



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

|  |  |
|--|--|
| <b>Karolina J. Schwenck</b>                                | <b>Edson H. Watanabe</b>                                   |
| <b>COPPE/UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro</b> | <b>COPPE/UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro</b> |
| karolina@coe.ufrj.br                                       | watanabe@coe.ufrj.br                                       |

**Análise do Comportamento da Tensão de Atendimento do Consumidor com Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**

**Palavras-chave**

Geração Distribuída  
Microgeração  
Minigeração  
Qualidade de Energia  
Sistemas Fotovoltaicos  
Sistemas de Distribuição

**Resumo**

Sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede elétrica têm ganhado destaque nos aproveitamentos de fontes renováveis ao redor do mundo. A elevada média anual de radiação solar do território brasileiro somada à recente aprovação da resolução normativa N° 482 da ANEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia, levam à previsão do aumento relevante da utilização desses sistemas conectados à rede elétrica no país.

Perante a tendência de aumento do emprego desse tipo de aproveitamento de energia conectado à rede de distribuição, esse trabalho visa analisar o comportamento do módulo da tensão de atendimento do consumidor que possui esses sistemas. Esta análise é importante para determinar o impacto e as condições de operação e características da rede críticas que possam limitar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos e/ou piorar a qualidade de energia da rede.

**1. Introdução**

Diversos fatores econômicos, tecnológicos e, principalmente, ambientais têm incentivado a pesquisa, desenvolvimento e emprego de unidades geradoras distribuídas localizadas próximas aos centros de cargas,

conectadas ao sistema de distribuição e que utilizem geração proveniente de fontes renováveis.

Dentre as fontes renováveis, o emprego de geração solar por células fotovoltaicas tem ganhado destaque nos sistemas elétricos ao redor do mundo, especialmente o uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. O gráfico apresentado na Figura 1 mostra a taxa de crescimento média anual da capacidade de energia instalada mundial de unidades de geração a partir de diversas fontes renováveis, dados retirados de (REN21, 2011), o que comprova o destaque do uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR).

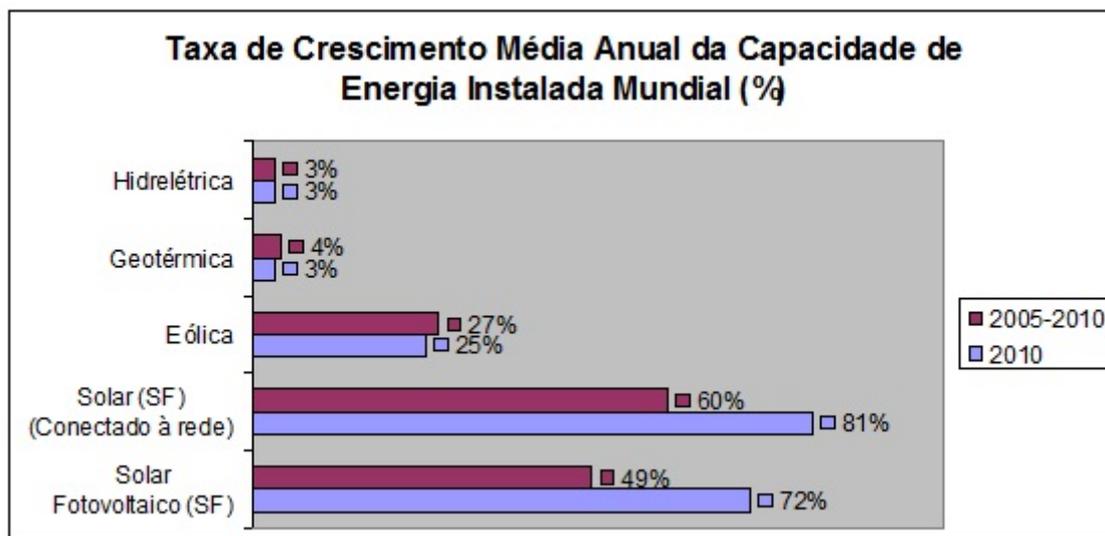


Figura 1 - Gráfico da taxa de crescimento média anual da capacidade de energia instalada mundial para diferentes fontes renováveis.

Apesar da indicação do cenário mundial para SFCR, o Brasil ainda é incipiente no emprego dessa tecnologia detendo a capacidade instalada de 5,494MWp, conforme dados do banco de informações de geração em (ANEEL/BIG, 2012). Diferentemente da Alemanha que possui a maior capacidade instalada de sistemas de geração solar fotovoltaico no mundo, aproximadamente 17,15 GW no ano de 2010, sendo grande parte de SFCR, de acordo com (EPIA, 2011).

Mesmo sendo incipiente ao se tratar de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, o Brasil possui características favoráveis para a implantação dessa tecnologia. Por exemplo, a média anual de radiação solar diária no Brasil varia entre 3,89 kWh/m<sup>2</sup>.dia e 5,56 kWh/m<sup>2</sup>.dia dependendo da região do país, como apresentado em (CRESESB, 2000), frente a Alemanha que possui entre 2,60 kWh/m<sup>2</sup>.dia e 3,70 kWh/m<sup>2</sup>.dia de acordo com (Súri & Huld & Dunlop & Ossenbrink, 2007).

Somado a relativa elevada média anual de radiação solar, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) iniciou discussões, por meio de audiências e consultas públicas, visando regulamentar medidas para diminuição das barreiras para a instalação de mini e microgeração, a partir de fontes renováveis, conectadas em tensão de distribuição. Por exemplo, a consulta pública (ANEEL, 015/2010) e a audiência pública (ANEEL, 42/2011), sendo que a primeira propõe o sistema de compensação de energia elétrica, conhecido em outros países como *Net Metering*, e a segunda o desconto de 80% na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e na Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) para mini e microgeração com fonte solar.

O sistema de compensação de energia elétrica é tal que a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração ou minigerção distribuída compõe o consumo de energia elétrica ativa. Isto é, se em um período de faturamento a energia ativa gerada for maior do que a consumida, o consumidor receberá um

crédito na próxima fatura, caso contrário pagará apenas a diferença entre a energia consumida e gerada.

A partir das contribuições dessa consulta e audiências públicas, a ANEEL aprovou a resolução normativa Nº 482 de 17/04/2012, (ANEEL, 2012), que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia. Sendo que as distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas em 240 dias contados da publicação dessa resolução normativa.

Diante do cenário mundial, das características favoráveis para a instalação de SFCR e das ações do governo para a redução das barreiras e a regulamentação da implantação desses sistemas, é possível prever o aumento significativo do emprego de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica nos próximos anos. Logo, estudar e analisar os impactos que essa tecnologia pode causar nos sistemas de distribuição é de extrema necessidade, sendo a influência na tensão de atendimento ao consumidor o principal foco desse trabalho.

## **2. Desenvolvimento**

Analisar o impacto na tensão de atendimento do acessante devido ao sistema fotovoltaico distribuído é importante para o correto dimensionamento e projeto do SFCR de modo que os limites adequados de conformidade da tensão não sejam violados. Os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente são estabelecidos no item 2.5.3 da seção 8.1 do módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST, 2012).

Para a determinação da influência do sistema fotovoltaico distribuído na tensão de atendimento do consumidor um levantamento sobre o funcionamento e principais características dos SFCR foi feito, em seguida o desempenho da rede elétrica com SFCR sob diversas condições operacionais e características da rede foi analisado e o impacto na tensão de atendimento, assim como as condições críticas foram determinados. Conforme apresentado nas seções a seguir.

### **2.1. Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos Conectados à Rede Elétrica**

De acordo com (JANUZZI & VARELLA & GOMES, 2009), sistemas fotovoltaicos são conjuntos de módulos fotovoltaicos e componentes associados projetados para converter energia solar em eletricidade. As aplicações desses sistemas podem ser classificadas em quatro subgrupos, entre eles: sistemas isolados domésticos, sistemas isolados não-domésticos, sistemas distribuídos conectados à rede elétrica e sistemas centralizados conectados à rede, sendo que os componentes associados aos módulos fotovoltaicos dependem da aplicação e topologia do sistema.

Os sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede elétrica, abordados nesse trabalho, são instalados para atender um determinado consumidor, este pode utilizar a geração solar para complementar o fornecimento da rede elétrica convencional ou exportar energia elétrica para o sistema de distribuição. Nesse caso, os sistemas fotovoltaicos não possuem mecanismos de armazenamento de energia, toda a energia gerada é entregue ao consumidor e/ou à rede elétrica.

Devido ao fato da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos ser em corrente contínua, faz-se necessário o uso de inversores CC-CA para a aplicação em sistemas distribuídos conectados à rede elétrica. Além dos módulos fotovoltaicos e dos inversores, outros componentes são utilizados dependendo da topologia do sistema, como detalhado em (RODRIGUES & TEIXEIRA & BRAGA, 2003) e (LACERDA, 2010), tais como conversores CC-CC elevadores de tensão e transformadores para isolamento galvânico. A Figura 2 apresenta a topologia mais simples, denominada de único estágio com inversor não isolado, formada pelo inversor fazendo a interface direta entre o arranjo fotovoltaico e a rede elétrica.

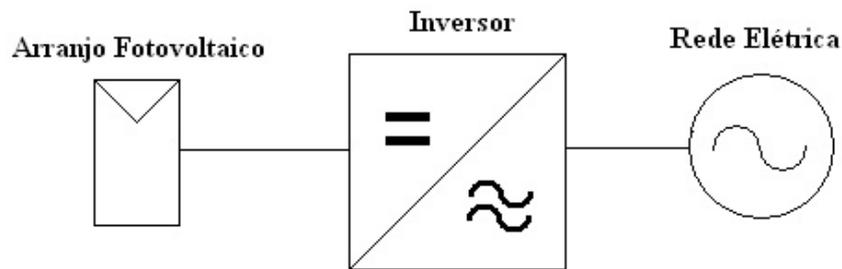


Figura 2 - Sistema fotovoltaico de único estágio com inversor não isolado.

Os inversores comumente utilizados em sistemas fotovoltaicos são conversores fonte de tensão (*Voltage Source Converters - VSC*) compostos por chaves semicondutoras autocomutadas, por exemplo, IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistors*), que permitem o controle tanto do instante de início de condução quanto de corte, o funcionamento desses conversores é detalhado, por exemplo, em (BOSE, 2002).

O controle do inversor de conexão à rede mais empregado é realizado de forma a controlar a corrente de saída deste para que a potência ativa gerada nos painéis seja entregue ao consumidor e, quando excedente, à rede elétrica. Isto é, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede operam como fontes de corrente com fator de potência unitário injetando potência ativa na rede, não estando habilitados a regular a tensão nos seus terminais.

O Brasil ainda não possui normas definidas para a conexão de sistemas distribuídos à rede elétrica, entretanto, organizações técnicas mundiais elaboraram recomendações dedicadas a esse assunto. Entre os documentos mais indicados e utilizados atualmente estão (IEEE Std 1547, 2003), (IEEE Std 929, 2000) e (IEC 62116, 2008). Estas normas abordam tópicos relacionados à qualidade da energia, operação e segurança dos sistemas conectados à rede.

## 2.2. Análise do Desempenho de Redes Elétricas com Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos

Para analisar o desempenho de redes elétricas com sistemas fotovoltaicos, o modelo simplificado do sistema de distribuição mostrado na Figura 3 foi abordado. Nele a rede elétrica foi representada pelo equivalente de Thévenin composto por fonte de tensão ( $V_s$ ) e impedância série da linha ( $Z_{linha}$ ).

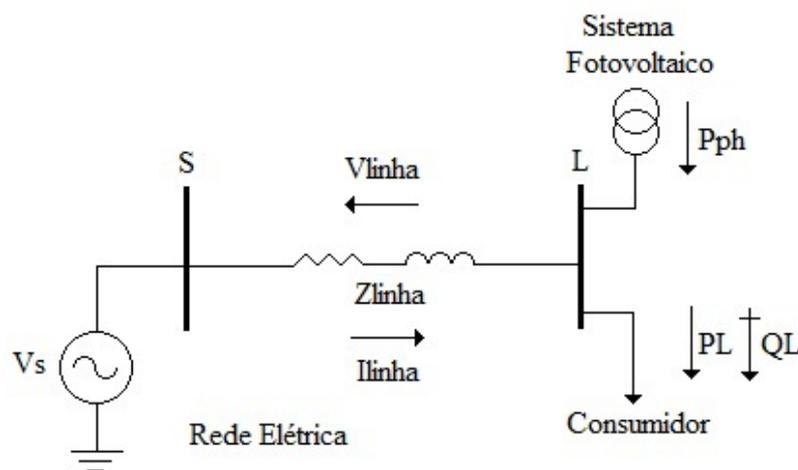


Figura 3 - Modelo simplificado da rede elétrica com sistema fotovoltaico.

Conforme mencionado, o controle dos disparos das chaves do inversor utilizado em SFSCR é feito de modo a controlar a corrente no lado CA do inversor para que a potência ativa gerada no arranjo fotovoltaico seja

entregue ao consumidor e/ou à rede elétrica. Dessa forma, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser representados como unidades de geração injetando potência ativa na rede, conforme apresentado na Figura 3. Por fim, o consumidor foi representado como uma carga concentrada no final do alimentador.

Analisando o diagrama da Figura 3 é possível prever o comportamento do sistema de distribuição com SFCR. Supondo, primeiramente, que a geração de potência pelo sistema fotovoltaico seja nula ( $P_{ph}=0$ ), neste caso a rede elétrica alimenta a carga sozinha, a corrente na linha ( $I_{linha}$ ) dependerá da potência ( $P_L$  e  $Q_L$ ) da carga. Isto é, quanto maior a potência exigida pela carga maior será a corrente na linha. Como a queda de tensão na linha ( $V_{linha}$ ) é proporcional à corrente ( $I_{linha}$ ), quanto maior a potência exigida pela carga, maior será a queda de tensão na linha e, conseqüentemente, menor será a tensão de atendimento do consumidor em relação à tensão da rede ( $V_s$ ).

Com o sistema fotovoltaico gerando potência, a corrente na linha dependerá da diferença entre a potência ativa gerada pelo SFCR ( $P_{ph}$ ) e a consumida pela carga ( $P_L$ ), além da potência reativa ( $Q_L$ ) desta. Quando a potência ativa gerada pelo SFCR é inferior à consumida pela carga ( $P_{ph}<P_L$ ), a corrente na linha possui o sentido indicado na Figura 3, entretanto, como o sistema fotovoltaico alimenta parte da carga requerida, a corrente na linha é inferior ao caso sem geração SFCR, resultando na tensão de atendimento do consumidor superior ao primeiro caso. Já no caso da potência ativa gerada pelo SFCR ser superior à consumida pela carga, a corrente na linha inverte o sentido indicado na Figura 3, e a tensão de atendimento do consumidor passa a ser superior à tensão da rede ( $V_s$ ).

Logo, é possível concluir que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede aumentam a tensão de atendimento do ponto em que estão conectados, e o valor dessa tensão dependerá da tensão da rede ( $V_s$ ), da impedância da linha ( $Z_{linha}$ ), da potência gerada pelo sistema fotovoltaico ( $P_{ph}$ ) e consumida pela carga ( $P_L$ ,  $Q_L$ ).

Para analisar a influência da tensão da rede ( $V_s$ ), da impedância da linha ( $Z_{linha}$ ), da potência gerada pelo sistema fotovoltaico ( $P_{ph}$ ) e consumida pela carga ( $P_L$ ,  $Q_L$ ) na tensão de atendimento do consumidor, o fluxo de potência trifásico foi calculado pelo método de Newton, através de algoritmo próprio simulado em MATLAB, para o sistema apresentado na Figura 3 sob diversas condições de operação.

O cálculo do fluxo de potência tem por objetivo definir as principais características de uma rede elétrica, tensões nas barras em módulo e ângulo e fluxos de potência ativa e reativa nos elementos da rede, a partir de dados conhecidos. No caso abordado, mostrado na Figura 3, os dados conhecidos do sistema são o módulo e a fase da tensão da barra S (barra de referência), os dados da linha (no caso a impedância série da linha) e as potências geradas ( $P_{ph}$ ) e demandadas ( $P_L$  e  $Q_L$ ) na barra L (barra do tipo PQ). Logo, as incógnitas determinadas a partir do cálculo do fluxo de potência são o módulo e a fase da tensão na barra L e as potências ativa e reativa na barra S. Em (MONTICELLI, 1983) é possível encontrar detalhes sobre algoritmos básicos para cálculo do fluxo de potência pelo método de Newton.

Supondo, inicialmente, que as condições de operação do sistema em estudo sejam:

- Carga nominal e fator de potência igual à 0,92 ( $P_L=0,92pu$  e  $Q_L=0,39pu$ ).
- Tensão da rede igual à 1pu ( $V_s=1pu$ ).
- Impedância série da linha igual à 0,05pu e relação r/x igual à 0,8152 ( $R_{linha}=0,0316pu$  e  $X_{linha}=0,0388pu$ ).

O fluxo de potência do sistema da Figura 3 foi calculado à medida que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico foi incrementada. A Figura 4 mostra o comportamento da tensão na barra L, tensão de atendimento, em função da potência gerada pelo SFCR. Nota-se que, conforme esperado, à medida que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico aumenta, a tensão de atendimento também aumenta.

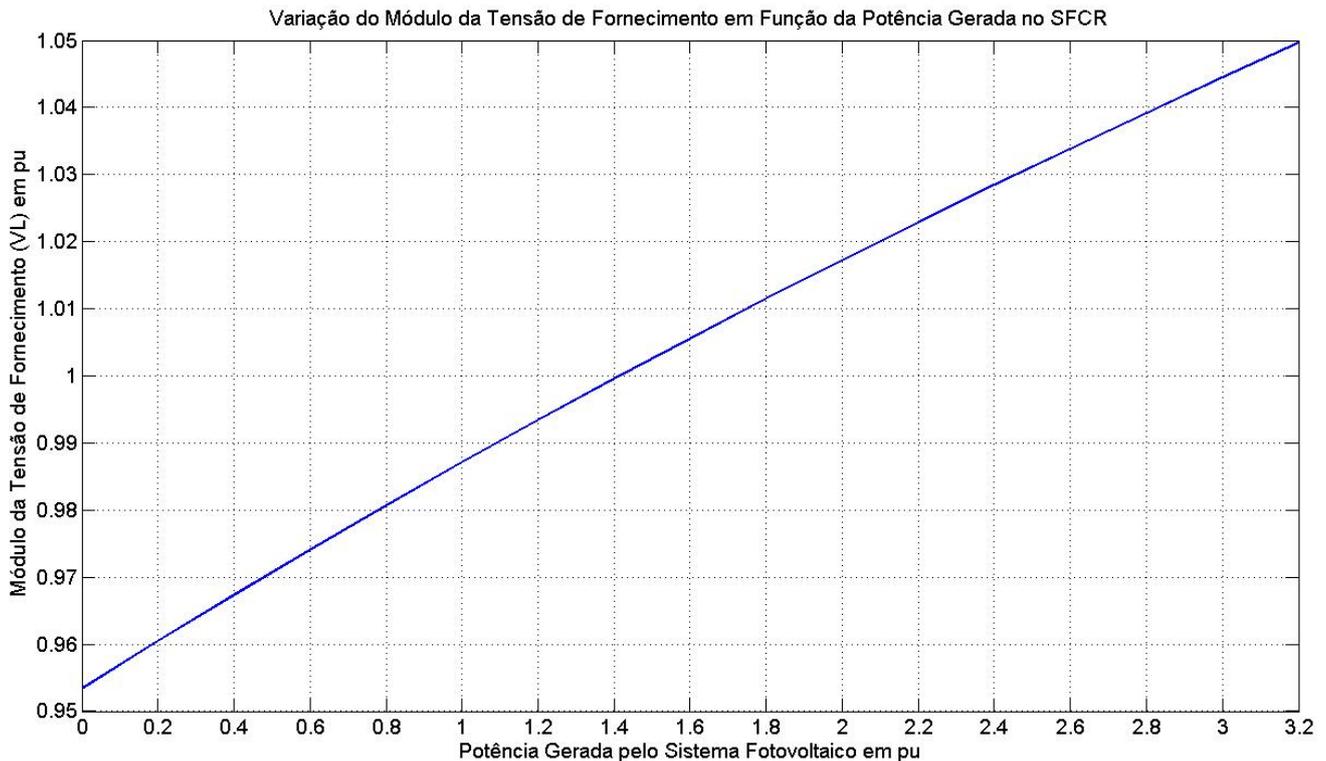


Figura 4 - Variação do módulo da tensão de atendimento (VL) em função da potência gerada pelo sistema fotovoltaico.

Variando o módulo da tensão da rede ( $V_s$ ) e incrementando o valor da potência gerada pelo sistema fotovoltaico, mantendo a impedância série da linha e a potência consumida pela carga adotadas no caso anterior, através do cálculo do fluxo de potência é possível notar que quanto maior a tensão de referência da rede ( $V_s$ ), menores valores de potência gerada pelo sistema fotovoltaico causaram o aumento da tensão de atendimento para 1.05pu, conforme apresentado na Figura 5. Isto é, quanto maior for a tensão da rede, maior será a influência dos sistemas fotovoltaicos na tensão de atendimento do consumidor.

Para analisar o comportamento da tensão de atendimento do consumidor com sistema fotovoltaico e variação da carga consumida, o cálculo do fluxo de potência do diagrama da Figura 3 foi feito para diferentes valores da potência aparente da carga, mantendo o fator de potência igual à 0.92, a tensão da rede igual à 1pu e a impedância série da linha igual aos dois casos anteriores. A Figura 6 mostra o gráfico com os resultados alcançados, nela é possível concluir que quanto menor for a potência consumida pela carga, maior será a influência do sistema fotovoltaico na tensão de atendimento do consumidor. Logo, em períodos de carga leve a elevação na tensão de atendimento do consumidor é mais aguda do que em períodos de carga pesada, para um mesmo valor de potência gerada pelo sistema fotovoltaico.

Dois casos foram estudados na análise da variação do módulo da tensão de atendimento do consumidor com sistema fotovoltaico conectado à rede em função da potência gerada pelo SFCR e da impedância série da linha. No primeiro, o módulo da impedância foi mantido constante e foram adotados diferentes valores para a relação  $r/x$  da linha, no segundo o fluxo de potência foi calculado para a relação  $r/x$  constante e distintos valores do módulo da impedância de linha.

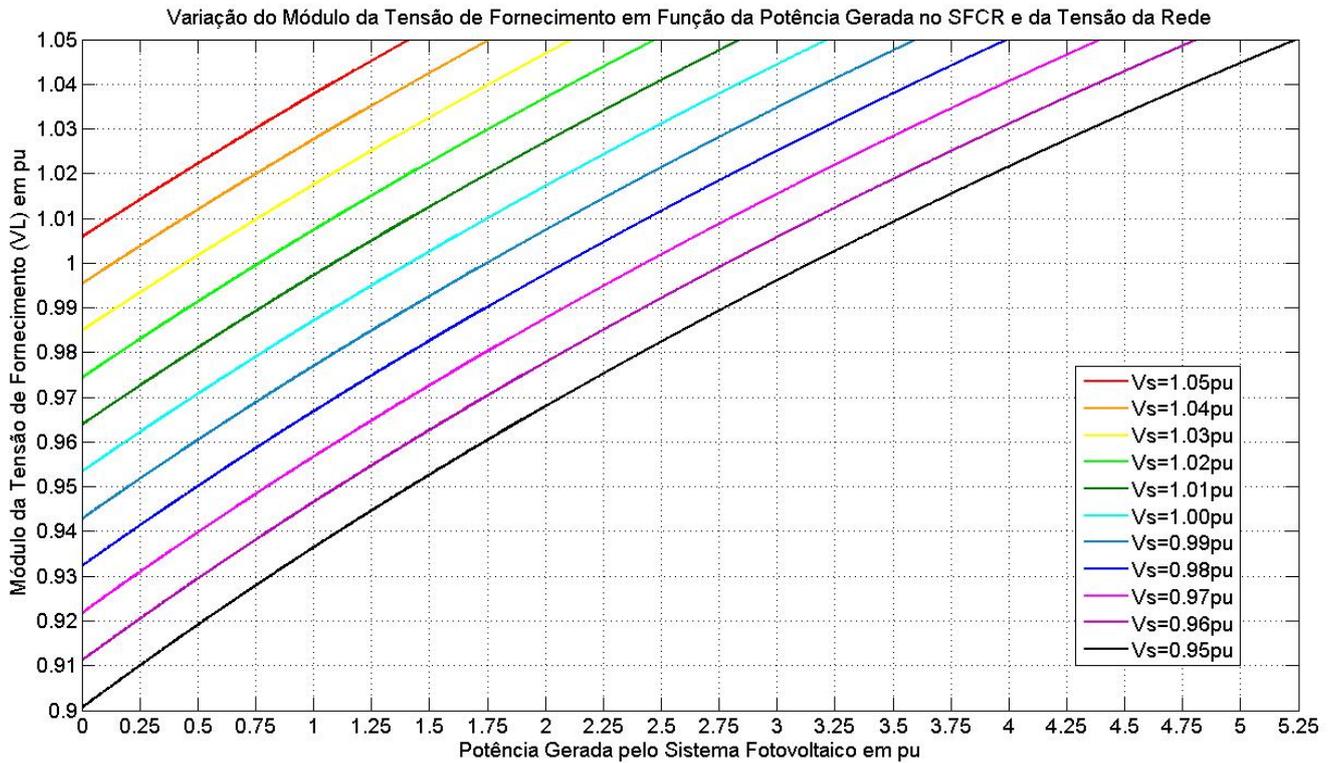


Figura 5 - Variação do módulo da tensão de atendimento (VL) em função da potência gerada pelo SFCR para diferentes valores da tensão da rede ( $V_s$ ).

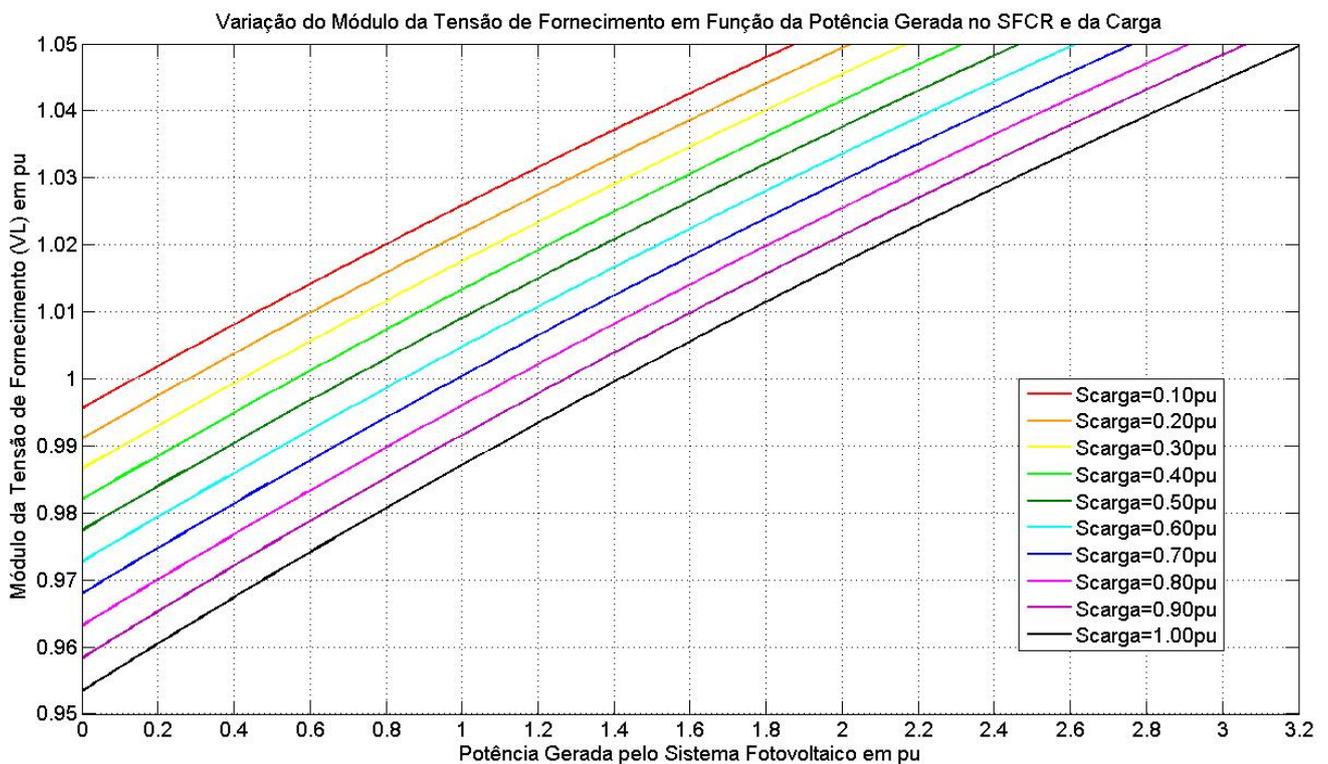


Figura 6 - Variação do módulo da tensão de atendimento (VL) em função da potência gerada pelo SFCR para diferentes valores da potência da carga (PL e QL).

A Figura 7 apresenta o comportamento da tensão de atendimento para o sistema em estudo operando a

plena carga, com fator de potência igual à 0,92, tensão da rede igual à 1,00pu, módulo da impedância de linha de 0,05pu e diferentes valores da relação  $r/x$  da linha e da potência gerada pelo sistema fotovoltaico. Pelo resultado é possível notar que quanto maior a relação  $r/x$  da linha, ou seja, quanto mais resistiva for a impedância da linha, maior será a influência do sistema fotovoltaico na tensão de atendimento do consumidor. Nota-se que para a potência gerada pelo sistema fotovoltaico igual à 2,25pu, a tensão de atendimento atinge 1,05pu para  $r/x$  igual à 6, e 1,02pu para  $r/x$  igual à 0,8.

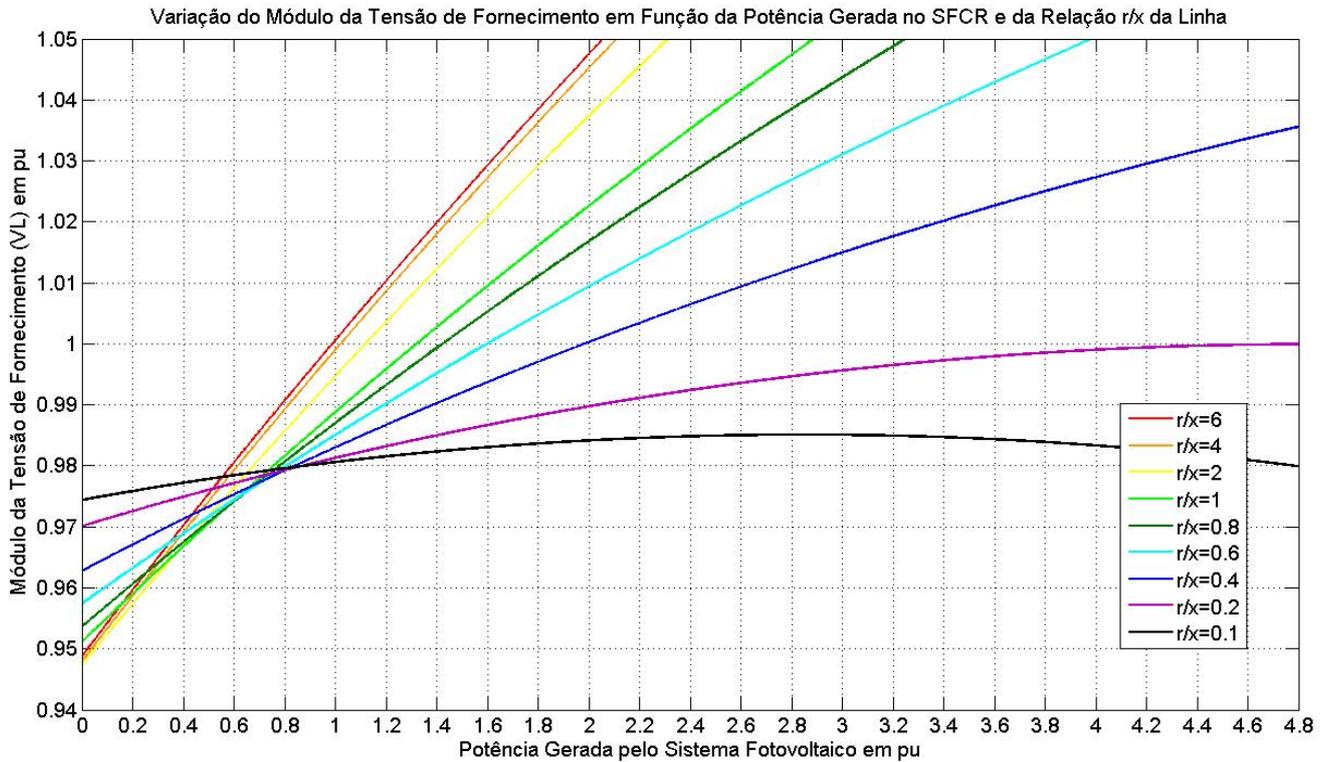


Figura 7 - Variação do módulo da tensão de atendimento (VL) em função da relação entre a potência gerada pelo SFCR e da carga (PL) para diferentes valores da relação  $r/x$  da linha.

No segundo caso, o fluxo de potência foi calculado para diferentes valores do módulo da impedância série da linha e da potência gerada pelo SFCR, para o sistema operando a plena carga, com fator de potência de 0,92, tensão da rede igual à 1,00pu e relação  $r/x$  da linha igual à 6. A Figura 8 mostra a variação da tensão de atendimento para esse caso, nela percebe-se dois comportamentos distintos, um quando a potência gerada pelo sistema fotovoltaico é inferior à consumida pela carga e outro quando é superior.

Quando a potência gerada pelo SFCR é inferior à consumida pela carga ( $P_{ph} < P_L = 0,92pu$ ), o sentido da corrente na linha ( $I_{linha}$ ) é da barra S para a barra L, conforme ilustrado na Figura 3. Logo, ocorre queda de tensão na barra L, tensão de atendimento, em relação a barra S devido à impedância da linha. Entretanto, essa queda de tensão diminui a medida que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico aumenta, visto que a potência fornecida pela rede para atender o consumidor diminui. Nessa situação, pelo gráfico da Figura 8, é possível concluir que quanto menor a impedância da linha, maior será a tensão de atendimento do consumidor com sistema fotovoltaico conectado à rede, entretanto, quanto maior o módulo da impedância mais sensível ao efeito do SFCR será a tensão de atendimento, nota-se pela inclinação das curvas ser maior para maiores módulos.

No caso da potência consumida pela carga ser inferior à gerada pelo sistema fotovoltaico ( $P_{ph} > P_L = 0,92pu$ ), ocorre a inversão do sentido da corrente na linha, passando a ser da barra L para a barra S. Isso faz com que haja a elevação da tensão de atendimento, conforme já mencionado anteriormente. É importante destacar o ponto de operação em que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico é igual a

1,00pu, nesse momento não ocorre queda e nem elevação da tensão independente da impedância da linha, visto que o fluxo de potência entre o consumidor e a rede elétrica é mínimo. Diferentemente da situação anterior, nesse caso a tensão de atendimento atinge valores maiores à medida que o módulo da impedância da linha aumenta. Apesar disso, assim como na primeira condição, a influência do sistema fotovoltaico é maior para valores do módulo da impedância de linha maiores.

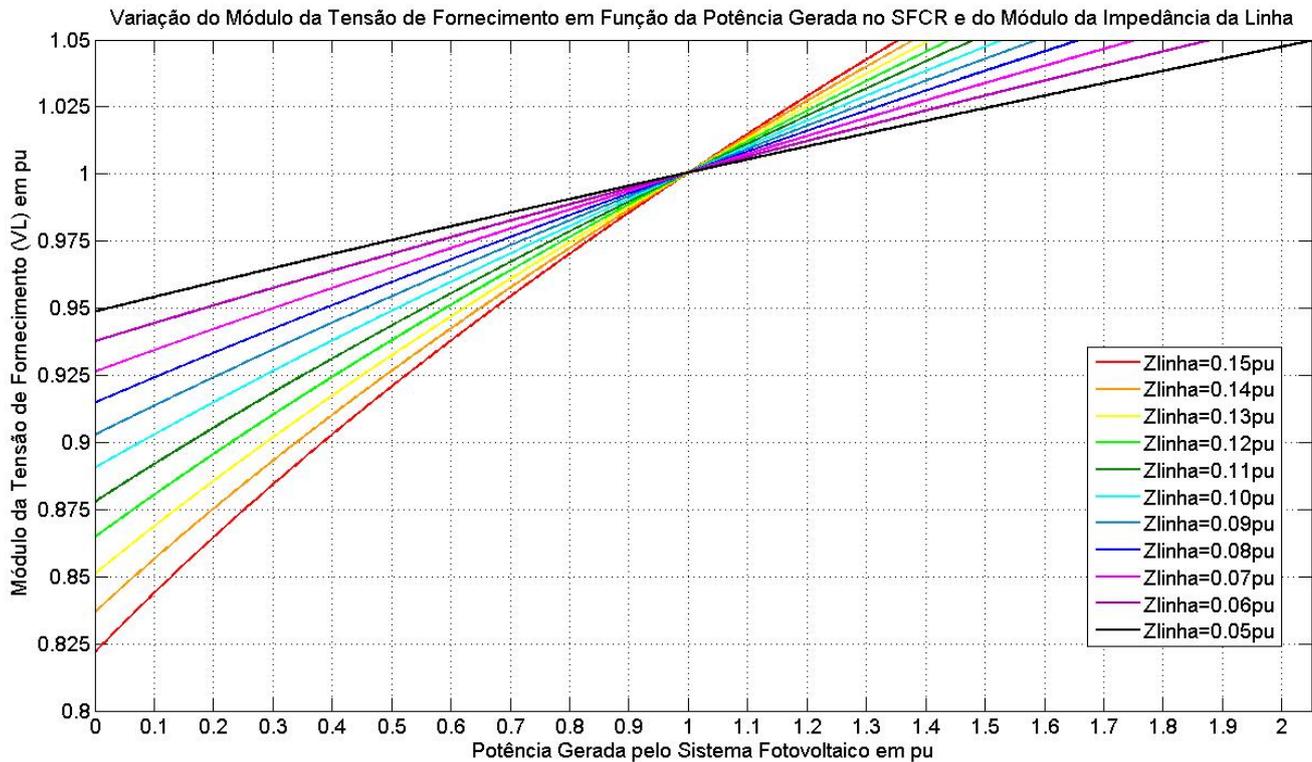


Figura 8 - Variação do módulo da tensão de atendimento (VL) em função da relação entre a potência gerada pelo SFCR e da carga (PL) para diferentes valores do módulo da impedância série da linha.

Uma vez analisado o desempenho da rede elétrica com sistemas fotovoltaicos distribuídos, especificamente o impacto na tensão de atendimento ao consumidor com essa tecnologia empregada, é possível traçar um perfil do caso crítico. Conforme os resultados obtidos, as condições críticas de operação, isto é, as condições em que a elevação da tensão de atendimento é mais sensível à potência gerada pelo SFCR são: tensão de referência da rede, módulo da impedância da linha e relação r/x da linha elevados e operação com carga leve.

A Figura 9, a seguir, mostra a variação da tensão de atendimento em função da potência gerada pelo sistema fotovoltaico para as seguintes condições:

- Carga igual a 0,10pu e fator de potência igual à 0,92 (PL=0,092pu e QL=0,039pu).
- Tensão da rede igual à 1,05pu ( $V_s=1,05pu$ ).
- Impedância série da linha igual à 0,15pu e relação r/x igual à 6 ( $R_{linha}=0,1480pu$  e  $X_{linha}=0,0247pu$ )

Pelo resultado apresentado no gráfico da Figura 9, nota-se que para o sistema fotovoltaico gerando aproximadamente 10% da potência nominal do sistema a tensão de atendimento atingiu 1,05pu, comprovando que as condições adotadas são consideradas críticas para a operação do sistema.

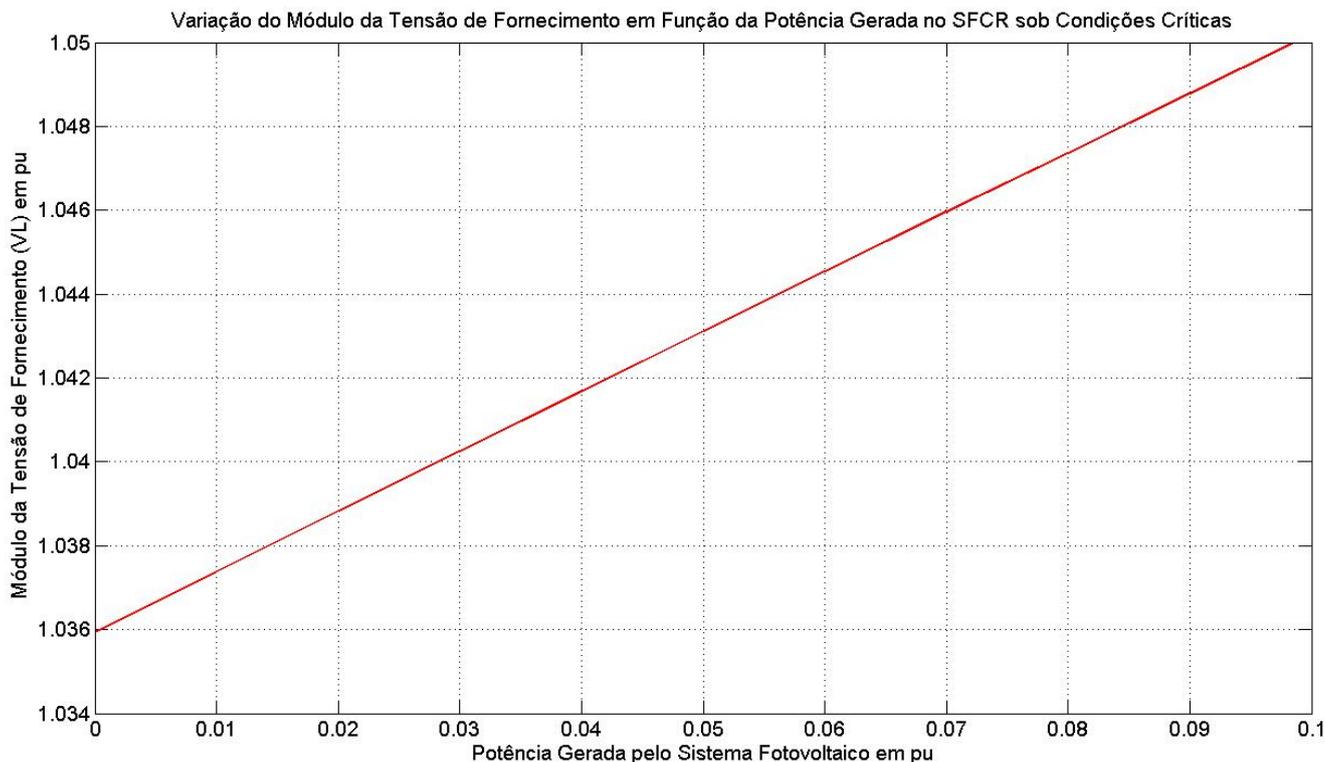


Figura 9 - Comportamento do módulo da tensão de atendimento do consumidor com sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica sob as condições de operação mais críticas.

### 3. Conclusões

Analisando os resultados apresentados no desenvolvimento desse trabalho conclui-se que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica elevam o módulo da tensão de atendimento do consumidor que possui esses sistemas. Nota-se também que essa elevação poderá ser mais crítica ou amena dependendo das condições de operação e características da rede, entre elas, módulo da tensão de referência da rede, módulo da impedância série da linha, relação  $r/x$  da linha e potência consumida pela carga.

Além disso, pelos resultados apresentados, conclui-se também que quanto maior for a tensão de referência da rede, o módulo da impedância da linha e sua relação  $r/x$ , e quanto menor for a potência consumida pela carga mais crítica será a elevação do módulo da tensão de atendimento para pequenos valores de potência gerada pelo sistema fotovoltaicos, caracterizando assim um perfil crítico para a aplicação dessa tecnologia.

### 4. Referências bibliográficas

ANEEL. Audiência Pública N° 42/2011. Acesso em 13/04/2012, disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/dspListaDetalhe.cfm?attAnoAud=2011&attIdeFasAud=562&id\\_area=](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/dspListaDetalhe.cfm?attAnoAud=2011&attIdeFasAud=562&id_area=)

ANEEL/BIG. Banco de Informações de Geração. Acesso em 30/04/2012, disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>

ANEEL. Consulta Pública N° 015/2010. Acesso em 13/04/2012, disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta\\_publica/detalhes\\_consulta.cfm?IdConsultaPublica=197](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/detalhes_consulta.cfm?IdConsultaPublica=197)

ANEEL. Resolução Normativa 482 de 17/04/2012. Acesso em 25/04/2012, disponível em: [http://www.aneel.gov.br/biblioteca/remissiva\\_legi.cfm?valida=99512](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/remissiva_legi.cfm?valida=99512)

BOSE, B. K. Modern Power Electronics and AC Drivers. Prentice Hall PTR, 2002.

CRESESB. Atlas Solarimétrico do Brasil. 2000.

EPIA. Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2015. 2011.

JANUZZI, Gilberto de M.; VARELLA, Fabiana de O. M.; GOMES, Rodolpho D. M. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação. Campinas, 2009.

LACERDA, Vinícius Sobreira. Sistema Monofásico de Aproveitamento Fotovoltaico Caracterizado por Baixa Distorção Harmônica Injetada na Rede e Rastreamento de Máxima Potência. Juiz de Fora, 2010.

MONTICELLI, Alcir José. Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica. São Paulo, 1983.

PRODIST. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. 2012. Acesso em 25/04/2012, disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82&idPerfil=2>

REN21. Renewables 2011: Global Status Report. 2011.

RODRIGUES, Márcio do Carmo Barbosa; TEIXEIRA, Estêvão Coelho; BRAGA, Henrique Antônio Carvalho. Uma Visão Topológica sobre Sistemas Fotovoltaicos Monofásicos Conectados à Rede de Energia Elétrica.

Súri M., Huld T. A., Dunlop E. D., Ossenbrink H. A. Potential of Solar Electricity Generation in the European Union Member States and Candidate Countries. Solar Energy, 2007, volume 81, p. 1295-1305. Acesso em 13/04/2012, disponível em: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm#GR>

---