

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA OU CENTRALIZADA: ESTUDO DE CASO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA VERSUS USINA TERMELÉTRICA NO NORDESTE DO BRASIL

Gustavo Azevedo Xavier – gustavo.xavier@ufv.br

Delly Oliveira Filho – delly@ufv.br

Vânia Reis de Souza Sant'anna – vania.santanna@ufv.br

José Márcio Costa – marcio.costa@ufv.br

Leandra Altoé – leandra.altoe@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Engenharia Agrícola

Resumo. *As crescentes restrições à construção de novas usinas hidrelétricas levam o país a buscar novas fontes para suprir suas necessidades energéticas. Enquanto países desenvolvidos promovem o desenvolvimento de fontes renováveis de energia o Brasil constrói novas usinas termelétricas, movidas a carvão e gás natural, que funcionam com um custo elevado e sujam a matriz de geração de energia elétrica brasileira. Além do alto custo de operação, as termelétricas movidas a combustíveis fósseis contribuem para o aumento de casos de problemas de saúde da população, principalmente respiratórios, nos locais próximos. Neste trabalho foi realizado um estudo comparativo entre a geração fotovoltaica distribuída e as termelétricas. Foram estimados os custos de instalação de sistemas fotovoltaicos para realizar a análise econômica e os resultados foram comparados com os custos de uma usina termelétrica. O sistema fotovoltaico se mostra vantajoso principalmente se forem levados em conta os custos com saúde associados a usinas termelétricas.*

Palavras-chave. *Fotovoltaica, Termelétrica, Planejamento Energético*

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a maior parte da geração de energia elétrica é de origem hidráulica e, devido às dimensões do país, um extenso sistema de transmissão de energia é necessário para atender os centros consumidores (Diniz et al. 2011). A predominância de usinas hidroelétricas torna o Brasil dependente da regularidade do regime de chuvas (BEN, 2012). No ano de 2001, a falta de chuvas combinada com a falta de planejamento levou o Brasil ao racionamento de energia elétrica. No final do ano 2012 e início de 2013, a falta de chuvas levou a ativação de usinas térmicas no Brasil.

As crescentes restrições ambientais à construção de novas usinas hidrelétricas têm levado o Brasil a investir em usinas termoelétricas a carvão e gás natural. Nos últimos anos várias usinas térmicas foram construídas no Brasil para atender os períodos em que os níveis dos reservatórios das hidrelétricas estão baixos. Devido a pouca chuva no fim de 2012 e início de 2013, todas as usinas térmicas do Brasil foram ativadas, gerando um enorme custo extra e lançando na atmosfera toneladas de gases poluentes. Além disso, no Brasil, o carvão apresenta um dos custos mais altos para geração de energia (Lachinni & Santos, 2013).

Nos últimos anos, sistemas fotovoltaicos estão se tornando uma opção cada vez mais atrativa economicamente no Brasil devido à combinação de fatores como: redução do preço dos geradores fotovoltaicos, altos índices de radiação solar e tarifas residenciais elevadas (Januzzi & Melo, 2013). Segundo estudos da EPE, já existem locais no Brasil em que a geração fotovoltaica distribuída é competitiva, dependendo de fatores como o nível de radiação solar e tarifa de energia elétrica (EPE, 2012).

Diferentes formas de incentivo à geração fotovoltaica têm sido adotadas ao redor do mundo. O mais utilizado é o *feed-in tariffs*, utilizado em 20 países da comunidade européia, bem como Japão e EUA. Outros mecanismos estabelecem que as concessionárias tenham um valor mínimo de geração por fontes renováveis de energia. Existem ainda mecanismos regulatórios que atuam reduzindo o preço dos sistemas fotovoltaicos para o consumidor final, por meio de redução de impostos ou incentivo financeiro. O mecanismo de *net metering* garante que a energia fornecida à rede tenha o mesmo valor que a energia vendida aos consumidores.

O principal país incentivador da energia fotovoltaica é a Alemanha, onde, incentivos a utilização de energia solar têm feito crescer exponencialmente a potência total instalada, ultrapassando um terço da potência total instalada no mundo. O programa alemão de incentivo a energia fotovoltaica é conhecido como o mais bem sucedido do mundo. Estima-se que em poucos anos a energia fotovoltaica será a maior fonte elétrica no país. As aplicações na Alemanha são diversificadas, sendo aproximadamente 40% residencial, 50% comercial e 10% em centrais geradoras (Dinger, 2011, Grau et al, 2012).

Os programas de incentivos na Alemanha impulsionaram toda essa revolução no setor elétrico. Os incentivos à energia fotovoltaica ocorreram em três fases: o programa 1000 tetos solares (descontos) de 1990 a 1995, o programa de 100.000 tetos solares (empréstimos bonificados) em 1999, e a Lei das Energias de Fontes Renováveis (tarifas prêmio) implementada em 01 de abril de 2000 (Avril et al, 2012).

O primeiro programa ofereceu descontos de até 70% em sistemas de 1-5 kW_p. O segundo programa teve como objetivo inicial a instalação de 300 MW_p até o ano de 2004, oferecendo empréstimos com baixa taxa de juros, que correspondeu a subsídio de aproximadamente 20% no custo dos sistemas fotovoltaicos (Grau et al, 2012).

A terceira fase se iniciou no ano 2000 com o *Renewable Energy Source Act*, adotando o modelo *feed-in-tariff* e pagando 0,51 €/kWh. A partir de 2004 a tarifa passou a ser reduzida em 5% ao ano e desde 2010 a redução na tarifa é de 10% ao ano. A meta inicial de chegar em 2010, com uma participação fotovoltaica na geração de eletricidade correspondente a 12,5%, foi ultrapassada no ano de 2007, quando a geração fotovoltaica já correspondia a 14,0% da demanda nacional. Para incentivar a instalação de sistemas residenciais, o governo Alemão criou a *Renewable Energy Net Pricing Law*, que obriga a concessionária a comprar toda a energia excedente e rateia o custo do programa com todos os consumidores (Dinçer, 2011; Avril et al, 2012). Dessa forma, o consumidor que instala um sistema de geração fotovoltaica passa a vender energia para a concessionária por um preço superior ao valor da energia no país.

Na Espanha, o apoio ao mercado fotovoltaico se iniciou em 1999 com o Plano de Energias Renováveis 1999-2010, que fixou uma meta de 20 MW_p para instalações isoladas e 135 MW_p de instalações conectadas à rede em 2010. A grande expansão do mercado espanhol ocorreu após a implantação do sistema *feed-in tariff*, fruto do Decreto Real 436/2004, que pagava até 0,44 €/kWh. Em 2005, como forma de incentivo as energias renováveis, foi aprovado o Plano de Energias Renováveis com o objetivo de alcançar até o ano de 2010 12% da matriz energética e 30% da geração de energia elétrica supridos por fontes renováveis. Os sistemas fotovoltaicos foram uma opção natural na Espanha devido à sua localização privilegiada no continente europeu que lhe garante os maiores níveis de radiação solar entre os países da União Européia. Foi traçado como meta atingir 370 MW_p de capacidade fotovoltaica até o ano de 2010. Esse objetivo foi alcançado em setembro de 2007. Para incentivar o uso residencial, o programa espanhol previa dois tipos de suporte: (i) subsídios diretos de capital na aquisição dos sistemas fotovoltaicos e, (ii) a compra da energia gerada pelos consumidores residenciais, no modelo conhecido com *feed-in-tariff* (Ciarreta et al, 2011; Dinçer, 2011; Avril et al, 2012).

Após a crise de 2008, que afetou fortemente o mercado fotovoltaico na Espanha, foi estabelecido o Decreto Real 1578/2008, que diferenciou sistemas integrados à edificações e sistemas instalados no chão, e estabeleceu um plano de crescimento de 500 MW por ano. O mesmo decreto estabeleceu as tarifas para instalações que utilizam energia solar fotovoltaica como fonte principal de energia. No ano de 2009 foram pagos 0,34 €/kWh para sistemas integrados e 0,32 €/kWh para sistemas montados no chão. Os valores das tarifas são auto regulatórios, dependendo da demanda apresentada pelo mercado, e têm apresentado queda ao longo dos anos. No ano de 2012 os valores das tarifas atingiram a faixa de 0,26 – 0,12 €/kWh. Subsídios nos investimentos também foram praticados, mas foram insignificantes se comparados as *feed-in tariffs* (Sarasa-Maestro, 2013; Avril et al, 2012, Ciarreta et al, 2011).

Nos EUA, o programa de maior destaque é o *California Solar Initiative*, promovido pelo estado da Califórnia a partir de 2006, com o objetivo de chegar ao ano de 2017 com 3 GW de potência instalada em residências. O programa oferece dois tipos de incentivo à instalação do sistema fotovoltaico. O primeiro é baseado na performance esperada para o sistema e para o proprietário por watt instalado, sendo exclusivo para instalações menores que 30kW. O segundo paga pela energia gerada e é voltado para sistemas maiores que 30 kW (Avril et al, 2012; Smith, 2006; Taylor, 2008).

Para mitigar o problema da falta de acesso à energia elétrica em regiões isoladas do Brasil, onde o custo para levar o sistema de distribuição convencional até o consumidor é muito elevado, algumas iniciativas governamentais envolvendo sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural foram criadas juntamente com concessionárias de energia elétrica e outras instituições. As aplicações urbanas conectadas à rede ainda são poucas, principalmente devido ao preço elevado dos sistemas fotovoltaicos e a pouco conhecimento da população em geral sobre esta fonte de energia.

Entre os programas desenvolvidos pelo governo pode-se citar o Programa Luz Solar, desenvolvido em Minas Gerais; o Programa Luz do Sol, na Região Nordeste; o Programa Luz no Campo, de alcance nacional e o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, PRODEEM (Diniz et al, 2011; Varella et al, 2008).

O PRODEEM foi a primeira ação governamental que inseriu o uso da energia solar fotovoltaica em âmbito nacional. Foi estabelecido em 2004 e considerado um dos maiores programas de eletrificação rural utilizando sistemas fotovoltaicos nos países em desenvolvimento, realizando a instalação de 9.000 sistemas fotovoltaicos entre 1996 e 2001 e atuando nos 26 estados brasileiros. O Programa foi coordenado pelo Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE) do Ministério de Minas e Energia (MME) e pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) (Varella et al, 2008).

Por meio das leis 10.438/2002, e 10.762/2003, foi estabelecido pelo MME o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), considerado o maior programa brasileiro de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica. O programa incentivou a utilização de energia solar fotovoltaica em regiões isoladas, onde essa tecnologia é bastante competitiva por evitar gastos com novas linhas de transmissão de energia (Varella et al, 2008).

Os recursos previstos pela lei 10.438/02 beneficiaram o Programa Luz para Todos, iniciado em 2004 pelo governo federal, com o objetivo de acabar com a exclusão da energia elétrica no Brasil, dando abertura para o uso da energia solar fotovoltaica principalmente na região Amazônica e no semi-árido nordestino (Diniz et al., 2011, Varella et al., 2008).

Em 2012 foi aprovada a Resolução ANEEL 482 que abriu o mercado brasileiro para os sistemas distribuídos de geração fotovoltaica por meio de instalações nas próprias unidades consumidoras. Esta Resolução criou incentivos para a geração distribuída conectada à rede, e introduziu um sistema de *net metering* (ANEEL, 2012; Jannuzzi & Melo, 2013). Porém isso ainda é pouco, tendo em vista que em todos os países que têm apresentado crescimento do mercado fotovoltaico há alguma forma de incentivo, seja na forma de descontos ou tarifas diferenciadas ou qualquer outro tipo. Ainda assim, é um passo importante para que o enorme potencial brasileiro de geração de energia elétrica por fonte solar possa ser explorado.

A principal barreira que tem sido encontrada para o uso de energia fotovoltaica é o preço dos geradores e componentes (Cronemberger et al, 2012; Silveira et al, 2013). Entretanto, o preço dos sistemas fotovoltaicos tem reduzido consideravelmente ao longo dos anos. O histórico de preço de sistemas fotovoltaico residenciais instalados e o histórico de preço dos módulos entre 1998 e 2011 podem ser vistos na Fig 1.

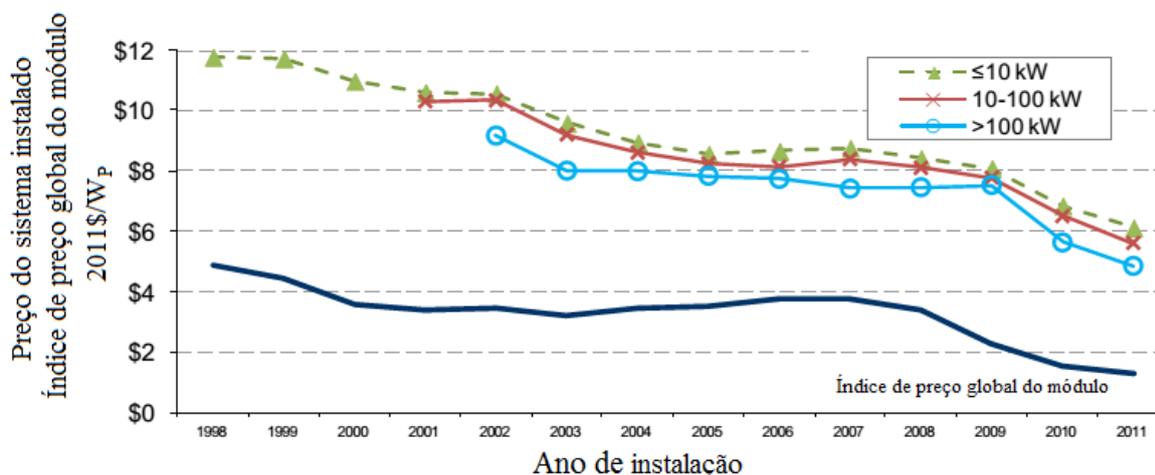


Figura 1 – Histórico de preços de sistemas residenciais instalados.

O gráfico mostra a curva de evolução do preço dos módulos fotovoltaicos (índice de preço global do módulo) e o custo por kW_p de sistemas de diferentes tamanhos: até 10 kW, entre 10 e 100 kW e maior que 100 kW) (U.S. DoE, 2012).

Silveira et al (2013) realizou um estudo econômico de um sistema fotovoltaico de 15 kW, mostrando a necessidade de subsídios. Duas situações foram avaliadas. Na primeira, foi considerado que o sistema atende a uma comunidade com acesso a rede de transmissão convencional. No segundo caso, o sistema fotovoltaico está isolado da rede e são necessárias baterias para armazenar energia para uso noturno. As análises foram feitas considerando o custo do sistema em 4,00 \$/W_p e 2,00 \$/W_p. Os resultados mostraram que a viabilidade econômica do sistema proposto com um subsídio de 40% é alcançada com o tempo de retorno variando entre 7 e 10 anos, com uma taxa de juros anual de 4 e 8%, considerando ambos os casos, com o sistema conectado à rede e utilizando baterias.

Jannuzzi e Melo (2013) comparam três mecanismos de incentivo à energia solar fotovoltaica no Brasil: *net metering*, descontos e *feed-in tariffs*. As simulações foram realizadas para as regiões sudeste, centro-oeste e nordeste. De acordo com os resultados obtidos, *net metering* parece ser uma opção adequada para o Brasil, principalmente em regiões com altos níveis de radiação. O estudo realizado leva em consideração os níveis de radiação e o preço da energia em diferentes locais do país. Regiões com alto nível de radiação solar e tarifas de energia mais elevadas não necessitariam deste tipo de incentivo. Uma instalação fotovoltaica na região nordeste pode necessitar de incentivo da ordem de R\$ 1.322,00 se a tarifa local de energia for de R\$ 0,4875/kWh, ou até mesmo dispensar esse incentivo se a tarifa estiver acima de R\$ 0,6045 /kWh, considerando um investimento de R\$ 7.800,00 /kW_p (Jannuzzi & Melo, 2013). O cálculo é feito levando-se em consideração o capital inicial; custo de operação e manutenção; o valor da conta de energia com a geração fotovoltaica e o valor da conta de energia sem a geração fotovoltaica.

Os autores ressaltam que com os atuais custos dos sistemas fotovoltaicos no Brasil, incentivos adicionais são necessários para a difusão da tecnologia. O programa de descontos foi considerado mais apropriado que as *feed-in tariffs* por ter menor custo para a sociedade. Seja qual for o incentivo ou combinação de incentivos adotados, deve-se ser limitar o tamanho do programa e a duração dos incentivos, para que os mecanismos atuem durante o período de transição até que se alcance a paridade com a rede.

As projeções realizadas apontam o financiamento dos equipamentos como o modelo mais barato para o Brasil. O custo estimado para o governo federal seria de R\$ 74,82 milhões para a instalação de 572 MWp, levando em consideração as diferenças de radiação e tarifas entre as regiões e a instalação de 318 MWp no nordeste e 253 MWp no sudeste do Brasil. No caso de Fortaleza, onde a tarifa é de R\$ 0,51675, a implantação dos sistemas propostos necessitariam de incentivos que totalizariam R\$ 75,6 milhões. Se comparado à construção da usina termelétrica de Pecém, o custo de instalação por MWh financiado pelo governo é aproximadamente 2,3 vezes menor.

Ainda segundo Jannuzzi & Melo (2013), a adoção do modelo de *feed-in tariffs* seria mais cara que o programa de descontos. O cálculo feito considerando-se o capital investido, custos de operação e manutenção e custo da conta de energia sem a utilização de geração fotovoltaica, revela que, para o período de 2010-2030, a instalação de 572 MWp custaria R\$ 497,91 milhões ao governo, 6,6 vezes mais caro que o programa de descontos. Segundo Lachinni & Santos (2013) uma tarifa *feed-in* de R\$ 0,632 /kWh em um sistema de 3 kWp seria o suficiente para um retorno no investimento que seja atrativo.

Mitscher e Rütther (2012) analisaram a competitividade econômica de sistemas conectados à rede instalados em cobertura de residências em cinco capitais brasileiras. Foram analisados dois parâmetros essenciais para a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos: nível de radiação e tarifa de energia local. Foram calculados o custo nivelado da energia e valor presente líquido para um sistema fotovoltaico de 2 kWp. Os resultados mostraram que condições de mercado que consigam reduzir os custos e financiamentos de longo prazo são requerimentos essenciais para que os sistemas fotovoltaicos se tornem uma alternativa de geração justificável. Os autores ainda destacam que com os atuais custos de financiamento, sistemas fotovoltaicos em residências têm um desempenho financeiro que é muito inferior à energia convencional fornecida pela concessionária.

As pesquisas sobre potencial fotovoltaico brasileiro e o histórico de outros países mostram que ainda é necessário que haja programas que incentivem a utilização desta fonte de energia, pelo menos até que o mercado se estabilize. A ANEEL 482 foi um passo importante para o Brasil, mas não suficiente. A resolução abre as portas para que sistemas conectados a rede possam ser utilizados por consumidores residenciais, mas não cria nenhum mecanismo de promoção de qualquer das fontes renováveis. Programas específicos para a geração fotovoltaica ainda precisam ser elaborados, atuando desde a divulgação desta fonte de energia para a população até a criação de mercado para os módulos fotovoltaicos.

Lacchini e Santos (2013) compararam o uso de sistemas fotovoltaicos com usinas térmicas a carvão, e levaram em consideração os efeitos indiretos do uso das térmicas. Segundo os autores, os danos associados a 406 usinas térmicas nos EUA, no ano de 2005, foram estimados em \$62 bilhões, que se dividido pela energia gerada por essas usinas representa um acréscimo de 39,3% no custo do kWh. Esse custo é sentido pelo consumidor principalmente pelo aumento do número de casos de problemas respiratórios e doenças da pele. Os módulos fotovoltaicos não emitem qualquer tipo de poluente para geração de energia, sendo a poluição a eles associada presente apenas na fabricação e descarte, em níveis muito menores que a poluição proveniente de usinas térmicas. Esse custo evitado com os efeitos negativos de outras fontes ainda não é utilizado em análises de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico individual, mas pensando em um programa de abrangência nacional é um fator muito importante que deveria ser analisado no estudo da expansão da matriz elétrica.

Do ponto de vista da concessionária, a geração distribuída utilizando sistemas fotovoltaicos contribui para aliviar a carga no sistema de distribuição de energia. A geração de energia próxima aos consumidores diminui as perdas de energia associadas à transmissão, tornando o sistema como um todo mais eficiente. Isso contribui também para o prolongamento da vida útil dos componentes da rede e adia a ampliação da capacidade dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição. Dados de radiação solar no Brasil indicam o valor máximo de 6,5 kWh/m²/dia no semi-árido e o valor mínimo de 4,25 kWh/m²/dia na região sul. Em centros urbanos de regiões ensolaradas, a curva de carga, dominada por equipamentos condicionadores de ar, está em sincronia com a curva de disponibilidade de radiação solar. Devido a essa sincronia, pode-se afirmar que, dependendo dos níveis de radiação solar disponíveis, a geração fotovoltaica distribuída pode reduzir a demanda de energia da rede em quase 100% da potência nominal instalada (Rütther et al, 2008).

Tendo em vista todo o potencial brasileiro para utilização da energia fotovoltaica e o crescente uso de usinas termelétricas a partir do ano de 2012, foram analisados os benefícios da utilização de sistemas fotovoltaicos integrados a residências de Fortaleza e feita uma comparação com os efeitos da instalação de uma usina termelétrica, que está sendo construída próxima a Fortaleza, Ceará. O estado do Ceará possui uma das melhores condições de radiação solar no Brasil, o que pode ser um contrassenso trocar a geração fotovoltaica por termelétricas.

2. METODOLOGIA

Foram levantados os dados sobre os custos de implantação de uma usina termelétrica próxima a Fortaleza, Ceará e do valor obtido em leilão para a energia gerada, tendo como fonte página da empresa na internet. Os custos da usina foram comparados com a utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, instalados por consumidores residenciais na cidade de Fortaleza, Ceará. Considerando que nenhuma unidade geradora recebeu incentivos financeiros

para a instalação dos sistemas fotovoltaicos, adotou-se como perfil para a análise os domicílios com renda superior a 5 salários mínimos.

Foi feita uma análise financeira do ponto de vista do consumidor sobre o custo de instalação do sistema fotovoltaico, obtendo-se o valor presente líquido e a taxa interna de retorno sobre o investimento. Foi calculado também o preço nivelado da energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos para comparação com o valor obtido em leilão pela energia gerada pela termelétrica. O custo nivelado da energia é uma medida utilizada para comparação entre diferentes fontes. É o preço pelo qual a energia deve ser gerada por uma determinada fonte para que pague pelo investimento durante o tempo de vida do projeto. Devem ser levados em consideração o investimento inicial, operação e manutenção, custo do combustível e demais custos durante o seu ciclo de vida. Para o cálculo do custo nivelado da energia foram estimados: o total de energia gerada durante a vida útil, custos de manutenção e o custo total do sistema fotovoltaico. O valor do custo nivelado de energia é obtido dividindo-se o somatório das despesas pelo total de energia gerada.

Externalidades da geração de energia por termelétricas que utilizam carvão também foram consideradas. Seus efeitos afetam a saúde humana e são causados principalmente por materiais particulados (com dimensão de menos de 10 microns), principalmente o SO₂ e NO_x.

A construção da Usina Termelétrica Porto do Pecém I, foi executada por meio da parceria entre a Energias de Portugal (EDP) e a MPX Geração de Energia (atualmente com nome ENDEVA). O empreendimento está localizado próximo ao porto do Pecém, a 60 km de Fortaleza. A obra contou com investimento total na ordem de R\$ 3 bilhões, dos quais US\$ 566 milhões são financiados pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e R\$ 1,4 bilhão pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). A usina tem duas unidades que somadas possuem potência instalada de 720 MW e capacidade de geração de energia elétrica de 6.307 GWh/ano. O preço obtido em leilão, por um contrato de 15 anos, foi de R\$ 128,37/MWh (EPE, 2007). O carvão para operação da usina será importado da Colômbia, onde a CCX, empresa do mesmo grupo da MPX, possui uma mina (ENEVA, 2013; Energia Pecem, 2013).

O município de Fortaleza é a capital do estado do Ceará, situado no nordeste brasileiro. A cidade está localizada na latitude 3,77° sul e longitude 38,6° oeste. A radiação média anual no município é de 5,56 kWh/m²/dia (CRESESB, 2013). A população de Fortaleza é de 2,5 milhões de pessoas, o que a torna a quinta cidade mais populosa do Brasil. A população na região metropolitana de Fortaleza chega a 3,6 milhões de pessoas (IBGE, 2010).

Segundo dados do IBGE (2010), em Fortaleza existem 95.925 domicílios com renda de 5 a 10 salários mínimos, 49.562 domicílios com renda de 10 a 20 salários mínimos e 34.030 domicílios com renda superior a 20 salários mínimos. Os domicílios com renda superior a 5 salários mínimos são, portanto, 179.517.

A avaliação da inserção da geração distribuída foi feita considerando que em cada um destes domicílios seja instalado um sistema fotovoltaico conectado à rede com potência média de 2,4 kWp. O total instalado no município seria então 430,8 MWp. A energia gerada anualmente pode ser estimada segundo a Eq. (1):

$$E = 365 P_{FV} R_{ma} \eta \quad (1)$$

em que:

P_{FV} é a potência nominal dos geradores fotovoltaicos;

R_{ma} é a radiação média diária ao longo do ano e;

η é a eficiência do sistema.

3. RESULTADOS

Considerando a eficiência de 80% nos sistemas instalados e a média de radiação igual 5,56 kWh/m²/dia tem-se a geração total no município de 699,478 GWh/ano, o que equivale a 11,08% do potencial de geração da termelétrica de Pecém.

Foi realizado o levantamento de preço do sistema de 2,4 kWp, chegando-se ao valor de R\$ 17.099,00. Foi realizada uma análise econômica do ponto de vista do consumidor que possui um sistema fotovoltaico de 2,4 kWp instalado em sua residência. Para essa análise foi considerado que toda a energia gerada é consumida e que o sistema opera de acordo com a resolução ANEEL 482, ou seja, o preço do kWh de origem fotovoltaica é igual ao praticado pela concessionária local, e a energia gerada é abatida da conta de energia elétrica. Na cidade de Fortaleza a tarifa de energia elétrica residencial é de R\$ 0,51675 /kWh. Os parâmetros para análise econômica são mostrados na Tab. 1.

Tabela 1 – Dados para análise econômica.

Custo do sistema de 2,4 kWp	R\$ 17.099,00
Juros/Custo de oportunidade	6 % ao ano
Valor da energia elétrica	R\$ 0,52 /kWh
Aumento da energia acima da inflação	2% ao ano
Horizonte de planejamento	25 anos
Manutenção	0,05% ao ano
Inflação	0,00% ao ano

Os resultados da análise de valor presente líquido e taxa interna de retorno são mostrados na Tab. 2.

Tabela 2 – VPL e TIR.

VPL	R\$ 12.759,79
TIR	12,60 %

A Tab. 2 mostra que a utilização de geração fotovoltaica é viável na cidade de Fortaleza, mesmo não havendo incentivos governamentais como *feed-in tariffs* e subsídios para a aquisição do sistema, porém, considerando que toda a energia gerada é consumida, resultando em abatimento do valor pago pelo consumidor à concessionária, de acordo com a Regulamentação ANEEL 482.

O custo nivelado da energia calculado para o sistema fotovoltaico proposto é igual a R\$ 0,1755 /kWh. O valor contratado da termelétrica de Pecém foi R\$ 0,12837/ kWh, aproximadamente 26% mais barato que a geração fotovoltaica, porém ainda devem ser adicionadas tarifas de transmissão e distribuição à energia gerada pela termelétrica. Deve-se lembrar de que o valor de leilão está longe do preço do kWh vendido ao consumidor.

Outro fator importante a ser considerado é o custo devido a problemas de saúde causados à população, relacionados com usinas termelétricas. Segundo o *National Research Council*, nos Estados Unidos, o custo das doenças associadas às usinas de carvão chega a 39% do custo médio do kWh para o consumidor final (Lacchinni & Santos, 2013). Portanto, considerando o custo com o tratamento de problemas de saúde provocado pelas usinas térmicas, o retorno financeiro obtido com a instalação dos sistemas fotovoltaicos é ainda maior. No caso da cidade de Fortaleza, com a proximidade de usinas termelétricas, o valor corrigido da tarifa de energia elétrica pode chegar a R\$ 0,7183 /kWh, devido aos problemas de saúde gerados. Neste caso, um consumo médio de 2.400 kWh/ano representaria um gasto anual extra de R\$ 483,72 por causa dos problemas de saúde associados. Em um período de 25 anos o custo chega, em valores atuais, a R\$ 12.093,00 ou 70,7% do preço de um sistema fotovoltaico de 2,4 kW.

Lacchinni & Santos (2013) compararam o custo de geração com usinas a carvão e energia fotovoltaica no Brasil e concluíram que apesar de ainda ter um preço elevado, a geração fotovoltaica é 11% mais barata que a geração por térmicas a carvão se considerados os efeitos negativos das termelétricas. Além disso, a geração distribuída é menos dependente das linhas de transmissão e distribuição e levam ao desenvolvimento de uma indústria de alta tecnologia e promove a geração de empregos locais.

Um importante benefício para o sistema elétrico local é a redução dos picos de consumo diurnos. Nos momentos de radiação solar mais intensa, a geração fotovoltaica chega próxima à potência nominal instalada (Rüther et al. 2008), ou seja, a adoção destes sistemas em Fortaleza reduziria os picos de demanda diurnos em aproximadamente 430,8 MW. Essa redução evitaria sobrecargas na rede e reduziria demandas de expansão do sistema de distribuição de energia elétrica na cidade (Santos & Rüther, 2012).

No ano de 2011 o consumo residencial atingiu 3.032 GWh no estado do Ceará e a produção de energia foi de 2.578 GWh (BEN, 2012). Portanto, a instalação dos sistemas fotovoltaicos estudada neste trabalho aumentaria a geração de energia no Ceará em aproximadamente 27% e tornaria o estado auto-suficiente em energia, considerando os dados de 2011.

4. CONCLUSÕES

É evidente o potencial fotovoltaico ainda não explorado no Brasil. Enquanto países desenvolvidos criam metas de limpeza da sua matriz energética, o Brasil age em sentido contrário, aumentando significativamente o número de usinas termelétricas para suprir suas crescentes necessidades energéticas.

Diversos autores relatam a necessidade de programas de incentivos para que a energia solar fotovoltaica seja viável no Brasil, porém há lugares em que a combinação de altos índices de radiação e elevado custo da tarifa de energia elétrica convencional já tornam os sistemas conectados à rede economicamente viáveis. O uso da geração

distribuída traz benefícios ao sistema de distribuição, como: redução de impactos ambientais e sociais, aumento da confiabilidade, redução dos custos de transmissão e distribuição, redução da curva de carga no período diurno e redução de custos com expansão da rede.

Externalidades inerentes à geração de energia por usinas movidas a carvão raramente são levadas em conta quando se estuda a viabilidade destes sistemas. Os custos gerados devido a problemas com tratamentos de saúde causados pela poluição devem ser acrescentados à análise econômica das termelétricas, já que podem chegar a 39% do preço do kWh vendido ao consumidor final, afetando decisivamente a escolha de investir em geração fotovoltaica.

Agradecimentos

Os autores são especialmente gratos ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>
- Avril, S., Mansilla, C., Busson, M., Lemaire, T. Photovoltaic energy policy: Financial estimation and performance comparison of the public support in five representative countries. *Energy Policy*, v. 51, p. 244–258, 2012.
- BEN – Balanço Energético Nacional. 2012.
- Ciarreta, A., Gutiérrez-Hita, C., Nasirov, S. Renewable energy sources in the Spanish electricity market: Instruments and effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.15, p. 2510–2519, 2011.
- CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>
- Cronemberger, J., Caamaño-Martín, E., Sánchez, S.V. Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes – Making the case for Brazil. *Energy and Buildings*, p.264-272, 012.
- Dinçer, F. The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.15, n.1, p. 713-720, 2011.
- Diniz, A.S.A.C.; Machado Neto, L.V.B.; Camara, C. F.; Morais, P.M.R.; Cabral, C.V.T.; Oliveira Filho, D.; Ravinetti, R.F.; Franca, E.D.; Cassini, D.A.; Souza, M.E.; Santos, J.H.; Amorim, M. Review of the photovoltaic energy program in the state of Minas Gerais, Brazil. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 2696-2706, 2011.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. 2012.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Informe à imprensa – Leilão de energia nova A-5. 2007.
- Grau, T., Huo, M., Neuhoff, K. Survey of photovoltaic industry and policy in Germany and China. *Energy Policy*, v. 51, p. 20–37, 2012.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Dados disponíveis em <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>
- Jannuzzi, G.M., Melo, C.A. Grid-connected photovoltaic in Brazil: Policies and potential impacts for 2030. *Energy for Sustainable Development*, p. 40-46, 2013.
- Lacchini, C., Santos, J.C.V. Photovoltaic energy generation in Brazil – Cost analysis using coal-fired power plants as comparison. *Renewable Energy*, p. 183-189, 2013.
- Mitscher, M., Rütther, R. Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. *Energy Policy*, p. 688-694, 2012.
- Energia Pecém. http://www.energiapecem.com.br/ver_secao.php?session_id=129. Acessado em 25/11/2013.
- ENEVA – http://www.energiapecem.com.br/ver_secao.php?session_id=129. Acessado em 25/11/2013.
- Rütther R., Knob, P.J., Jardim, C.S., Rebechi, S.H. Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban áreas in Brazil. *Energy Conversion and Management*, p. 1074-1079, 2008.
- Santos, I.P., Rütther, R. The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil. *Energy and Buildings*, p. 290-297, 2012.
- Sarasa-Maestro, C.J., Dufo-López, R., Bernal-Agustín, J.L. Photovoltaic remuneration policies in the European Union. *Energy policy*, v.55, p.317–328, 2013.
- Silveira, J.L., Tuna, C.E. Lamas, W.Q. The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 133-141, 2013.
- Smith, D.C. California Solar Initiative. *Refocus*, v.7, p.54-57, 2006.
- Taylor, M. Beyond technology-push and demand-pull: Lessons from California's solar policy. *Energy Economics*, v. 30, p. 2829–2854, 2008.
- U.S. DoE. U.S. Department of Energy. Photovoltaic price trendings: historical, recent and near-term projections. 2012.

Varella, F.K.O.M., Cavaliero, C.K.N., Silva, E.P. (2008). Energia solar fotovoltaica no Brasil: Incentivos regulatórios. Revista Brasileira de Energia, v.14, n.1, p.9-22, 2008.

CENTRALIZED OR DISTRIBUTED GENERATION: A CASE STUDY OF PHOTOVOLTAIC MICROGENERATION VERSUS COAL-FIRED POWER PLANT IN NORTHEASTERN BRAZIL

Abstract. *Increasing restrictions on the construction of new power plants lead the country to seek new sources to meet their energy needs. While developed countries promote the development of renewable energy sources, new natural gas and coal-fired power plants has been built in Brazil. These power plants operates with a high costs and affects the Brazilian electricity generation matrix, which is known as one of the cleanest in the world. Besides the high cost of operation, the usage fossil fuel contributes to the increase the population cases of health problems, mainly respiratory. In this work a comparative study between photovoltaic distributed generation and coal-fired power plants was conducted. Installation costs of photovoltaic systems were estimated to perform the economic analysis and the results were compared with the costs of a thermal plant. The PV system proves advantageous especially if health care costs associated with coal-fired power plants are taken into account.*

Key words: *Photovoltaic, thermoelectric, Energy Planning*