

KIT DE DEMONSTRAÇÃO DA CONEXÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Aimé Fleury de Carvalho Pinto Neto – afpinto@iee.usp.br

Marcelo Pinho Almeida – marcelopa@iee.usp.br

André Ricardo Mocelin – mocelin@iee.usp.br

Roberto Zilles – zilles@iee.usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia, LSF – Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos

Resumo. *Esse trabalho apresenta um kit demonstrativo da operação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede elétrica (SFCR) de baixa tensão. O kit foi desenvolvido no âmbito do Programa de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED), na ação de coordenação denominada “Desenvolvimento e Difusão da Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede”. O Kit foi elaborado para fins didáticos e vem sendo utilizado em aulas de graduação e pós-graduação no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (LSF-IEE/USP) e, também, em oficinas demonstrativas, tais como as realizadas em Arequipa, Peru, e em Belém do Pará, Brasil. O Kit desenvolvido, além de ser um instrumento de divulgação e demonstração da operação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, pode ser usado em atividades de capacitação de recursos humanos para atuação no segmento fotovoltaico. Particularidades das diferentes configurações de conexão à rede, tais como a localização do ponto de conexão e o esquema de tarifação, são apresentadas e podem ser reproduzidas e simuladas com o Kit.*

Palavras-chave: *Sistema fotovoltaico conectado à rede, kit demonstrativo, divulgação dos sistemas fotovoltaicos.*

1. INTRODUÇÃO

A geração distribuída com sistemas fotovoltaicos conectados à rede vem ocupando cada vez mais espaço nas discussões sobre a inserção das energias renováveis na matriz elétrica de alguns países. Um exemplo claro desse direcionamento é o programa de incentivo adotado na Espanha. Nos demais países Ibero-americanos há lacunas importantes sobre os aspectos legais, técnicos e operacionais desses sistemas. Existem algumas experiências isoladas no Brasil e México, contudo esforços são necessários para aprofundar e difundir os conhecimentos existentes.

A geração de eletricidade com SFCR é caracterizada por médias ou pequenas plantas geradoras conectadas à rede de distribuição de eletricidade, em média ou baixa tensão. São geradores de menor potência, muitas vezes menores de 10 kW, espalhados ao longo da rede elétrica, instalados, em geral, próximos a centros de consumo, de forma a evitar perdas técnicas (devido ao efeito Joule) na transmissão e distribuição, visto que não há a necessidade de se construir linhas para levar a eletricidade gerada até o ponto de consumo; e em certas áreas de centros urbanos que apresentam demandas crescentes por eletricidade, chegando a atingir o limite de transmissão da rede, onde o uso da geração distribuída pode adiar investimentos nas linhas que abastecem essas áreas.

Considerar a geração distribuída no planejamento da expansão do setor elétrico pode dar robustez à matriz energética, na medida em que permite o uso de diferentes tecnologias de geração, diversificando a matriz energética. Isso diminui a dependência do setor em relação a apenas uma tecnologia ou recurso energético. Sobre o ponto de vista técnico, considerar a geração distribuída de energia facilita a escolha das tecnologias mais adequadas para o abastecimento de cargas específicas. Ou seja, além de maior robustez e menores perdas (o que se traduz em maior eficiência), possibilita a constituição de uma matriz energética mais diversificada. E, na medida em que se utilizem tecnologias limpas e renováveis, permite-se o aumento da oferta de energia sem agredir ao meio ambiente, sem aumentar a dependência de recursos não renováveis e, além disso, sem ficar refém de políticas internacionais de preços dos insumos primários para a geração térmica. Ainda sobre o ponto de vista técnico, utilizar a geração distribuída poderá postergar investimentos no aumento da capacidade de transporte de certos ramos da rede de distribuição, pois a carga excedente poderá ser abastecida pelos geradores instalados no local de consumo. Sobre o ponto de vista ambiental, geração distribuída com sistemas fotovoltaicos permite o aumento da oferta de energia de forma limpa, segura e sem a necessidade de áreas vazias, aspectos particularmente interessantes nos grandes centros urbanos, regiões com grande densidade populacional e consumo, e que geralmente sofrem com problemas ambientais e de falta de espaço.

Do ponto de vista operacional, a utilização dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil está regulamentada através da Resolução ANEEL No. 112 de 1999, que estabelece os requisitos necessários para obtenção de registro ou autorização para implantação, ampliação ou repotenciação de sistemas de geração fotovoltaica conectada à rede elétrica (ANEEL, 1999).

No caso do Brasil, as maiores barreiras encontradas para a inserção da geração distribuída são a falta de regulamentação específica que trate do pagamento pela energia gerada através dos SFCR, e a falta de experiência dos planejadores e concessionárias de energia em lidar com essa nova questão.

Levando em consideração essas condições de contorno, foi desenvolvido um kit de demonstração da operação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, o objetivo é contribuir para a formação de pessoal qualificado em SFCR utilizando material didático apropriado onde os participantes podem interagir com o sistema fotovoltaico, alterando seu ponto de conexão e verificando as consequências na tarifação da unidade consumidora.

2. CONFIGURAÇÕES DE CONEXÃO À REDE

Um sistema fotovoltaico conectado à rede pode ser definido como um conjunto de equipamentos que permitem transformar energia solar em energia elétrica e intercambiar essa energia com a rede elétrica, tais sistemas são constituídos basicamente por: módulos fotovoltaicos, inversores CC/CA, rede elétrica e unidade consumidora.

Nesse tipo de aplicação, o inversor CC/CA não funciona somente como um sistema de condicionamento da potência de saída do gerador fotovoltaico, mas atua como controle do sistema e como meio através do qual a potência elétrica gerada flui para a rede elétrica da concessionária de distribuição. Esse equipamento geralmente utiliza a tensão e a frequência da rede elétrica como parâmetros de controle, para assegurar que a saída do SFCR esteja totalmente sincronizada com a tensão da rede elétrica (Macêdo, 2006).

Nos SFCR, a rede elétrica supre a potência demandada nos momentos de baixa irradiância e recebe o excedente de energia, quando houver. Um sistema fotovoltaico pode ser conectado à rede segundo algumas configurações, as quais são derivadas das diversas formas de faturamento da energia fotogerada e baseadas nas experiências bem sucedidas dos programas de incentivo criados pelos governos da Alemanha e Espanha.

Para localidades onde não há nenhum tipo de incentivo, o SFCR pode ser conectado diretamente ao quadro geral de distribuição da edificação. Neste tipo de conexão, é importante que o medidor da concessionária seja bidirecional, pois a principal vantagem desta configuração está na redução da energia consumida da rede convencional, seja quando a geração fotovoltaica faz o medidor girar mais lentamente ou quando ela supera a potência demandada, fazendo o medidor regredir na contagem. A Fig. 1 mostra essa configuração.

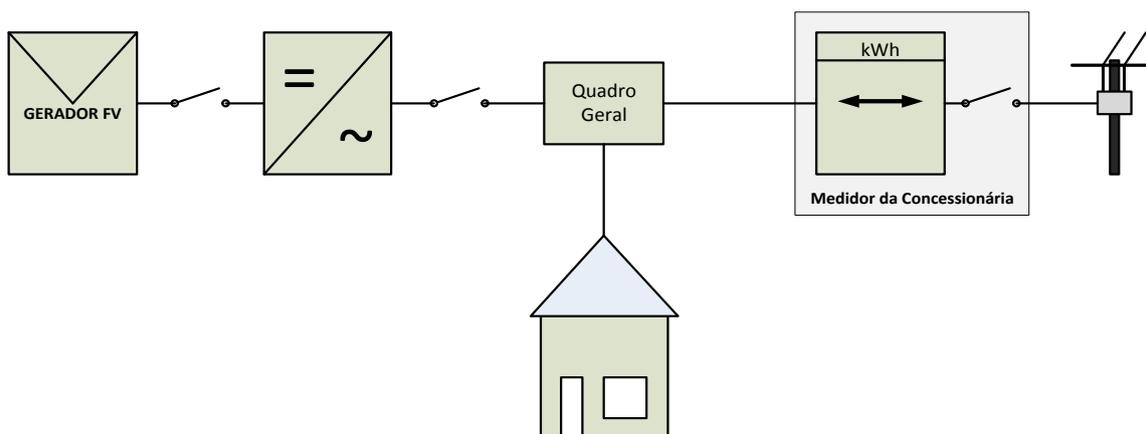


Figura 1 – Configuração do SFCR em localidades sem incentivos.

Se houver políticas de incentivo à implantação de SFCR, onde os usuários são premiados pelo kWh gerado, a configuração do sistema pode ser realizada conforme a Fig.2. Nota-se que o ponto de conexão fica localizado no mesmo ponto de entrega da concessionária, portando toda a energia fotogerada é entregue à rede elétrica de distribuição e o consumo da unidade consumidora fica inalterado. O incentivo é dado em função da energia contabilizada pelo medidor do sistema fotovoltaico.

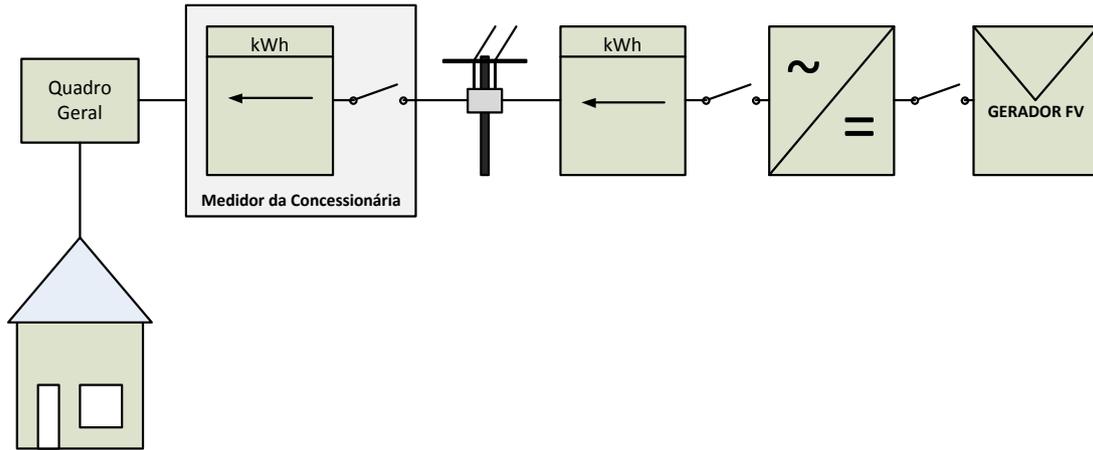


Figura 2 – Configuração de SFCR com incentivo a toda energia gerada.

Devido à falta de uma regulamentação específica para SFCR no Brasil, pode-se conectar um sistema fotovoltaico à rede por meio das configurações apresentadas, contudo apenas a configuração para localidades sem incentivo trás benefícios econômicos a quem instalar o sistema.

3. DESCRIÇÃO DO KIT

O kit é composto por três quadros independentes: um maior, onde está fixado o inversor, e dois menores, onde estão os medidores. Os pontos de conexão entre os quadros são tomadas, permitindo obter diferentes configurações de forma rápida e prática. Um modem PLC (*Power Line Communication*) pode ser conectado no kit a fim de receber as informações transmitidas pelo inversor pela linha de saída e enviá-las a um computador. Essas informações incluem tensões e correntes elétricas dos módulos fotovoltaicos (DC) e da saída do inversor (AC), frequência de saída, entre outras, possibilitando uma demonstração mais detalhada do SFCR.

O quadro do inversor possui um inversor CC/CA marca SunnyBoy SWR-700, da empresa SMA, um disjuntor de 10 A para a conexão do gerador fotovoltaico e tomadas para a conexão com o quadro de medição e com o modem PLC. A Fig. 3 mostra o quadro contendo o inversor CC/CA, o disjuntor e as tomadas.

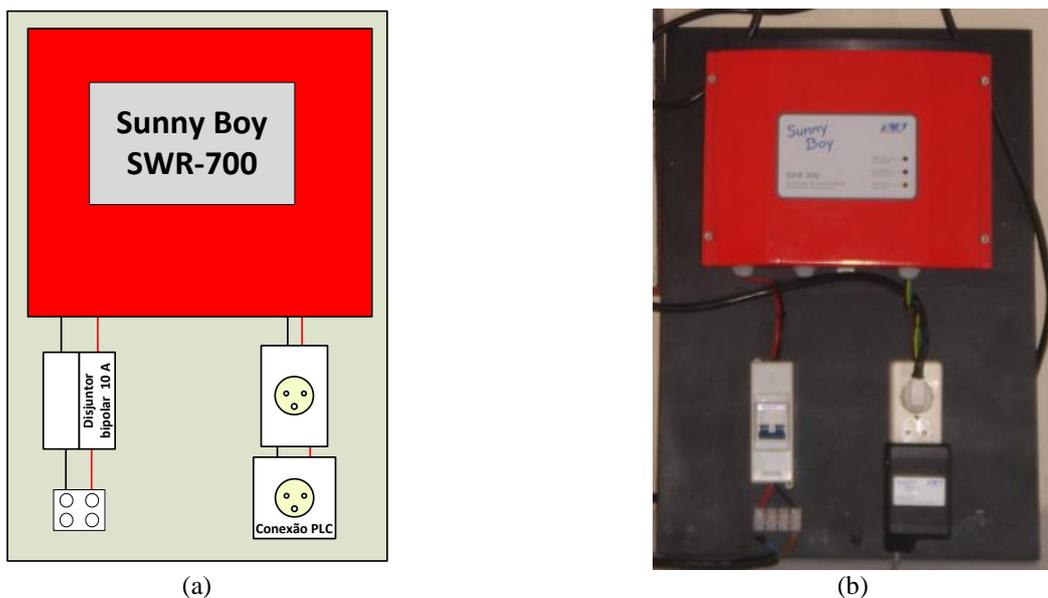


Figura 3 – Quadro do inversor: (a) diagrama esquemático e (b) quadro montado.

Foram montados dois quadros de medidores: um para medir a quantidade de energia gerada (Fig. 4) e outro representando uma Unidade Consumidora (UC) com o medidor de uma concessionária local (Fig. 5). Ambos os medidores são analógicos e bidirecionais, contudo o que afere a geração sempre medirá em um único sentido.

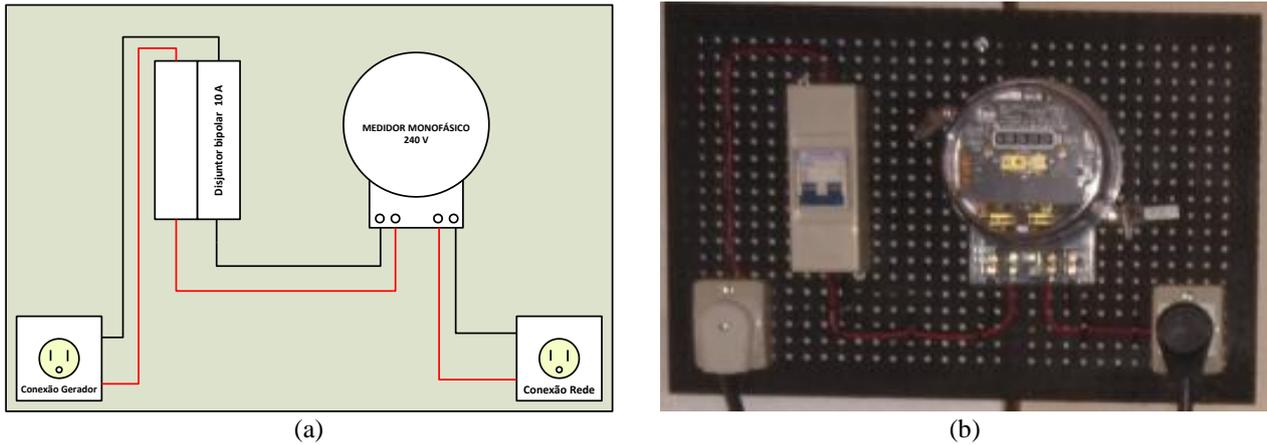


Figura 4 – Quadro do medidor da energia gerada: (a) diagrama esquemático e (b) quadro montado.

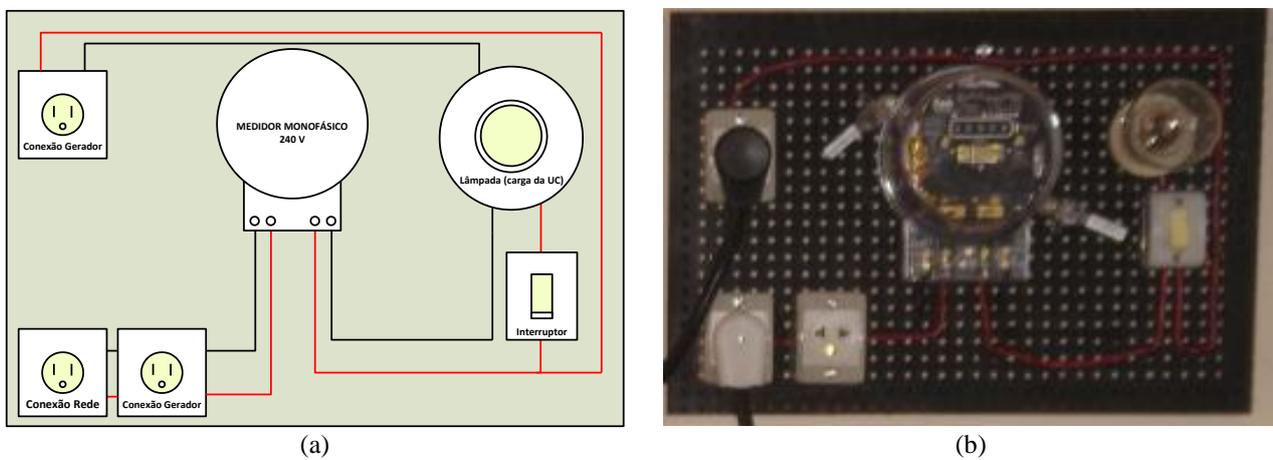


Figura 5 – Quadro do medidor representando a UC: (a) diagrama esquemático e (b) quadro montado.

Podem-se simular duas configurações de SFCR com o kit: a configuração para locais onde não existem incentivos e para locais onde toda a energia gerada é premiada. Para alterar o ponto de conexão do gerador fotovoltaico à rede elétrica utilizando o kit, procede-se da seguinte maneira: a saída do quadro do inversor (figura 3) é conectada ao quadro de medição da energia gerada (figura 4), esta saída do quadro de medição pode ser conectada a uma das tomadas no quadro de medição da unidade consumidora (figura 5). Finalmente, conecta-se o quadro que simula a UC à rede elétrica local pela tomada “conexão rede” do mesmo.

Portanto, a escolha entre as duas configurações possíveis de serem mostradas com o kit é feita trocando-se a conexão entre a saída do quadro de medição da energia gerada com a respectiva tomada no quadro da unidade consumidora. Caso a conexão entre os quadros das figuras 4 e 5 seja na tomada posicionada depois do medidor, tem-se a configuração para locais sem incentivo, e, caso seja na tomada antes do medidor, tem-se a configuração para locais com incentivo a toda a produção.

4. DEMONSTRAÇÕES COM O KIT

A implementação de projetos em diversos lugares do Brasil e do mundo tem evidenciado a necessidade de formar pessoas tecnicamente capacitadas nas aplicações fotovoltaicas, com a finalidade de garantir a sua sustentabilidade (Zilles et al, 2009). Nesse contexto, o Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo desenvolveu um kit para demonstração da operação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica para ser utilizado como ferramenta pedagógica em aulas de graduação, pós-graduação e em seminários de difusão da tecnologia fotovoltaica.

Recentemente, o kit foi utilizado em dois eventos onde estavam presentes representantes de grupos empresariais e acadêmicos ligados à área fotovoltaica. O primeiro foi na cidade de Arequipa, no Peru, durante o *XVI Simposio Peruano de Energia Solar*, realizado durante os dias 2 a 6 de novembro de 2009 (Fig. 6). O segundo foi em Belém, no estado do Pará, na “Oficina de Trabalho sobre Sistemas Fotovoltaicos para Microrredes Isoladas e Interligadas à Rede Elétrica”, realizado nos dias 10 e 11 de fevereiro de 2010 (Fig. 7).



Figura 6 – Utilização do kit para SFCR no XVI Simposio Peruano de Energía Solar, realizado em Arequipa, no Peru.



Figura 7 – Demonstração de SFCR utilizando o kit na “Oficina de Trabalho sobre Sistemas Fotovoltaicos para Microrredes Isoladas e Interligados à Rede Elétrica”, realizado em Belém, Pará.

Em ambos os eventos mencionados acima, os organizadores locais forneceram um gerador fotovoltaico para ser conectado ao kit, o que despertou a atenção dos visitantes e possibilitou uma apresentação prática dos SFCR. A Fig. 8 apresenta os respectivos geradores fotovoltaicos disponibilizados nas respectivas oficinas de demonstração.



(a)



(b)

Figura 8 – Geradores fotovoltaicos disponibilizados para realização das oficinas de demonstração (a) Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Peru. (b) Centro de Tecnologia da ELETRONORTE, Belém, Pará.

O kit também é utilizado como ferramenta didática em aulas práticas do Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, disciplina de Sistemas Fotovoltaicos. A Fig. 9 mostra a versão do Kit adaptada para demonstrações e aulas práticas no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia. A Fig. 10 ilustra uma sessão de demonstração para alunos do segundo ano de Engenharia Elétrica.



Figura 9 – Versão do Kit montada para demonstrações e aulas prática no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo.



Figura 10 – Utilização do Kit em aula demonstrativa da operação de um SFCR para alunos do segundo ano de Engenharia Elétrica.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um kit didático desenvolvido para demonstração da operação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Através desse kit é possível configurar o SFCR para funcionar em diferentes sistemas de tarifação, quais sejam: SFCR em localidades sem incentivo e SFCR em localidades com incentivo a toda energia gerada.

Como mencionado, embora o Brasil possua uma regulamentação que permite a operação dos SFCR (Resolução ANEEL No.112/1999) não existe, todavia, uma regulamentação que especifique o pagamento para essa energia gerada

pelos sistemas fotovoltaicos. Além disso, a falta de pessoal técnico especializado nesta nova tecnologia dificulta ainda mais a disseminação da geração distribuída usando energia solar no Brasil.

O Kit demonstrativo apresentado neste trabalho foi desenvolvido com o propósito de contribuir na formação de recursos humanos especializados na tecnologia fotovoltaica e também para auxiliar na disseminação de conhecimentos a respeito dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

O kit vem sendo utilizado em aulas de graduação, pós-graduação e em seminários relacionados à geração fotovoltaica. Convém mencionar que em todas as ocasiões em que o kit foi apresentado, a aceitação e participação dos presentes foram notáveis, pois muitos deles nunca haviam visto um SFCR real e possuíam muitas dúvidas, principalmente sobre as formas de tarifação. Dessa forma, o kit foi de grande importância para esclarecer as dúvidas dessas pessoas, mostrando-se um meio efetivo de divulgação.

AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam agradecimento ao CYTED e ao CNPq/Cooperação Internacional pelo apoio financeiro a Ação de Coordenação “Desenvolvimento e Difusão da Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, CNPq Processo 490004/2008-3 e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia, INCT-EREEA.

REFERÊNCIAS

- ANEELL. (1999). Resolução Normativa N.112 de 18 de maio de 1999.
- Macêdo, W. N., 2006. Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor Aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, Tese de Doutorado, PPGE, USP, São Paulo.
- Zilles, R.; Mocelin, A.; Morante, F., 2009. Programa Brasileiro de Formação e Certificação de Instaladores de Sistemas Fotovoltaicos de Pequeno e Médio Porte. Anais da XXXII Reunión de Trabajo de La Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente e XVIII Encuentro IASEE, Asociación Internacional para la Educación en Energía Solar, ASADES, Río Cuarto, Argentina.

DEMONSTRATION KIT OF CONNECTION AND OPERATION OF GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Abstract. *This paper presents a demonstration kit of the operation of grid-connected photovoltaic system. The kit was developed in the ambit of the Program of Science and Technology for Development (CYTED), in a coordination action named "Development and dissemination of Distributed Generation with grid-connected photovoltaic system". The kit was developed for teaching purposes and has been used by the Laboratory of Photovoltaic Systems of the Electrotechnical and Energy Institute of São Paulo University and also in workshops held in Arequipa, Peru, and in Belém, Brazil. The developed kit, besides being a tool for dissemination and demonstration of the operation of grid-connected photovoltaic system, can be used in training for human resource activities in photovoltaic segment. Particularities of different configurations of the grid-connected photovoltaic system, such as the location of connection point and the electrical rate scheme, are presented and can be reproduced and simulated with the Kit.*

Key words: *Grid connected photovoltaic system, demonstration kit, dissemination of photovoltaic systems.*