



Perspectivas para a
Energia Solar

No ano de 2050, a energia solar poderá decretar o fim da dependência americana do petróleo estrangeiro e reduzir as emissões de gases de efeito estufa

Por Ken Zweibel, James Mason e Vasilis Fthenakis

CONCEITOS-CHAVE

- Uma substituição geral das usinas a carvão, petróleo, gás natural e energia nuclear para usinas de energia solar poderia fornecer 65% da energia elétrica e 35% da energia total consumida pelos Estados Unidos por volta de 2050.
- Uma vasta área de células fotovoltaicas teria de ser construída no sudoeste americano. O excesso de energia coletado durante o dia seria armazenado na forma de ar comprimido em cavernas subterrâneas para ser retirado durante a noite.
- Seriam construídas também grandes usinas concentradoras de energia solar.
- Uma rede de transmissão de corrente contínua forneceria energia elétrica solar para todo o país.
- Mas seriam necessários US\$ 420 bilhões em subsídios de 2011 a 2050 para consolidar a infra-estrutura e torná-la economicamente competitiva.

— Os editores

Os altos preços da gasolina e do óleo para aquecimento doméstico vieram para ficar. A guerra que os Estados Unidos mantêm no Oriente Médio serve, pelo menos em parte, para defender seus interesses sobre o petróleo estrangeiro. Como a China, a Índia e outras nações vêm aumentando rapidamente a demanda por combustíveis fósseis, disputas futuras envolvendo energia poderão assumir proporções trágicas. Enquanto isso, usinas que produzem energia — queimando carvão, óleo e gás natural — e veículos do mundo todo continuam a lançar na atmosfera toneladas de poluentes e de gases de efeito estufa.

Cientistas, engenheiros, economistas e políticos bem-intencionados já propuseram um conjunto de medidas capazes de reduzir o uso de combustíveis fósseis. Mas essas medidas não estão sendo suficientes. Nossa análise nos convenceu de que uma mudança radical, para a energia solar, parece ser uma saída lógica.

O potencial da energia solar é inesgotável. A energia do Sol que atinge a superfície da Terra em 40 minutos é equivalente ao consumo de energia do mundo todo em um ano. Os Estados Unidos — e o Brasil também — têm sorte por serem dotados de amplos recursos naturais. Nos Estados Unidos, pelo menos 640 mil km² somente no sudoeste são propícios à construção de usinas de energia solar, e essa área recebe mais de 1,134 quatrilhão de quilocalorias de radiação solar por ano. Se somente 2,5% dessa radiação fossem convertidos em energia elétrica, já seria suficiente para suprir o consumo total de energia do país em 2006.

No Brasil esse potencial é ainda maior, cobrindo toda a região Norte e Nordeste com maior eficiência e em menor escala todo o território.

Para transformar tanto os Estados Unidos quanto o Brasil em consumidores de energia solar, enormes extensões de terra teriam de ser cobertas com painéis fotovoltaicos e calhas de aquecimento solar. Para a transmissão da corrente contínua (DC), teria de ser erguida uma rede para transportar essa energia de forma eficiente através do país.

A tecnologia está pronta. Apresentamos um grande projeto que poderá fornecer 69% da energia elétrica dos Estados Unidos e 35% da sua energia total (incluindo sua distribuição) a partir da energia solar por volta de 2050. Nosso projeto prevê que essa energia poderá ser vendida aos consumidores a taxas equivalentes às atuais cobradas para os recursos energéticos convencionais, cerca de US\$ 0,05 por quilowatt-hora (kWh). Se fontes eólicas, geotérmicas e de biomassa também forem desenvolvidas, formas de energia renovável poderão abastecer 100% da energia elétrica consumida no país e 90% do consumo total por volta de 2100.

O governo federal americano teria de investir mais de US\$ 400 bilhões ao longo dos próximos 40 anos para completar o plano até 2050. Mas o

SCOTT AGUIHETO/CONEXIA/EPIC/COMBIS

lucro será muito maior. As usinas solares consomem pouco ou quase nenhum combustível, economizando bilhões de dólares ano após ano. A infra-estrutura exigiria a substituição de 300 grandes usinas alimentadas a carvão e de 300 usinas maiores que funcionam à base de gás natural além de todo o combustível que consomem. O projeto poria fim à importação de petróleo, zerando os déficits comerciais dos Estados Unidos e reduzindo drasticamente a tensão política no Oriente Médio e em outros pontos do globo. Como a tecnologia solar não é poluidora, o projeto também reduziria as emissões de gases de efeito estufa emitidos pelas usinas em 1,7 bilhão de toneladas por ano e em cerca de 1,9 bilhão de toneladas nas emissões de gases produzidos por veículos movidos a gasolina que seriam substituídos por veículos híbridos recarregáveis. Em 2050 as emissões de dióxido de carbono pelos Estados Unidos poderiam estar 62% abaixo dos níveis de 2005, freando o aquecimento global.

Fazendas Fotovoltaicas

Nos últimos anos, o custo de produção de células e de painéis fotovoltaicos vem caindo significativamente, abrindo caminho para uma produção em grande escala. Os módulos mais baratos atualmente contêm finas películas de telureto de cádmio. Para fornecer energia elétrica a US\$ 0,06 por kWh em 2020, os módulos de telureto de cádmio teriam de converter eletricidade com eficiência de 14%, e os sistemas deveriam ser instalados ao custo de US\$ 1,20 por watt de energia. Os módulos atuais funcionam com eficiência de 10% e custo de instalação de cerca de US\$ 4 por watt. Nos últimos 12 meses as eficiências comerciais cresceram de 9% para 10%. À medida que os módulos são aprimorados, as células fotovoltaicas instaladas no telhado das casas terão preço mais competitivo para os proprietários.

No nosso projeto, em 2050 os painéis fotovoltaicos fornecerão aproximadamente 3 mil gigawatts (GW), ou bilhões de watts de energia e, para isso, cerca de 73.800 km² de painéis fotovoltaicos deverão ser construídos. Os painéis já instalados indicam que a área necessária para cada gigawatt-hora de energia solar produzida no sudoeste americano é menor que a necessária para o funcionamento de uma usina a carvão. Jack Lavelle, porta-voz do Departamento de Conservação da Água do Arizona, observou que mais de 80% da área desse estado são terras públicas e que o Arizona está muito interessado em desenvolver seu potencial energético solar. A natureza amigável das usinas fotovoltaicas (que não consomem água) reduziria ao mínimo as preocupações ambientais.



O plano para 2050

A energia solar fornece...

69% | **35%**
da energia elétrica | da energia total

Por volta de 2050, enormes conjuntos de células fotovoltaicas no sudoeste americano poderão fornecer energia elétrica no lugar de usinas a combustíveis fósseis e poderiam também estimular a conversão maciça da frota americana em veículos elétricos recarregáveis. O excesso de energia seria armazenado na forma de ar comprimido em cavernas subterrâneas. Grandes dispositivos que concentram a luz solar para o aquecimento de água também forneceriam energia elétrica. Uma nova rede de transmissão de alta tensão em corrente contínua transportaria a energia para os mercados regionais de todo o país. O projeto reduziria substancialmente o consumo de combustíveis fósseis do país e as respectivas emissões de gases de efeito estufa (*abaixo*). Admitimos um crescimento anual de 1% na demanda de energia líquida e previmos melhorias nas tecnologias solares envolvidas somente até 2020, sem lucros adicionais além dessa data.

- K. Z., J. M. e V. F.

TECNOLOGIA

FOTOVOLTAICAS

ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NA FORMA DE AR COMPRIMIDO (com energia elétrica fotovoltaica)

ENERGIA SOLAR CONCENTRADA

TRANSMISSÃO DC

CONSUMO ANUAL DE COMBUSTÍVEL NOS ESTADOS UNIDOS

- 2007
- 2050 (distribuição já existente)
- 2050 (grande plano solar)

PETRÓLEO
Bilhões de barris

6,9 | 10,9 | 2,7

GÁS NATURAL
Trilhões de m³

0,8 | 1,0 | 0,4

CARVÃO
Bilhões de toneladas

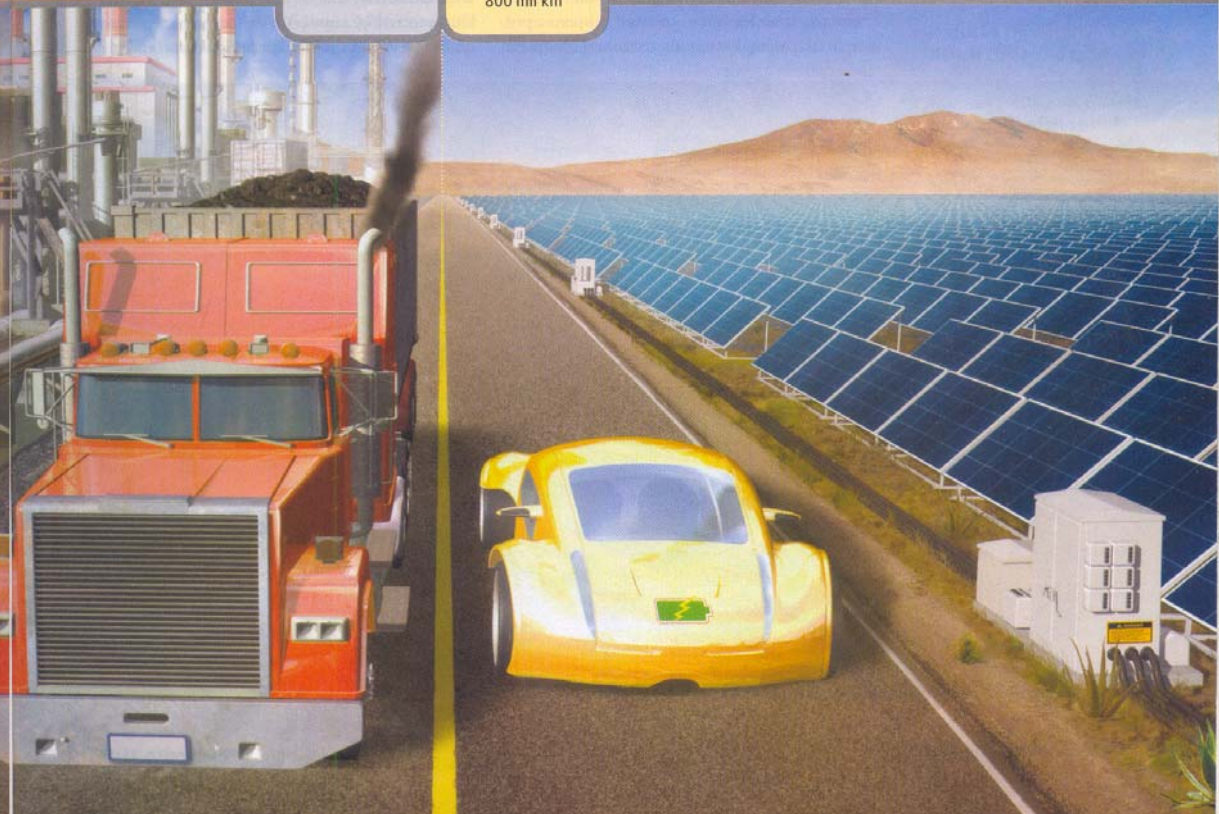
1,2 | 1,9 | 0,5

EMISSIONES DE GASES NOS ESTADOS UNIDOS

DIÓXIDO DE CARBONO
Bilhões de toneladas

6,1 | 9,4 | 2,3

FATOR CRÍTICO	2007	2050	AVANÇOS NECESSÁRIOS
Área	25,6 km ²	77 km ²	Políticas para desenvolvimento de grandes áreas públicas
Eficiência do módulo de películas finas	10%	14%	Materiais mais transparentes para melhorar a transmissão de luz; camadas mais densas de dopantes para aumentar a tensão; módulos maiores para reduzir a área inativa
Custo de instalação	US\$ 4/W	US\$ 1,20/W	Melhoria da eficiência dos módulos; ganhos no volume da produção
Preço da energia elétrica	US\$ 0,16/kWh	US\$ 0,05/kWh	Decorrente do baixo custo de instalação
Capacidade total	0,5 GW	2,940 GW	Plano nacional de energia construído com base em energia solar
Volume	0	0,6 trilhões de m ³	Coordenação de desenvolvimento do local com indústria de gás natural
Custo instalado	US\$ 5,80/W	US\$ 3,90/W	Economias de escala; redução gradual nos preços e energia elétrica fotovoltaica
Preço da energia elétrica	US\$ 0,20/kWh	US\$ 0,09/kWh	Decorrente do baixo custo de instalação
Capacidade total	0,1 GW	558 GW	Plano nacional de energia. Políticas para desenvolvimento de áreas públicas
Área	25,6 km ²	41 km ²	Políticas para desenvolvimento de grandes áreas públicas
Eficiência na conversão energia solar-elétrica	13%	17%	Fluidos que transferem calor com maior eficiência
Custo de instalação	US\$ 5,30/W	US\$ 3,70/W	Sistemas de armazenamento térmico com tanque único; economias de escala
Preço da energia elétrica	US\$ 0,18/kWh	US\$ 0,09/kWh	Decorrente do baixo custo de instalação
Capacidade total	0,5 GW	558 GW	Plano nacional de energia
Extensão	800 km	160 mil km a 800 mil km	Nova rede de alta tensão DC do sudoeste para o resto do país



Por volta de 2100 a energia renovável poderá gerar 100% da energia elétrica dos Estados Unidos e mais de 90% de sua energia total

A maior meta a ser atingida então, é aumentar a eficiência dos módulos para 14%. As células de telureto de cádmio do National Renewable Energy Laboratory (NREL), no Colorado, já chegaram a 16,5% e estão progredindo. Pelo menos, um fabricante, a First Solar, em Perrysburg, Ohio, aumentou a eficiência dos painéis de 6% para 10%, de 2005 a 2007, e deverá atingir 11,5% em 2010.

Cavernas Pressurizadas

O fator restritivo da energia solar, no entanto, é que ela gera pouca energia elétrica quando o céu está encoberto e nenhuma energia à noite. Então é preciso produzir um excesso de energia durante as horas de sol e armazená-la para ser utilizada à noite.

O armazenamento de energia na forma de ar comprimido surgiu como alternativa bem-sucedida. A energia elétrica das usinas fotovoltaicas bombeia o ar e o comprime dentro de estruturas ocultas no subsolo, como cavernas, minas abandonadas, aquíferos e poços de gás natural esgotados. O ar comprimido é liberado de acordo com as necessidades e move uma turbina que gera energia elétrica, auxiliado pela queima de pequenas quantidades de gás natural. Esse armazenamento vem sendo utilizado na Alemanha e no Alabama. As turbinas utilizam apenas 40% do gás natural que queimariam se fossem alimentadas apenas por essa fonte. Além disso, uma tecnologia mais efi-

ciente de recuperação do calor pode reduzir esse valor para 30%.

Estudos feitos pelo Electric Power Research Institute, na Califórnia, indicam que o custo do armazenamento de energia na forma de ar comprimido é hoje cerca de metade do representado por baterias ácidas de chumbo. Essas instalações trarão um custo adicional de US\$ 0,03 a US\$ 0,04 por kWh em relação à geração de energia fotovoltaica, elevando o custo total em 2020 para US\$ 0,08 a US\$ 0,09 por kWh.

A energia elétrica gerada em fazendas fotovoltaicas seria enviada através de linhas de transmissão de alta tensão para as instalações de armazenamento de ar comprimido distribuídas por todo o país, onde turbinas gerariam energia elétrica continuamente, durante o ano todo. O "xis" do problema está em encontrar os locais adequados. Mapeamentos feitos pela indústria de gás natural e pelo Electric Power Research Institute mostram que existem formações geológicas adequadas em 75% do país, quase sempre próximas de áreas metropolitanas. A indústria armazena 0,3 trilhão de m³ de gás em 400 reservatórios subterrâneos. Por volta de 2050, nosso projeto exigirá um armazenamento de 19,3 bilhões de m³, com ar comprimido a 77,3 kg/cm².

Sal Quente

Outra tecnologia que poderia fornecer talvez um quinto da energia solar é conhecida como energia



Fotovoltaicas

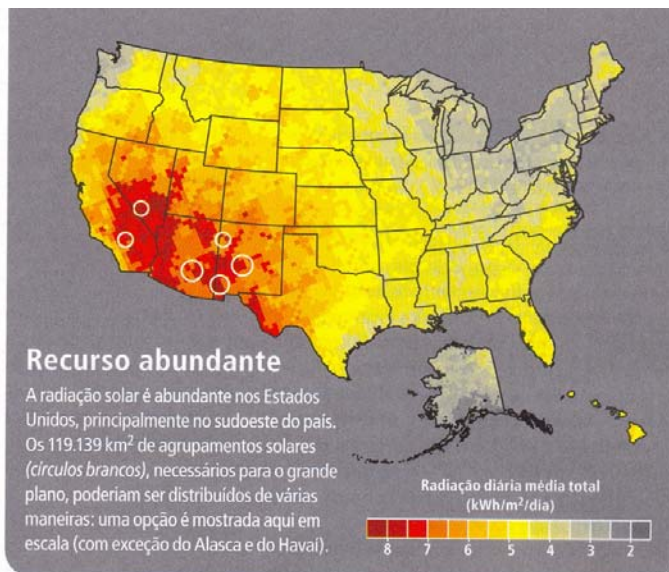
No plano de 2050, fazendas de células fotovoltaicas cobrirão 77 mil km² de terras do sudoeste americano. Elas serão semelhantes à usina de 4,6 MW da Tucson Electric Power Company, em Springerville, Arizona (*esquerda*). Nessas fazendas, as células fotovoltaicas são interligadas em um módulo e vários módulos formam um agrupamento (*direita*). A corrente contínua de cada agrupamento segue para um transformador que a envia através das linhas de alta tensão para a rede de energia. Em uma célula de película fina (*inserção*), os fótons que entram atingem elétrons livres da camada de telureto de cádmio; eles passam para a camada condutora superior e depois voltam para a camada anterior, gerando corrente.

solar concentrada: longos espelhos metálicos focalizam a luz solar em tubos por onde passa um fluido, aquecendo-o como uma enorme lente de aumento. O líquido aquecido passa através de um trocador de calor, produzindo vapor que faz a turbina girar.

Para o armazenamento da energia, a tubulação passa por um grande tanque termicamente isolado cheio de sal derretido, que mantém a eficiência térmica. O calor é extraído durante a noite, gerando vapor. No entanto, o sal derretido resfria lentamente, por isso a energia deve ser extraída em 24 horas.

Nove usinas de energia solar concentrada com capacidade total de 354 megawatts (MW) vêm gerando energia elétrica há anos nos Estados Unidos. Essas usinas, no entanto, não têm armazenamento de calor. A primeira instalação comercial a incorporá-la – uma usina de 50 MW com sete horas de armazenamento com sal derretido – está sendo construída na Espanha. Para o nosso projeto seria necessária uma capacidade de 16 horas de armazenamento, para a energia elétrica ser gerada continuamente.

Usinas existentes mostraram que a energia solar concentrada é prática, mas seus custos devem baixar. Em 2006, um relatório da Força Tarefa Solar da Associação de Western Governor concluiu que a energia solar concentrada poderia fornecer energia elétrica ao preço de US\$ 0,10 por kWh ou menos, em 2015, se forem construídas usinas de 4 GW. Se

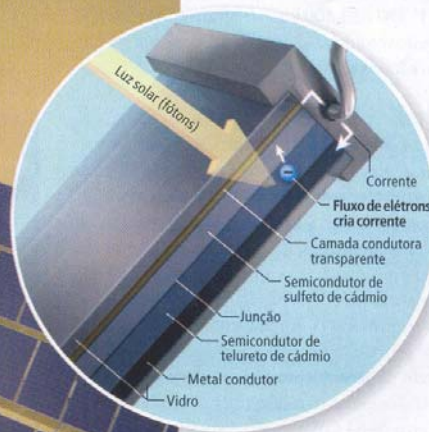
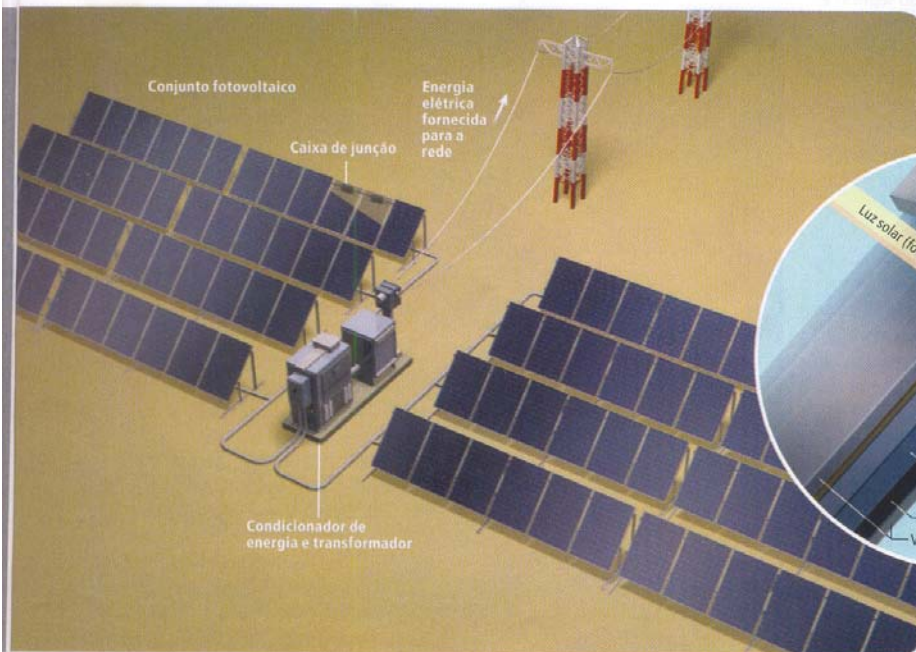


forem encontradas formas de elevar a temperatura dos fluidos do trocador de calor, a eficiência também aumentará. Os engenheiros estão pesquisando como usar o próprio sal derretido como o fluido de transferência de calor.

A energia solar concentrada e a fotovoltaica seguem dois caminhos tecnologicamente diferentes. Nenhuma dessas tecnologias foi completamente desenvolvida, por isso, nosso projeto prevê um avanço de grande escala por volta de 2020. É pos-

BENEFÍCIOS

- Redução na dependência do petróleo estrangeiro de 60% a 0%
- Relaxamento das tensões globais e contenção dos gastos militares
- Redução significativa do déficit comercial total
- Redução drástica nas emissões de gases de efeito estufa
- Aumento de empregos diretos



sível combinar várias tecnologias solares que podem evoluir para atender a demanda e serem economicamente viáveis.

Corrente Contínua, Outra Opção

Hoje, usinas a carvão, petróleo, gás natural e usinas nucleares se espalham por todo o país, construídas relativamente próximo dos locais onde a energia será consumida. A maior parte da geração de energia solar do país se concentraria no sudoeste. O sistema existente de linhas de transmissão de corrente alternada (AC) não é suficientemente robusto para transportar energia desses centros para todas as regiões do país. Uma nova rede de transmissão de alta tensão em corrente contínua (HVDC) teria de ser construída.

Estudos feitos pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge, no Tennessee, indicam que as linhas HVDC de longa distância perdem muito menos energia que as linhas AC com abrangência equivalente. As redes teriam de enviar energia de fazendas fotovoltaicas e de usinas de energia solar concentrada para todos os lados. As linhas terminariam em estações de conversão, onde a energia seria transformada em DC e enviada através das linhas de transmissão regionais já existentes.

A construção das linhas DC é mais barata e requer áreas menores que as linhas AC equivalentes. Cerca de 800 km de linhas HVDC funcionam nos Estados Unidos hoje e têm se mostrado seguras e eficientes. O Southwest Power Pool of Texas está projetando um sistema integrado de transmissões DC e AC que permitirá o desenvolvimento de 10 GW de energia eólica no oeste texano. E a Transcanada, Inc. está propondo uma linha de transmissão HVDC de 3.500 km para transportar energia eólica dos estados de Montana e Wyoming até Las Vegas e mais ao sul.

Primeiro Estágio, Até 2020

Antevemos dois estágios distintos do projeto. O primeiro, de agora até 2020, deve tornar a energia solar competitiva em um nível de produção em massa. Esse estágio vai exigir que o governo garanta 30 anos de empréstimos, que concorde em comprar a energia produzida e proporcione subsídios que suportem os preços. O pacote anual de ajuda financeira aumentaria continuamente de 2011 a 2020. Nesse período, as tecnologias solares estarão competindo de acordo com seus próprios méritos. O subsídio cumulativo totalizaria US\$ 420 bilhões.

Cerca de 84 GW estarão disponíveis em 2020, através de usinas de energia solar fotovoltaica e concentrada. Paralelamente, seria estabelecido o sistema de transmissão DC, que se expandiria

PONTOS CRUCIAIS

- Subsídios totalizando US\$ 420 bilhões até 2050
- Lideranças políticas necessárias para levantar os subsídios, possivelmente sobretaxando o carbono
- Novos sistemas lucrativos de transmissão elétrica em corrente contínua, construídos pela iniciativa privada

através dos corredores de uso reservado existentes ao longo das rodovias interestaduais, minimizando a aquisição de terras e as exigências das barreiras reguladoras. Essa rede atingiria os maiores mercados consumidores de Phoenix, Las Vegas, Los Angeles e San Diego a oeste, e San Antonio, Dallas, Houston, Nova Orleans, Birmingham, Alabama, Tampa, Flórida e Atlanta, a leste.

A construção de 1,5 GW de energia solar fotovoltaica e de 1,5 GW anual de energia concentrada, nos cinco primeiros anos, estimularia muitos fabricantes a aumentar sua produção. Nos cinco anos seguintes, a construção anual aumentaria para 5 GW para cada um desses tipos de energia, ajudando as companhias a otimizar as linhas de produção. Como resultado, a energia elétrica solar cairia para US\$ 0,06 por kWh. Esse cronograma de implementação é viável, uma vez que mais de 5 GW foram gerados por ano em usinas nucleares nos Estados Unidos, de 1972 a 1987. Além disso, os sistemas de energia solar podem ser produzidos e instalados muito mais rapidamente que as usinas convencionais de energia, devido à simplicidade do projeto e por causarem impactos ambientais e de segurança muito menos complicados.

Segundo Estágio, de 2020 a 2050

É imprescindível que os maiores incentivos aos mercados permaneçam em vigor até 2020, para que



POWERSOUTH ENERGY COOPERATIVE

possa se estabelecer um estágio de auto-sustentabilidade daí para frente. Ao estender nosso modelo de ação até 2050 estamos sendo conservadores. Não incluímos nenhuma melhoria tecnológica ou redução de preços além de 2020. Também admitimos que a demanda de energia deva crescer a uma taxa de 1% ao ano. Neste cenário, em 2050, as usinas de energia solar vão produzir 69% da energia elétrica e 35% da energia total consumida pelos americanos. Esses valores incluem o suficiente para suprir toda a energia elétrica consumida pelos 344 milhões de veículos híbridos recarregáveis, que irão dispensar sua contrapartida de gasolina, a chave para reduzir a dependência estrangeira do petróleo e para mitigar as emissões de gases de efeito estufa. Cerca de 3 milhões de novos empregos – principalmente na produção de componentes para as usinas – serão criados, o que representa várias vezes o número de empregos perdidos pela retração das indústrias de combustíveis fósseis.

A enorme redução no volume de petróleo importado reduziria os pagamentos da balança comercial em cerca de US\$ 300 bilhões por ano, considerando o barril de petróleo bruto ao preço de US\$ 60 (os preços médios em 2007 foram muito maiores). Uma vez instaladas, as usinas de energia solar precisarão de manutenção e reparos constantes, mas a luz solar é gratuita e inesgotável, acumulando a economia de combustíveis, ano após ano. Além disso, o inves-

timento solar aumentaria a segurança de energia nacional, reduziria os encargos financeiros militares e diminuiria significativamente os custos sociais da poluição e do aquecimento global, desde problemas de saúde até o desmoronamento de áreas costeiras e destruição de áreas agricultáveis.

• Ironicamente, o grande projeto solar reduziria o consumo de energia. Mesmo com taxa de crescimento na demanda de 1% ao ano, os 25 quatrilhões de quilocalorias consumidos em 2006 cairiam para 23,5 quatrilhões de quilocalorias por volta de 2050. Essa redução pode parecer estranha, mas ela deve ocorrer porque uma boa quantidade de energia é consumida para extrair e processar os combustíveis fósseis, e mais energia ainda é desperdiçada na queima e no controle de suas emissões.

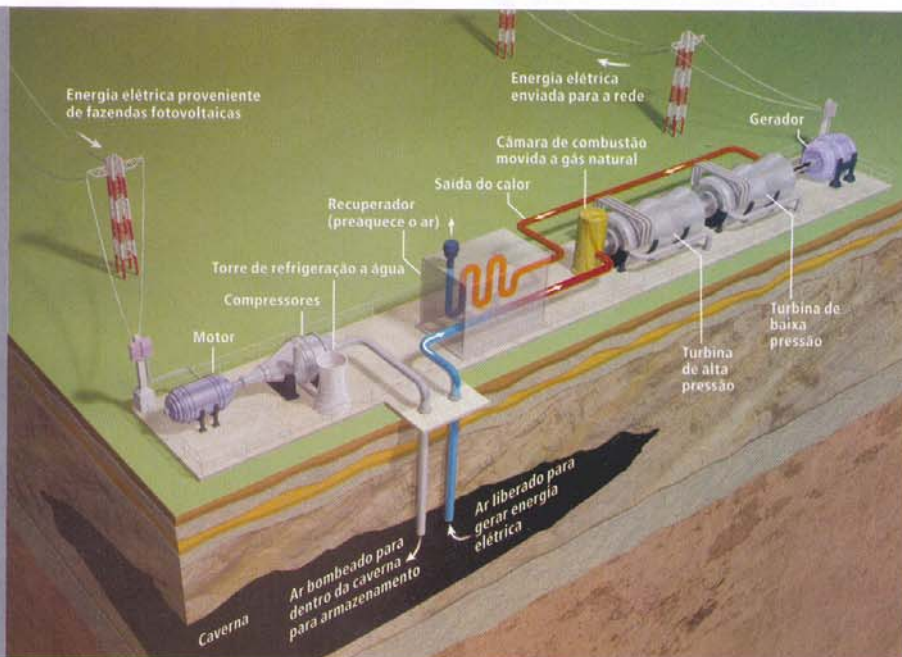
Para atingir a projeção de 2050 seria necessário dispor de uma área de 118 mil km² para as instalações de usinas de energia solar fotovoltaica e concentrada. Essa área é bem grande, ainda que represente somente 19% das terras aproveitáveis do sudoeste. A maior parte dessa área é improdutiva e não tem valor comercial. E o solo não será poluído. Admitimos que, em 2050, somente 10% da capacidade solar será de energia fotovoltaica esparsa – aquela instalada no telhado das casas ou em áreas comerciais espalhadas por todo o país. Mas como os preços caem em patamares à medida que a produção aumenta, a distribuição

[OS AUTORES]

Ken Zweibel, James Mason e Vasilis Fthenakis se encontraram há dez anos quando trabalhavam em estudos do ciclo de vida de células fotovoltaicas. Zweibel é presidente do PrimeStar Solar, em Golden, Colorado, e durante 15 anos foi administrador da parceria em película fina PV do Renewable Energy Laboratory. Mason é diretor da Solar Energy Campaign e do Hydrogen Research Institute em Farmingdale, Nova York. Fthenakis é chefe do Photovoltaic Environmental Research Center, do Brookhaven National Laboratory e é professor e diretor do Center for Life Cycle Analysis da Columbia University.

Armazenamento subterrâneo

O excesso de energia elétrica produzido durante o dia por fazendas fotovoltaicas é enviado via linhas de transmissão, para locais de armazenamento de energia na forma de ar comprimido. À noite, nesses locais, é gerada a energia para os consumidores. Essas tecnologias já estão disponíveis; a usina da Power South Electric Cooperative em McIntosh, Alabama (esquerda), está em funcionamento desde 1991 (o ar passa pelo tubo branco no subsolo). A energia elétrica aciona motores e compressores que comprimem o ar e o enviam para cavernas ocultas, minas e aquíferos (direita). Ao ser liberado, o ar é aquecido através da queima de gás natural; os gases quentes em expansão fazem girar as turbinas que geram energia elétrica



Embora US\$ 420 bilhões sejam uma cifra considerável, ela representa menos do que é investido no programa de subsídio ao preço agrícola dos Estados Unidos

de células fotovoltaicas deverá desempenhar papel preponderante.

Além de 2050

Ainda que não seja possível fazer previsões futuras precisas, construímos um cenário para 2100. Nessa época a projeção do pico de demanda de energia elétrica nos Estados Unidos deve exceder 5 trilhões de watts, ou 5 terawatts (TW).

Mais uma vez, fazendo uma projeção conservadora, estimamos qual seria a capacidade de uma usina solar, no pior caso histórico de condições de radiação solar para o sudoeste, que ocorreu em fins de 1982 e início de 1983, e em 1992 e 1993 após a erupção do monte Pinatubo, de acordo com os registros da National Solar Radiation Data Base de 1961 a 2005. E mais uma vez, nessa projeção também não consideramos nenhuma melhoria tecnológica ou de custo além das de 2020, mesmo sendo razoável esperar que em 80 anos as pesquisas deverão contribuir significativamente para melhorar a eficiência solar, seus custos e armazenamento.

Para essas condições a demanda de energia dos Estados Unidos seria satisfeita com as seguintes capacidades: 2,9 terawatts (TW) de energia fotovoltaica enviada diretamente para a rede e outros 7,5 TW dedicados ao armazenamento de ar comprimido; 2,3 TW de usinas de energia solar concentrada; e 1,3 TW de instalações fotovoltaicas esparsas. O

fornecimento seria completado com 1 TW de fazendas eólicas, 0,2 TW de usinas geotérmicas e 0,25 TW de combustíveis produzidos a partir de biomassa. O modelo inclui 0,5 TW de bombeamento de calor geotérmico para aquecimento e resfriamento direto do edifício. Esses sistemas solares ocupariam 195 mil acres, área bem menor que aquela disponível no sudoeste americano.

Em 2100 esse portfólio renovável poderia gerar 100% de toda a energia elétrica e mais de 90% da energia total consumida pelos Estados Unidos. Na primavera e no verão, a estrutura solar produziria hidrogênio suficiente para prover mais de 90% de toda a demanda de transporte de combustível e substituiria o pequeno fornecimento de gás natural usado para auxiliar as turbinas de ar comprimido. Um acréscimo de mais 182 bilhões de litros de biocombustível seria suficiente para cobrir o restante do transporte de energia. As emissões de dióxido de carbono vinculadas à energia seriam 92% menores que os níveis de 2005.

Quem Paga a Conta

Nosso plano energético não implica austeridade, porque inclui um incremento anual de 1% na demanda, o que representa a manutenção de um estilo de vida semelhante ao de hoje, porém com maior eficiência na geração e utilização da energia. Talvez a maior questão seja como pagar essa refor-



Energia solar concentrada

Grandes usinas de energia solar concentrada complementarão as fazendas fotovoltaicas. A usina de Kramer Junction, no deserto de Mojave, na Califórnia (esquerda), usando tecnologia da Solel, em Belt Shemesh, Israel, opera desde 1989. Espelhos parabólicos metálicos focalizam a luz solar em um tubo, por onde flui etileno-glicol, aquecendo-o (direita). Os espelhos se deslocam para acompanhar o Sol. Os tubos aquecidos circulam por um segundo circuito dentro de um trocador de calor que contém água, transformando-a no vapor que move a turbina. As usinas futuras também poderão fazer o fluido aquecido escoar através de um tanque de contenção, aquecendo sal derretido; esse reservatório retém o calor que seria retirado à noite pelo trocador.

mulação da infra-estrutura energética do país, ao custo de US\$ 420 bilhões. Uma das idéias mais comuns é a da taxa do carbono. A International Energy Agency sugere que seria necessário cobrar uma taxa de US\$ 40 a US\$ 90 por tonelada de carbono, para induzir os produtores de energia elétrica a adotar sistemas de seqüestro de carbono e de armazenamento que reduzam as emissões de dióxido de carbono. Essa taxa equivale a aumentar o preço da energia elétrica de US\$ 0,01 para US\$ 0,02 por kWh. Mas nosso projeto não é tão caro. Os US\$ 420 bilhões poderiam ser gerados pela cobrança de uma taxa de carbono de US\$ 0,05 por kWh. Considerando que o preço da energia elétrica oscila hoje entre US\$ 0,06 e US\$ 0,10 por kWh, o aumento de US\$ 0,05 por kWh parece razoável.

O Congresso americano poderia estabelecer os incentivos econômicos adotando um plano de energia renovável de âmbito nacional. Considere o Programa de Apoio aos Preços Agrícolas dos Estados Unidos, que têm sido justificado por garantir segurança nacional. Um programa de apoio aos preços de energia solar iria assegurar o futuro energético da nação, vital para a saúde a longo prazo do país. Os subsídios seriam gradativamente reduzidos de 2011 a 2020. Com um prazo de pagamento padrão de 30 anos, os subsídios terminariam de 2041 a 2050. As empresas de transmissão de HVDC não precisariam ser subsidiadas, pois financiariam a

PARA CONHECER MAIS

The terawatt challenge for thin film photovoltaic. Ken Zweibel, em *Thin Film Solar Cells: Fabrication, Characterization and Applications*. Editado por Jeff Poortmans e Vladimir Archipov. John Wiley & Sons, 2005.

Estimates of maximum underground working gas storage capacity in the United States. W. Trapmann. Energy Information Administration, Office of Oil and Gas, setembro 2006.

Energy autonomy: the economic, social and technological case for renewable energy. Hermann Scheer. Earthscan Publications, 2007.

The National Solar Radiation Data Base. National Renewable Energy Laboratory, 2007. http://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb

The U.S. Department of Energy Solar America Initiative: www1.eere.energy.gov/solar/

construção das linhas e das estações de conversão exatamente como financiam hoje as linhas AC.

Embora US\$ 420 bilhões sejam uma quantia considerável, o custo anual seria inferior ao do atual programa americano de apoio ao preço agrícola. É menor também que a taxa de subsídio arrecadada para construir a infra-estrutura de telecomunicações de alta velocidade. E ela isenta os Estados Unidos das políticas e assuntos orçamentários decorrentes dos conflitos energéticos internacionais.

Sem subsídios, o grande projeto solar é inviável. Embora o investimento seja alto, é importante lembrar que a fonte de energia, a luz solar, é livre de ônus. Não há custos anuais para o controle do combustível e da poluição como no caso da energia produzida à custa de carvão, petróleo ou energia nuclear. Há somente o pequeno custo do gás natural necessário para acionar os sistemas de ar comprimido, embora esse gás natural também possa ser substituído por hidrogênio ou biocombustíveis. Quando todas as economias de combustível são computadas, o custo da energia solar poderá ser considerado como uma pechincha nas próximas décadas. Mas não podemos esperar até lá para redimensionar a produção de componentes.

Os críticos têm mostrado certa inquietação sobre outros aspectos, por exemplo, sobre como as restrições materiais poderiam reprimir uma instalação de larga escala. Se o desenvolvimento for muito rápido é possível que haja escassez temporária de alguns materiais. Mas existem vários tipos de células que empregam diferentes combinações de produtos. Aprimorar o processamento e a reciclagem também ajudará a reduzir a quantidade de materiais necessária para construir as células. As velhas células poderão ser amplamente recicladas em novas células, mudando o paradigma de geração de energia de combustíveis esgotáveis, para materiais recicláveis.

No entanto, o maior obstáculo para implementar o sistema de energia renovável dos Estados Unidos não é nem tecnológico nem de recursos financeiros. É a falta de percepção de que a energia solar é uma alternativa prática – e pode ser perfeitamente utilizada no transporte. Algumas pessoas que conseguem enxergar um futuro mais distante estão tentando alertar os cidadãos americanos e seus líderes políticos e científicos sobre o extraordinário potencial da energia solar. No momento em que os americanos se derem conta desse potencial, acreditamos que a possibilidade de dispor de uma fonte de energia auto-sustentada e a necessidade de reduzir as emissões de dióxido de carbono deverão encorajá-los a adotar um plano solar nacional. ■

DOW FOLEY

