

Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede de Distribuição: Caso Coelba

Oswaldo Soliano – osoliano@unifacs.br

Eduardo Allatta – allatta@pro.unifacs.br

Maria Figueiredo – maria.figueiredo@unifacs.edu.br

Universidade Salvador, Departamento de Engenharia Elétrica

Hugo Machado – h.machado@coelba.com.br

Companhia de Eletricidade do estado da Bahia

Resumo. Este artigo apresenta e sintetiza os resultados de um projeto de instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA, tendo em vista avaliar os parâmetros técnicos, a viabilidade econômica, e aprofundar o conhecimento de sistemas conectados à rede. Embora os resultados da avaliação econômica sejam desfavoráveis, haja vista que o custo de geração com esta tecnologia ainda não é competitivo, o projeto possibilitará o aperfeiçoamento e a formação de profissionais nesta área para a empresa, na perspectiva de que esta forma de geração distribuída, que vem apresentando expressiva expansão em muitos países, seja inserida no planejamento dos investimentos da concessionária, desde que se institucionalize no Brasil políticas de incentivo ao seu uso em larga escala, incluindo uma regulação adequada às suas especificidades.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico Interligado, Geração Distribuída, Energias Renováveis

1. INTRODUÇÃO

Conforme aponta o estado da arte, a inserção da energia gerada através dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica - SFCR apresenta vantagens econômicas, como a dispensa no uso de baterias, a simplicidade no comissionamento, a ocupação de áreas já utilizadas, podendo ser integrado a edificações, e a diminuição das perdas de energia na transmissão e distribuição. Assim, o uso dos SFCR pode contribuir para a melhor eficiência de capacidade do sistema de distribuição, principalmente em locais onde o pico de demanda é diurno, como é o caso das regiões comerciais que apresentam curvas de carga sincronizadas com a curva de geração do arranjo fotovoltaico (Salamoni *et al.*, 2004)(Ruther *et al.*, 2008).

No Brasil, apesar do grande número de sistemas solares funcionando em áreas remotas, pouco ainda se sabe sobre as características operacionais destes sistemas interligados à rede elétrica de distribuição em baixa tensão, uma vez que os sistemas instalados são muito recentes e com poucos resultados publicados. Segundo levantamento efetuado e que serviu de referência para este P & D, os projetos de geração solar interligados no Brasil são experimentais e desenvolvidos basicamente por centros de pesquisa ligados a universidades e órgãos públicos, algumas vezes com a participação de concessionárias. Até 2009, foram cadastrados 28 sistemas, que totalizavam 150 Wp e apenas dois eram instalados em residências particulares.

Por outro lado, na regulamentação do setor elétrico brasileiro não há impedimentos à geração distribuída com esta fonte de energia, o que falta é a instituição de um programa de incentivos de longo prazo, que fixe quantidade e preços de energia, subsidiados num primeiro momento, para que se viabilize esta forma de geração. Falta, também, uma regulação normativa adequada ao porte destes sistemas com relação aos aspectos de qualidade de energia, segurança, confiabilidade e faixas de tensão adequadas. Em decorrência, projetos de geração fotovoltaica não têm sido usados pelos agentes do mercado.

Segundo (Jannuzzi,2009), duas iniciativas podem ser consideradas como incentivos ao uso de energia solar conectada à rede no Brasil. A primeira é a isenção fiscal ICMS sobre os módulos fotovoltaicos, bombas e aquecedores de água, através do Convênio ICMS 101/97. O prazo dessa isenção vai até 31/13/2012, conforme Convênio ICMS 1 de 20/01/2010, mas este benefício só se aplica aos equipamentos que são isentos ou tributados pelo Decreto 3827/01, que reduz a zero o IPI de diversos equipamentos e acessórios usados na geração de energia elétrica. Conforme informado pelos fabricantes e revendedores de equipamentos fotovoltaicos, apenas os módulos se beneficiam destas isenções e, na realidade, ainda não são fabricados no Brasil.

Uma segunda iniciativa relevante foi a implantação, em 2004, do Centro Brasileiro para o Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica (CB-SOLAR) nas instalações da Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), que está desenvolvendo uma planta-piloto para a fabricação industrial de módulos fotovoltaicos no país. As pesquisas já realizadas concluíram que é possível reduzir o preço dos módulos em até 15% com o emprego de matérias-primas e processos produtivos mais econômicos. A produção de 200 módulos estava prevista para final de 2009.

Há que se referir, ainda, ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), do Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), que instituiu, em 9 de fevereiro de 2002, dentro do escopo desse

programa, o Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos - GT-FOT. Este GT tem como objetivo estabelecer as normas para etiquetagem de sistemas fotovoltaicos e seus componentes, tendo em vista a melhoria da qualidade técnica destes produtos. Este trabalho, que envolve a participação de representantes de fabricantes, fornecedores, laboratórios (CEPEL, o IEE/USP, a PUC-RJ, a PUC-RS e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, entre outros) e órgãos públicos, visa a etiquetagem de equipamentos usados em sistemas fotovoltaicos. De acordo com o INMETRO, até janeiro de 2010, haviam sido etiquetados os seguintes quantitativos de diferentes marcas: módulos(31), inversores (13), controladores (06) e baterias (29).

Em 2008, foi instituído pela Portaria nº 36 (28/01/2008) da Secretaria de Desenvolvimento Energético do MME, um Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos – GT/GDSF, que está trabalhando na proposição de um programa e na regulamentação deste setor, com ênfase na utilização da geração fotovoltaica interligada. Não estão divulgadas as informações sobre os resultados e propostas deste GT.

A análise do PV Status Report 2008, do Institute for Environment and Sustainability, mostra que realidade brasileira é bastante diferente do contexto internacional, haja vista que nos últimos anos a geração fotovoltaica conectada é, dentre as energias renováveis, a que apresenta maior taxa de crescimento. Com efeito, ainda que inexpressiva em termos de geração de eletricidade a nível mundial, apenas 4,6% em 2008, a geração fotovoltaica interligada é a que registra o maior aumento relativo de capacidade instalada, da ordem de 550% entre 2002 e 2008, passando de 2,0 GW em 2002 para 13,0 GW em 2008.

Esta expansão se deve principalmente ao estabelecimento de políticas de incentivo ao seu uso, com destaque para alguns países europeus (notadamente Alemanha e Espanha) Japão e Estados Unidos. Essas políticas envolvem regulamentação adequada, recursos para pesquisa e programas de longo prazo, com metas quantitativas e preços /tarifas subsidiados, permitindo com que os preços de geração com esta tecnologia venham decrescendo rapidamente.

A análise das experiências mais bem sucedidas, relatadas pela European Photovoltaic Industry Association – EPIA, a exemplo da alemã, mostra que a existência de políticas consistentes e de longo prazo é a chave para o fortalecimento de um mercado de energias renováveis, uma vez que permite uma maior concorrência no mercado, estimulando a entrada de empresas de pequena e média escala, não só na geração como na produção de equipamentos, possibilitando a redução de custos e a formação de pessoal local.

Esta análise revela, ainda, que a maior parte dessas políticas envolve algum nível de subsídios diretos ou indiretos, considerando que mercados de energia não são e nunca foram completamente competitivos, pelo contrário, incluíram sempre subsídios às energias convencionais, que funcionam como obstáculos ao mercado de fontes renováveis. Adicionalmente, neste mercado, só recentemente começaram a ser incorporados os custos das externalidades ambientais, sociais e de segurança associados à produção e consumo de energia, incluindo os riscos correlacionados à volatilidade dos preços do petróleo e a uma maior diversificação da matriz energética.

Em geral as barreiras existentes com relação ao uso de fontes renováveis são similares em países desenvolvidos ou em desenvolvimento, ainda que uma característica de determinado país possa ter papel importante na superação das barreiras, a exemplos das condições da infra-estrutura local e qualificação de pessoal. Nos países em desenvolvimento uma barreira significativa para potenciais investidores são as incertezas políticas e regulatórias que interferem numa possível estabilidade do mercado.

A COELBA, através do programa Luz para Todos, deverá instalar, até maio de 2010, 18.426 Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI) como opção para a universalização de serviços de energia elétrica no meio rural, com respaldo na legislação vigente. Com o passar do tempo, na medida em que a demanda de energia das áreas beneficiadas com estes sistemas cresça, a interligação à rede irá substituir os sistemas fotovoltaicos já instalados, os quais ficarão disponíveis para outros usos e podem ser reutilizados pela concessionária e conectados à rede de distribuição de baixa tensão. Com esta perspectiva, este projeto visa particularmente avaliar os aspectos técnicos e econômicos da interligação de sistemas fotovoltaicos na rede da COELBA.

2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

2.1 O sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição

O sistema em estudo é composto por 24 módulos fotovoltaicos de 130 Wp, conectados em série, resultando em um gerador de 3120 Wp, com uma tensão nominal de 422 Vcc.

Este arranjo está apoiado sobre uma estrutura em alumínio orientada para o norte verdadeiro e com uma inclinação de 12° em relação ao plano horizontal. Faz parte também do sistema um inversor de frequência de 2500 W, uma estação meteorológica e um analisador de energia.

O inversor de frequência foi doado pela Universidade de São Paulo - USP no contexto de um projeto maior que envolve o grupo GEDAE da Universidade do Pará – UFPA, coordenado pelo professor João Tavares Pinho, e o grupo Sistemas Fotovoltaicos da Universidade de São Paulo-USP, coordenado pelo professor Roberto Zilles. O referido projeto consiste na comparação do desempenho de três sistemas em diferentes latitudes. Com esses dados os pesquisadores conseguirão definir quais os melhores equipamentos para a composição do sistema fotovoltaico de acordo com o sítio de instalação.

A Fig. 1 mostra o sistema instalado no estacionamento do edifício-sede da COELBA. A Fig 2, o diagrama do sistema fotovoltaico. E a Tab. 1 traz as informações técnicas do Inversor Solete 2500, fornecidas pelo fabricante.



Figura 1. Sistema fotovoltaico conectado à rede COELBA

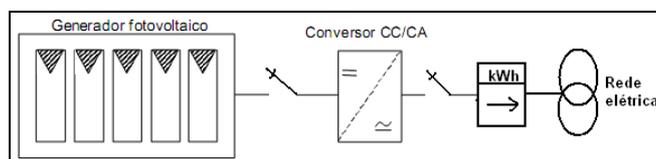


Figura 2. Diagrama do Sistema fotovoltaico conectado

Tabela 1. Especificação técnica do Solete 2500

Tensão Máxima de circuito aberto	650 V
Tensão de entrada para funcionamento em MPP	300 – 525 V
Tensão de saída	220 V
Frequência de saída	60 Hz
Potência nominal em regime permanente	2.500 W
Potência de Pico do Sistema	3.100 Wp
Rendimento máximo	94%
Forma de onda	Senoidal
Distorção a plena carga	< 3%
Fator de potência	1
Faixa de temperatura	0 – 40°
Proteção	IP65

As grandezas elétricas tensão e corrente de saída do inversor foram mensuradas e armazenadas pelo analisador de Energia RE2000/4000 da Embrasul, parametrizado para uma amostragem de 5 minutos. Este medidor computa também as distorções harmônicas totais de tensão e corrente.

Os dados de irradiação solar, direção e intensidade de vento foram medidos pelos sensores CM3 da Kipp e Zonen, e RM Young Wind Sentry Set da Campbell Scientific, sendo registrados no CR10X da CAMPBELL SCIENTIFIC.

2.2 Avaliação técnica do sistema

As medições de energia injetada na rede foram realizadas durante os meses de outubro, novembro e dezembro de 2009 e janeiro e fevereiro de 2010. A análise dos dados coletados mostra que, neste período, o sistema forneceu uma energia média diária de aproximadamente 13,04 kWh. Para os demais meses, a energia foi estimada utilizando índices mensais, com base nas informações de radiação média diária presentes no site do CRESESB para o município de Salvador (BA).

O índice é calculado dividindo-se cada valor de radiação mensal, fornecida pelo CRESESB, pelo valor de maior radiação no ano que, no caso, ocorre em dezembro, 6,19 kWh/m². Então, a energia estimada para os meses sem medição é calculada multiplicando os índices de cada mês pelo maior valor de energia gerada medida, que também aconteceu no mês de dezembro, 405 kWh. (Tab. 2)

Tabela 2. Energia média gerada e estimada

Mês	Radiação CRESESB ângulo 13° (kWh/m ²)	Índice normalizado pela máxima radiação solar	Energia Medida (kWh)	Energia Estimada (kWh)
Janeiro	6,03	0,974	404,8	
Fevereiro	6,09	0,984	392	
Março	5,53	0,893		361,82
Abril	4,46	0,721		291,81
Mai	4,36	0,704		285,27
Junho	3,94	0,637		257,79
Julho	5,84	0,943		382,1
Agosto	5,47	0,88		357,89
Setembro	5,82	0,94		380,79
Outubro	5,53	0,893	400	
Novembro	6,11	0,987	365	
Dezembro	6,19	1	405	
Total			4284,26	
Média			357,02	

Deste ensaio, estima-se que por ano o SFCR disponibilize para a rede 4284,26 kWh, com um mínimo de impacto relacionado a distorções harmônicas totais de tensão, pois em média essas distorções não ultrapassam 2,6% (Tab. 3), valor este que se situa bem abaixo do recomendado pelos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (10%) para geração distribuída na faixa de potência deste projeto (Tab. 4).

Das informações de potência CA e de irradiância sobre os módulos obtidas do SFCR, estima-se que o mesmo, em média, opere com índice de desempenho diário de aproximadamente 0,65 (Performance Ratio - PR), ver Tab. 5. O cálculo envolvido nesta estimativa está descrito abaixo e utiliza a equação (1):

$$PR = \frac{E_{pv}(ac)}{H_{sp}.Nm.Pm} \quad (1)$$

Onde: $E_{pv}(ac)$ é a energia diária medida entregue a rede pelo inversor; H_{sp} é o número de horas de sol pleno calculado através da integração dos dados de irradiância diária obtidos pelo piranômetro CM3, dividido pelo padrão de 1000 W/m², Nm é a quantidade de módulos do arranjo, e Pm a potência individual de cada módulo.

Tabela 3. Distorção Harmônica Tensão

Mês	Médias DTT (valores medidos)
Outubro	---
Novembro	2,42
Dezembro	2,24
Janeiro	2,32
Fevereiro	2,52

Tabela 4. Valores de Referência: Distorções harmônicas – PRODIST

Tensão Barramento	Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT) [%]
$VN \leq 1 \text{ kV}$	10
$1 \text{ kV} \leq VN \leq 13,8 \text{ kV}$	8
$13,8 \text{ kV} \leq VN \leq 69 \text{ kV}$	6

Tabela 5. Índice de Desempenho do Sistema

Mês	Eficiência Média	Máxima Eficiência
Outubro	0,61	0,62
Novembro	0,63	0,68
Dezembro	0,69	0,71
Janeiro	0,65	0,72
Fevereiro	0,66	0,7
Médias	0,648	0,686

O sistema está instalado em área aberta e os ventos predominantes sopram com intensidade média de 1,84 m/s. A Fig. 2 mostra um típico regime de vento do local, onde a maior incidência ocorre na direção Nordeste. Os valores médios e máximos mensais de intensidade de vento encontram-se na Tab. 6.

Tabela 6. Médias e máximas de intensidade de vento

Mês	Média intensidade vento	Máximas intensidades vento
Out/09	2,64	5,29
Nov/09	2,52	5,19
Dez/09	1,7	3,62
Jan/10	1,21	3
Fev/10	1,13	2,86

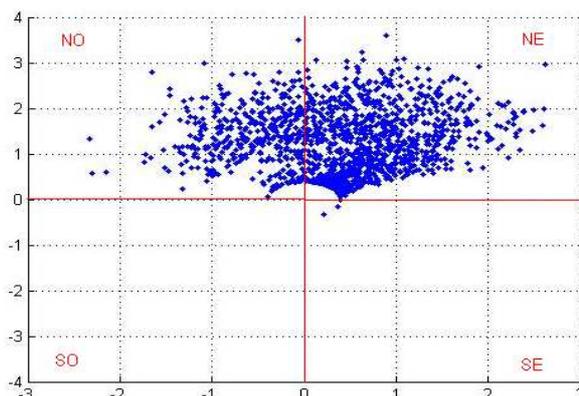


Figura 2 - Predominância de ventos

O cálculo diário do PR para o início de operação do sistema tem o propósito de identificar possíveis falhas ou mau funcionamento dos equipamentos. O período de análise do desempenho do sistema ocorreu praticamente no verão, onde as temperaturas altas aumentam as perdas de conversão das células fotovoltaicas. Conforme Marion *et al* (2005), normalmente os PR's dos sistemas caem para valores entre 0,6 e 0,8 nessas condições. Assim, o SFCR instalado na COELBA não apresenta indicação de falhas ou mau funcionamento.

Sabe-se que o arranjo fotovoltaico dificilmente opera com a sua potência máxima, devido às condições de nebulosidade e temperatura das células, geralmente acima de 25°C. A Tab. 7 mostra a estatística diária do mês de fevereiro da ocorrência de irradiação solar para faixas de densidade de potência (W/m²). Com base em seus resultados, pode-se concluir que em 46,76% do tempo a irradiação solar nos módulos está compreendida na faixa de 0 a 400 W/m², o que resulta em uma potência do conjunto dos módulos que não ultrapassa os 1248 W. Se a esta fosse somada a faixa de irradiação dos 400 a 600 W/m², em média 61% do tempo, os módulos estariam gerando com uma potência não superior a 1872 W. Desta análise percebe-se que o inversor de frequência para este sistema poderia ter uma potência nominal mais baixa do que os 2500 W, cerca de 1800 a 2000 W. Isso equivale a um Fator de Dimensionamento do Inversor – FDI (que estima a relação entre a potência nominal do inversor e a potência nominal máxima do arranjo fotovoltaico) de 0,65. Este valor mostra que o inversor foi subdimensionado, com o propósito de diminuir o custo de sua aquisição, sem perdas significativas de geração de energia por limitação de sua capacidade de geração, como comprova (Macedo, 2006).

Tabela 7. Estatística diária de irradiação por faixas de ocorrência

Dia	> 1000	800 a 1000	600 a 800	400 a 600	200 a 400	0 a 200
1/2/2010	0,16	0,20	0,11	0,08	0,13	0,33
2/2/2010	0,16	0,15	0,10	0,08	0,03	0,49
3/2/2010	0,22	0,08	0,12	0,17	0,14	0,28
4/2/2010	0,21	0,09	0,16	0,11	0,16	0,30
5/2/2010	0,12	0,13	0,22	0,16	0,18	0,23
6/2/2010	0,02	0,20	0,13	0,22	0,13	0,31
7/2/2010	0,06	0,13	0,28	0,12	0,18	0,30
8/2/2010	0,06	0,14	0,12	0,17	0,24	0,28
9/2/2010	0,02	0,06	0,10	0,16	0,18	0,50
10/2/2010	0,06	0,16	0,18	0,11	0,18	0,34
11/2/2010	0,10	0,16	0,09	0,08	0,05	0,52
12/2/2010	0,18	0,12	0,10	0,09	0,07	0,44
13/2/2010	0,06	0,17	0,17	0,20	0,12	0,31
14/2/2010	0,04	0,17	0,11	0,13	0,31	0,25
15/2/2010	0,16	0,24	0,11	0,15	0,12	0,22
16/2/2010	0,14	0,27	0,17	0,13	0,10	0,22
17/2/2010	0,01	0,42	0,08	0,12	0,16	0,22
18/2/2010	0,16	0,15	0,14	0,10	0,10	0,37
19/2/2010	0,09	0,24	0,17	0,14	0,13	0,25
20/2/2010	0,07	0,17	0,12	0,11	0,16	0,38
21/2/2010	0,11	0,11	0,21	0,15	0,20	0,25
22/2/2010	0,02	0,07	0,10	0,38	0,19	0,25
Média	0,10	0,17	0,14	0,14	0,15	0,32

2.3 Avaliação econômica do projeto

Sistemas fotovoltaicos utilizados como opção para geração distribuída têm, efetivamente, custos ainda superiores, quando comparados aos processos convencionais de reforço de rede ou a geração com outras fontes de energia. Este comparativo fica claro, quando se relacionam o valor dos investimento do projeto com os custos de geração com outras fontes e os custos de opções de melhoramento da rede. Em razão disto projetos de geração fotovoltaica não apresentam viabilidade econômica no curto prazo.

Neste projeto foi feita a análise de viabilidade econômica segundo dois parâmetros mais usuais: o método de cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). O primeiro envolve basicamente a soma dos fluxos de caixa de um projeto na data presente, descapitalizados pelo custo de capital e subtraídos do valor do investimento inicial. Quando este valor é maior que zero, o fluxo é maior que o capital investido e, nestas condições, pode-se afirmar que o investimento inicial será recuperado, remunerado à taxa de juros que mede o custo de capital do projeto. O outro parâmetro, a TIR, representa o valor do custo do capital que torna o VPL nulo e corresponde a uma taxa que remunera o valor investido no projeto, ou seja, se superior a taxa de desconto, significa que o projeto tem retorno para o investidor.

Para os cálculos do VPL e da TIR foram considerados os valores constantes das Tab. 8 e Tab. 9, onde estão relacionados, respectivamente, os valores dos investimentos realizados para a implantação do sistema fotovoltaico e das variáveis consideradas para a montagem do fluxo de caixa: taxa de desconto, vida útil, energia gerada, custo de O & M, tarifas e preço de energia, valor médio de venda e compra de energia por parte da concessionária.

Tabela 8. Investimento do Projeto

Investimento Inicial (R\$/sistema)	R\$
Módulos – 3,12 kWp	36.251,70
Inversor de frequência – 2500 W	3.950,00
Estrutura de Suporte do Painel	7.117,00
Serviço de Instalação do Suporte	3.355,00
Miscelânea	48,99
Total	51.039,76

Tabela 9. Dados básicos

Variáveis	Unidade	Valor
Taxa média de atratividade	%	12

Vida útil	Anos	25
Energia gerada média anual	(kWh/ano)	4284,26
Custo anual de O&M	R\$/ano	200
Preço energia (TE), Resolução ANEEL 806 (14/04/2009)	(R\$/kWh)	0,11326
Tarifa B1 residencial (Resolução ANEEL 806 de 14/04/2009)	(R\$/kWh)	0,32656
Valor evitado de compra de energia	R\$/ano	485,24
Valor médio anual de venda de energia	R\$/ano	1.399,07
Receita da Coelba sobre valor médio anual de venda de energia menos tributos e encargos (33%)	R\$/ano	937,38
Receita total (valor médio anual de venda de energia + valor evitado)	R\$/ano	1.422,61

O preço de energia considerado para o cálculo da receita (valor evitado da compra de energia) foi a parcela TE da Tarifa B1 residencial, conforme Resolução ANEEL 806 (14/04/2009), que definiu o valor das tarifas da COELBA em vigor (até abril 2010). Também a receita anual com a venda de energia do projeto foi calculada pela tarifa da referida classe de consumo, subtraindo-se um percentual de 33% relativo a pagamento de tributos e encargos setoriais.

Os valores obtidos para o VPL e TIR, ambos negativos, da ordem de R\$ 38.529,65 e 5,65% indicam que o projeto não tem viabilidade econômica, e o valor da tarifa para remunerar o investimento seria da ordem de R\$ 1,5/kWh valor que é 4,4 vezes superior à tarifa vigente.

Estes resultados não surpreendem, haja vista que a geração de energia fotovoltaica é ainda uma das tecnologias mais caras no mundo, mesmo em países que contam com programas de incentivo à sua utilização.

Efetivamente uma análise do custo da geração fotovoltaica no Brasil, sem nenhum incentivo, mostra que ele ainda é elevado. Tomando por base este projeto, no qual os custos de investimentos são de R\$ 51.030,76, para uma potência instalada de 3120 W, o custo de energia é da ordem de R\$ 16,136/W, ou o equivalente a U\$9,35/W, situando-se abaixo do ponto médio da faixa de custos internacionais, que varia entre 6 e 20 U\$/W (Tab. 10 e 11). Em relação a outras alternativas, os custos de investimentos em geração solar é 18 vezes maior do que o de uma térmica a diesel, ou nove vezes maior do que o de uma PCH, o que efetivamente inviabiliza ainda sua utilização em maior escala.

Tabela 10. Custo potência instalada e energia gerada

Discriminação	Valores
Investimentos (R\$)	51.039,76
Potência Instalada (W)	3.120
Custo por potencia instalada (R\$/W)	16,36
Custo por potência instalada (US\$/W) (2)	9,35
Investimentos (R\$) (1)	59.039,76
Vida útil (anos)	25
Geração média mensal (kWh)	357
Geração vida útil (kWh)	107.106,00
Custo por energia gerada (R\$/kWh)	0,55123

(1) Considerou-se, além do investimento inicial, os custos de reposição durante a vida útil do projeto

(2) Um dólar = R\$ 1,75

Tabela 11. Custo por tipo de geração

Tipo de geração	Custo de Implantação (US\$/W)
PCH	1,00
Térmica a diesel	0,40 a 0,50
Térmica a gás	0,40 a 0,65
Térmica a ciclo combinado	0,80 a 1,01
Eólica	1,20 a 1,50
Fotovoltaico interligado > 10kW	6,00 a 20,00

Fonte: ANEEL, Report IEA-PVPS T/17-2008

Vale observar, entretanto, que neste cálculo não estão computados os custos operacionais de geração,

particularmente elevados nas térmicas em geral (que não existe nos sistemas solares), e de manutenção (muito mais baixos nos sistemas solares).

Outra comparação pode ser feita com os custos da energia gerada. Considerando os dados da Tab. 10, os custos deste projeto são da ordem de 551,23 R\$/MWh, entre 3 e 5 vezes superior aos preços médios de energia negociada nos leilões de energia nova realizados no Brasil (Tab. 12).

Tabela 12. Brasil: Preço médio de energia negociada nos leilões

Leilão	Preço Médio (R\$/MWh)
Leilão de Energia Nova A-5/2005	113,73
Leilão de Energia Nova A-3/2006	129,63
Leilão de Energia Nova A-5/2006	128,00
Leilão de Fontes Alternativas	137,32
Leilão de Energia Nova A-3/2007	134,67
Leilão de Energia Nova A-5/2007	128,33
Leilão de Energia Nova A-3/2008	128,42
Leilão de Energia Nova A-5/2008	141,78
Leilão de Energia Nova A-3/2009	144,00
Leilão de Reserva 2009 - Eólica	148,39

Fonte: ANEEL, EPE, CCEE

Assim, a viabilidade desta tecnologia está associada à institucionalização de um programa de incentivos à geração distribuída com esta fonte de energia, que defina:

a) no longo prazo, uma quantidade de contratação de energia que possibilite aumentar a escala dos projetos, diminuindo o custo dos equipamentos, e viabilizando a implantação de um parque industrial no Brasil, hoje importador destes equipamentos;

b) um preço de energia (VR) subsidiado, como foi feito para o PROINFA.

É importante observar que a tendência é de redução de custos da tecnologia solar fotovoltaica nas próximas décadas, tornando-se uma fonte competitiva com a geração centralizada convencional.

Um programa com estas características, voltado para a geração descentralizada em áreas urbanas, com sistemas instalados sobre telhados de edificações, a exemplo do programa de telhados solares da Alemanha, permite o adiamento de investimentos na rede de distribuição de grandes cidades, segundo Lisita *et al* (2005), particularmente em áreas de grande concentração de atividades comerciais e de serviços. Isto porque, muitos alimentadores no meio urbano que atendem a estas áreas, têm pico de demanda diurno e coincidente com as horas de maior nível de irradiação solar.

No presente projeto, devido a sua escala, o sistema também não se mostrou competitivo quando se compara seus custos aos custos de melhoramento de rede. Este comparativo fica evidenciado pelo exame dos dados da Tab. 13 que apresenta os valores dos custos de opções de melhoramento da rede convencional.

É importante ressaltar que estes custos não contemplam todas as externalidades que envolvem o uso de sistema fotovoltaico conectado à rede, como a redução das perdas por transmissão e distribuição, e uma diminuição do estresse dos equipamentos que compõe a rede de distribuição.

Tabela 13. COELBA: custos de melhoramento de rede

Problemas	Soluções convencionais	Valor Investimento (R\$)	
Falta de energia originada por sobrecarga e nível de tensão baixo	Substituição Trafo	45 kVA	5.000,00
		75 kVA	6.500,00
		112 kVA	8.300,00
	Substituição de trafo e troca de condutores	30 kVA -> 75 kVA	21.008,53
	Divisão de circuito com troca de condutores	112.5 kVA adicionado 45 kVA	22.044,92
	Divisão de circuito sem troca de condutores	112.5 kVA adicionado 45 kVA	16.000,00

No caso específico da COELBA, este projeto representa também uma iniciativa oportuna de conhecer o funcionamento de sistemas fotovoltaico conectados, considerando que:

- a empresa, no âmbito do projeto de universalização dos serviços de energia elétrica Luz para Todos, tem instalados ou em fase de instalação 18.426 sistemas fotovoltaicos individuais (SIGFI), divididos em 17.967 sistemas SIGFI13 e 459 SIGFI30, o que somam 2,874 MW de potência instalada;
- no médio e longo prazo, na medida em que estas residências sejam interligadas à rede de distribuição, estes sistemas podem ser usados num programa de geração distribuída para reforço da rede, com custos bastante reduzidos, considerando que a maior parte dos investimentos já estarão parcialmente ou totalmente amortizados.

3. CONCLUSÕES

Dentre as fontes renováveis de geração de energia, a geração fotovoltaica interligada é a que mais cresce no mundo, graças ao estabelecimento de programas de incentivo à sua instalação, integrada, em telhados e fachadas de edificações urbanas, residências e prédios públicos, produzindo energia para uso próprio e vendendo o excedente à rede de distribuição local

Entretanto na maioria dos países, incluindo o Brasil o principal uso de sistemas ainda é para prover eletricidade de unidades remotas, não interligadas às redes de distribuição, aplicação em que os custos de investimento ainda se mostram mais competitivos.

Dentre as vantagens técnicas e econômicas dos sistemas fotovoltaicos conectados estão a simplicidade no comissionamento, a dispensa de equipamentos acumuladores de energia (baterias), a ocupação de áreas já utilizadas, integrada às edificações, e a redução das perdas de energia na transmissão e distribuição na rede elétrica, contribuindo para a melhor eficiência da rede, particularmente em áreas onde a carga tem perfil diurno, o que coincide com a curva de geração solar.

Sistemas fotovoltaicos interligados à rede apresentam uma topologia básica a qual compreende o sistema conversor de energia solar em elétrica, que são chamados de módulos fotovoltaicos, o sistema condicionador de energia (principalmente conversores CC-CC e conversores CC-CA) e os sistemas de proteção e de medição de energia.

Com relação ao Brasil, atualmente as experiências de projetos de geração solar interligados no Brasil são experimentais e se limitam a sistemas instalados em edificações, desenvolvidos basicamente por centros de pesquisa ligados a universidades e órgãos públicos, com o apoio muitas vezes de empresas concessionárias.

Atualmente, embora na regulamentação do setor elétrico brasileiro não haja restrições à geração distribuída com esta fonte de energia, a falta de incentivos através de um programa específicos e de longo prazo, e de normas mais simplificadas e adequadas ao pequeno porte dos projetos, não tem atraído investimentos dos agentes setoriais.

Avaliação dos parâmetros técnicos obtidos na fase de monitoramento das grandezas elétricas deste projeto mostra que, sob esta ótica, não existem falhas nem mau funcionamento dos equipamentos, pois o sistema apresenta um PR de aproximadamente 0,65, valor relativamente baixo, porém típico de SFCR operando no período de verão.

Maiores são efetivamente as barreiras econômicas e regulatórias, haja vista que os resultados da avaliação econômica demonstram que os custos relacionados aos investimentos iniciais de sistemas fotovoltaicos são ainda significativamente mais elevados do que os custos de geração com outras fontes de energia, embora seu custo de operação seja infinitamente mais baixo em relação às demais alternativas. Em razão disto, projetos de geração fotovoltaica interligada só serão viáveis no Brasil quando for estabelecido um programa de incentivos, com metas quantitativas, preços atrativos e de longo prazo, a semelhança do programa de telhados solares da Alemanha, como atesta Zilles *et al* (2004).

Todavia, para a COELBA este projeto representa uma primeira iniciativa para conhecer o funcionamento de sistemas fotovoltaicos interligados, considerando:

- a) sua grande experiência em sistemas isolados, a maior do Brasil, atualmente;
- b) a perspectiva de que parte dos módulos fotovoltaicos instalados no programa de universalização, que somam 2,9 MW de potência instalada, possa ser reutilizada pela concessionária, mediante sua conexão à rede de distribuição de baixa tensão, na medida em que as áreas onde estão instalados os sistemas isolados sejam interligadas.

Agradecimentos

Este projeto foi apoiado pelo Grupo de Pesquisa em Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (USP), coordenado pelo professor Roberto Zilles, com a doação do inversor de frequência utilizado na montagem do sistema fotovoltaico e com o fornecimento de informações a respeito dos aspectos técnicos da configuração do sistema.

Teve apoio, também, da equipe do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), coordenado pelo professor Ricardo Rutter, que cedeu informações essenciais para o planejamento do projeto.

Contou, ainda, com a colaboração dos Engenheiros Flávio Andrade e Mario Bonfim, do quadro técnico da COELBA, no fornecimento de informações necessárias ao seu desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

Centro de Referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB, Potencial Energético Solar – SunData. Acessado em janeiro de 2010. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm.

European Photovoltaic Industry Association-EPIA. European creating conditions for solar photovoltaic to go large EPIA round tables – conclusions, 2007. <Disponível em: http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/documents/RoundTable/RT_Booklets.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2008.

Institute for Environment and Sustainability. PV Status Report 2008. Research, solar cell production and market implementation of photovoltaics, set. 2008.

JANNUZZI, Gilberto de Martino (org.). “Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil:” panorama da atual legislação. (Relatório Final). International Energy Initiative para a América Latina (IEI-LA)/UNICAMP. Campinas, out. 2009. 42 p.

LISITA JUNIOR, O.; MACÊDO, W. N.; ZILLES, R. “Analysis of the economical viability of photovoltaic systems connected to the low voltage electric grid”. In: 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2005, Barcelona. 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference. München : WIP-Renewable Energy, 2005. p. 2787-2789.

MACÊDO, Wilson N. “Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede”. Tese de Doutorado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MARION, B.; ADELSTEIN, J.; BOYLE, K. et al. “Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems”. Conference and Exhibition, 31st IEEE Photovoltaics Specialists. Lake Buena Vista, Florida, 2005.

Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Acessado em: fevereiro de 2010. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_02072007_SRD.pdf

Resolução ANEEL nº 806 - Abril/2009. “Homologa o resultado do reajuste tarifário anual sobre as tarifas de fornecimento de energia elétrica, referentes à Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA”. Acessado em: janeiro de 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh2009806.pdf>.

RÜTHER, R. SAMALONI, I., MONTENEGRO A., BRAUN P., DVIENNE R. “Programa de telhados solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública no Brasil”. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2008.

SALAMONI, I. T.; RUTHER, R.; KNOB, P.; ZOMER, C.; DINIZ, A. S. C. “O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificação e Interligados a Rede Elétrica em Centros Urbanos no Brasil: Dois Estudos de Caso”. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável & X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: ENTAC, 2004. v. 1. p. 432-446.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N. “Conexão a rede de baixa tensão com SFCR; - discussão de aspectos para regulamentação no Brasil”. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2004, Itajubá. Anais... Itajubá, 2004. p. 1-9

Photovoltaic System Connected to Distribution Grid: Coelba Case

Abstract. *This article presents the results of an installation Project of a photovoltaic system connected to the distribution grid of Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA, looking to evaluate technical parameters, economical viability, and increase the knowledge of connected grid systems. Although the results of the economical evaluation are unfavorable seeing that the cost of generation with this technology is still not competitive, the project will allow the refinement and the education of professionals in this area for the company, in the perspective that this form of distributed generation, which is showing great expansion in a lot of countries, is inserted in the planning of investments of the utility, as long as incentive policies are created in Brazil to promote its use in large scale, including an adequate regulation to its needs.*

Keywords: *Integrated Photovoltaic System, Distributed Generation, Renewable Energies*