

ANÁLISE ECONÔMICA DA VARIAÇÃO DE CUSTOS DA FONTE SOLAR PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL (2000-2012).

Fabricio Quadros Borges

Professor do Mestrado em Administração da Universidade da Amazônia, Estado do Pará, Brasil

Jonathas Ribeiro Chotoe

Bolsista de iniciação científica do CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

doctorborges@bol.com.br

Resumo: Este estudo objetiva analisar o perfil da variação negativa dos custos da fonte solar para a geração de eletricidade no Brasil de maneira a questionar: a variação negativa dos custos da fonte solar no Brasil, entre 2000 e 2012, seria capaz de contribuir em que medida para a ampliação das possibilidades de inserção desta fonte na matriz elétrica nacional? A metodologia baseou-se em um levantamento bibliográfico e documental e aplicou uma análise descritiva através da série temporal, do desvio padrão e da dispersão percentual, por meio da aplicação do *Software SPSS 19*. O estudo verificou que as reduções dos custos de geração da fonte solar indicam variações que podem contribuir para o uso desta fonte. Porém, devem ser realizados investimentos na cadeia produtiva solar para seu uso efetivo.

Palavras-Chaves: Energia elétrica. Variação de custos. Fonte solar.

Abstract: This study aims to analyze the profile of the negative variation of the cost of solar power for electricity generation in Brazil in order to question: the negative costs of solar power in Brazil between 2000 and 2012, would be able to contribute to measure to expand the possibilities of inclusion of this source in the national energy matrix? The methodology was based on a literature and documentary and applied a descriptive analysis of the time series, the standard deviation and dispersion percentage, through the application of SPSS 19 software. The study found that reductions in the cost of solar power generation indicate variations that can contribute to the use of this source. However, investments must be made in the solar supply chain to its effective use.

Key Words: Electricity. Variation in costs. Solar fountain.

1. INTRODUÇÃO

A geração fotovoltaica tornou-se uma opção de geração complementar em vários países da Europa por apresentar-se como uma alternativa auxiliar a geração centralizada de eletricidade, que é a geração. Esses países, onde se destacam a Espanha e a Itália, desenvolveram tecnologias e mercados ao longo de décadas voltados para a indústria solar (WALISIEWICZ, 2008; EPIA, 2012).

O Brasil é o principal fornecedor de insumos para essas indústrias, onde o silício é empregado amplamente em dispositivos de alta concentração de tecnologia

eletrônica. A crise financeira que atingiu a Europa forçou a migração dessas indústrias para novos mercados, como a Ásia e a América Latina, onde suas atividades impulsionaram positivamente a fabricação de componentes de geração solar e consequentemente seu consumo nacional (REN, 2012). A partir de 2002, o governo brasileiro passou a investir em Pesquisa e Desenvolvimento da fonte solar por meio de universidades, com destacável presença, entre outras, da PUC-SP, que desenvolve tecnologias em conjunto com universidades internacionais na área fotovoltaica e a qualificação de profissionais do setor de energia solar, e da UFRJ, através do Coppe - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, que se consolidou como um centro de excelência e o maior grupo brasileiro de pesquisa e ensino de pós-graduação no seu campo.

O desenvolvimento de novas formas geradoras de energia limpa e o compromisso dos países em assegurar a oferta de eletricidade para suas populações propiciaram uma nova realidade para as fontes alternativas aos sistemas de geração centralizados. Ações como a geração distribuída de eletricidade em locais isolados e incentivos fiscais para geração independente foram consequências de novos parâmetros para a reestruturação das matrizes energéticas que atendam as novas necessidades das sociedades, da competitividade econômica que estabelecem restrições e objetivos para a gestão da oferta e demanda de energia (CABRAL e VIEIRA, 2012). Nesse novo ambiente, o sistema energético passa a ser reconfigurado de modo a garantir sustentabilidade e segurança de fornecimento. Segundo Costa e Teodósio (2011), o processo que permite chegar a esse resultado envolve a substituição gradual de recursos que apresentem riscos econômicos e ambientais. Essa realidade passou a favorecer a fonte solar que em um curto espaço de tempo teve uma acentuada redução nos custos de seus componentes em todo o mundo, graças ao seu perfil social e ambiental de gerar eletricidade, o que facilitou sua disseminação, refletindo em novos investimentos indústrias que geraram concorrência e competitividade, reduzindo assim o seu alto custo de implantação (ABINEE, 2012).

A fonte solar no Brasil acompanhou a redução dos custos das demais fontes alternativas à fonte hídrica, alicerce de geração de eletricidade no país, no entanto com poucas variações quando comparadas às demais fontes, devido à incidência de altos impostos sobre os equipamentos solares. Porém, essa gradual redução de custos, a entrada de indústrias e a utilização desta fonte em matrizes de países

emergentes como China e Índia, fez ressurgir a discussão sobre sua possibilidade de compor a matriz elétrica brasileira (MME, 2012).

Diante deste panorama, o objetivo deste estudo é analisar o perfil da variação negativa dos custos da fonte solar para a geração de eletricidade e pretende questionar: a variação negativa dos custos da fonte solar para a geração de eletricidade no Brasil, entre 2000 e 2012, seria capaz de contribuir em que medida para ampliar as possibilidades de inserção desta fonte na matriz elétrica nacional? Parte-se da hipótese de que a identificação da variação decrescente de custos fornece informações relevantes ao processo de desenvolvimento estratégico de políticas favoráveis a investimentos na fonte solar, o que favoreceria possibilidades de inserção da fonte na matriz elétrica brasileira.

Esta investigação justifica-se pela necessidade do país em aperfeiçoar suas condições de preparação para o enfrentamento da insegurança na oferta de eletricidade e para o desafio da questão ambiental. Neste sentido, o levantamento de subsídios que possa auxiliar análises a respeito de investimentos em geração solar de eletricidade representa oportunidade ao aperfeiçoamento destas condições de preparação. O estudo analítico da redução de custos de fontes geração pode contribuir ainda para formulações sobre o potencial de viabilidade de uma fonte, pois o comportamento de manter um índice de queda constante estabelece uma tendência que em longo prazo possibilite um ambiente que permita uma ampliação de investimentos em escala gradual até a maturação, exatamente como ocorreu com as fontes predominantes nas matrizes de vários países. Além desta introdução, este estudo está dividido em outras quatro partes: referencial teórico, procedimentos metodológicos, análise e apresentação de resultados, e as considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A organização institucional do setor elétrico brasileiro assumiu destaque em virtude do racionamento de eletricidade, imposto à sociedade brasileira pelo setor entre 2001 e 2002. Este panorama trouxe ao debate público a vulnerabilidade do então atual modelo do setor elétrico brasileiro. De acordo com Kirchner (2003) é inquestionável que o referido modelo não cumpriu o seu papel em todos os aspectos na medida em que ocasionou o aumento nas tarifas, ausência de energia, a não

atração de investimentos e o endividamento das empresas do setor. A garantia do funcionamento do Estado e da realização dos direitos estabelecidos pela Constituição Federal à sociedade brasileira pressupõe o fornecimento de energia elétrica já que estes serviços são incontestavelmente essenciais (KIRCHNER, 2003).

O governo federal precisava, nesta perspectiva, estruturar um modelo para o setor elétrico que garantisse o aumento da oferta a contento do crescimento econômico brasileiro. O novo modelo começou a ser desenhado em 2003 e teve como marco legal o ano de 2004. Assim, de acordo com a Lei 10.848/2004, o país possuía um novo modelo para o setor energético em operacionalização gradual. O modelo procura desenvolver políticas públicas direcionadas à promoção da cadeia de energia elétrica. O setor passaria a tratar dos critérios gerais de garantia de suprimento de energia elétrica que assegurem o equilíbrio adequado entre confiabilidade de fornecimento e modicidade de tarifas e preços da comercialização de eletricidade entre: concessionários, permissionários e autorizados de serviços e instalações de energia elétrica, incluindo as relações destes com seus consumidores no Sistema Interligado Nacional (SIN), assim como dos mecanismos de proteção aos consumidores (BRASIL, 2004).

O setor elétrico brasileiro, de acordo com o novo modelo, para a realização de seus propósitos, passa a fazer uso de funções estratégicas que procuram desenvolver suas ações, através de uma estrutura institucional integrada. Estas funções são: a formulação de políticas e diretrizes; o planejamento e a garantia do equilíbrio entre oferta e procura; a regulação e a delegação do poder concedente; a supervisão, o controle e a operação dos sistemas; a contabilização e a liquidação; e a execução e prestação dos serviços (BRASIL, 2004). O setor elétrico constitui-se em uma organização social formada de relações sistêmicas que envolvem o processo de transformação da energia primária até a utilização final por tipo de consumidor. Estas relações são estabelecidas entre os componentes do setor elétrico, tais como: geração, transmissão e distribuição (BORGES, 2007). O governo brasileiro, sob a influência de grandes grupos econômicos, nacionais e internacionais, e seus aliados políticos (que formam a base da “indústria das barragens”) construiu um sistema elétrico que prioriza fortemente a geração hidrelétrica, estimulando subsetores industriais e atendendo o suprimento a determinados setores em detrimento de outros (SILVA *et al*, 2012). Conforme os

autores, este desenvolvimento histórico fomentou um cenário complexo de interesses que não nos permite afirmar que possa existir uma capacidade previsível de planejamento além do alcance dos empreendimentos hídricos, menosprezando a eficiência energética e outras fontes alternativas.

Este contexto, além de tornar a população detentora dos amplos impactos sociais e ambientais provenientes da construção desses grandes projetos coloca o país em uma condição de submissão à lógica do capital na medida em que exclui suas comunidades de benefícios sociais comprometidos com a equidade, entendida aqui como o acesso à eletricidade em condições justas, em favor da ampliação do PIB nacional em curto prazo (BORGES, 2007). A possibilidade de contribuição para a modificação deste quadro reside na identificação do papel do setor elétrico na dinâmica do desenvolvimento sustentável brasileiro e na utilização de instrumentos estratégicos que forneçam condições de avaliação e orientação decisória. A matriz elétrica é um destes instrumentos.

A matriz elétrica compreende a disposição futura das diversas formas de geração de Energia elétrica disponibilizadas aos processos produtivos em determinado contexto espacial. Esta ferramenta permite observar que a quantidade de energia elétrica produzida deve ter sua importância associada aos tipos de fontes de geração deste insumo, assim como às formas de acesso da população. Logo, possibilita levantar subsídios de análise na tentativa de orientar ações públicas do setor elétrico através do uso de fontes de geração que sejam mais comprometidas com o desenvolvimento sustentável (REIS *et al*, 2005). As fontes de energia elétrica compreendem insumos essenciais para o desenvolvimento sustentável. Entretanto, tão importante como sua disponibilidade interna a custos competitivos é o uso que se faz dessa energia na produção dos serviços que ela proporciona. A seguir, apresenta-se uma breve discussão a respeito da geração de energia elétrica a partir da fonte solar e do panorama de custos para sua geração.

A fonte solar nas últimas décadas vem acumulando quedas em seus custos econômicos em todo mundo. O Brasil optou pela inserção dessa fonte em projetos de eletrificação rural por sua característica de baixa manutenção e maior prazo de depreciação de seus componentes, predicativos ideais para uma geração elétrica em lugares isolados. No entanto, sua aplicação ficou marginalizada e não teve uma expansão de usualidade para além desses lugares devido ao seu custo de implantação ser elevado. Mas com implantação de novos projetos solares com

maiores capacidades de geração a cada ano, as constantes reduções em seu custo nivelado e estabelecimento de leis voltadas para as fontes renováveis que a beneficiaram indiretamente, a fonte solar acumulou quedas em seu custo de geração elétrica, fazendo surgir questões voltadas para sua viabilidade econômica e consequentemente a possibilidade de sua inserção na matriz energética diante do novo cenário favorável as fontes alternativas de energia no Brasil.

A geração de energia elétrica baseada na fonte solar pode ocorrer de duas maneiras: indiretamente, gerada pelo uso do calor que alimenta uma central termelétrica denominada heliotérmica; e diretamente, gerada pela utilização de painéis fotovoltaicos. A geração fotovoltaica tem tido muito mais aplicação, sobretudo para a alimentação de pequenos sistemas isolados, de projetos piloto e de eletrificação de equipamentos solitários (REIS *et al*, 2005). Esta forma de geração de eletricidade consiste no uso da energia térmica e luminosa captada por painéis solares, constituídos por células fotovoltaicas. Este tipo de fonte energética é considerado limpo, renovável e inesgotável. Considera-se que o emprego da geração fotovoltaica pode ocorrer tanto em escala de distribuição centralizada, advinda de uma usina solar conectada a rede como ocorre na Alemanha, Espanha e Japão, ou a nível descentralizado, onde a geração elétrica tem por finalidade o atendimento particular de uma família ou comunidade, também classificada com geração distribuída (MME, 2012).

A utilização da fonte solar em escala global vem se destacando como uma opção de geração descentralizada complementar de energia elétrica. Países da Europa e Ásia vem incentivando cada vez mais sua utilização baseados em um futuro promissor para fonte em longo prazo e seu desempenho atingido nos últimos anos. Em 2009, a capacidade de geração era de 23 GW, que cresceu para 40 GW no ano seguinte e encerrou 2011 com 70 GW em todo mundo, documentos internacionais demonstram que em 2050 a população mundial terá 50% de sua demanda energética suprida por fontes renováveis, das quais 25% virão de fonte solar. Estima-se que até o final deste século, a energia advinda de fontes limpas chegue a 90% onde 70% corresponderão à fonte fotovoltaica (REN, 2012).

O estabelecimento quantitativo dos custos de geração da fonte solar no Brasil, antes do ano 2000, só era possível através de previsões baseadas em informações de cunho internacional, como custos dos módulos e baterias convertidos pela taxa de câmbio nacional. A definição desses custos em condições

reais dentro de um contexto nacional sofreu várias interferências sendo elas a ausência de dados físicos nacionais bem como suas variações cambiais que acompanham o mercado mundial da fonte, impactando em uma definição confiável de seu custo nivelado. No entanto, graças ao desenvolvimento de projetos governamentais para eletrificação, ao longo dos anos, foi possível constituir uma coleta de custos relacionados com a geração fotovoltaica em solo brasileiro. Esses projetos que são desenvolvidos e tantos outros que foram implantados e esquecidos, cerca de oito grandes projetos em abandono no país, contribuem por meio de informações que empregadas fornecem bases para formulações de estratégias dentro do cenário nacional para o estudo de inserção da fonte na matriz.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De acordo com a taxionomia de Furtado (2011) esta pesquisa se classifica quanto aos objetivos como exploratória, quanto aos procedimentos como bibliográfica e documental, e quanto à abordagem do problema de pesquisa como qualitativa e quantitativa. É exploratória no momento em que observa elementos indiquem condições ou não de recomendação da fonte solar para a matriz elétrica nacional. É bibliográfica na medida em que utiliza material já elaborado e publicado para o levantamento de seus dados. É documental quando avalia relatórios e informativos de descrição de custos. Classifica-se como qualitativa na ocasião em que demonstra condições para percepção e assimilação sobre a variação dos custos da fonte solar e quantitativa quando verifica numericamente a variação destes custos.

O período analisado neste estudo compreende os anos entre 2000 e 2012 e considerou o comportamento anual dos custos da fonte fotovoltaica de geração de eletricidade no Brasil. A escolha da fonte solar fotovoltaica e o período ocorreram devidos os momentos de novas perspectivas pelo qual esta fonte passa em escala global, onde a entrada de empresas que implantam projetos fotovoltaicos ou fabricam seus componentes, promovem a abertura do segmento empresarial na economia doméstica; além da significativa redução dos custos por MWh gerado da fonte que ocorreu em todo mundo e a abertura de parques industriais de multinacionais do setor de silício no Brasil (CGEE, 2010).

Esta metodologia considerou os custos nivelados, que são custos de geração elétrica em R\$/MWh (Reais por Mega Watt hora), de acordo com a metodologia sugerida pela *Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector*, na qual o custo é calculado a partir da razão entre o investimento inicial e a potência gerada, considerando parâmetros. A *Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector* considera parâmetros econômicos (taxa de desconto de 6% ao ano, vida útil das instalações cerca de 20 anos e 10 anos os inversores); parâmetros técnicos (prazo de construção do investimento cerca de 3 meses, perda de eficiência dos painéis de 0,65% ao ano e fator de capacidade de 15,1%); e despesas operacionais onde o custo de operação e manutenção é em torno de 1% do custo total do investimento.

Esta metodologia está dividida em três partes: coleta de dados, tratamento de dados e análise e apresentação de resultados.

A coleta de dados fundamentou-se em material bibliográfico elaborado e publicado pelas seguintes organizações: *Renewable Energy Policy Network*, Associação da Indústria de Cogeração de Energia, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. Os estudos da REN (2012), sobre a contextualização da fonte solar no mundo, do CGEE (2012), que demonstra a inserção da fonte na matriz elétrica e seus benefícios, e ainda os estudos desenvolvidos pela COGEN (2012) sobre a viabilidade da fonte com base em relatórios desenvolvidos pela EPE, contribuíram para a análise das condições de desenvolvimento da fonte no país. O custo nivelado da fonte solar foi coletado a partir dos estudos elaborados pelos seguintes autores: Costa e Pierobon (2008), Rego e Hernández (2007), Costa e Prates (2005), Galdino (2012), Midea *et al* (2009). Por meio deles foi possível identificar os custos médios anuais de geração elétrica fotovoltaica no país. Porém esses estudos não tiveram como preocupação a observação da gradual redução dos custos que a fonte vinha apresentando em períodos iguais com a proposta de fornecer informações relevantes sobre sua viabilidade e subsídios ao processo decisório de inserção da fonte na matriz elétrica.

O tratamento dos dados baseou-se na aplicação de um *software* de análise estatística denominado de *SPSS 19*. O qual foi empregado na decomposição de séries temporais, fornecendo períodos quantitativos em percentuais dos custos de geração da fonte fotovoltaica no Brasil. O universo amostral compreendeu 13

elementos representantes dos custos nivelados de cada ano junto ao período analisado. A decomposição da série temporal foi calculada a partir de equação:

$$b = \frac{\left(\sum_{i=1}^n D_i \times P_i \right) - n \times \bar{D} \times \bar{P}}{\left(\sum_{i=1}^n P_i^2 \right) - n \times (\bar{P})^2}$$

O Programa *SPSS 19* também apurou o desvio padrão e a medida de dispersão, na intenção de compreender a dinâmica de evolução do comportamento dos custos anuais em torno de sua tendência central. O desvio padrão médio foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$D_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

A medida de dispersão temporal foi obtida por meio da seguinte fórmula:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}$$

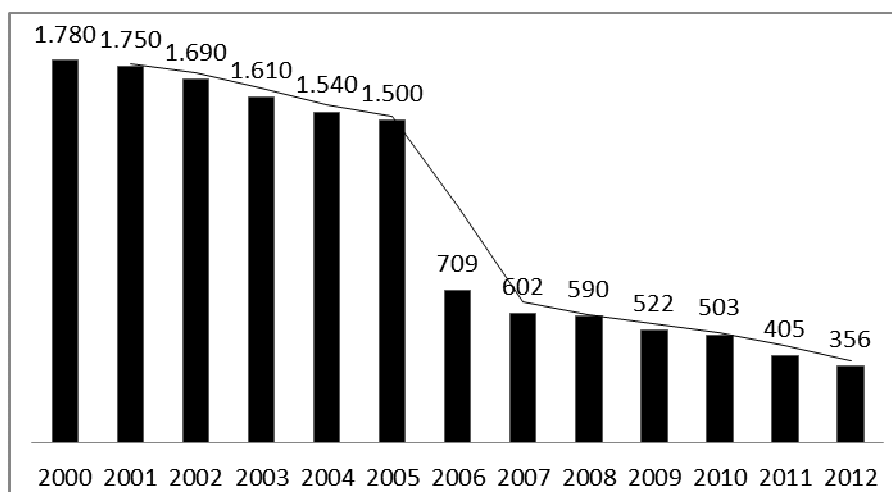
A análise e apresentação de resultados foram desenvolvidas a partir da observação do comportamento dos custos de gerações de eletricidade advinda da fonte fotovoltaica na tentativa de identificação de perfis de comportamentos junto à série temporal analisada de modo a avaliar a capacidade de viabilidade econômica da fonte solar a partir do ritmo de redução dos custos nivelados médios anuais observados.

4. ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Em um período compreendido entre 2000 e 2012, o custo médio da geração em MWh no país demonstrou uma tendência de redução de seus valores, uma coerência com as gradativas reduções que ocorrem no cenário internacional da

fonte. O Gráfico 1 demonstra os custos anuais em R\$/MWh durante o período analisado:

Gráfico 1: Custos anuais médios de geração fotovoltaica no Brasil em R\$/MWh (2000-2012).



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da CCEE (2012); Costa e Pierobon (2008); Midea *et al* (2009); Prudente (2009); Oliveira (2006); Rego e Hernández (2007).

O comportamento das reduções dos custos possuem dois cenários distintos onde o ponto de separação entre eles está no ano de 2006. No entanto as mudanças a nível governamental que possibilitaram essa ocorrência já vinham desde o final da década de 90, com os projetos de eletrificação isolada do PRODEEM, o que possibilitou uma tendência de redução a partir do ano 2000. Mas o fator favorável para a redução drástica entre 2005 e 2006 desses custos está nas seguintes medidas do governo expostas na Tabela 1:

Tabela 1: Medidas governamentais que beneficiaram a geração fotovoltaica

Lei nº 10.438 de abril de 2002	<ul style="list-style-type: none">• Estabelecimento do PROINFA através do MME, em substituição ao PRODEEM.• Programa de maior incentivo às fontes alternativas de geração de eletricidade e universalização energética.
Lei nº 1.563/05 de junho de 2005	<ul style="list-style-type: none">• Projeto de LFI federal que teve por objetivo promover o uso das fontes alternativas e suas graduais representatividades na matriz energética.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MME, (2012) e EPE, (2012).

A partir dessas leis, as fontes passaram a ter um papel heterogêneo dentro do cenário energético brasileiro, ocupando destaque de eletrificação em sistemas isolados, com maior intensidade nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste. A perspectiva de investimentos na fonte solar por meios desses projetos governamentais refletiu em demandas de equipamentos importados e aplicação da tecnologia fotovoltaica para geração elétrica em lugares remotos.

Essa mudança de cenário beneficiou a fonte fotovoltaica, fazendo sua participação aumentar nesses projetos, consequentemente seus custos passaram a sofrer uma redução mais significativa a partir do ano de 2006, devido à fonte ser favorecida com as relações estabelecidas entre o MME e empresas vencedoras das licitações de vendas dos equipamentos para tais projetos e a iniciativa de empresas privadas em desenvolver gerações particulares de eletricidade por meio da fonte solar para obtenção de incentivos governamentais. Os crescentes projetos fotovoltaicos refletiram na redução dos custos de geração da fonte durante cada ano até 2012.

Por meio da aplicação do sistema computacional *SPSS 19*, foi estabelecido a decomposição de toda a série temporal representada pelos custos médios anuais de geração elétrica. A divisão entre os dois períodos se fez necessária quando escalas de reduções apresentam distâncias que interferiam na compreensão final de seus resultados, pois generaliza dois períodos distintos de reduções (POCINHO e FIGUEIREDO, 2010). Por isso, foi sistematizada uma divisão em dois períodos: A e B conforme a Tabela 2. O primeiro representa os custos compreendidos entre 2000 e 2005, o segundo representando os custos contidos no período entre 2006 e 2012.

Tabela 2: Divisão temporal dos custos da fonte solar entre 2000 e 2012

Período A		Período B	
Ano	Custo (R\$/MWh)	Ano	Custo (R\$/MWh)
2000	1.780,00	2006	709,00
2001	1.750,00	2007	602,00
2002	1.690,00	2008	589,50
2003	1.610,00	2009	522,00
2004	1.540,00	2010	503,00
2005	1.500,00	2011	405,00
-	-	2012	356,20

Fonte: Elaborado a partir de dados da CCEE (2012); Costa e Pierobon (2008); Midea *et al* (2009); Prudente (2009); Oliveira (2006); Rego e Hernández (2007).

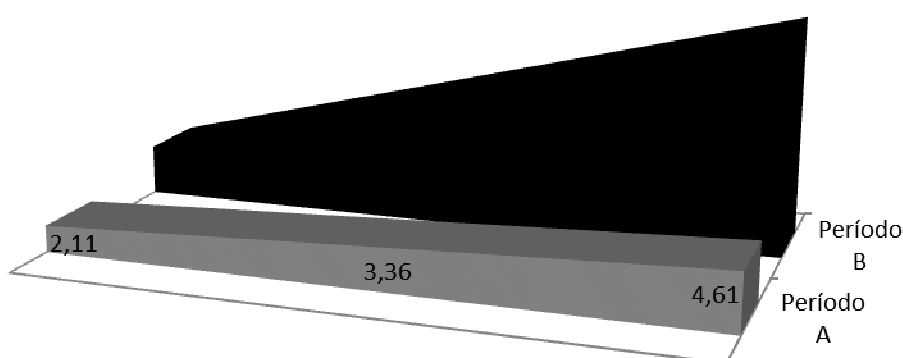
O período A é caracterizado pelo ingresso da fonte solar em projetos de eletrificação rural nas regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste. Os investimentos nesse período são da ordem de 66,5 milhões de reais, convertidos em 7.592 projetos distribuídos nessas regiões da seguinte forma: 26,5% localizados na região N; 63,8% no NE e 9,7% no SE. Por ser um período de iniciação da fonte nos projetos do PROINFA, sua utilização ficou restrita a iluminação pública e bombeamento de água, a utilização energética ainda apresentava situações de testes e sua usualidade era apenas de complementação elétrica. Por isso, o custo nivelado anual registrava valores muito maiores do que os apresentados em anos posteriores a esse período. Os equipamentos importados para os sistemas eram em pequenas quantidades e com uma capacidade de geração mínima. O reflexo disso era um custo de geração alto, em média de 1.674,00 R\$/MWh, com um percentual de variação negativa anual de 3,36%.

O período B apresenta a entrada de equipamentos fotovoltaicos com maior potencial de desempenho tecnológico e com redução nos custos de aquisição dos seus componentes em todo o mundo, como módulos fotovoltaicos e baterias. Neste período registra-se além de 32.560 novos projetos do governo por meio do PROINFA, a entrada de empresas e centros de estudos energéticos de Universidades por todo o país. Isso resultou em um novo cenário para a fonte solar, pois surgiu o desenvolvimento de usinas fotovoltaicas em instituições privadas e centro de pesquisas, totalizando 13 projetos de grande capacidade em todo o país, com um total de geração de 27,586 MW até 2012. Nesse período, o custo de geração média ficou em 526,71 R\$/MWh, com um percentual de variação negativa anual de 46,13%. Com um maior número de investimentos em instalações de geração e maior entrada de componentes fotovoltaicos que já acumulavam quedas em seus preços, esse período foi o que colocou a viabilidade da fonte solar em questão.

Comparando os dois períodos através do Programa SPSS19, são identificadas condições favoráveis para a tendência de declínio do custo de geração,

baseando-se em seus coeficientes de variações percentuais por período, conforme o Gráfico 2:

Gráfico 2: Comportamento comparativo das variações percentuais dos períodos A e B



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CCEE (2012); Costa e Pierobon (2008); Midea *et al* (2009); Prudente (2009); Oliveira (2006); Rego e Hernández (2007).

Essas variações representam a volatilidade com que os custos sofreram reduções ao longo dos dois períodos. O primeiro sofre pouca variação, porém com uma continuidade de queda a cada ano, sem regressão do comportamento redutivo dos custos anuais. O segundo apresenta uma ascensão de maior intensidade nos percentuais de queda, seguindo o ritmo de consonância com o cenário anterior. Os investimentos financeiros de cada período foram co-fatores determinantes para que o volume de quedas apresentarem evoluções distintas. Por uma razão de proporcionalidade, maiores investimentos representam maior capacidade de geração, o que reflete em redução do custo de geração energética. Por isso, o comportamento das variações percentuais foi desigual.

Diante desta comparação, a relação entre investimento e custo de geração é inversamente proporcional, ou seja, na medida em que o comportamento dos investimentos ocorre em escala ascendente, o custo de geração tende a seguir o sentido inverso, reduzindo-se em sentido proporcional. Esta relação comprova que

as reduções dos custos médios anuais registrados anteriormente foram possibilitadas graças aos investimentos que foram sendo aplicados a cada ano, resultando em uma maior capacidade de geração nacional de um período para o outro. Contribuindo assim, para a gradual viabilização econômica da fonte solar.

Por meio do estabelecimento das medidas de dispersão para os dois períodos, foi possível estabelecer suas amplitudes e desvios temporais dos seus respectivos custos. O período A apresentou uma amplitude de 280, entre seus extremos, representando uma dispersão temporal de 17,02% em uma série de 6 (seis) amostras, com um desvio padrão de 113,62. O período B teve uma amplitude de 353, entre os extremos, com uma dispersão temporal de 67,02% em sua série de 7 (sete) amostras, apresentando um desvio padrão de 120,72.

A amplitude demonstrou o tamanho da variação dos custos em torno da tendência central de cada série. No período A, a amplitude amostral é de 280 enquanto que B possui uma amplitude de 353. Quando se comparam esses valores, o período B supera o período anterior em 26,07%, ou seja, a amplitude de maior valor revela uma disparidade mais intensa entre os custos. Essa disparidade vinha acumulando alta entre os custos do período A, mas a partir do período B, sua ascensão foi cada vez maior. Quando confrontadas suas dispersões temporais, essa diferença fica em maior evidência, pois o período A possui uma dispersão de 17,02% em torno de sua média de custo nivelado, enquanto o período B apresenta uma dispersão de 67,02%.

A partir da análise do desvio padrão de cada período, foi observado que as séries possuem menor amplitude de sazonalidade (pouca variação dos valores posteriores) e maior potencial de tendência (manutenção de um índice crescente), pois os valores estão próximos, diferindo apenas por ocasião do período A apresentar um dado a mais em sua série temporal.

Por meio dessas análises verifica-se que as reduções nos custos médios anuais de geração da fonte solar no Brasil indicaram variações econômicas competitivas em todo o período entre 2000 e 2012, com um viés seguindo uma tendência de decréscimo no valor do MW/h gerado de cada ano. No entanto, apesar de se admitir que a gradual redução de custos para a geração de eletricidade a partir da fonte solar compreende elemento contribuinte ao favorecimento do uso desta fonte de modo a fornecer indicativos de que a fonte tenda a ganhar anualmente cada vez mais condições de competitividade, destaca-se que estas reduções de custos

não são isoladamente capazes de proporcionam um ambiente favorável para a inserção da fonte na matriz energética nacional. Para que se possa ter um ambiente diretamente viável para o desenvolvimento da fonte na matriz são necessários investimentos na cadeia produtiva de solar através dos componentes de painéis fotovoltaicos, bem como uma política voltada especificamente para a eletricidade fotovoltaica e a geração descentralizada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A redução de custos da fonte solar por MW/h gerados é uma realidade no Brasil e no mundo, sua utilização possui capacidade de reduções cada vez mais significativas ao longo dos anos, equiparando-se a fontes convencionais no longo prazo, devido sua natureza renovável e devido ao considerável tempo de vida útil de seus equipamentos. Explorar essa fonte é desenvolver uma tecnologia que está em ascensão e cada vez mais em evidência nas principais nações do mundo. A abordagem da fonte solar como alternativa de explorar o potencial energético e diversificar a matriz elétrica nacional através de novas formas sustentáveis de obtenção elétrica traz sua discussão ao ambiente energético, com o objetivo de aprofundar os conhecimentos sobre suas limitações econômicas e as barreiras existentes no país que impedem seu desenvolvimento, mesmo em pleno processo decrescente de custo de geração por MW/h. Assim, esta investigação questionou em que medida a variação dos custos da fonte solar para a geração de eletricidade entre 2000 e 2012 no Brasil seria capaz de contribuir para a inserção desta fonte na matriz elétrica nacional.

O estudo conclui que a redução acelerada dos custos da fonte solar tende a contribuir indiretamente ao favorecimento do processo de inserção desta fonte na matriz elétrica nacional. Entretanto, esta redução de custos da fonte entre 2000 e 2012, por si só não é capaz de recomendar a mesma. A política energética brasileira precisa desenvolver investimentos diretos na indústria solar na intenção de associar estes investimentos às reduções dos custos da fonte solar, despertando assim novos recursos financeiros vindo do setor privado. Pois como verificado neste estudo, o período A compreendeu 7.592 projetos com um custo de geração médio de 1.674 R\$/MWh e uma variação percentual de 3,36%. A partir de um maior

investimento em projetos no período B, cerca de 32.560 novos, o custo chegou a 526,71 R\$/MWh a uma variação percentual de 46,13%. De acordo com as análises realizadas ao longo do trabalho, como já era de se esperar, os comportamentos de investimento e custo de geração são inversamente proporcionais.

As variações dos custos tendem a ganhar cada vez mais competitividade a cada ano, como demonstrado ao longo do estudo. No entanto, somente essas reduções não atraem investimentos para a fonte sem que o governo estabeleça e execute uma política que proporcione segurança para o desenvolvimento da mesma e de sua cadeia de produção, reduzindo seu custo e o equiparando com os custos das fontes presentes na matriz, resultando em benefícios para a sociedade e para o setor energético que estará em consonância com os demais países que já a estabeleceram em suas matrizes e aos poucos a moldaram as suas realidades e políticas energéticas.

A utilização estratégica desta fonte de energia não se vincula a sistemas formados por grandes aglomerados de eletricidade com distribuição por intermédio de linhas de transmissão, dotadas de altos custos, causadoras de impactos ambientais quando de sua implantação e detentora de perdas expressivas de energia, como é o caso da hidroeletricidade. A conduta estratégica da fonte solar deve prezar por centrais de pequeno e médio porte, já que esta fonte de eletricidade pode ser encontrada potencialmente, com diferentes intensidades, em qualquer lugar do país e a dinâmica de investimentos deve estar direcionada aos segmentos da cadeia produtiva solar para que a gradual redução de custos desta fonte possa ser mantida e alicerçada por empreendimentos nacionais e apoiados pelo setor elétrico brasileiro através de um planejamento integrado a partir de parcerias.

Em suma, o estudo constatou que a variação negativa dos custos da fonte solar para a geração de energia elétrica no país contribuiu ao favorecimento do uso desta fonte na medida em que aperfeiçoou substancialmente as condições de competitividade dos equipamentos da indústria solar. A análise realizada por este estudo, entre 2000 e 2012, não apenas revelou uma queda substancial de custos da fonte solar no país, o que poderia ser observada sem um tratamento de dados mais elaborado, mas, sobretudo, identificou uma dinâmica de variação destes custos que respondeu proporcionalmente aos investimentos realizados, o que fortaleceu a manutenção da tendência de queda destes custos e forneceu indicativos futuros de

redução de custos desta fonte, a exemplo do que ocorreu com outras fontes de geração, que já tiveram seus custos elevados no passado em vários países.

Porém, a concretização da possibilidade de inserção desta fonte no processo de diversificação da matriz elétrica nacional somente poderá ocorrer na medida em que os investimentos na cadeia produtiva solar forem planejados estrategicamente e integrados a partir de parcerias de capital público e privado e através do direcionamento de subsídios para a instalação de placas de energia solar no país.

As limitações deste estudo residem em insuficiência de dados detalhados sobre os custos anuais nacionalizados e pertencentes a diferentes formas de geração de eletricidade, tanto em escala residencial quanto comercial. Pequena parte dos dados utilizados é resultado de projeções de custos econômicos para a geração de eletricidade, realizadas pelos autores e órgãos consultados, tornando-se apenas aproximada a realidade da geração solar no país. A inexistência da divulgação de dados econômicos por geração de energia referente aos projetos em execução no país também contribuem para essa limitação, uma vez que suas experiências possibilitariam um estudo de maior precisão sobre a real situação desses custos no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. *Proposta para a inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira*. Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaico da ABINEE. Jun. 2012.

BORGES, F. Quadros. *Setor elétrico e desenvolvimento no Estado do Pará: uma análise estratégica de indicadores de sustentabilidade*. Belém: NAEA/UFGPA, 2007 (Tese de Doutorado).

BRASIL. Lei 10.848. *Diário Oficial da União*. Brasília, 2004.

BSW SOLAR - German Solar Industry association. *Statistic data on the German solar power industry*. Berlim: s/e, 2011.

CABRAL, I; VIEIRA, R. *Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente*. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 19 a 22 de nov. Goiânia, 2012.

COGEN - Associação da Indústria de cogeração de Energia. *Inserção da energia solar no Brasil*. Relatório final. São Paulo, Maio 2012.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira*. Nota Técnica. Rio de Janeiro. Maio, 2012.

CAMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *Documentos*. Disponível em: www.ccee.org.br. Acesso em: dezembro de 2012.

CASTRO, N. J; PAES, K. E; DANTAS, G. A. *Perspectiva para a geração fotovoltaica no Brasil*. Grupo de Estudos do Setor Elétrico-GESEL/UFRJ. Rio de Janeiro, 2012.

CGEE-Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Energia solar fotovoltaica no Brasil: Subsídios para a tomada de decisão*. Série documentos técnicos. Brasília, 2010.

COSTA, D. V. da e TEODÓSIO, A. dos S. de S. Desenvolvimento sustentável, consumo e cidadania: um estudo sobre a (des)articulação da comunicação de organizações da sociedade civil, do estado e das empresas. *Revista de Administração Mackenzie*. V.12 nº.3 São Paulo. Maio/Junho, 2011.

COSTA, R. C; PRATES, C.P. T. *O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado*. BNDES Setorial, nº21, p. 5-30. Mar. 2005.

_____. PIEROBON, E. C. *Leilão de energia nova: análise da sistemática e dos resultados*. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

EPIA - European Photovoltaic Industry Association. *Global Market outlook: For photovoltaics until 2016*. May. 2012.

FURTADO, C. M. *Manual de orientações metodológicas*. Centro Universitário de Brusque. São Paulo: UNIFEBE, 2011.

GALDINO, M. A. *Análise de custos históricos de sistemas fotovoltaicos no Brasil*. IV Congresso brasileiro de energia solar. São Paulo, 18 de setembro de 2012.

GUIMARÃES, R. CABRAL, J. *Estatística*. Lisboa: Mcgraw-Hill, 1997.

KIRCHNER, C. A. *O novo modelo e o direito à energia elétrica*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.

MIDEA, L. G.; GALVÃO, L.C.R.; e PRADO Jr., F. A. A. Análise econômica financeira comparativa da autoprodução direta ou conectada no SIN: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Energia*. Vol. 15 Nº. 2, 2º sem. 2009.

MME-Ministério de Minas e Energia. *Monitoramento do sistema elétrico brasileiro*. Brasília, 2012.

POCINHO, M. FIGUEIREDO, J.P. *SPSS: Uma ferramenta para análise de dados*. São Paulo, 2010

REGO, E.E.; HERNÁNDEZ, F.M. *Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar*. Contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. Ano. 6. Enc. Energ. Meio Rural, 2007.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. *Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Manole, 2005.

REN - Renewable Energy Policy Network. *Renováveis 2012: Relatório da situação global*. 2012.

SHAYANI, A. R; OLIVEIRA, M. A. G; CAMARGO, I. M. T. *Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais*. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. De 30 de mai. à 02 de jun. Brasília, 2006.

SILVA, M; BERMANN, C.; FEARNSTIDE, P. M.; MILLIKAN, B.; BAITILO, R.; REY, O.; MOREIRA, P. F.; KISHINAMI, R.; EQUIPE DO ISA. *O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: oportunidades e desafios*. Brasília: Rios internacionais/Brasil, 2012.

WALISIEWICZ, M. *Energia alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis*. São Paulo: Publifolha, 2008.