II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS
Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético
12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016
LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM ISBN: 978-85-5722-005-8 www.camaer.com.br
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

ARTIGO COM APRESENTAÇÃO BANNER - ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS

MONTAGEM DE UMA BANCADA PARA FINALIDADE DE TESTES, ENSAIOS E ETIQUETAGEM DE INVERSORES FOTOVOLTAICOS

FILIPE DE SOUSA FAGUNDES, ARTHUR CORREA DA FONSECA, RENATO LUZ CAVALCANTE, WILSON NEGRÃO MACEDO, JOÃO TAVARES PINHO

Este trabalho trata da montagem de uma bancada composta por fontes CC e CA, Wattímetro e carga RLC programável para ensaios de inversores empregados em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCRs) de baixa tensão com o objetivo de adquirir experiências com instrumentalização de bancadas para SFCR, contribuir na produção de dados experimentais relacionados principalmente a tecnologias de inversores, aumentar o leque de conhecimento das diferentes configurações. A bancada é modular, ou seja, é uma junção de três bancadas menores onde cada uma pode ser usada individualmente dependendo da necessidade. Deste modo os inversores podem ser testados de forma prática e eficaz, devido à grande área disponível para o manuseio do equipamento testado e ao fácil acesso entre os equipamentos de medição. Fazendo com que a montagem estrutural desta bancada sirva de maneira didática e eficiente e para ensaios e testes com inversores fotovoltaicos.

Palavras-chave: Inversores; SFCRs; Qualificação e Etiquetagem

ISBN: 978-85-5722-005-8

INTRODUÇÃO

Com a crescente utilização de energias renováveis no Brasil, em especial a energia solar fotovoltaica, os equipamentos de geração de energia elétrica que utilizam as energias renováveis começaram a ganhar mais destaque no mercado nacional. O uso de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede elétrica (SFCRs) em residências, tem como um de seus principais componentes o inversor C.C./C.A. que pode ser considerado o coração do SFCR.

Os inversores para SFCR tem a finalidade de transformar corrente contínua em corrente alternada, injetando potência na rede. Em outras palavras, em um SFCR o inversor serve para adequar as características da energia gerada pelos módulos às características da rede elétrica convencional, de acordo com os parâmetros estabelecidos pela mesma.

A seleção de um inversor de boa qualidade é fundamental para assegurar um bom desempenho em termos de produtividade e segurança de um sistema fotovoltaico desse tipo (ZILLES, R. et al. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, SP, 2012). Em vista de melhor utilização de inversores C.C./C.A. são imprescindíveis ensaios e estudos que contemplem características de utilização do equipamento.

O desenvolvimento de uma bancada para esta finalidade tem grande relevância em face de que no Brasil apenas um laboratório está atualmente habilitado à realização de testes de inversores para conexão à rede elétrica de baixa tensão. Com isso, a demanda crescente de solicitação de ensaios fica longe de ser atendida. A pesquisa possibilita infraestruturas para desenvolvimento de trabalhos e consequente formação de recursos humanos na carente Região Norte do Brasil. O projeto é pioneiro na Amazônia no que diz respeito à geração de dados sobre o tema das tecnologias de inversores disponíveis no mercado, além de contribuir significativamente para a difusão e/ou disseminação das melhores práticas de uso de energias renováveis na Amazônia Brasileira.

OBJETIVOS

Além dos objetivos já citados da montagem desta bancada, também se inclui o de capacitar o Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE/UFPA), na avaliação técnica de inversores para conexão à rede elétrica de baixa tensão, colocando o Grupo dentre os laboratórios designados a participar do PBE-INMETRO.

METODOLOGIA

 ISBN: 978-85-5722-005-8

A portaria do INMETRO Nº 004/ 2011 estabelece os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, através do mecanismo da Etiquetagem, para utilização da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, atendendo aos requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, visando a eficiência energética e adequado nível de segurança.

Para fins de etiquetagem, estes Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC2012) aplicam-se a: Módulos fotovoltaicos, Controlador de carga e descarga de baterias, inversor para sistemas autônomos com potência nominal entre 5 W e 10 kW, Inversor para sistemas conectados à rede com potência nominal de até 10 kW, além de testes em baterias estacionárias.

Os requisitos podem ser voluntários ou compulsórios. Em ambos os casos, os produtos que cumprem esses requisitos recebem um selo, representando esse fato. Os programas voluntários são aqueles que estabelecem requisitos que podem ou não ser obedecidos pelo fabricante. Cada fabricante deve analisar a sua realidade, e decidir se deve ou não aderir ao programa. Para exportar um produto para outro país, por exemplo, principalmente para os EUA e União Europeia, muitas vezes é exigida a certificação pelo Inmetro. Os programas compulsórios são aqueles que estabelecem requisitos obrigatórios para a produção onde geralmente são associados a produtos que apresentem riscos relacionados à saúde, segurança e meio ambiente. Nesse caso, todos os produtos comercializados no Brasil devem estar de acordo com o regulamento e possuir o selo de identificação da conformidade ou, mais popularmente, o selo do Inmetro. O regulamento vale para qualquer produto comercializado no Brasil, seja ele produto nacional ou importado. O produto comercializado sem esse selo não está de acordo com o regulamento, e não pode ser vendido. Os testes com inversores ainda não são obrigatórios no Brasil, no entanto é necessário que tenham locais preparados e adequados para que estes possam ser realizados. Atualmente no Brasil existem alguns laboratórios que já realizam ensaios com inversores fotovoltaicos como o LSF-IEE/USP, LEP da UNESP, Laboratório do Departamento de Energia Elétrica da UFC e outros que estão em fase de adequação desenvolvendo projetos para esta finalidade, como é o caso do GEDAE/UFPA.

De acordo com a RAC2012 os procedimentos se subdividem em testes de inversores fotovoltaicos conectados a rede e inversores para geração autônoma. A seguir são detalhados cada tipo de teste e os equipamentos necessários para a realização dos mesmos.

Teste com inversor autônomo

ISBN: 978-85-5722-005-8

Para ensaios de inversores em sistemas autônomos, a bancada deve ser composta pelos equipamentos de medição listados na Tabela 1, onde a precisão se faz fundamental para minimizar os erros associados aos testes.

Tabela 1

Item	Descrição	Qtd.	Precisão
1	Voltímetro	2	± 0.5%
2	Amperímetro	1	± 1%
3	Amperímetro CA	1	± 1%
4	Analisador de harmônicos	1	...
5	Osciloscópio	1	...
6	Cronômetro	1	± 1 seg.
7	Termômetro	1	± 2º C

Além dos instrumentos de medição, temos os componentes de testes apresentados na Tabela 2 necessários para que o referido ensaio funcione de acordo com a RAC2012.

Tabela 2

Item	Descrição	Qtd.	Observação
1	Inversor	1	Amostra de ensaio
2	Climatizador	1	+ 40º C ± 3º C
3	Fonte	1	Compatível em corrente e tensão com o inversor
5	Acumulador	1	Capacidade “C” (Ah) adequada à potência máxima do inversor
6	Carga resistiva	1	Compatível com a saída do inversor

Para melhor entendimento do referido ensaio, é mostrada na figura 1 a configuração completa dos dispositivos e equipamentos listados nas tabelas 1 e 2.

Figura 1

 ISBN: 978-85-5722-005-8

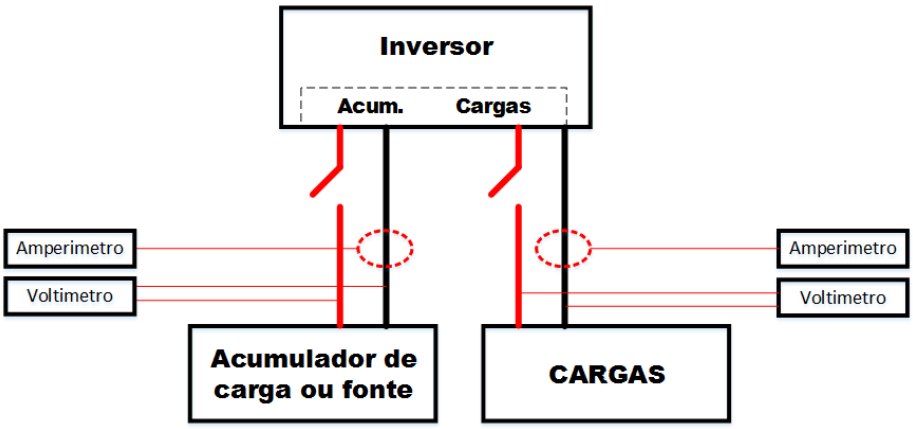


Diagrama de conexões dos instrumentos de medição e aparelhos para medição das tensões de fim de carga, de desconexão da carga e reposição da carga.

É recomendado de acordo com a RAC2012, tomar cuidado com as polaridades ao fazer as conexões, certificar-se que a tensão e/ou a corrente correspondem com a capacidade do inversor, e medir todas as tensões nos terminais do inversor evitando futuros danos aos equipamentos.

Teste de inversores conectados à rede

A bancada para ensaios de inversores em sistemas conectados à rede, segundo a RAC2012, deve ser composta pelos equipamentos listados na Tabela 3.

Tabela 3

Descrição	Precisão
Voltímetro	≤ 0,5 %
Amperímetro	≤ 1 %
Osciloscópio	--
Analisador de Energia	Potência ≤ 1 % da leitura de + 0,1 % da escala de potência Energia melhor ou igual à precisão de potência + 0,1 % da leitura de tempo
Termômetro	≤ 1º C

Com base nos dados da tabela listada anteriormente, percebe-se que os equipamentos necessários para os devidos testes exigem um bom grau de precisão, na maioria dos itens inferior a 1%. Tal exigência imprime uma rigorosidade para aprovação dos inversores, aumentando o nível de confiança para que os mesmos possam ser utilizados aqui no Brasil.

 ISBN: 978-85-5722-005-8

A configuração dos dispositivos para ensaio é apresentada na Figura 2. Uma carga RLC programável, duas fontes C.C, uma fonte C.A e um Wattímetro.

Figura 2.

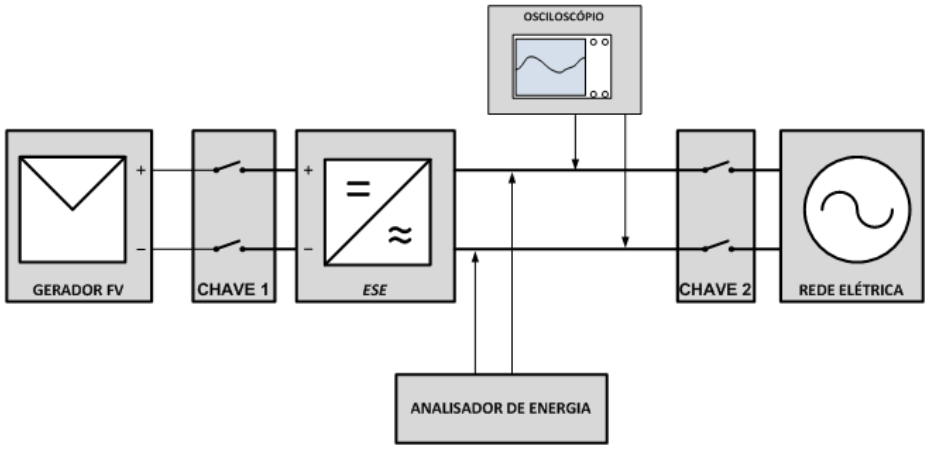


Diagrama de conexões dos instrumentos de medição e aparelhos e componentes.

Vale lembrar que o método completo para os testes é referido na figura 2, no qual estão posicionados os equipamentos de medição e controle.

A quantidade de ensaios para inversores c.c./c.a. em sistemas fotovoltaicos conectados à rede pode ser vistos na tabela 4.

Tabela 4

1. Cintilação	9. Reconexão
2. Injeção de componente contínua	10. Religamento automático fora de fase
3. Harmônicos/distorção de forma de onda	11. Modulação de potência ativa
4. Fator de potência	12. Modulação de potência reativa
5. Injeção/demanda de potência reativa	13. Desconexão do sistema fotovoltaico
6. Sobre/sub tensão	14. Proteção contra inversão de polaridade
7. Sobre/sub frequência	15. Sobrecarga
8. Controle de potência ativa em sobrefrequência	16. Anti-ilhamento

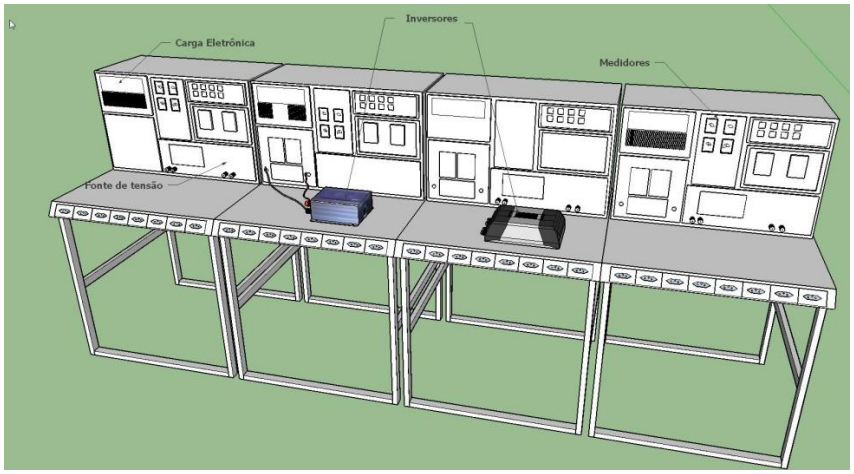
Design da bancada otimizada

Usando como referencia os dois tipos de testes descritos anteriormente. Foi desenvolvido um design preliminar das bancadas através de um software de modelagem 3D

 ISBN: 978-85-5722-005-8

para uma melhor concepção na hora da montagem e dos cortes das peças, como pode ser visto na figura 3.

Figura 3



Concepção preliminar da bancada de ensaios de inversores estáticos com uma ideia da disposição física dos equipamentos constituintes da mesma.

Esse design tem como prioridade estabelecer uma maior organização entre os equipamentos de medição, proporcionando uma área de trabalho mais agradável.

RESULTADOS

O processo de montagem da bancada ocorreu na oficina mecânica do GEDAE, o qual dispõe de diversas ferramentas, como, moto-lixa, máquina de corte, serra circular, máquina de solda industrial etc. A montagem foi feita de forma precisa, evitando, assim, problemas estruturais como desníveis ou rachaduras na junção entre duas peças. Inicialmente foi construída a estrutura da bancada, utilizando como material principal as barras de metalon, os quais possuem uma ótima resistência para o suporte dos equipamentos, além de serem fáceis de manusear. A estrutura foi construída com a utilização de uma máquina de solda industrial para a junção das barras de metalon e posteriormente reforçada com chapas de metal e rebite em seus vértices, como pode ser visto na figura 4.

Após a montagem da estrutura, foi inserida uma base de compensado que servirá de superfície para os equipamentos de medição e equipamentos de teste. Em conjunto do compensado foi adicionada uma borracha industrial para uma superfície mais delicada, evitando assim o desgaste do equipamento em teste e principalmente para atuar como um isolante oferecendo uma maior segurança ao risco de choque elétrico. Ao todo foram feitas

ISBN: 978-85-5722-005-8

três bancadas, onde a primeira contem um Wattímetro e duas fontes C.C. instaladas (figura 5), a segunda possui uma Carga RLC programável e a terceira uma fonte C.A. (figura 6).

Figura 4



Estrutura da bancada montada com barras de metalon

Figura 5



Bancada com um Wattímetro e duas fontes C.C. instaladas

Figura 6



Carga RLC programável e Fonte de alimentação C.A em suas respectivas estruturas.

Dificuldades

A primeira bancada montada apresentou certa instabilidade tanto nas junções entre os metalons quanto no centro de massa. A composição da junção estava baseada apenas em

 ISBN: 978-85-5722-005-8

chapas de *metalon* e rebite, por esse motivo foi necessário reconstruí-la com a utilização de solda industrial, a qual forneceu uma rigidez muito maior em comparação com a montagem anterior. Além da rigidez da estrutura ter sido debilitada, a bancada estava instável de modo que qualquer pressão exercida na parte frontal, onde seriam testados os inversores, a estrutura tendia a tombar, caso não houvesse algum peso para compensar na região traseira. Por esse motivo, foi necessário adaptar a estrutura da parte de baixo, aumentando a distância, entre os pés de apoio. É importante destacar que os problemas encontrados, ocorreram apenas durante a montagem da primeira bancada de testes, trazendo experiência de montagem para as bancadas montadas posteriormente.

O design da bancada nos proporciona, posteriormente, a utilização de sua parte de baixo para a adição de gaveteiros onde se possam guardar ferramentas.

Programa em LABVIEW

Para a execução dos testes em inversores (e demais ensaios de acordo com a RAC2012 do INMETRO) está sendo desenvolvida a programação via LABVIEW que fará, de forma intuitiva e simples, com que todas as etapas do processo sejam realizadas através de um computador. O referido programa será projetado para testes de inversores (autônomos ou conectados à rede) e outros equipamentos usados em sistemas fotovoltaicos. A figura 7 ilustra a página inicial do programa.

Figura 7



Layout inicial do programa para a bancada de ensaios em equipamentos fotovoltaios.

 ISBN: 978-85-5722-005-8

A integração de todos os dispositivos mencionados na tabela 1 só foi possível graças à compatibilidade que todos os equipamentos tinham com o LABVIEW através de um *plugin* chamado *Virtual Instrument Software Architecture* (VISA) que é capaz de integrar diversos instrumentos de medição de fabricantes diferentes e coordená-los dentro da plataforma LABVIEW.

Como o desenvolvimento do software ainda está na sua forma embrionária, por enquanto não há resultados de testes realizados em inversores ou outros dispositivos aplicados à energia solar fotovoltaica. Entretanto, a ideia principal do programa é centralizar os testes e agilizá-los de forma a imprimir um relatório preciso e sucinto descrevendo todos os testes que são pedidos na norma do INMETRO, bem como nas normas técnicas para os devidos equipamentos.

CONCLUSÕES.

Este artigo mostra o processo de montagem estrutural de uma bancada ainda em desenvolvimento, mas prestes a estar concluída, que servirá para fins de ensaios e testes com inversores fotovoltaicos, com o intuito de se arrecadar dados e estatísticas deste equipamento e também etiquetá-los.

Além disso, é mostrado de forma simplificada, o software desenvolvido para a realização dos testes em inversores e outros dispositivos de sistemas fotovoltaicos.

O referido artigo trata da utilização da bancada para testes em inversores para sistemas fotovoltaicos. No entanto a bancada pode ser aproveitada para a realização de testes em diversos componentes aplicados à energia solar (como controlador de carga e baterias estacionárias), uma vez que são utilizados os mesmos equipamentos para os referidos testes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Enfatiza-se que este tipo de bancada, estruturada de forma compactada e otimizada para a realização de testes em inversores ou outros dispositivos aplicados à energia solar fotovoltaica, está sendo implementado de forma parcial no Laboratório de Sistema Fotovoltaico (LSF) do Instituto de Engenharia Elétrica da USP (IEE-USP) e é pioneiro no norte do país.

ISBN: 978-85-5722-005-8

REFERENCIAS

ASSOSSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 16149:2013** *Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição,* 2013.

ASSOSSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 16150:2013** *Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio e conformidade,* 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – **INMETRO PORTARIA Nº004/2011** *Estabelecimento de critérios para avaliação de conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica,* 2011.

PINTO, Aimé. *Qualificação e Etiquetagem de Inversores Para Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede*. São Paulo, 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia). IEE, USP, São Paulo, 2012.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; OLIVERIRA, Sérgio Henrique Ferreira. Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.