



Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais

Rafael Amaral Shayani¹
Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira²
Ivan Marques de Toledo Camargo³

RESUMO

O Brasil necessita aumentar sua oferta de energia, entretanto esta ação estratégica deve ser integrada, de forma a desenvolver a sociedade nas áreas econômica, social e ambiental. As fontes renováveis de energia promovem o desenvolvimento sustentável, porém as vantagens de sua implantação de forma distribuída são prejudicadas pela mentalidade arraigada de fornecer energia de forma centralizada, que afeta inclusive a energia solar, a qual é naturalmente dispersa. As etapas necessárias para transformação dos recursos fósseis, nucleares e solares em energia elétrica são apresentadas, ilustrando a simplicidade das fontes renováveis. O preço da energia solar, a qual elimina a necessidade de complexos sistemas de transmissão e distribuição, é calculado e comparado com o valor pago pelos consumidores residenciais finais, ao invés de ser confrontado com o preço ofertado pela usina geradora. O custo de implantação da geração solar pode chegar a 50 vezes o custo de uma pequena central hidrelétrica, entretanto o custo da energia gerada durante a vida útil do sistema, de aproximadamente 30 anos, mostra-se 10 vezes maior para sistemas isolados e 3 vezes maior para geração interligada à rede elétrica. Com a redução anual do custo dos sistemas solares e a valoração dos custos ambientais e sociais da geração centralizada, o sistema solar tende a se tornar economicamente competitivo a curto prazo.

¹ Rafael Amaral Shayani, Universidade de Brasília, rafael@shayani.net

² Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira, Universidade de Brasília, mago@ene.unb.br

³ Ivan Marques de Toledo Camargo, Universidade de Brasília, ivancamargo@unb.br

COMPARAÇÃO DO CUSTO ENTRE ENERGIA SOLAR FOTVOLTAICA E FONTES CONVENCIONAIS

***RAFAEL AMARAL SHAYANI, MARCO AURÉLIO GONÇALVES DE OLIVEIRA,
IVAN MARQUES DE TOLEDO CAMARGO**

***LABORATÓRIO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA DO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA.**

1. RESUMO

O Brasil necessita aumentar sua oferta de energia, entretanto esta ação estratégica deve ser integrada, de forma a desenvolver a sociedade nas áreas econômica, social e ambiental. As fontes renováveis de energia promovem o desenvolvimento sustentável, porém as vantagens de sua implantação de forma distribuída são prejudicadas pela mentalidade arraigada de fornecer energia de forma centralizada, que afeta inclusive a energia solar, a qual é naturalmente dispersa. As etapas necessárias para transformação dos recursos fósseis, nucleares e solares em energia elétrica são apresentadas, ilustrando a simplicidade das fontes renováveis. O preço da energia solar, a qual elimina a necessidade de complexos sistemas de transmissão e distribuição, é calculado e comparado com o valor pago pelos consumidores residenciais finais, ao invés de ser confrontado com o preço ofertado pela usina geradora. O custo de implantação da geração solar pode chegar a 50 vezes o custo de uma pequena central hidrelétrica, entretanto o custo da energia gerada durante a vida útil do sistema, de aproximadamente 30 anos, mostra-se 10 vezes maior para sistemas isolados e 3 vezes maior para geração interligada à rede elétrica. Com a redução anual do custo dos sistemas solares e a valoração dos custos ambientais e sociais da geração centralizada, o sistema solar tende a se tornar economicamente competitivo a curto prazo.

2. ABSTRACT

Brazil needs to generate more and more electricity, but it is required a special approach to consider economical, social and environmental aspects. Renewable energy promotes sustainable development, but the advantages that the embedded generation intrinsically has are cancelled by the conventional way to send energy to final costumers, using centralized stations. The necessary steps to generate electricity from fossil, nuclear and solar resources are presented here, to outstand the simplicity associated with renewable energy. Solar energy price are calculated and compared with the final residential consumer prices, considering transmission lines and distribution systems, instead of inside-power plant prices. The solar system installation's cost is about 50 times the price of a small hydro power plant, but the energy price using a 30-year approach shows that the real rate is 10 times for stand-alone systems and 3 times for the grid-connected systems. If the social and environmental costs are considered in regard to the conventional energy price, the solar energy will be economically competitive in a few years, because its module prices are becoming cheaper every year.

3. ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS PELO PLANEJADOR ENERGÉTICO

O Brasil é um país com grande potencial para crescimento energético, uma vez que a relação entre energia primária e população é menor que a média mundial, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Energia primária per capita em vários países do mundo, em 2000
(fonte: IEA, 2002)

País	Energia primária per capita (tep)	País	Energia primária per capita (tep)
Índia	0,3	Coréia	4,1
Indonésia	0,5	Rússia	4,2
China	0,7	OECD	4,7
Brasil	0,8	Nova Zelândia	4,8
México	1,5	Austrália	5,7
Mundo	1,5	Canadá	8,2
Japão	4,1	Estados Unidos	8,3

A energia elétrica deve ser disponibilizada de forma abundante, para que o país possa crescer cada vez mais, entretanto atenção especial deve ser dada, além do aspecto econômico, aos impactos sociais e ambientais da expansão de usinas.

3.1. NECESSIDADE DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A utilização de recursos fósseis para geração de energia é reconhecidamente danosa ao meio ambiente. A elevada emissão de gases para a atmosfera tem como consequência o aquecimento global. A forma de energia que substituirá o combustível fóssil tem que ter a preocupação com a sustentabilidade e, evidentemente, diminuir a atual degradação ambiental.

O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Sob este ângulo, a utilização de fontes de energia renováveis merece atenção especial.

A pesquisa e o desenvolvimento científico, entretanto, também devem caminhar em busca do desenvolvimento sustentável. A utilização de recursos fósseis poluentes, em lugar de renováveis não-poluentes, justificados por uma possível maior eficiência ou redução de custos, deve ser julgada com uma abordagem holística, direcionando os esforços para a solução que melhor atenda às necessidades da humanidade e da natureza.

Em 1997 foi firmado o Protocolo de Quioto, o qual tem como meta para os países industrializados reduzir as emissões de gases de efeito estufa para valores 5% inferiores àqueles medidos em 1990, durante o período entre 2008 e 2012. Para países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, não existe o índice de redução de emissão de gases, porém devem trabalhar para diminuir suas emissões.

Entretanto a emissão de CO₂ proveniente das centrais elétricas brasileiras vem aumentando, estando hoje com o dobro de emissões do que em 1990, conforme ilustrado pela tabela 2.

Tabela 2 – Emissões de CO₂ (Gg/ano) no Brasil, excluindo a biomassa (fonte: ECONOMIA & ENERGIA, 2003)

Ano	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2002
Total CO ₂ emitido	80	134	176	169	194	244	303	315
Emissão proveniente das centrais elétricas	5,7	5,4	7,4	7,6	8,5	12,1	24,0	26,3
Percentual	7%	4%	4%	5%	4%	5%	8%	8%

A tabela 3 apresenta o percentual de energia gerada pelas centrais elétricas de serviço público, indicando que as fontes emissoras de CO₂, tais como gás natural e óleo diesel, vem ganhando espaço no parque gerador elétrico.

Tabela 3 - Geração de eletricidade, em porcentagem, das centrais elétricas de serviço público, por combustível – (fonte: MME, 2005)

Ano	1970	1980	1990	2000	2004
Carvão vapor	3	2	1	2	2
Gás natural	0	0	0	0	4
Óleo diesel	1	1	1	1	2
Óleo combustível	5	1	0	2	0
Urânio	0	0	1	2	3
Hidráulica	91	96	97	92	88
Total [%]	100	100	100	100	100

As atuais usinas em obras, com previsão de entrada em operação até 2010, acrescentarão 28.824 MW ao sistema (ANEEL, 2006), porém:

- somente 23% não apresentam restrições para entrada em operação;
- 34% possuem restrições para entrada em operação, como licenciamento ambiental, etc; e
- 43% têm graves restrições para entrada em operação, tais como liminar judicial, inviabilidade ambiental, etc.

O fato de 77% das obras de geração em andamento apresentarem dificuldades, muitas delas ligadas à questão ambiental, indica que o desenvolvimento sustentável está sendo, de certa forma, negligenciado pelos planejadores.

3.2. NECESSIDADE DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA VISANDO DESENVOLVIMENTO SOCIAL

O Brasil está entre os países com pior distribuição de renda do mundo, ganhando somente de alguns países africanos. Como o setor elétrico afeta diretamente toda a população e movimenta elevados montantes de dinheiro, o planejador energético deve verificar se o papel social da eletricidade pode ser intensificado.

A forma de utilização preponderante da energia elétrica é a geração centralizada em grandes usinas, as quais transportam a eletricidade por extensas linhas de transmissão até os centros de consumo.

Este modelo tende a transformar as áreas urbanas em centros de atração populacional, promovendo o êxodo rural, uma vez que as áreas rurais mais distantes não são contempladas com energia elétrica, seja por não haver condições para que as linhas de transmissão as alcancem ou por não existir carga suficiente que justifique economicamente a instalação de sub-estações.

A área rural, sem energia, não tem como aprimorar as matérias primas cultivadas, por falta de equipamentos que beneficiem os produtos, por exemplo. Logo, os trabalhadores vão buscar novas oportunidades nas cidades, onde a oferta de trabalho, entretanto, não é abundante, aumentando assim a quantidade de favelas.

Se a energia for obtida de forma descentralizada, todas as regiões passam a ter igual acesso à eletricidade, permitindo que diversas áreas rurais prosperem, aumentando a necessidade de mão-de-obra e, conseqüentemente, reduzindo os problemas sociais das cidades. Esta visão deve ser contemplada na escolha de uma fonte de energia substituta aos combustíveis fósseis.

A decisão política de que a luz é para todos já existe, entretanto deve-se fazer com que a eletricidade traga a prosperidade econômica, através da energização de equipamentos que valorizem os produtos, permitindo uma maior rentabilidade por parte da agricultura familiar, além de elevar os níveis de educação e saúde, através da eletrificação de escolas, postos médicos, bombas d'água e geladeiras, por exemplo.

Esforços devem ser concentrados na pesquisa e implementação da geração distribuída, pois, além de reduzir os investimentos de transmissão e as perdas do sistema, gera também empregos locais.

3.3. COMPARAÇÃO ENTRE FONTES PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

As fontes de energia podem ser classificadas em: (1) fósseis, incluindo petróleo, carvão e gás natural; (2) nucleares; e (3) solares, incluindo os raios solares e a energia conseqüente deles, tais como ondas e ventos, força hidráulica e materiais de origem vegetal, os quais são produzidos pelo Sol através da fotossíntese, como a biomassa.

Em uma análise superficial, as energias renováveis, aparentemente, apresentam-se com preço final da energia mais elevado do que o sistema convencional centralizado de fornecimento de eletricidade. Entretanto a simplicidade com que esta energia é gerada promove uma conseqüente redução de custos quando todos os processos necessários são contabilizados.

Os recursos fósseis precisam, intrinsecamente, serem extraídos dos locais onde estão concentrados, transportados para as refinarias onde são preparados para a queima, movidos novamente para as usinas e, após a geração de eletricidade, esta deve ser transmitida através de linhas de alta tensão para o consumidor, enquanto que os resíduos devem ser eliminados. A utilização de máquinas rotativas, tais como turbina e gerador, necessitam de uma rotina de manutenção mais complexa, devido ao desgaste natural das peças móveis, além de gerar poluição sonora durante o seu funcionamento.

A energia solar, por outro lado, não necessita ser extraída, refinada e nem transportada para o local da geração, o qual é próximo à carga, evitando também os custos com a transmissão em alta tensão. Utiliza células solares, responsáveis pela geração de energia, e um inversor para transformar a tensão e frequência para os valores nominais dos aparelhos. Este processo é mais simples, sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com necessidade mínima de manutenção.

Os custos envolvendo todas estas etapas necessárias para a geração de energia devem ser computados no momento em que se compara a energia solar com as outras fontes. Devido à sua simplicidade, esta forma renovável de obter eletricidade possui vantagens econômicas.

3.4. ENERGIA SOLAR E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Geração distribuída pode ser definida, conforme a *Wade World Alliance for Decentralized Energy*, como a geração elétrica feita perto do local do consumo, independente da dimensão, tecnologia ou da fonte primária de energia. Ganhos com a redução de perdas nas linhas de transmissão e com a possibilidade de cogeração são benefícios diretos (HOLLANDA, 2003).

A sociedade capitalista é orientada à maximização de seus lucros, onde produções em larga escala são mais atrativas economicamente do que sistemas descentralizados. O que levaria as grandes empresas, as quais influem diretamente na política, a abrir mão da utilização de fontes de maneira centralizada, permitindo que ocorra a geração distribuída de energia? Além de perder o poder de controlar este estratégico recurso representado pela energia, não mais poderiam continuar a emitir faturas, pois painéis solares não necessitam pagar “conta de Sol” a cada mês.

A argumentação de que a configuração distribuída trará maiores benefícios sociais é insuficiente para mudar a estrutura econômica do setor energético. No Brasil o pró-álcool, o qual apresenta-se como substituto da gasolina através do álcool extraído da biomassa, poderia ter gerado pequenas refinarias, as quais causariam desenvolvimento regional, ao invés de concentrar o produto, o que não promove uma melhoria na distribuição da renda. O estouro de venda de carros bicompostíveis gerou uma disparada no preço do álcool, com aumento de 40% em menos de 5 meses entre 2005 e 2006, especulação esta que aumenta a concentração de renda.

Apesar da maior parte do consumo de eletricidade brasileiro ser através de hidrelétricas, diversas estão em fase de construção, porém paralisadas devido ao dano ambiental que estas grandes barragens ocasionarão com o alagamento de florestas. Entretanto, como o país necessita de energia para crescer, provavelmente estas usinas serão concluídas, mostrando que o poder político sobrepuja o social e o ambiental.

Conforme já comentado, uma grande vantagem da energia solar é a sua possibilidade de utilização de forma distribuída, promovendo o desenvolvimento social e econômico em todas as regiões e evitando gastos e impacto ambiental com linhas de transmissão. Entretanto esta mudança de paradigma, de que o sistema de abastecimento de eletricidade atualmente utilizado não é necessariamente a única maneira possível de fornecer energia, leva tempo para

ser assimilada, o que gerou projetos diversos para o uso do recurso solar, seja de maneira centralizada ou distribuída.

A incoerência de aproveitar uma fonte naturalmente dispersa, concentrando-a em uma determinada localidade, para depois distribuí-la através de linhas de transmissão, não é óbvia para os planejadores em geral, uma vez que desafia o modelo atual. Exemplos são apresentados, indicando que a energia solar está caminhando tanto na direção da geração centralizada quanto distribuída.

3.4.1. SISTEMAS SOLARES CENTRALIZADOS E INTERLIGADOS À REDE ELÉTRICA CONVENCIONAL

Um exemplo de sistema centralizado de geração de energia, utilizando o calor do Sol para aquecer um fluido que movimenta turbinas, é o projeto-piloto Solar Two, localizado no deserto Mojave, na Califórnia, Estados Unidos, que entrou em operação em 1997, utilizando tecnologia de concentração solar tipo torre e podendo produzir até 10 MW de potência (ALDABÓ, 2002).

Em setembro de 2004 foi inaugurado o maior sistema fotovoltaico do mundo conectado à rede elétrica, com potência de 5 MW pico, composto por 33.500 módulos, situado próximo de Leipzig, na Alemanha, fornecendo energia para 1.800 residências. Já em agosto de 2005 foi iniciada a construção de uma geração ainda maior, com potência de 10 MW pico, na Bavária, também na Alemanha. Este sistema consiste em aproximadamente 62.500 módulos, podendo abastecer cerca de 3.300 residências alemãs.

Diversos países investem em sistemas solares de grande porte, como a Índia, com a instalação de uma usina de 5 MW próxima a Nova Delhi, e a Coreia do Sul, que iniciou, em novembro de 2005, a construção de sua maior usina solar, com 1,2 MW.

Estes empreendimentos de grande vulto contribuem para uma economia de escala e para a redução do preço da tecnologia fotovoltaica. Entretanto a geração de energia não pode ser vista independentemente do aspecto social e de desenvolvimento da população. Atualmente o Brasil, que possui as maiores hidrelétricas do mundo, apresenta receios quando novos empreendimentos do porte de Itaipu ou Tucuruí são propostos, seja pelo impacto ambiental causado pela grande área alagada, ou pela necessidade de construção de extensas linhas de transmissão para possibilitar o consumo desta energia, as quais também geram danos ambientais.

A construção de imensas usinas solares em desertos apresentam estes mesmos problemas, acrescentando em especial o problema da armazenagem da energia. Tendências indicam que o sistema limpo ideal compõe-se do abastecimento de células de hidrogênio através de grandes usinas de energia solar. Apesar deste tipo de configuração não gerar gases que causam o efeito estufa, a geração continua ocorrendo de maneira centralizada, o que favorece o atual sistema de concentração de renda nas mãos dos grandes geradores, além de contar com perdas, seja no armazenamento em células ou na transmissão elétrica.

Mesmo assim, diversas idéias de utilização de sistemas fotovoltaicos em larga escala são propostos por empresas e pesquisadores. Uma delas é o satélite de energia solar, o qual consiste de uma plataforma mantida em órbita ao redor

da Terra, com superfície de 50 km². Este painel captaria energia solar durante 24 horas por dia, em uma intensidade maior por não sofrer as perdas causadas pela atmosfera, e poderia gerar até 10.000 MW de eletricidade, que seria transmitida via microondas para a Terra (ALDABÓ, 2002).

Outra idéia, da empresa japonesa Sanyo, é o projeto GENESIS (*Global Energy Network Equipped with Solar Cells and International Superconductor Grids*), que prevê a instalação, ao redor do planeta, de um cinturão de centrais solares interconectadas com hipercondutores, para suprir de energia toda a humanidade. Esta solução elimina tecnicamente as diferenças causadas pelo dia e noite e entre as estações do ano (SCHEER, 2002).

Na Austrália existe o projeto da Torre Solar, capaz de gerar 200 MW de energia fototérmica através de uma estrutura de 1000 metros de altura por 150 metros de diâmetro, com estimativa de investimento de 800 milhões de dólares (SOLAR MISSION, 2006)

Estes projetos, de elevada complexidade técnica e altos orçamentos, demonstram a tendência de utilizar o sistema centralizado de energia que nos serve atualmente. Quando o potencial da produção descentralizada de energia for assimilado, estas idéias tenderão a serem colocadas de lado.

3.4.2. SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

A Alemanha é um dos países pioneiros na utilização da energia solar distribuída. Entre 1990 e 1995 promoveu um programa de instalação de painéis fotovoltaicos conectados à rede em 1.000 telhados, vindo a atingir a marca de 2.250 equipamentos, com potência média de 2,6 kW por telhado, atingindo mais de 40 cidades. A energia excedente gerada é vendida à concessionária pelo consumidor residencial. Com o sucesso deste empreendimento, o programa 100.000 telhados solares foi lançado, com o objetivo de alcançar 500 MW de geração de energia solar.

Os Estados Unidos também criaram seu programa de instalação de 1.000.000 de “telhados solares” até 2010, incluindo geração fotovoltaica, aquecimento de água com coletores solares, aquecimento e refrigeração residencial e aquecimento de piscina.

Estes sistemas distribuídos e interligados à rede elétrica convencional utilizam painéis solares para atender à demanda energética de um edifício ou de uma residência, em conjunto com a rede elétrica. Quando a energia solar é superior ao consumo, o excedente é injetado na rede e, caso seja inferior, é complementado pelo sistema interligado.

Em prédios comerciais, uma parte do consumo de energia aumenta de maneira proporcional à intensidade do Sol, como é o caso dos aparelhos de ar condicionado, que passam a operar em máxima potência. Logo, com uma maior demanda elétrica coincidindo com maior intensidade solar, os edifícios solares fotovoltaicos têm a capacidade de reduzir os picos de demanda que ocorrem durante o dia. Em prédios comerciais a eletricidade necessária para alimentar o sistema de ar condicionado é tipicamente 40% do consumo total do edifício.

Esse tipo de instalação apresenta diversas vantagens: minimiza as perdas por transmissão, pois a geração e o consumo estão próximos um do outro; dispensa os sistemas acumuladores de energia (bancos de baterias), reduzindo o custo da instalação em aproximadamente 30%; não necessita de

superdimensionamento para atendimento da carga por períodos prolongados de baixa incidência solar, por poder contar com a rede elétrica pública, e alivia o sistema de distribuição da concessionária elétrica, aumentando a vida útil de transformadores e outros componentes (RÜTHER, 2004). A possibilidade de instalação dos painéis nos telhados das casas e nas fachadas dos prédios reduz a necessidade de espaço físico para a instalação da geração de energia.

Nota-se, então, que existem tendências tanto para a concentração do recurso solar quanto para a utilização direta de sua energia em conjunto com a rede elétrica existente.

4. CUSTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMPARADA COM FONTES TRADICIONAIS

4.1. COMPARAÇÃO DE PREÇOS PELO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO POR UNIDADE DE POTÊNCIA

A análise mais simples de ser feita é a comparação das fontes de energia através de seu custo de implantação por unidade de potência, pois investimentos iniciais elevados tendem a não atrair facilmente os investidores, especialmente quando a taxa de juros é elevada.

Um recente estudo do custo da implantação de sistemas fotovoltaicos, publicado em 2005, analisou o preço de 47 sistemas isolados de 100 a 6600 W, de 1987 à 2004, indicando que esses sistemas apresentam uma tendência de redução de preços de aproximadamente 1 U\$/W ao ano, com custos variando entre 7 e 10 U\$/W (HEGEDUS, OKUBO, 2005).

Outro estudo, publicado pelo Programa de Sistemas Fotovoltaicos de Potência da Agência Internacional de Energia, confirma que os preços estão reduzindo ano após ano, e indica que os sistemas isolados tendem a custar aproximadamente o dobro quando comparados com sistemas conectados à rede, por não necessitarem de baterias e demais componentes associados. Em 2004, sistemas isolados de até 1 kW apresentam variação de preço de 9 a 25 U\$/W, sendo que o valor típico encontra-se em torno de 13 U\$/W. Sistemas maiores de 1 kW apresentam variação semelhante e preços ligeiramente menores. Para sistemas conectados à rede os valores chegam à 6 U\$/W (IEA-PVPS, 2006).

Considerando o valor típico de 13 U\$/W para sistemas fotovoltaicos isolados, este número, por si só, mostra-se extremamente anti-econômico e não competitivo quando comparado com o custo da implantação das demais fontes. Os valores típicos de instalação, tanto informados pela Agência Nacional de Energia Elétrica quanto publicados em um estudo da CESP e IMT, são apresentados na tabela 4.

Outra conta que costuma ser realizada quando essa comparação é feita é a capacidade de geração de energia em um dia. Um sistema dotado de fonte não intermitente pode gerar energia durante 24 horas por dia, enquanto que um sistema solar de mesma potência instalada pode gerar, dependendo de sua localização geográfica, uma média de 6 horas equivalentes de potência nominal ao longo do dia. Logo, para que o sistema fotovoltaico possa produzir a mesma quantidade de energia em um dia, ele deve ter sua potência aumentada em 4 vezes, o que eleva seu custo de implantação para 52 U\$/W_{PICO} (13 * 4). Esta maneira de apresentar os números torna-se um grande aliado para manter os

sistema fósseis em uso crescente, pois a energia solar apresenta-se 50 vezes mais cara que as pequenas centrais hidrelétricas.

Tabela 4 – Valores típicos de implantação de usinas geradoras de energia (fonte: ANEEL – SCG, 2006, NEGRI et al., 2003)

Tipo de Geração	Custo de implantação ANEEL [US\$/W]	Custo de implantação CESP/IMT [US\$/W]
Termelétrica a Diesel	0,40 à 0,50	0,35 à 0,50
Termelétrica a gás	0,40 à 0,65	0,35 à 0,50
Termelétrica a vapor	0,80 à 1,00	-
Termelétrica ciclo combinado	0,80 à 1,00	-
Pequenas centrais hidrelétricas	1,00	-
Geração eólica	1,20 à 1,50	1,00
Células fotovoltaicas	-	5,00 à 10,00

Esta conta, entretanto, torna-se incoerente por não considerar o elevado custo do combustível das usinas térmicas, item este inexistente nos sistemas solares, além do gasto com operação e manutenção, o qual é 5 vezes mais barato na geração fotovoltaica. A tabela 5 mostra os valores recolhidos em favor da conta de consumo de combustíveis fósseis, onde um aumento de mais de 20% ocorreu de 2005 para 2006. A figura 6 apresenta a evolução anual dos preços do óleo diesel e do gás natural, em dólares, indicando elevação nos últimos anos.

Tabela 5 – Valores de arrecadação da CCC – (fonte: ANEEL)

Ano	Valor da CCC (R\$ milhões)
2004	3327
2005	3419
2006	4110

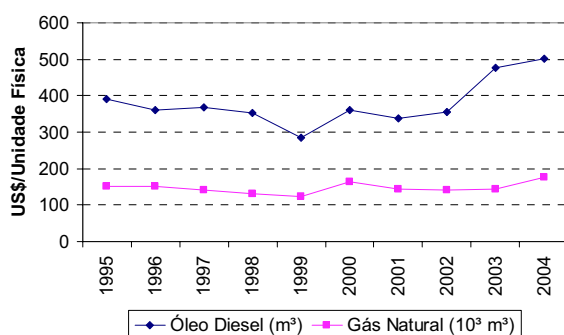


Figura 6 – Preço do óleo diesel e gás natural em US\$/m3 e US\$/103m3, respectivamente – (fonte: MME, 2005)

4.2. COMPARAÇÃO DE PREÇOS PELA ENERGIA GERADA DURANTE A VIDA ÚTIL DO SISTEMA

Uma comparação mais fiel da real diferença de preços entre a energia solar e as demais fontes pode ser feita, utilizando exclusivamente critérios

técnicos, desconsiderando efeitos ambientais, sociais e demais fatores cuja valoração possa ser considerada subjetiva. A seguinte metodologia é utilizada:

a) Comparação utilizando o preço da energia gerada, ao invés da potência instalada. Como a energia solar fotovoltaica possui custo de operação e manutenção desprezível, principalmente por não necessitar de combustível para operar e nem ter peças móveis para sofrer manutenção complexa, seu investimento de instalação é diluído por toda a sua vida útil, correspondente à energia gerada; e

b) Comparação com o preço da energia das fontes convencionais que é paga pela unidade consumidora, após o sistema de transmissão e distribuição, ao invés do valor cobrado pela usina geradora.

O sistema fotovoltaico utilizado na geração distribuída produz energia diretamente na residência do consumidor, podendo ocorrer no próprio telhado da unidade consumidora. Logo o valor que deve ser utilizado como referência para as fontes convencionais é a energia cobrada pela concessionária distribuidora para a classe residencial, a qual considera, entre outros custos:

- energia gerada pela usina;
- linhas de transmissão;
- rede de distribuição;
- operação e manutenção;
- encargos setoriais, em especial a conta de consumo de combustíveis fósseis (CCC), a qual encarece a energia hidráulica como forma de subsídio para a geração termelétrica nos sistemas isolados, e a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos; e

- custos diversos, como os gastos com o racionamento de energia ocorrido em 2001.

4.2.1. DIFERENÇA ENTRE O CUSTO DA ENERGIA NA USINA E NA UNIDADE CONSUMIDORA

A energia entregue ao consumidor é diversas vezes mais cara que o valor de venda das usinas, seja oriunda de empreendimentos já existentes ou por novas geradoras. As tabelas 7 e 8 apresentam, respectivamente, os preços médios de energia nas usinas geradoras, negociados nos leilões de energia, e os valores de referência para o PROINFA.

Tabela 7 – Preço médio da energia negociada nos leilões
(fonte: CCEE, 2006)

Início do suprimento	Preço de venda médio [R\$/MWh]	Evento de comercialização de energia
2005	57,51	1º leilão de energia existente 2004
2006	67,33	1º leilão de energia existente 2004
2006	62,95	3º leilão de energia existente 2005
2007	75,46	1º leilão de energia existente 2004
2008	83,13	2º leilão de energia existente 2005
2008	127,15	Leilão de energia nova 2005
2009	94,91	4º leilão de energia existente 2005
2009	127,77	Leilão de energia nova 2005
2010	117,11	Leilão de energia nova 2005

Tabela 8 – Valores de referência para a energia do PROINFA
(fonte: MME, 2004)

Tipo de central geradora de energia elétrica	Valor econômico da tecnologia específica da fonte [R\$/MWh]
Pequena central hidrelétrica	117,02
Eólica	180,18 à 204,35
Biomassa – bagaço de cana	93,77
Biomassa – casca de arroz	103,20
Biomassa – madeira	101,35
Biomassa – biogás de aterro	169,08

Os preços de referência do PROINFA, quando comparados com os demais tipos de geração, são considerados elevados, pois turbinas eólicas a 200 R\$/MWh não são competitivas com usinas que geram pela metade do preço. A tecnologia solar é tida como menos competitiva ainda.

A tabela 9 apresenta o custo final cobrado da energia do sistema de distribuição em 2005 para a classe residencial em diversas capitais do Brasil. Percebe-se que o valor médio de R\$ 314,20 R\$/MWh, o qual é mais de 500% superior à energia comercializada no leilão para 2005, faz com que a disparidade de preços com outras fontes, as quais não possuem custos associados com transmissão, além de baixa despesa com distribuição, tornem-se mais atrativas.

Tabela 9 – Valor da energia cobrada das unidades consumidoras residenciais em 2005, descontados os impostos ICMS, PIS/PASEP e COFINS. -
(fonte: ANEEL, 2006)

Cidade/Estado	Tarifa de energia residencial [R\$/MWh]	Cidade/Estado	Tarifa de energia residencial [R\$/MWh]
Belo Horizonte/MG	406,36	Porto Alegre/RS	310,10
Campo Grande/MS	397,40	Maceió/AL	309,19
Palmas/TO	364,65	Rio Branco/AC	306,82
Cuiabá/MT	344,98	Manaus/AM	300,56
São Luís/MA	343,95	Goiânia/GO	299,93
Vitória/ES	332,35	Curitiba/PR	298,82
Rio de Janeiro/RJ	331,88	São Paulo/SP	287,21
João Pessoa/PB	330,57	Fortaleza/CE	280,98
Porto Velho/RO	329,42	Boa Vista/RR	275,80
Florianópolis/SC	328,10	Brasília/DF	270,13
Teresina/PI	321,90	Salvador/BA	265,74
Recife/PE	320,62	Aracaju/SE	261,91
Belém/PA	311,62	Natal/RN	238,25
Valor médio: 314,20 R\$/MWh			

4.3. VALOR PAGO PELA ENERGIA DURANTE 30 ANOS

O período de 30 anos foi definido por ser a expectativa de vida útil dos painéis fotovoltaicos. Os demais equipamentos de um sistema isolado possuem

aproximadamente os seguintes períodos de vida útil, conforme estimativa dos fabricantes: 5 anos para banco de baterias e 10 anos para controladores de carregamento e inversores de frequência.

Assim, o custo de um sistema fotovoltaico durante 30 anos leva em consideração o valor inicial dos equipamentos e suas substituições ao final da vida útil: 1 x custo do painel solar, 6 x custo do banco de baterias, 3 x custo do controlador de carga e 3 x custo do inversor de frequência.

O preço de um sistema fotovoltaico de 1,98 kW_{PICO} é apresentado na tabela 10, cotado em março de 2006. A configuração selecionada visa ser a que apresenta o melhor custo-benefício, pois a quantidade de painéis é dimensionada para aproveitar ao máximo a capacidade do controlador de carga, reduzindo assim gastos por superdimensionamento. O custo deste sistema, para gerar energia durante 30 anos, é apresentado na tabela 11.

Tabela 10 – Custo de instalação de um sistema fotovoltaico de 1,98 kW_{PICO}

Item	Preço unitário [R\$]	Valor total [R\$]
44 Painéis fotovoltaicos 15V 3A 45WPICO	720,00 (R\$ 16,00/W)	31.680,00
1 Controlador de carregamento 48Vcc 40A	700,00	700,00
1 Inversor 48Vcc 4000W	16.000,00	16.000,00
24 Bateria 105Ah	500,00	12.000,00
Valor total: R\$ 60.380,00		

Nota-se que este valor de R\$ 60.380,00 para 1,98 kW apresenta uma relação de 30,50 R\$/W, o que corresponde a aproximadamente 13,86 US\$/W, considerando o dólar a R\$ 2,20. Assim, o valor cotado encontra-se compatível com o valor típico utilizado.

Tabela 11 – Custo do sistema fotovoltaico durante 30 anos

Item	Custo [R\$]
1 x painéis	31.680,00
3 x controlador	2.100,00
3 x inversor	48.000,00
6 x baterias	72.000,00
Total: R\$ 153.780,00	

De posse do valor a ser pago durante a vida útil do sistema, basta saber qual é a energia produzida por ele durante este período, para que a comparação possa ser feita. Estudos feitos pelo Laboratório de Fontes Alternativas do ENE/UnB indicam que o sistema fotovoltaico isolado aproveita somente 50% da energia gerada pelo painel, devido às perdas no banco de baterias, no inversor e, principalmente, pela dificuldade de aproveitar toda a insolação disponível durante o período de recarga final das baterias do tipo chumbo-ácido. (SHAYANI, OLIVEIRA, 2006)

Este sistema de 1,98 kW_{PICO}, durante uma insolação média anual de 4,45 kWh/m² (TIBA, 2000), juntamente com o aproveitamento médio de 50% medido experimentalmente, gera por dia:

$$1,98 \text{ kW} * 4,45 \text{ h} * 0,5 = 4,4 \text{ kWh/dia}$$

Em 30 anos esta energia corresponde à:

$$4,4 \text{ kWh/dia} * 365 \text{ dias} * 30 \text{ anos} = 48,18 \text{ MWh}$$

Assim, o custo da energia solar fotovoltaica isolada é de:

$$\frac{153.780,00 [R\$]}{48,18 [MWh]} = 3.191,78 [R\$ / MWh]$$

Este valor é aproximadamente 10 vezes maior que a energia gerada pelo sistema tradicional.

Um relevante aspecto a ser considerado é o efeito econômico dos pagamentos ao longo do tempo, considerando a taxa de juros, pois o perfil dos desembolsos são diferentes, uma vez que o custo de implantação inicial do sistema fotovoltaico é maior. Considerando juros de 12%aa, a relação entre as tarifas passa de 10 para 18 vezes, entretanto este cálculo, de maneira simplista, não representa fielmente a verdade, pois considera as tarifas constantes durante os 30 anos, que não é a tendência atual.

Considerando que os sistemas fotovoltaicos interligados dispensam o uso de baterias, os quais correspondem a 45% do custo do sistema durante sua vida útil, além do fato do rendimento passar de 50% para 84%, por não ter as perdas do sistema de armazenamento e poder aproveitar com mais eficiência a energia solar disponível sobre o painel, por ter cargas sempre conectadas e consumindo energia, o preço tende a ficar mais competitivo, aproximadamente:

$$\text{Custo dos equipamentos: } 153.780,00 - 72.000,00 = 81.780,00 [R\$]$$

$$\text{Geração de energia: } 1,98 \text{ kW} * 4,45 \text{ h} * 0,84 * 365 \text{ dias} * 30 \text{ anos} = 81,04 \text{ MWh}$$

$$\text{Custo da energia sola conectada à rede: } \frac{81.780,00 [R\$]}{81,04 [MWh]} = 1.009,13 [R\$ / MWh]$$

O custo do sistema interligado é da ordem de 3 vezes o preço da energia convencional sem os impostos, os quais são responsáveis por um aumento de mais de 30% sobre seu valor. Assim, uma política de incentivo fiscal às fontes renováveis distribuídas podem rapidamente reduzir esta relação para 2,5 vezes.

Ao incluir os custos ambientais, os valores podem se igualar. Com a queda acentuada no preço dos sistemas solares, esta fonte de energia tem possibilidade de tornar-se viável em pouco tempo.

5. CONCLUSÃO

As fontes de energia de origem solar apresentam processo de geração de eletricidade mais simples do que a obtenção de energia através de combustíveis fósseis ou nucleares. A sua utilização de forma distribuída apresenta as vantagens de redução de gastos com os sistemas de transmissão e

distribuição, além de permitir desenvolvimento social para localidades não eletrificadas.

O paradigma atual de que o fornecimento de energia deve ocorrer através de linhas de transmissão e distribuição gera uma incoerência, pois existem projetos que visam concentrar a energia solar, naturalmente dispersa, para depois distribuí-la por um sistema interligado, deixando assim de aproveitar seus benefícios.

O preço da energia solar é comparado com o valor pago pelos consumidores em suas residências, uma vez que a energia final consumida chega a ser 5 vezes mais caro que o valor cobrado pela usina convencional.

O custo de implantação de um sistema solar isolado pode chegar a 50 vezes o valor de uma pequena central hidrelétrica de mesma capacidade, entretanto fazendo o cálculo considerando a energia gerada durante a vida útil do equipamento solar, de aproximadamente 30 anos, é obtido o valor correspondente à 10 vezes o custo da energia entregue ao consumidor. Ao considerar um sistema interligado à rede, a relação passa de 10 para 3. Ao serem agregados os impostos, custos ambientais e sociais, a energia solar fotovoltaica passa a ser, em um futuro breve, economicamente competitiva.

O Brasil está aumentando a quantidade de emissões de gases de efeito estufa durante o processo de geração de eletricidade, além de constatar aumentos nos preços do gás natural, que subiu mais de 20% de 2004 para 2005, além do aumento do valor de CCC em aproximadamente 20% também. Neste ritmo, o custo da energia subirá 200% em 10 anos, superando o valor da energia solar fotovoltaica interligada à rede, a qual continuará reduzindo seu preço neste período.

6. BIBLIOGRAFIA

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) (ANEEL). Resoluções homologatórias – Biblioteca virtual. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2006.

_____. Boletim energia 214, 2006. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/boletim214.htm>>. Acesso em: 2 de abril de 2006.

Aldabó, Ricardo. Energia solar. São Paulo: Artliber editora, 2002. 155 p.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional – BEN. Brasília: MME, 2005.

_____. Ministério de Minas e Energia. Portaria Nº 45, de 30 de março de 2004. Diário Oficial da União de 01.04.2004, seção 1, p. 53, v. 141, n. 63.

Câmara de comercialização de energia elétrica. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2006.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL, 1999.

Economia & Energia. "Emissões Energéticas – Brasil 1970 / 2002" in Economia e Energia No. 41, Ano VII, Novembro/Dezembro 2003. Disponível em: <<http://ecen.com>>. Acesso em 2 de abril de 2006

Hegedus, Steven et Nozumi Okubo. "Real BOS and system costs of off-grid PV installations in the US: 1987-2004" in Photovoltaic Specialists Conference, 2005. Conference Record of the Thirty-first IEEE , vol., no.pp. 1651- 1654, 3-7 Jan. 2005

Hollanda, Jayme Buarque de. "O potencial da Geração Distribuída" in Revista Eletricidade Moderna, São Paulo: Aranda Editora, ano XXXII, número 356, p. 220, novembro 2003.

International Energy Agency – World Energy Outlook 2002

_____. IEA Photovoltaic Power Systems Programme - International statistics - System prices - Trends in photovoltaic applications. Disponível em: <<http://www.iea-pvps.org>>. Acesso em: 30 de março de 2006.

Negri, Jean Cesare et al. "Opções tecnológicas para a geração distribuída até 30MW" in Revista Eletricidade Moderna, São Paulo: Aranda Editora, ano XXXII, número 356, p. 184, novembro 2003.

Rüther, Ricardo. Edifícios solares fotovoltaicos. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004. 113 p.

Scheer, Hermann. Economia solar global. Rio de Janeiro: CRESESB – CEPEL, 2002.

Shayani, Rafael Amaral et Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira. Medição do rendimento global do sistema fotovoltaico isolado. Dissertação de mestrado a ser apresentada ao departamento de engenharia elétrica da faculdade de tecnologia da Universidade de Brasília. 2006.

Solar Mission Technologies – Solar tower project. Disponível em: <<http://www.solarmissiontechnologies.com>>. Acesso em: 2 de abril de 2006

Tiba, Chigueru. (Coord.). Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestre. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.