, por meio de SFCR, foi calculado em US\$ 0,62 /kWh, valor 2,4 vezes maior que a tarifa residencial média. Argumentando-se que a tarifa convencional tende a crescer, nos próximos anos, ao passo que o custo de geração fotovoltaico demonstra tendência à redução, verificou-se que, em cerca de 8 anos, esses dois indicadores equiparar-se-ão, podendo esse tempo ser menor que 5,0 anos em localidades onde a tarifa é mais cara que a média nacional e a irradiação média anual é superior à verificada no restante do país. Termina-se com a elucidação do tratamento legal dado a essa atividade no Brasil.

Palavras chave: Energia solar, Geração distribuída, Sistemas fotovoltaicos, Conexão à rede

INTRODUÇÃO

A conversão fotovoltaica da energia solar, por meio de SFCR, promove diversos benefícios ao sistema elétrico e ao meio ambiente. A principal vantagem técnica é a possibilidade de se produzir eletricidade nos próprios pontos de consumo, gerenciando-se a expansão da oferta de energia de forma descentralizada. As centrais geradoras de grande porte, além de levarem muito tempo entre a construção e a entrada em operação, ficam distantes dos centros consumidores, exigindo-se investimentos adicionais em linhas de transmissão (BENEDITO; MACEDO; ZILLES, 2008). No caso brasileiro, cuja matriz elétrica é predominantemente hidroelétrica, a produção de eletricidade envolve o alagamento de grandes áreas, provocando desmatamento e deslocando pessoas e animais dos seus locais de origem. Se fosse feita a opção por ampliar a oferta de eletricidade por meio de SFCR, estes poderiam operar de forma silenciosa, sem emitir poluentes, aproveitando a energia solar incidente no próprio local de instalação.

No entanto, a despeito das inúmeras vantagens que esses sistemas apresentam, essa tecnologia enfrenta uma barreira econômica, devido ao elevado custo de geração em relação às fontes convencionais. No Brasil, custa entre duas e três vezes mais gerar energia a partir de SFCR que comprá-la das distribuidoras locais, as quais revendem energia produzida a partir de fontes convencionais. Muitos países têm enfrentado esse problema através de mecanismos de incentivo à produção e à aquisição de equipamentos fotovoltaicos, o que tem dado resultado prático, com a queda gradual no custo de produção de módulos e inversores e, conseqüentemente, no custo de geração. Um estudo feito pela IEA – International Energy Agency mostra que, entre 1996 e 2006, o custo dos sistemas fotovoltaicos em alguns mercados-chaves sofreu redução superior a 40% (IEA, 2007).

Enquanto isso, a tarifa convencional brasileira tem sofrido constantes reajustes, desde a liberalização do Setor Elétrico. Se essa tendência se confirmar, vislumbra-se, dentro de alguns anos, um momento em que haverá a equiparação entre o custo de geração por meio de SFCR e o preço da energia convencional ao consumidor final. E o Brasil pode não estar totalmente preparado para aproveitar essa oportunidade. Tecnicamente, as experiências com SFCR aqui desenvolvidas permitem assegurar o domínio da tecnologia e a sua melhor configuração de acordo com os mais variados climas. Mas os investimentos no setor são ínfimos, geralmente ligados a projetos de P & D - Pesquisa e Desenvolvimento, realizados por universidades, centros de pesquisa e concessionárias de energia, com uma tímida participação da iniciativa privada. Os 35 sistemas atualmente em operação, no país, totalizam 161,2 kW_p, enquanto nos países membros do PVPS - Photovoltaic Power Systems Programme, a potência acumulada em SFCR, ao final de 2007, era de 7,1 GW_p (IEA, 2008).

Soma-se à escassez de aporte financeiro uma legislação não preparada para regular, convenientemente, a Geração Distribuída por meio de SFCR. Embora a lei vigente permita a conexão de SFCR às redes de distribuição, nas modalidades Autoprodução ou Produção Independente, o enquadramento legal desses sistemas se faz por leis e decretos mais genéricos, próprios de um marco regulatório que prioriza a geração por meio de grandes plantas. Não existe uma regulamentação específica que delimite os procedimentos técnicos para a conexão de SFCR, observando-se aspectos de segurança, faixas de tensão adequadas ao porte das instalações, qualidade da energia injetada na rede e confiabilidade dos sistemas.

¹ Aluno de Mestrado do PPGE - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

² Docente do PPGE e Coordenador do LSF – Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo.

SITUAÇÃO DOS SFCR INSTALADOS NO BRASIL

Entre 1995 e 2009, foram instalados 39 SFCR no Brasil, dos quais 35 encontram-se em operação. A Tabela 1 traz as instituições responsáveis pela implementação dos sistemas em funcionamento e as respectivas potências instaladas.

LOCAL	SISTEMAS	POTÊNCIA INSTALADA (kW _p)
Universidade Federal de Santa Catarina - LabSolar	3	13,2
Universidade de São Paulo – LSF	4	16,1
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Laboratório de Energia Solar	1	4,8
Universidade Federal de Pernambuco – Grupo FAE	3	5,7
Universidade Federal de Juiz de Fora	1	31,7
Universidade Federal do Pará - GEDAE	1	1,6
Universidade Estadual de Campinas – LH2	1	7,5
CEPEL - Centro de Pesquisas em Energia Elétrica	1	16,0
CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina	3	4,2
CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais	4	11,0
Eletrosul Centrais Elétricas S.A.	2	14,3
Tractebel Energia	3	6,0
Intercâmbio Eletro Mecânico - Porto Alegre	1	3,3
Clínica Harmonia - São Paulo	1	0,9
GREENPEACE - Sede São Paulo	1	2,9
Residências Particulares	2	3,9
Solaris (Leme -SP)	1	1,0
Grupo Zeppini	2	17,1
TOTAL	35	161,2

Tabela 1: SFCR em operação no Brasil

Quanto ao vínculo institucional, observa-se, na Figura 1, uma predominância de projetos financiados com recursos de P & D, disponibilizados principalmente a universidades e concessionárias de energia. Essas instituições têm investigado o desempenho e a confiabilidade de equipamentos utilizados em SFCR, sob diferentes condições climáticas, bem como a qualidade da energia injetada na rede. Embora crescente, a participação de empresas privadas em projetos de SFCR ainda é baixa. Geralmente, os sistemas particulares são idealizados com o objetivo de divulgar o uso da energia solar, não havendo interesse comercial na tecnologia. Esse fato tem relação com o elevado custo de geração a partir de SFCR.

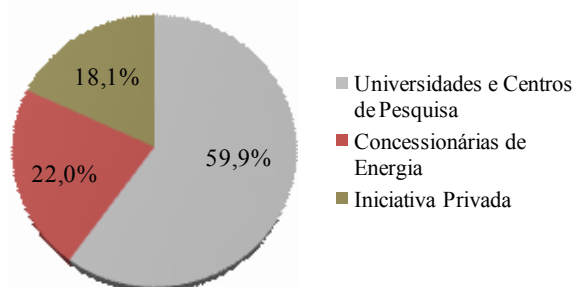


Figura 1: Distribuição da capacidade de acordo com o vínculo institucional

Quanto à distribuição geográfica da potência operacional, verifica-se um paradoxo. A maior parte da capacidade instalada encontra-se nas Regiões Sudeste e Sul, locais onde a disponibilidade do recurso solar e as tarifas convencionais praticadas são inferiores à média brasileira. Na Região Nordeste, onde os índices de irradiação anual são os mais elevados do país e as tarifas praticadas estão entre as mais caras, o número de projetos de SFCR é ínfimo. A Região Centro-Oeste, também com elevado potencial solar, não possui instalações fotovoltaicas conectadas à rede. É justamente nos locais com maior incidência de radiação solar e com as tarifas mais caras que os SFCR se demonstram mais competitivos.

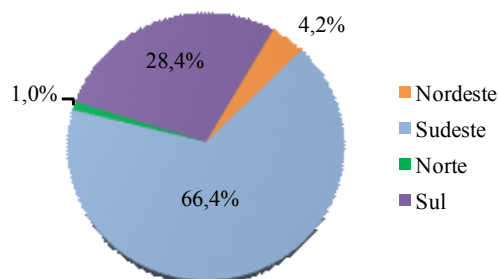


Figura 2: Distribuição de acordo com a Região

Benedito (2009) apresenta dados de produtividade para alguns dos SFCR listados na Tabela 1, a partir de informações divulgadas na literatura e de consultas diretas aos responsáveis pelos sistemas. A Tabela 2 apresenta o *CF* – Fator de Capacidade encontrado para essas instalações e o tipo de tecnologia empregada.

SISTEMA	CF	TECNOLOGIA
Universidade Federal de Santa Catarina - Prédio da Engenharia Mecânica	14,0%	a - Si
Universidade Federal de Santa Catarina - Centro de Cultura e Eventos	16,0%	a - Si
Universidade de São Paulo - LSF	16,8%	c-Si
Universidade de São Paulo - Prédio da Administração do IEE	12,5%	c-Si
Universidade Federal do Pará - GEDAE	14,8%	c-Si
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	13,8%	c-Si
CEPEL - Centro de Pesquisas em Energia Elétrica	14,7%	c-Si
Grupo Zeppini - Fundação Estrela	12,5%	a - Si

Tabela 2: Fator de Capacidade para alguns SFCR em operação no Brasil

Nem todos os 35 SFCR apresentam dados de desempenho, o que dificulta a comparação de sistemas operando sob diferentes configurações e climas.

CUSTO DA ENERGIA PRODUZIDA

Zilles e Oliveira (1999) apresentaram uma expressão simples para o cálculo do custo de geração fotovoltaico, em função de alguns parâmetros técnicos e econômicos, a qual está representada pela Equação 1.

$$C = \left[\frac{r \times (1 + r)^N}{(1 + r)^N - 1} + OM \right] \times \frac{I_{nv}}{87,6 \times CF} \quad (1)$$

onde:

C é o custo de geração, em centsUS\$/kWh;

r representa a taxa de desconto referente ao custo de oportunidade;

N corresponde ao tempo de vida útil do sistema;

OM representa uma porcentagem do investimento inicial dispendida anualmente na operação e manutenção do sistema;

I_{nv} corresponde ao custo de capital inicial, em US\$/kW_p;

CF corresponde ao fator de capacidade.

A partir da aplicação da Equação 1, foi possível a determinação do custo de geração para 10 localidades selecionadas. Para o cálculo de *CF*, partiu-se de dados históricos de irradiação, estimados com base em dados de estações meteorológicas em terra³, e do estabelecimento de uma potência nominal de 1 kW_p. Para a estimativa do custo de capital inicial (turn key), considerou-se a opção pela importação dos módulos e inversores e a nacionalização da mão-de-obra e demais equipamentos - o investimento inicial necessário encontrado foi de US\$ 8500,00 /kW_p. Por fim, considerou-se uma taxa de desconto de 7% ao ano, uma vida útil de 25 anos e um custo de *OM* anual correspondente a 1% do investimento inicial. Os resultados podem ser visualizados na Figura 3. Os valores de *C* foram ajustados para serem expressos em US\$/kWh.

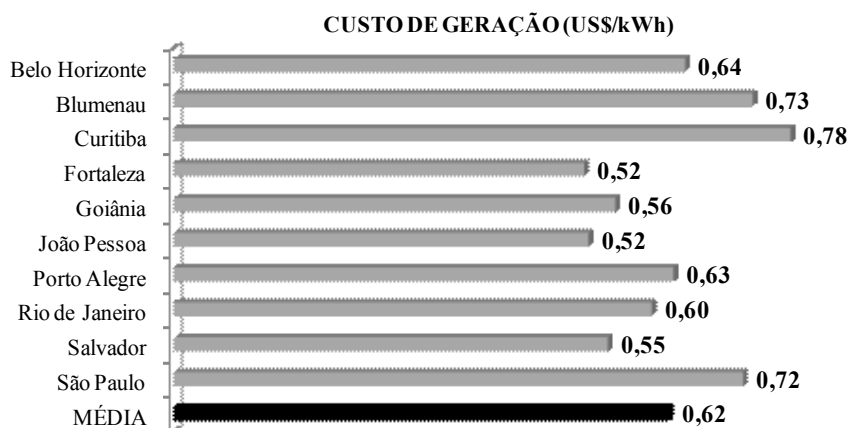


Figura 3: Custo de Geração a partir de SFCR para 10 localidades selecionadas

³ Disponibilizados através do Software Radiasol 2.1, desenvolvido por pesquisadores do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Como pode ser previsto, através da Equação 1, o custo de geração é inversamente proporcional a CF . Dessa forma, nas cidades da Região Nordeste (Fortaleza, João Pessoa e Salvador), onde o recurso solar é mais intenso, o custo da energia gerada a partir de SFCR é mais barato. Em contrapartida, localidades menos privilegiadas quanto à disponibilidade de radiação solar, como Blumenau, Curitiba e São Paulo, apresentam custo de geração superior à média.

COMPARAÇÃO COM A TARIFA CONVENCIONAL

O custo de geração médio encontrado é aproximadamente 2,4 vezes superior à tarifa média praticada nas localidades analisadas. Sendo assim, em termos atuais a tecnologia de SFCR não é competitiva, no Brasil. Mas o custo dos equipamentos fotovoltaicos, principalmente dos módulos, tem diminuído ao longo dos anos. A curva de aprendizado da indústria de módulos mostra que, toda vez que a produção dobra, o custo dos módulos diminui em 20%, o que se reflete no custo de geração. Por outro lado, a tarifa convencional cresceu vigorosamente no Brasil, nos últimos anos. Segundo o MME – Ministério de Minas e Energia, a energia fornecida ao setor residencial deixou de estar entre as dez mais baratas do mundo, em 1995, para ser a 20ª mais cara em 2008, estando à frente de Estados Unidos, China e Índia (MME, 2009).

Se essas tendências se confirmarem, haverá um momento em que o custo da energia convencional entregue ao consumidor residencial será equiparado ao custo de geração a partir de um SFCR que ele tenha em sua propriedade. Para se determinar em quantos anos haverá essa paridade, foi desenvolvido um modelo que pressupõe uma redução e um aumento percentuais anuais constantes no custo de geração fotovoltaico e na tarifa convencional, respectivamente. Dessa forma, pode-se calcular o tempo de paridade para cada localidade, a partir da aplicação da Equação 2 (Benedito, 2009).

$$n_{PAR} = \frac{\log(T_0/C)}{\log[(1 - RED)/(1 + AUM)]} \quad (2)$$

onde:

n_{PAR} é o tempo de paridade, em anos;

T_0 é a tarifa atual, por localidade;

C é o custo de geração atual, por localidade;

RED corresponde ao redutor percentual anual no custo de geração;

AUM representa o aumento percentual anual na tarifa convencional.

Nesse estudo, considerou-se $RED = 5\%$ e $AUM = 6\%$. A primeira suposição sustenta-se na análise dos custos de SFCR em mercados-chaves. Aplicando-se esse redutor, deve-se verificar uma queda de 40% em 10 anos, valor condizente com o observado em IEA (2007). A segunda baseia-se no cálculo do reajuste médio aplicado às tarifas no Brasil, entre 1997 e 2009.

A figura 4 mostra os resultados encontrados na simulação, para as 10 localidades. Nas cidades com maior tarifa e cujos SFCR apresentam maior fator de capacidade, a paridade dar-se-á em menos tempo. É o que ocorre, por exemplo, nas capitais Fortaleza e João Pessoa. Por outro lado, em locais onde a incidência de radiação solar é menor e a tarifa praticada é inferior à média, como São Paulo e Blumenau, a equiparação só ocorrerá após pelo menos uma década.

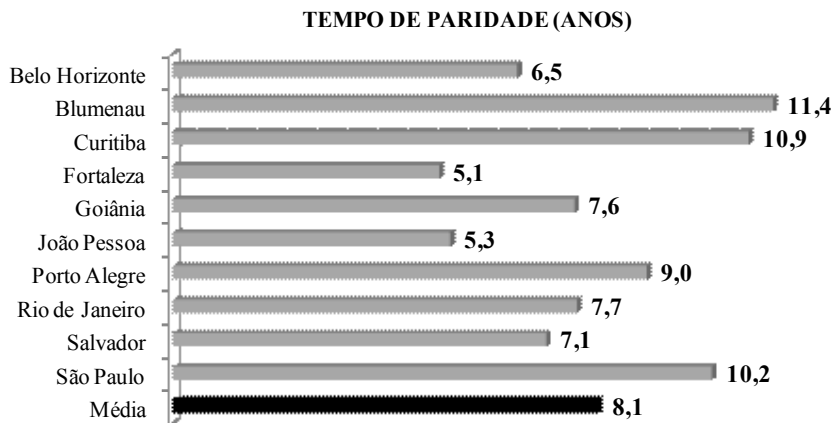


Figura 4: Tempo de paridade para as localidades selecionadas

Um caso à parte é Belo Horizonte, onde o recurso solar disponível não é superior à média mas, por ter uma tarifa cara, verificará a paridade antes de Salvador, na ensolarada Região Nordeste.

ENQUADRAMENTO PELA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A lei brasileira ampara a implantação de SFCR, desde o reconhecimento das instalações pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, passando pela efetivação da conexão às redes de distribuição e pelas regras para a possível comercialização da energia produzida. A questão que se coloca é o fato de não haver uma legislação específica para SFCR, de forma que o enquadramento legal que se faz desses sistemas se dá a partir de Leis e Decretos mais genéricos do Sistema Elétrico, gerando-se algumas lacunas, as quais poderão atrapalhar a disseminação da tecnologia, no futuro.

O Decreto Federal Nº 2003/1996 libera da necessidade de Concessão Pública ou Autorização centrais geradoras com potência menor que 5 MW, estando estas obrigadas apenas a efetuar o Registro junto à ANEEL, para entrar em operação. O texto do Decreto é direcionado a centrais hidroelétricas e termoeletricas, não fazendo menção direta às centrais de outras fontes de energia. Visando-se abarcar também outras fontes, foi publicada a Resolução ANEEL Nº 112/1999, a qual passou a incluir a necessidade de Registro para centrais termoeletricas, eólicas e de outras fontes de energia com potência inferior a 5MW, incluindo-se as centrais fotovoltaicas. Para plantas com potência superior a 5 MW, é exigida uma Autorização.

O requerente do Registro ou Autorização pode ser enquadrado em duas categorias: AP – Autoprodutor ou PIE – Produtor Independente de Energia. No primeiro caso, o proprietário, que pode ser pessoa física, empresa ou grupo de empresas reunidas em consórcio, produzirá energia para consumo próprio, podendo comercializar apenas o excedente de sua produção. Se, por outro lado, o requerente for reconhecido como PIE, a planta irá produzir energia destinada exclusivamente à comercialização. Uma das lacunas deixadas pela lei é o fato de apenas empresas poderem ser classificadas como PIE, o que impediria o investimento, por parte de pessoas físicas, em SFCR com o objetivo de vender energia às concessionárias locais, no caso em que essa atividade se mostrasse viável economicamente.

Para o acesso às redes de distribuição, faz-se necessária uma solicitação junto à concessionária, a qual deverá estabelecer os pré-requisitos mínimos para conectar a central geradora, com base no PRODIST - Procedimentos de Distribuição, documento divulgado pela ANEEL (ANEEL, 2008). O terceiro de oito módulos do PRODIST estabelece as faixas de potência permitidas, de acordo com o nível de tensão, como mostra a tabela 3. O texto também explicita os critérios de operação, manutenção e segurança adequados.

CLASSIFICAÇÃO	SISTEMA	TENSÃO NOMINAL	POTÊNCIA PERMITIDA
Baixa tensão	Monofásico	254 / 127 V ou 440 / 220 V	< 10 kW
	Trifásico	220 / 127 V ou 380 / 220 V	10 kW a 500 kW
Média tensão	Trifásico	13,8 kV ou 34,5 kV	76 kW a 30 MW
Alta tensão	Trifásico	69 kV ou 138 kV	> 30 MW

Tabela 3: Faixas de potência permitidas pelo PRODIST de acordo com o nível de tensão

Quanto ao mercado reservado à comercialização da energia proveniente de Geração Distribuída, o Decreto Nº 5163/2004 o define como sendo composto pelas concessionárias de distribuição. Estas devem atender a 100 % da demanda do mercado que atendem e, para isso, podem adquirir até 10 % das suas necessidades energéticas junto a geradores distribuídos. Embora tenha a tendência de ser mais cara, essa opção, por parte das concessionárias, compensa financeiramente, pois evita que elas se submetam a elevados preços no mercado spot e incorram em penalidades severas por comprarem energia no mercado desregulado. Assim, a Geração Distribuída deixa de ser vista como concorrente das distribuidoras e causadora de receitas, passando a servir como ferramenta de planejamento (Romagnoli, 2005). No caso específico dos SFCR, com a publicação do Decreto 5163 abriu-se um enorme nicho de mercado, principalmente nas situações em que o pico de geração coincide com o da demanda, como ocorre no verão de algumas capitais brasileiras. Nessas cidades, verifica-se um aumento da demanda por eletricidade, durante o período de Sol, devido ao consumo de aparelhos de ar condicionado, a qual poderia ser suprida, em parte, pela energia proveniente de SFCR integrados às edificações (Rüther et al., 2008).

CONCLUSÃO

Os SFCR demonstram ser uma excelente alternativa para o gerenciamento da expansão da oferta de eletricidade, nos centros urbanos brasileiros, a partir do aproveitamento de um recurso que o Brasil possui em abundância, que é a energia solar. Este trabalho constatou a existência de 35 sistemas como esses operando no Brasil, totalizando uma potência instalada de apenas 161,2 kW_p. Em parte, essa pequena participação deve-se a uma barreira econômica que atrapalha a disseminação dessa tecnologia. Em média, o custo atual de geração, por meio de SFCR, é 2,4 vezes maior que a tarifa residencial ao consumidor final brasileiro. Num futuro próximo, porém, essa situação tende a mudar. Os resultados obtidos na análise econômica indicaram que, em menos de uma década, será verificada a paridade entre o kWh fotovoltaico e a tarifa convencional, em grande parte das cidades brasileiras, confirmadas as premissas adotadas. E o Brasil poderá não estar preparado para usufruir de seu potencial solar, através plantas fotovoltaicas conectadas à rede, se recursos financeiros não forem direcionados ao aumento da capacidade instalada no país e se a legislação do Setor Elétrico não avançar em vários aspectos, começando-se pela valorização da Geração Distribuída como estratégia de expansão da oferta de energia e culminando-se numa regulamentação que atenda às particularidades dos SFCR.

REFERÊNCIAS

ANEEL (2008). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. Brasília, 2008.

Benedito, R. S.; Macedo, W. N.; Zilles, R. (2008). A produção de eletricidade com sistemas fotovoltaicos conectados à rede: barreira econômica, pontos de conexão e mecanismos de incentivo. In: II Congresso Brasileiro de Energia Solar. Florianópolis, 2008.

Benedito, R. S. (2009). Caracterização da Geração Distribuída de eletricidade por meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

IEA (2007). Photovoltaic Power Systems Programme. Trends in photovoltaics applications: Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2007. Switzerland, 2007.

IEA (2008). Photovoltaic Power Systems Programme. Trends in photovoltaics applications: Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2007. Switzerland, 2008.

MME (2009). Departamento de Gestão do Setor Elétrico. Informe Tarifário: Energia Elétrica. Brasília, 2009.

ROMAGNOLI, H. C. (2005). Identificação de barreiras à geração distribuída no marco regulatório atual do Setor Elétrico Brasileiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

RÜTHER, R., et al (2008). Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil. *Energy Conversion and Management* 49, 6, 1074-1079.

ZILLES, R. e Oliveira, S. H. F (1999). O Preço do W_p e o Custo do kWh Fornecido por Sistemas Interligados à Rede Elétrica. In: VIII Congresso Brasileiro de Energia, pp 743-748, Rio de Janeiro, dezembro, 1999.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e se enquadra nas atividades da ação de coordenação do Programa CYTED denominada “Desenvolvimento e difusão da geração distribuída com sistemas fotovoltaicos” (CNPq - Processo 490004/2008-3).

ABSTRACT: This work aims to characterize the electricity production, in Brazil, by GCPS – Grid-Connected Photovoltaic Systems. Most of the 149.8 kWp installed power is in the South and Southeast and operates for researching and teaching purposes. The average generation cost was calculated at \$ 0.62 / kWh, a value 2.4 times higher than the average conventional tariff. Arguing that conventional tariff tends to grow in coming years, while the cost of photovoltaic generation shows tendency to decrease, it was found that in about 8 years, these two indicators will be equal. This time can be less than 5.0 years in locations where the tariff is more expensive and average annual irradiation is higher than the rest of the country. This paper ends with the elucidation of the legal treatment given to this activity in Brazil.

Keywords: Solar energy, Distributed generation, Grid-connected photovoltaic systems