



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Julio Shigeaki Omori
Companhia Paranaense de Energia
julio.omori@gmail.com

A Importância da Aplicação de Redes Inteligentes para Integração de Painéis Fotovoltaicos nas Redes de Distribuição

Palavras-chave

Geração Distribuída
Geração Solar
Redes Inteligentes
Sistemas Fotovoltaicos

Resumo

O presente trabalho apresenta importantes aspectos sobre a aplicação do conceito de Redes Inteligentes para a integração de geração distribuída a partir de painéis fotovoltaicos nas redes de distribuição de baixa tensão. A nova regulação que apresenta facilidades para conexão de micro e mini geração de energia pode acarretar sérios problemas técnicos para o sistema de distribuição caso exista a conexão em larga escala principalmente de geração através de sistemas fotovoltaicos. A Copel Distribuição desenvolveu estudos antecipando-se a este cenário, implantando uma unidade de geração piloto de 8 kW para analisar os detalhes de integração dos equipamentos de geração com a rede de distribuição, constatando desta forma a necessidade e potencialidade de integração com as futuras redes inteligentes de distribuição.

1. Introdução

A Geração Distribuída compreende a produção e geração de energia diretamente na rede de distribuição integrada ao consumo. Este tipo de configuração não é inovadora, na verdade foi assim que nasceu o sistema elétrico de potência no início do século XX, com pequenos geradores instalados próximos dos centros urbanos devido as pequenas potências envolvidas.

Com o crescimento exponencial do consumo de energia, houve a necessidade de aproveitamentos naturais para geração de energia em larga escala longe dos grandes centros urbanos. Esta configuração acabou deixando esquecidos os pequenos geradores, no entanto estes permaneceram ativos por várias décadas.

A novidade sobre o conceito de geração distribuída é o incentivo para conexão em grande escala de produtores de energia de pequeno porte na rede primária de média tensão (34,5 kV e 13,8 kV) e também na rede secundária de baixa tensão (220/127 V), em regime contínuo e em paralelo com a rede elétrica.

Este incentivo está ocorrendo devido a redução no número de grandes aproveitamentos naturais de geração, o interesse da Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) e principalmente devido a necessidade de substituição de fontes de geração de energia não renováveis por aproveitamentos com energia renovável de pequeno porte proveniente principalmente de energia solar, eólica e biomassa. É importante ressaltar que a geração próxima a carga também contribui para redução das perdas no sistema elétrico, otimizando a sua operação e postergando a necessidade de novos investimentos para atender o crescimento vegetativo da demanda.

Por outro lado, a conexão em larga escala destes geradores diretamente na rede de distribuição acarreta problemas de ordem técnica e operacional, como a inversão do fluxo de potência, dificuldade para controlar a tensão, alteração da sensibilidade de sistemas de proteção e risco de energização acidental da rede elétrica.

A geração de energia solar através de sistemas fotovoltaicos de pequeno porte tem obtido êxito em sua aplicação em vários países devido principalmente a redução dos custos de implantação, incentivos governamentais e devido a conotação de geração de energia renovável. O Brasil é um país privilegiado com relação a irradiação de energia solar, mas praticamente não explora esta fonte energética, no entanto o potencial de aplicação torna-se muito atrativo.

As Redes Inteligentes de Energia estão sendo cada vez mais discutidas e estudadas. Um dos maiores desafios creditados a futura implantação deste conceito é a possibilidade de colaborar na gestão da operação da convivência do sistema elétrico da distribuição com as fontes de geração distribuídas. Contribuindo nas questões que envolvem segurança, aplicação de serviços ancilares, controle e despacho de potência ativa, reativa, de acordo com as necessidades do sistema elétrico entre outras funcionalidades, incluindo a integração com os dispositivos futuros de acumulação de energia e veículos elétricos.

A Copel tem tradição no aproveitamento da Geração Distribuída. Das dezoito usinas de sua planta dez são PCHs (pequenas centrais hidrelétricas) injetando permanentemente energia na rede de média tensão (34,5 kV) desde antes da primeira metade do século XX.

Em dezembro de 2010 foi publicado no site da Copel a nova versão da norma para acessantes de geração que desejem conectar-se em paralelo com o sistema elétrico. Esta versão é considerada um marco, pois regulamenta vários avanços nos critérios para conexão da geração distribuída na Copel. Os principais avanços são: definição de critérios técnicos para conexão de acessantes de geração de baixa tensão, definição dos critérios para conexão de acessantes de geração de média tensão diretamente na rede primária.

Nesta nova norma foram refinados os critérios, revisando os avanços tecnológicos na área de proteção elétrica, garantindo segurança na conexão e flexibilizando a conexão de novos acessantes de geração principalmente de menor porte, contribuindo para dinâmica de aplicação do conceito de geração distribuída. Desta forma um consumidor de baixa tensão, que possua geração de energia em sua instalação e que deseja conectar-se em paralelo com o sistema elétrico da Copel já pode conectar-se desde que cumpra os requisitos técnicos desta norma.

2. Desenvolvimento

2.1 O PROCESSO DE REGULAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Em abril de 2012 a Aneel definiu a regulamentação inicial para o programa de regulação para a geração distribuída a partir dos documentos gerados na Audiência Pública 042/2011.

Unidades de geração com potência inferior a 100 kW são denominadas de microgeração. Unidades de geração superiores a 100 kW e inferiores a 1MW são denominadas de minigeração.

Fontes de geração nesta faixa de potência provenientes de fontes renováveis: eólica, solar, biomassa, hídrica e processos de cogeração são denominadas de fontes incentivadas conforme ilustra a Figura 1.

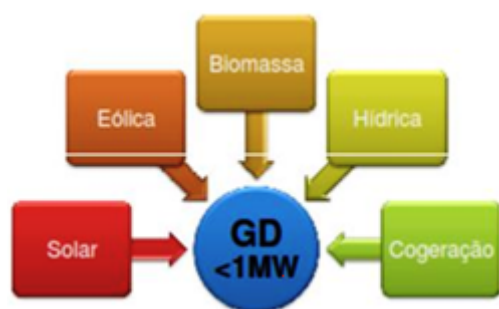


Figura 1- Fontes Incentivadas de Geração de Energia

Para os casos ilustrados na Figura 1 é aplicado o conceito de Net Metering. Este processo de compensação permite um encontro de contas e balanço energético durante doze meses entre os valores de consumo e despacho de geração para a rede. É possível anular o valor pago na conta de energia, ficando a cargo do acessante apenas a taxa mínima de cobrança da sua conexão.

A adesão é por opção e todos os custos de reforço devido a conexão da geração deverão ser pagos pela concessionária de distribuição, bem como os estudos para conexão e as informações a serem prestadas para a Aneel. O prazo de adequação dos processos técnicos e comerciais das concessionárias é de 240 dias após a divulgação da aprovação.

A Figura 2 apresenta as faixas e modalidades de compensação do sistema Net Metering.

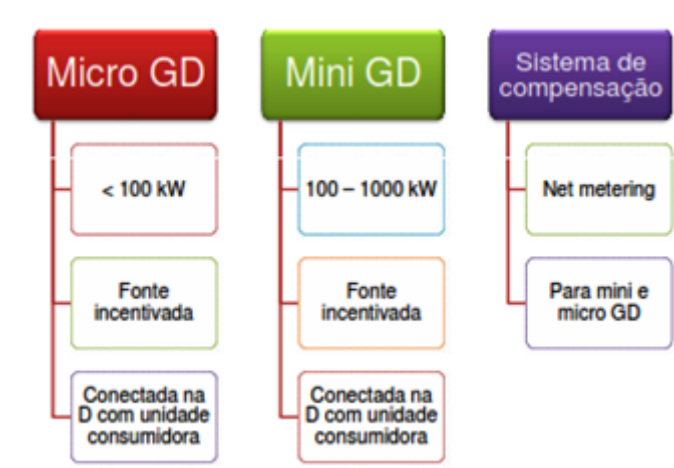


Figura 2- Compensação para Micro e Mini GD

O Sistema de Medição também é simplificado com a aplicação de apenas um medidor eletrônico de dois quadrantes em substituição a medição convencional do acessante de carga. Os custos de adequação da medição são do acessante e a instalação deverá ser realizada pela acessada.

2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM PARALELO COM A REDE

A conexão de geração de energia solar em paralelo permanente com o sistema de distribuição, com ou sem despacho de energia para a rede é denominado de “Grid Tie” e dispensa a utilização de baterias. A energia gerada é despachada no ponto de conexão e dependendo da carga consumida na instalação será possível presenciar a inversão de fluxo de potência, ou seja, o acessante fornecendo energia para a rede de distribuição.

A Figura 3 ilustra a conexão de um sistema Grid Tie. A geração de energia fotovoltaica alimenta as cargas da instalação residencial e o excedente da energia é direcionada para o sistema de distribuição da concessionária.

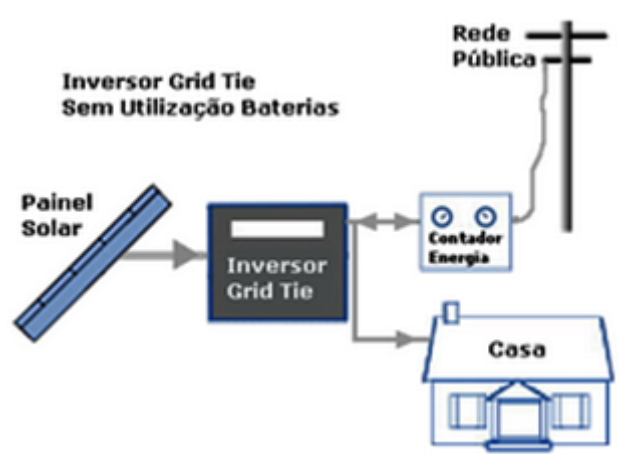


Figura 3- Sistema Grid Tie

O equipamento responsável pela conexão dos painéis fotovoltaicos com o sistema de distribuição é o inversor. Como a geração de energia dos painéis fotovoltaicos é de natureza de tensão contínua é necessário executar a conversão de corrente contínua para corrente alternada este é o principal objetivo do inversor. O

dispositivo também executa a importante função de proteção contra variações inadequadas de tensão, frequência, corrente e atua contra o ilhamento, ou seja, que o sistema fotovoltaico permaneça fornecendo energia para a carga sem a presença da rede de tensão proveniente do sistema de distribuição. Outra função importante dos inversores é o sincronismo com a rede elétrica para proporcionar o paralelismo com a rede, bem como os algoritmos de drenagem de máxima potência dos painéis fotovoltaicos.

A Figura 4 ilustra com detalhes o processo de conversão realizada pelo inversor. Apresenta também outra modelagem para medição da energia gerada pelo sistema fotovoltaico, a parte da medição de consumo da residência. Este sistema permite a tarifação distinta e um possível incentivo na geração de energia com tarifas diferenciadas.

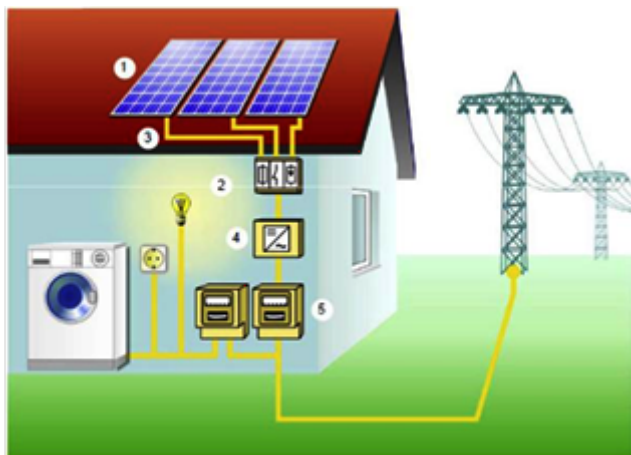


Figura 4- Detalhamento da Conexão dos Conversores

A conexão de um acessante de geração diretamente na rede de distribuição pode acarretar o surgimento de níveis inadmissíveis de tensão no sistema.

A Figura 5 ilustra uma fonte de geração fotovoltaica injetando energia no sistema de distribuição através de uma conversão de corrente contínua para corrente alternada.

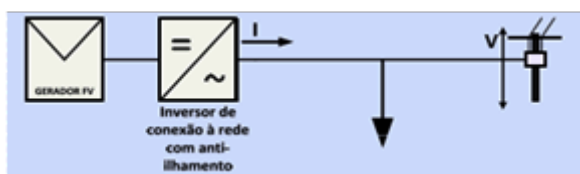


Figura 5- Injeção de Energia na Rede Através de um Sistema Fotovoltaico

Esta injeção de potência pelo acessante num ponto que normalmente operava como carga, pode gerar sobretensões inadmissíveis devido a necessidade de manter o módulo de tensão superior ao valor de tensão da fonte onde a energia será injetada sem absorção de energia reativa.

A Figura 6 apresenta o circuito elétrico equivalente desta conexão. A tensão U_{wr} gerada no sistema fotovoltaico necessita ser superior a tensão da fonte e a queda de tensão no sistema de distribuição para que a energia possa ser injetada.

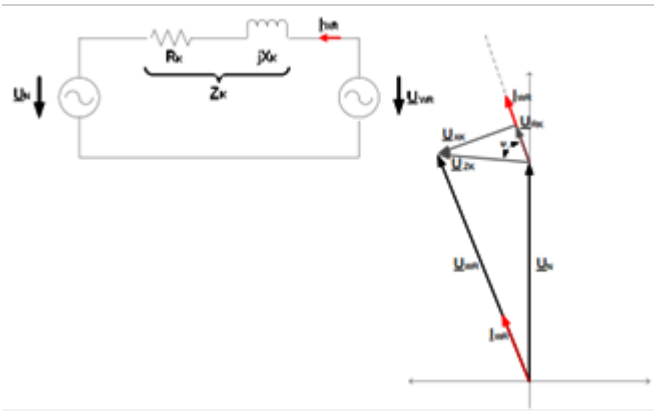


Figura 6- Injeção de Energia na Rede Através de um Sistema Fotovoltaico

Esta sobretensão na rede de distribuição pode acarretar em níveis proibitivos de tensão nos demais acessantes de carga da concessionária de distribuição bem como pode levar ao desligamento do próprio sistema de geração devido a proteção contra sobretensão.

Uma possibilidade para realizar este controle e impedir a sobretensão e desconexão do próprio acessante é a implantação de um sistema de controle de reativo pelo próprio inversor. Como o inversor sintetiza a forma de onda de tensão é possível atrasar ou adiantar esta de forma a manter um sistema com fator de potência unitário, em atraso ou em avanço. A geração de energia capacitiva corresponde a absorção do gerador de potência reativa indutiva. Caso o gerador opere absorvendo energia reativa é possível despachar potência ativa sem gerar sobretensões, no entanto o fator de potência pode ser comprometido. A Figura 7 apresenta o gráfico de excitação do sistema fotovoltaico. Indicando a geração de potência máxima com fator de potência indutivo.

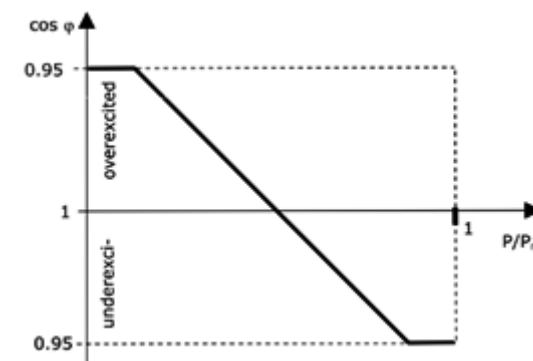


Figura 7 - Gráfico de Potência x Fator de Potência de Operação

2.3 PILOTO REALIZADO

A maior preocupação de uma Concessionária de Distribuição de Energia com relação Geração Distribuída é a possibilidade de energização não intencional da rede elétrica. A necessidade de executar intervenções na rede elétrica desenergizada com a garantia de ausência de tensão por parte dos acessantes de geração é uma preocupação contínua das distribuidoras.

Com o objetivo de constatar o desempenho de proteção e funcionalidades de operação dos sistemas fotovoltaicos de geração de energia a Copel Distribuição iniciou em 2010 um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento para avaliar o desempenho de sistemas fotovoltaicos que operam em paralelo e isolados da rede elétrica. Para testar o comportamento de sistemas Grid Tie, foi executada a seguinte configuração

apresentada na Figura 8. A proposta também visava o teste de desempenho de dois inversores distintos um importado e outro nacional com potência total de 5,4 kW.

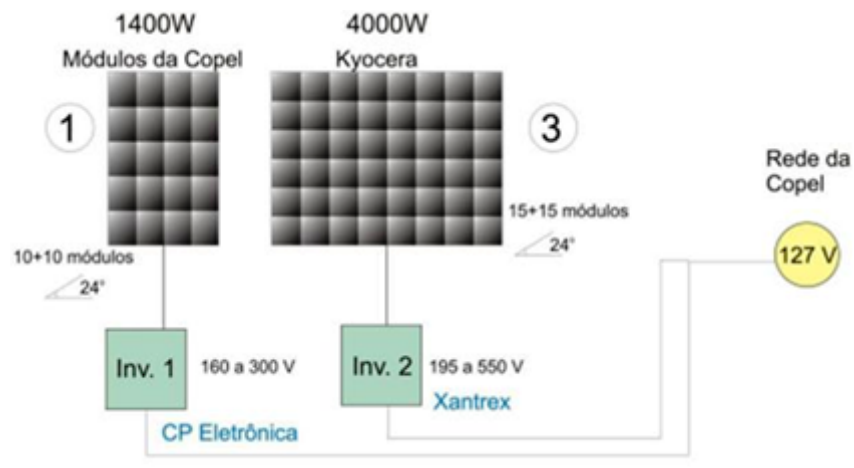


Figura 8 – Configuração do Sistema Grid Tie Utilizado

Para testar a operação de sistemas isolados foi executada a configuração apresentada na figura 9, denominado de Of Grid (desconectado da rede).

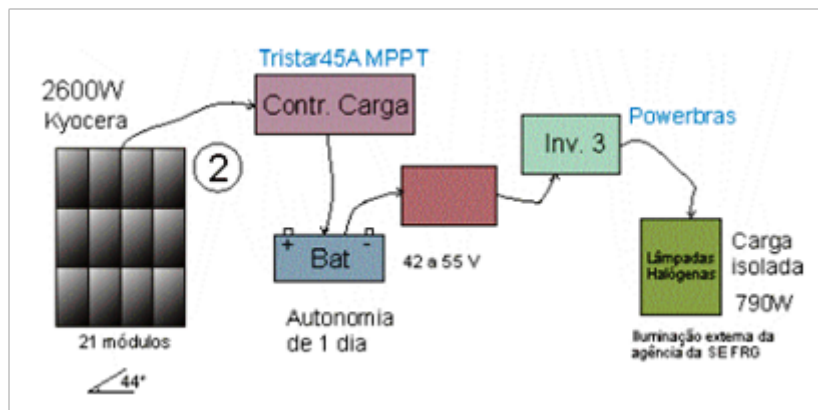


Figura 9 – Configuração do Sistema Of Grid Utilizado

O Inversor 1, trata-se de um equipamento fornecido pela Empresa CP Eletrônica com potência de 1,1 kW. O rendimento previsto é de 92% e a faixa de tensão de entrada está entre 160 V e 300 V. Possui sistema de mppt (seguidor de ponto de máxima potência). O equipamento dispõe de isolamento galvânico entre os painéis e a rede através de um transformador isolador e proteção contra ilhamento. Além disso, conta com interface de comunicação para configuração e leitura de dados.

O inversor 2 da Xantrex possui potência nominal de 4 kW e faixas de tensão de entrada e de saída similares ao do inversor 1. O equipamento pode operar com rendimento de 95,5%. Também possui algoritmo seguidor de máxima potência. A Figura 10 apresenta os inversores instalados.



Figura 10 – Inversores Grid Tie Instalados

Foram utilizados dois tipos de módulos fotovoltaicos:

- 20 Módulos HG70, da Mitsubishi, com potência de 70 W, tensão de 17,24 V e corrente de 4,1 A.
- 51 Módulos KD135SX da Kyocera, com potência de 135 W, tensão de 17,7 V e corrente de 7,63A.

2.4 RESULTADOS OBTIDOS

A instalação foi executada na subestação Fazenda Iguazú na região metropolitana de Curitiba. Foi utilizada a instalação de serviço auxiliar para representar a carga e o transformador de serviços auxiliares como ponto de entrega.

A Figura 11 demonstra a disposição dos painéis fotovoltaicos instalados.



Figura 11 – Inversores Grid Tie Instalados

A Figura 12 apresenta a instalação dos inversores, medidores e painel de distribuição e proteção na sala de comando da subestação Fazenda Iguazú. Também é demonstrada a instalação dos sensores de nível de radiação solar instalados para acompanhamento energético do piloto.



Figura 12 – Equipamentos e Dispositivos Instalados

A Figura 13 apresenta uma tela do software de monitoramento disponibilizado pelo fabricante Xantrex para acompanhamento em tempo real dos parâmetros elétricos de geração de energia.

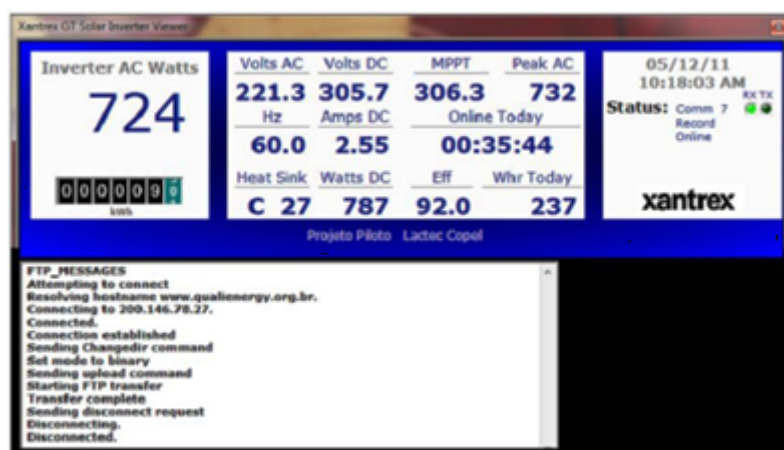


Figura 13 – Software de Monitoramento de Parâmetros Elétricos

Outra preocupação da conexão de acessantes de geração provenientes de conversão de corrente contínua para corrente alternada é a qualidade da energia gerada. A Figura 14 ilustra as formas de onda de tensão e de corrente no ponto. A distorção harmônica total da corrente é inferior a 8% e o fator de potência é próximo de 100%.

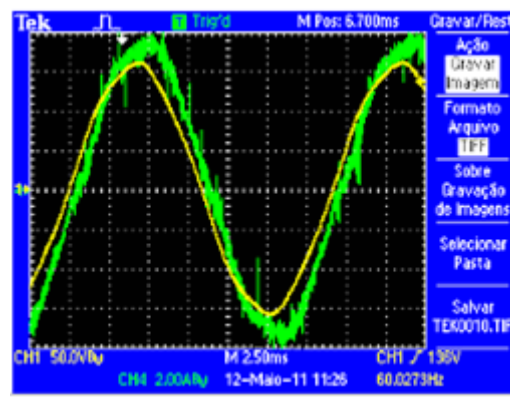


Figura 14 – Tensão (amarelo) e corrente (verde) na Saída do Inversor

Nenhum dos inversores apresenta possibilidade de regulação do fator de potência com um dos parâmetros de controle de níveis de tensão.

Como já foi relatado a maior atenção nos testes foi a simulação da ausência de tensão na rede de energia, estabelecendo desta forma a possibilidade de ilhamento. Conforme pode ser verificado na Figura 15 o tempo de desconexão foi inferior a 8 ms. Este evento demonstrado apresentou repetibilidade e foi confirmado para os inversores testados.

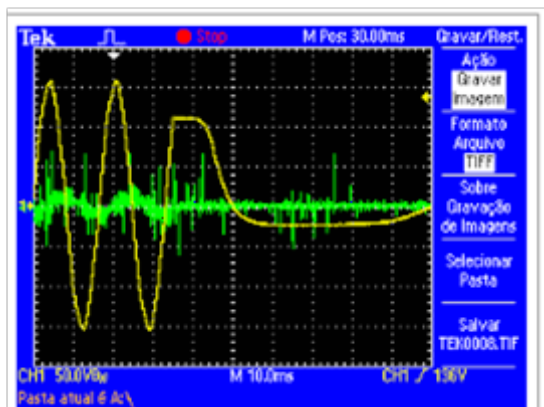


Figura 15 – Desligamento Geral do Ponto de Conexão

Após a desconexão da geração a retomada de ocorre num tempo de 60 a 100 segundos de forma automática. Este tempo elimina os eventos transitórios e possibilidades de religamento previstos pelos esquemas de proteção do sistema elétrico. A Figura 16 apresenta a retomada de geração.

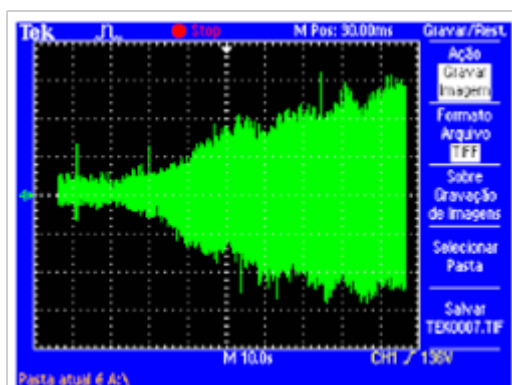


Figura 16 – Retomada de Geração Após Desligamento

2.5 A INTEGRAÇÃO COM AS REDES INTELIGENTES

Pode-se perceber durante os testes realizados que a aplicação do conceito de Rede Inteligentes pode dotar as aplicações de geração fotovoltaicas de uma poderosa ferramenta para as concessionárias de distribuição. As principais contribuições das redes inteligentes de distribuição para fomentar a geração distribuída são:

1. Maior Segurança na Conexão: com a monitoração remota e a possibilidade de desconexão remota do acessante de geração aumenta a segurança para efetuar intervenções no sistema elétrico
2. Serviços Ancilares: a utilização dos acessantes de geração como elementos que controladamente poderão auxiliar no controle de tensão, potência reativa e redução de perdas no sistema elétrico da Copel.
3. Microgrids: estabelecer pequenas redes que podem operar independentemente do sistema elétrico em condições de contingência
4. Despacho da Geração Distribuída: através dos centros de controle da Copel seria possível despachar a

potência gerada pelas unidades de geração distribuída, trabalhando desta forma com uma Usina Virtual de Geração de Energia de grande Potência.

5. Consumidor Produtor: a medição eletrônica de quatro quadrantes e a comunicação deste com o centro proporcionarão facilidades para transformar um consumidor em consumidor e produtor de energia elétrica

Quando o sistema elétrico de distribuição no Brasil estiver no estágio apresentado na Figura 17, que ilustra um projeto piloto realizado no Brasil a necessidade de controle será fundamental para garantir segurança e otimização na utilização desta importante fonte de energia renovável.



Figura 17 –Aplicação de Painéis Fotovoltaicos em Larga Escala

3. Conclusões

Através da análise realizada sobre os dados do projeto piloto em execução e dos fatores apresentados pode-se concluir:

- Houve avanço nas questões regulatórias, desta forma é possível um acessante de carga tornar-se um acessante de geração com exportação de energia para o sistema elétrico sem a necessidade de investimento e tempo elevado para operação.

- Não é possível prever a quantidade de novas conexões, no entanto podem-se projetar os impactos que a conexão em larga escala pode provocar para os sistemas de distribuição, tanto em qualidade da energia quanto nas dificuldades para operação do sistema

- Os testes realizados indicaram que os inversores aplicados obtiveram desempenho satisfatório nos tempos de desconexão para evitar o ilhamento proteção contra tensão inadequada e não comprometeram qualidade da energia com relação a conformidade.

- Como o inversor CC/CA é fundamental para garantir segurança e qualidade da conexão é fundamental que este equipamento seja homologado através de normas técnicas nacionais e enquanto esta não existir pelas próprias concessionárias de distribuição.

- A possibilidade de estabelecimento de ilhamento intencional mediante o conceito de microgrids e o

despacho da potência, fator de potência em determinados períodos de operação são vantagens estratégicas para que as distribuidoras possam se apropriar de ganhos reais diante da conexão de acessantes de geração de pequeno porte.

4. Referências bibliográficas

1 Sun Data, *Creseb Cepel*, Potencial Energético Solar; Outubro de 2005.

2 AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Nota Técnica 025/2011*. Junho de 2011.
