

Eletricidade solar no Brasil

RICARDO RÜTHER

INTRODUÇÃO

■ Através do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não-poluente e renovável. Este artigo descreve as mais recentes e promissoras aplicações da tecnologia fotovoltaica no Brasil: a construção de usinas solares fotovoltaicas para a geração de eletricidade de forma centralizada e a integração de módulos solares nas edificações, de forma descentralizada e com interligação da instalação geradora à rede elétrica nos assim chamados edifícios solares fotovoltaicos.

Uma característica fundamental de sistemas fotovoltaicos instalados no meio urbano é principalmente a possibilidade de interligação à rede elétrica pública, dispensando assim os bancos de baterias necessários em sistemas do tipo autônomo e os elevados custos e manutenção decorrentes.

Na configuração mais comum, estes sistemas são instalados de tal maneira que, quando o gerador solar fornece mais energia do que a necessária para o atendimento da instalação consumidora, o excesso é injetado na rede elétrica: a instalação consumidora acumula um crédito energético (o medidor é bidirecional e neste caso anda para trás). Por outro lado, quando o sistema solar gera menos energia do que a demandada pela instalação consumidora, o déficit é suprido pela rede elétrica. Perdas por transmissão e distribuição, comuns ao sistema tradicional de geração centralizada, são assim minimizados. Outra vantagem destes sistemas é o fato de representarem usinas descentralizadas que não ocupam área extra, pois estão integradas ao envelope da edificação.

Diariamente incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade

através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais elegantes formas de gerar potência elétrica.

Desde o surgimento das primeiras células solares fotovoltaicas, de elevado custo e utilizadas na geração de energia elétrica para os satélites que orbitam nosso planeta, as tecnologias de produção evoluíram a tal ponto que se tornou economicamente viável em muitos casos a sua utilização em aplicações terrestres, no fornecimento de energia elétrica a locais até onde a rede elétrica pública não foi estendida. Tais sistemas, ditos remotos ou autônomos (figura 1a), necessitam quase sempre de um meio de acumulação da energia gerada, normalmente um banco de baterias, para suprir a demanda em períodos quando a geração solar é insuficiente ou à noite. Mais recentemente, sistemas solares fotovoltaicos vêm sendo utilizados de forma interligada à rede elétrica pública, como usinas geradoras em paralelo às grandes centrais geradoras elétricas convencionais. Desta forma fica dispensado o sistema acumulador (baterias), seu elevado custo e manutenção envolvidos, já que a “bateria” da instalação solar fotovoltaica interligada à rede elétrica é a própria rede elétrica.

Instalações solares fotovoltaicas interligadas à rede elétrica pública podem apresentar duas configurações distintas: podem ser instaladas (i) de forma integrada a uma edificação (*e.g.* no telhado ou fachada de um prédio, como mostra a figura 1b, e portanto junto ao ponto de consumo); ou (ii) de forma centralizada como em uma usina central geradora convencional, neste caso normalmente a certa distância do ponto de consumo como mostra a figura 1c. Neste último caso existe, como na geração centralizada convencional, a necessidade dos complexos sistemas de transmissão e distribuição (T&D) tradicionais e dos custos envolvidos. Entre as vantagens deste tipo de instalação se pode destacar: (i) não requer área extra e pode portanto ser utilizada no meio urbano, próximo ao ponto de consumo, o que leva a (ii) eliminar perdas por T&D da energia elétrica como ocorre com usinas geradoras centralizadas, além de (iii) não requerer instalações de infraestrutura adicionais; os módulos solares fotovoltaicos podem ser também (iv) considerados como um material de revestimento arquitetônico (redução de custos), dando à edificação uma (v) aparência estética inovadora e *high tech* além de trazer uma (vi) imagem ecológica associada ao projeto, já que produz energia limpa e de fonte virtualmente inesgotável.

Desde o início de sua comercialização, a energia elétrica tem sido fornecida aos consumidores residenciais, comerciais e industriais através de usinas geradoras centralizadas e complexos sistemas de T&D. Boa parte dos novos sistemas de geração serão distribuídos, ou seja, serão conectados diretamente ao sistema de

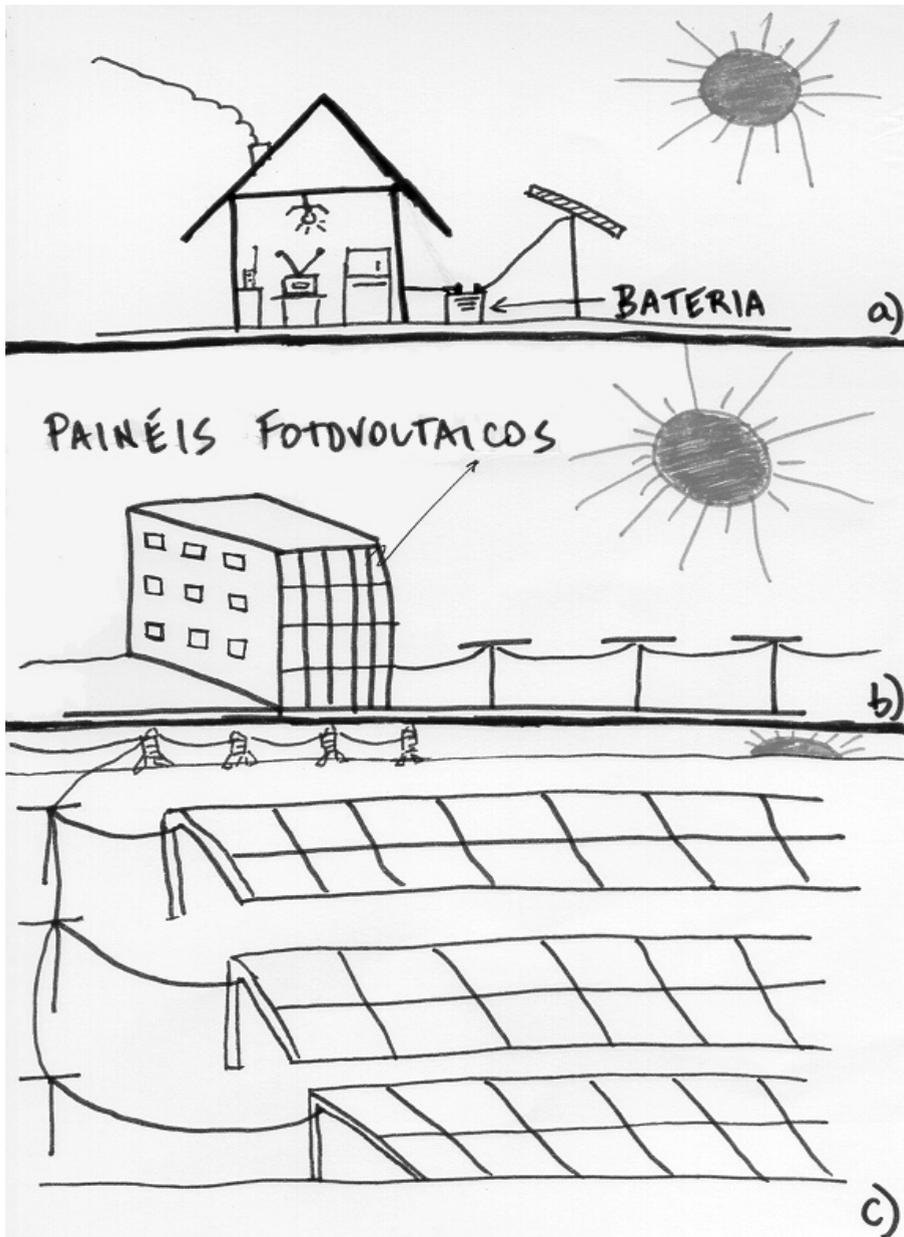


FIGURA 1. Exemplos de sistemas solares fotovoltaicos do tipo (a) isolado ou autônomo, (b) descentralizado, integrado à edificação urbana e interligado à rede elétrica convencional e (c) centralizado, interligado à rede elétrica convencional.

distribuição secundário. Todas as usinas geradoras convencionais têm problemas inerentes, tais como poluição (*e.g.* usinas termelétricas e óleo ou carvão), dependência de fornecimento de combustível (*e.g.* óleo, carvão, urânio) ou oposição do público quanto à sua construção e operação (*e.g.* usinas nucleares, térmicas a carvão e também hidrelétricas). Além disto, usinas geradoras centralizadas deixam um grande número de consumidores vulneráveis a *blackouts* elétricos. A energia solar fotovoltaica distribuída elimina vários destes problemas. Sistemas fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e interligados à rede elétrica pública, como ilustrado pela figura 1b, são a mais recente tendência nesta área e se justificam porque tanto o recurso energético solar como a demanda energética em edificações urbanas têm caráter distribuído.

GERADORES SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS A EDIFICAÇÕES

■ No Brasil, mais de 40% da energia elétrica consumida é utilizada por edificações residenciais, comerciais e públicas. Em grandes centros urbanos, em edifícios comerciais e públicos, o ar condicionado é responsável por 50% do consumo de energia elétrica no verão, chegando a 70% para edifícios envidraçados.

Módulos solares fotovoltaicos são projetados e fabricados para serem utilizados em ambiente externo, sob sol, chuva e outros agentes climáticos, devendo operar satisfatoriamente nestas condições por períodos de 30 anos ou mais. Assim sendo, são apropriados à integração ao envoltório de edificações. Sistemas solares fotovoltaicos integrados ao envelope da construção podem ter a dupla função de gerar eletricidade e funcionar como elemento arquitetônico na cobertura de telhados, paredes, fachadas ou janelas. Para tanto a indústria fotovoltaica vem desenvolvendo uma série de produtos dirigidos à aplicação ao entorno construído, tendo lançado comercialmente módulos fotovoltaicos de aço inoxidável (sob a forma de um rolo flexível, revestido por resina plástica, com superfície posterior autocolante) e de vidro sem moldura, que podem ser instalados diretamente como material de revestimento de fachadas ou telhados, e até mesmo telhas de vidro onde os painéis fotovoltaicos estão diretamente integrados.

Do ponto de vista da eficiência energética estes sistemas podem ser considerados bastante ideais, visto que geração e consumo de energia têm coincidência espacial, minimizando assim as perdas por transmissão comuns aos sistemas

geradores centrais tradicionais. Dependendo do perfil de consumo pode ocorrer também muitas vezes uma coincidência temporal com a geração solar, como no caso da demanda por condicionadores de ar, em que a coincidência é perfeita (a potência elétrica demandada por aparelhos de ar-condicionado é máxima quando a insolação é máxima).

Por serem conectados à rede elétrica pública, estas instalações dispensam os sistemas acumuladores de energia (bancos de baterias) normalmente utilizados em instalações solares fotovoltaicas do tipo isolada ou autônoma (figura 1a), reduzindo assim consideravelmente o custo total da instalação (da ordem de 30% do custo total do sistema para sistemas com acumulação) e dispensando a manutenção e reposição requeridas por um banco de baterias. Além disso, por poderem contar com a rede elétrica pública como *back up* quando a demanda excede a geração, não há a necessidade de superdimensionamento do sistema para atendimento da demanda energética sob períodos prolongados de baixa incidência solar, como é o caso em sistemas isolados ou autônomos, onde o dimensionamento do sistema deve levar em consideração o pior caso de oferta solar e a sazonalidade que ocorre na maioria das regiões do globo, do que decorre que para alguns períodos do ano o sistema autônomo frequentemente estará superdimensionado, o que eleva os custos da instalação.

Do ponto de vista de instalações elétricas e da construção civil, as tecnologias necessárias à incorporação de painéis solares fotovoltaicos a projetos de construção convencional já são bem estabelecidas (a utilização de painéis de vidro em fachadas e coberturas é uma prática comum no setor da construção). A conexão elétrica dos módulos fotovoltaicos à rede e os dispositivos periféricos necessários à interconexão são comercialmente disponíveis no mercado, que oferece todos estes periféricos para qualquer tipo de configuração ou porte de instalação.

A figura 2 mostra a integração solar fotovoltaica e térmica na Casa Eficiente Eletrosul (<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>), exemplo de uma residência unifamiliar com módulos solares fotovoltaicos integrados na parte central do telhado e coletores térmicos para o fornecimento de água aquecida por energia solar térmica.

Módulos solares fotovoltaicos são inerentemente mais versáteis do que outros tipos de coletores solares para aquecimento de ar ou água (fios e cabos elétricos são inerentemente mais simples de instalar do que uma tubulação). Este fato, aliado ao potencial baixo custo, possibilita o seu uso como um material de construção com a vantagem adicional de ser um gerador elétrico.

FIGURA 2. A Casa Eficiente da Eletrosul, em Florianópolis-SC é um exemplo de uma residência unifamiliar com integração de um gerador solar fotovoltaico na área central do telhado e coletores solares térmicos para a produção de água quente (<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>).



Pelo conceito de sincronicidade, em que geração e consumo ocorrem simultaneamente, a energia elétrica gerada em alguns períodos do dia tem um valor maior para a concessionária elétrica do que em outros períodos em que a demanda não é crítica. O mais óbvio exemplo disto é o caso da demanda de energia por aparelhos de ar-condicionado em períodos de elevada incidência solar (e portando geração de energia solar). Por esta razão, instalações solares fotovoltaicas integradas a prédios comerciais de escritórios e interligadas à rede elétrica pública são um exemplo de aplicação ideal destes sistemas, onde picos de consumo e geração são muitas vezes coincidentes, aliviando assim o sistema de distribuição da concessionária elétrica. Isto acarreta não somente uma economia de energia, mas também o aumento da vida útil de transformadores e outros componentes do sistema de distribuição. Contribui também para a diminuição do risco de *blackouts* energéticos em função da sobrecarga do sistema de T&D em períodos de calor intenso. A figura 3 mostra o edifício sede da empresa Eletrosul Centrais Elétricas em Florianópolis-SC, no qual um gerador de 1 MW de potência foi integrado à cobertura do edifício e na cobertura dos estacionamentos espalhados ao redor da edificação.

FIGURA 3. A cobertura do Edifício Sede da Eletrosul e os estacionamentos solares ao redor da mesma edificação em Florianópolis-SC, com uma potência instalada total de 1 MW, são exemplos da utilização da geração solar de maior porte em prédios públicos e comerciais no Brasil (<http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=1150>).



A modularidade de sistemas solares fotovoltaicos permite que sejam instalados de forma distribuída para dar reforço à rede em pontos selecionados, estratégia que vem sendo utilizada com sucesso em muitos países e que terá um papel importante no Brasil nos próximos anos. As figuras 4 e 5 mostram outro exemplo da integração de geradores solares a edificações urbanas em estádios de futebol, que normalmente apresentam grandes áreas disponíveis para a integração de módulos solares fotovoltaicos e frequentemente são construídos em um contexto urbano ao redor do qual se encontram edificações residenciais, comerciais e públicas. O Estádio do Pituacu em Salvador-BA (http://www.americadosol.org/pituacu_solar/) apresenta um conjunto de módulos solares fotovoltaicos integrados sobre a cobertura da arquibancada, estacionamento da tribuna de honra e vestiários, com uma potência instalada de cerca de 400 kW e o gerador solar do estádio do Mineirão em Belo Horizonte-MG (<http://www.americadosol.org/mineirao-solar/>), tem uma potência instalada de pouco mais de 1.400 kW.

FIGURA 3: O Estádio do Pituacu Solar em Salvador-BA foi o primeiro estádio de futebol do Brasil a receber a integração de um gerador solar fotovoltaico (400 kW) na cobertura das arquibancadas, do estacionamento da tribuna de honra e dos vestiários (http://www.americadosol.org/pituacu_solar/).



FIGURA 4: O Estádio do Mineirão Solar em Belo Horizonte-MG é o maior estádio de futebol do Brasil com integração solar fotovoltaica (1.400 kW) na cobertura das arquibancadas (<http://www.americadosol.org/mineirao-solar/>).



Este artigo demonstra sistemas solares fotovoltaicos como geradores de potência elétrica integrados ao ambiente urbano. Os benefícios, tanto econômicos quanto ecológicos, da aplicação da energia solar fotovoltaica no entorno construído não estão, no entanto, completamente estabelecidos. Existe a necessidade de demonstrar que a integração de instalações solares fotovoltaicas ao entorno construído é muito mais que simplesmente uma boa ideia; ela pode também trazer grandes benefícios ao usuário, ao sistema elétrico nacional e à sociedade. Mais informações sobre as aplicações desta tecnologia no ambiente construído podem ser obtidas através do projeto América do Sol (<http://www.americadosol.org>) do Instituto IDEAL (<http://institutoideal.org>) e do Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://fotovoltaica.ufsc.br>), que estão ativamente envolvidos na disseminação da informação e na pesquisa e desenvolvimento desta tecnologia no Brasil. O Guia de Microgeradores Fotovoltaicos, publicação que pode ser encontrada no sítio <http://www.americadosol.org/guia-de-microgeradores-fotovoltaicos/>, traz o passo-a-passo para quem tem interesse em adotar esta tecnologia e instalar um telhado solar fotovoltaico residencial, comercial ou industrial.

FIGURA 5: Capa do Guia de Microgeradores Fotovoltaicos, publicado pelo Instituto IDEAL e disponível em <http://www.americadosol.org/guia-de-microgeradores-fotovoltaicos/>



USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS NO BRASIL

■ A geração solar fotovoltaica centralizada em usinas da ordem de alguns megawatts até dezenas a centenas de MW é uma aplicação que só recentemente começou a se desenvolver no Brasil, principalmente impulsionada pela forte redução de custos experimentada pela tecnologia. Ao contrário da integração urbana dos geradores fotovoltaicos em edificações, onde o preço da geração solar deve ser comparado com a tarifa que o consumidor final paga para a sua distribuidora, uma usina solar fotovoltaica centralizada tem que competir com o preço de geração centralizada das fontes convencionais de produção de eletricidade no Brasil, onde os custos são muito menores no presente do que o custo da geração solar. No entanto, reconhecendo o potencial de redução de custos da tecnologia solar fotovoltaica e da importância em diversificar a matriz de geração de eletricidade no Brasil, o governo brasileiro começa a dar sinais de apoio a esta fonte renovável através do estímulo à pesquisa científica e tecnológica, como mostra a figura 5, onde três tecnologias fotovoltaicas distintas vêm sendo avaliadas em um projeto de pesquisa e desenvolvimento fomentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL através da Chamada 013/2011 de projetos de P&D, no qual a empresa Tractebel Energia e a Universidade Federal de Santa Catarina desenvolveram a usina Cidade Azul, de 3 MW de potência.

No contexto deste mesmo projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, estão sendo avaliadas sete tecnologias solares fotovoltaicas comercialmente disponíveis, em oito climas distintos do Brasil, de formas a avaliar qual a tecnologia mais apropriada para cada clima. A figura 7 mostra um destes Módulos de Avaliação.

O Brasil apresenta um dos maiores potenciais para a aplicação da tecnologia solar do planeta. Seja na forma de telhados solares fotovoltaicos dispersos, ou em usinas solares fotovoltaicas centralizadas, a geração de eletricidade solar no Brasil deve passar a compor a matriz elétrica brasileira nos próximos anos de forma cada vez mais expressiva. As oportunidades que esta tecnologia apresenta na criação de empregos e na utilização de uma fonte renovável e de baixo impacto ambiental não podem deixar de ser aproveitadas em um país no qual o consumo de eletricidade cresce ano a ano a taxas próximas de 5%. A matriz elétrica brasileira é predominantemente de base hídrica e existe grande complementaridade entre a disponibilidade de sol para a geração fotovoltaica e água para a geração hidrelétrica. Neste sentido, a geração solar fotovoltaica pode ser considerada também como uma medida de conservação de energia, uma vez

FIGURA 6. Imagem aérea da Usina Cidade Azul, de 3 MW de potência e instalada em Tubarão-SC, construída no contexto da Chamada 013/2011 de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL pela Tractebel Energia e Universidade Federal de Santa Catarina (<http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/usinas-complementares/solar-cidade-azul>).



FIGURA 7. Imagem aérea de um dos oito Módulos de Avaliação do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, construído no contexto da Chamada 013/2011 de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL pela Tractebel Energia e Universidade Federal de Santa Catarina (<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/>).



que os geradores solares espalhados pelos telhados de todo o país podem contribuir para economizar água nas barragens das usinas hidrelétricas, aumentando a robustez e confiabilidade do sistema elétrico nacional.

RICARDO RÜTHER · Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Universitário Trindade. Caixa Postal 476, Florianópolis-SC. 88040-900. ricardo.ruther@ufsc.br