

# EDIFÍCIOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Ricardo Rüter

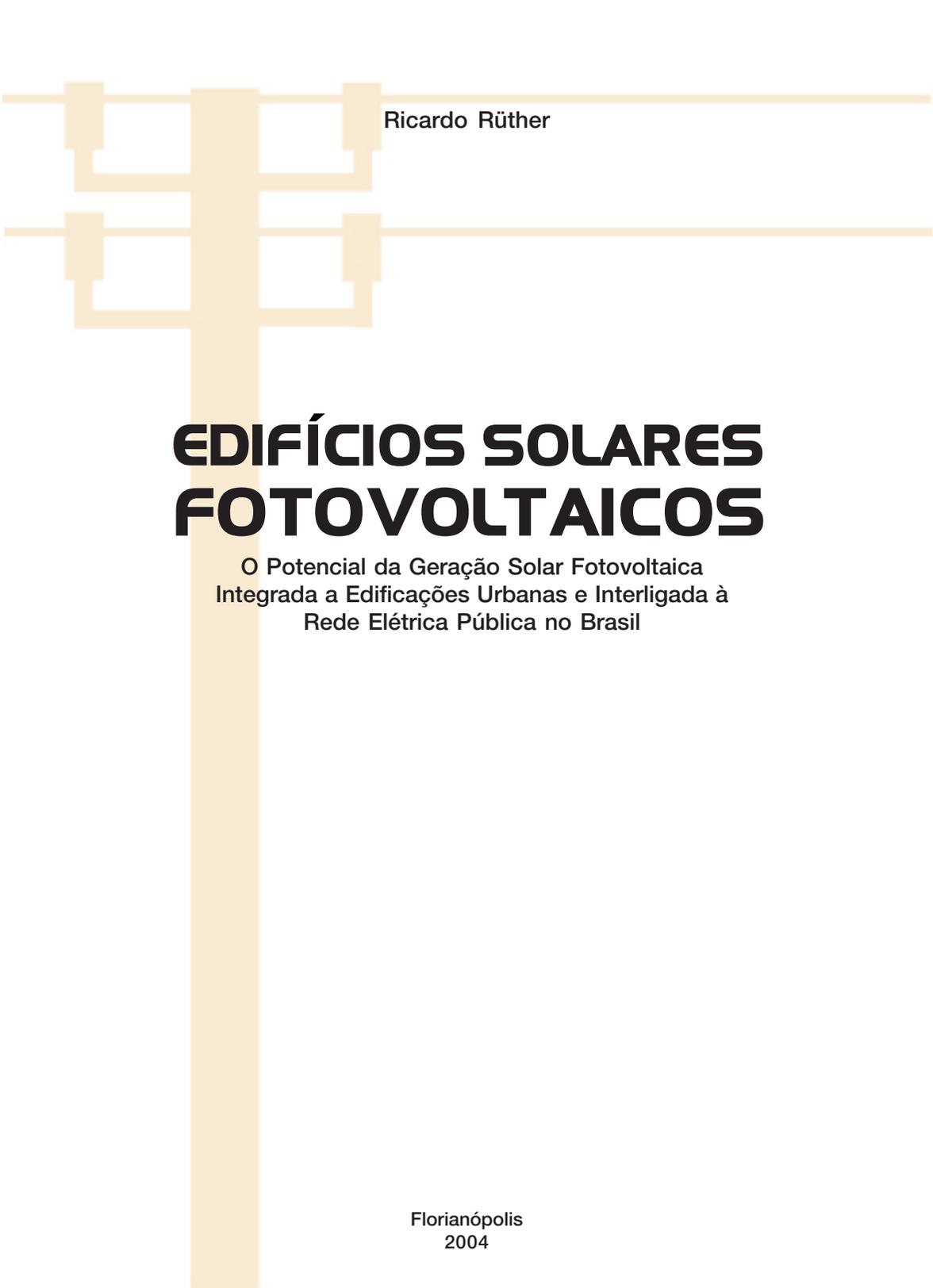


O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil



# **EDIFÍCIOS SOLARES FOTOVOLTAICOS**





Ricardo Rüther

# **EDIFÍCIOS SOLARES FOTOVOLTAICOS**

O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica  
Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à  
Rede Elétrica Pública no Brasil

Florianópolis  
2004

---

Copyright© 2004 UFSC / LABSOLAR

Todos os direitos reservados pela  
Editora UFSC / LABSOLAR, 2004

1ª edição - 2004

*É proibida a reprodução total ou parcial por  
quaisquer meios sem autorização por escrito da  
editora.*

Capa e Projeto Gráfico  
**Amanda Maykot**

Revisão  
**Alexandre de Albuquerque Montenegro**

Impresso no Brasil

---

R974e Rüter, Ricardo  
Edifícios solares fotovoltaicos : o potencial da geração solar  
fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede  
elétrica pública no Brasil / Ricardo Rüter. – Florianópolis :  
LABSOLAR, 2004.  
114 p. : il.

Inclui bibliografia  
ISBN 85-87583-04-2

1. Conversão fotovoltaica de energia. 2. Energia elétrica –  
Edifícios. 3. Energia solar. 4. Recursos energéticos – Brasil.  
5. Energia renovável. 6. Geração descentralizada. I.Título.

CDU:621.47

Catálogo na publicação por: Onélia Silva Guimarães CRB-14/071

---



**Editora UFSC / LABSOLAR**

Laboratório de Energia Solar  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Depto. de Engenharia Mecânica  
Bloco A - 3º andar  
Campus universitário Trindade  
88040-900 Florianópolis - SC - Brasil  
Tel: (48) 331-9379  
<http://www.labsolar.ufsc.br>  
[ruther@mbox1.ufsc.br](mailto:ruther@mbox1.ufsc.br)

# Índice

<b>Prefácio</b>	<b>07</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>08</b>
<b>2. Sistemas solares fotovoltaicos no entorno construído</b>	<b>11</b>
<b>3. Componentes de um sistema solar fotovoltaico integrado a uma edificação urbana e interligado à rede elétrica</b>	<b>16</b>
<b>4. Legislação em vigor e normas ABNT</b>	<b>18</b>
<b>5. Módulo solar fotovoltaico</b>	<b>20</b>
5.1. Tecnologias fotovoltaicas comercialmente disponíveis	20
5.1.1. Silício cristalino (c-Si)	22
5.1.2. Silício amorfo hidrogenado (a-Si)	24
5.1.3. Telureto de cádmio (CdTe)	26
5.1.4. Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS)	27
<b>6. Rendimento do gerador fotovoltaico</b>	<b>28</b>
<b>7. Sistema inversor ou conversor CC – CA</b>	<b>30</b>
7.1. Eficiência	31
7.2. Segurança (fenômeno <i>islanding</i> )	32
7.3. Qualidade da energia gerada	32
7.4. Compatibilidade com o arranjo fotovoltaico	32
7.5. Outras características	33
<b>8. Aterramento</b>	<b>34</b>

<b>9. Segurança das instalações</b>	<b>35</b>
<b>10. Conexão elétrica dos módulos solares fotovoltaicos</b>	<b>36</b>
<b>11. Conexão elétrica do gerador fotovoltaico à rede convencional</b>	<b>39</b>
11.1. Medidores de energia	39
11.2. Instalação elétrica	40
<b>12. Custos</b>	<b>42</b>
<b>13. Vantagens para o sistema elétrico</b>	<b>45</b>
13.1. Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC) de sistemas solares fotovoltaicos	46
<b>14. Edifícios solares fotovoltaicos no Brasil</b>	<b>48</b>
<b>15. Exemplos de outros edifícios solares fotovoltaicos</b>	<b>58</b>
15.1. Instalações residenciais	58
15.2. Instalações comerciais	61
15.3. Instalações industriais	65
<b>16. Atlas Solarimétrico do Brasil e Atlas Fotovoltaico do Brasil</b>	<b>67</b>
<b>17. Potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil</b>	<b>76</b>
<b>18. Conclusões</b>	<b>78</b>
<b>Agradecimentos</b>	<b>81</b>
<b>Referências bibliográficas</b>	<b>82</b>
Anexo I: Resolução ANEEL 112, de 18 de maio de 1999	89
Anexo II: Mapas sazonais do Atlas Solarimétrico do Brasil	101
Anexo III: Sites da Internet com informações adicionais relativas aos Edifícios Solares Fotovoltaicos e outras Fontes Renováveis de Energias	107

# Prefácio

Através do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não-poluente e renovável. Este livro descreve uma das mais recentes e promissoras aplicações da tecnologia fotovoltaica: a integração de painéis solares ao entorno construído, de forma descentralizada e com interligação da instalação geradora à rede elétrica.

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 relógio contador típico 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.

O livro descreve os tipos de módulos fotovoltaicos comercialmente disponíveis, os circuitos elétricos e os dispositivos de medição e proteção envolvidos em tais instalações, além de apresentar exemplos de sistemas deste tipo no Brasil e no mundo.

## 1.

# Introdução

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<sup>1</sup>. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico<sup>2</sup> 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

<sup>1</sup> O Sol pode ser considerado como um reator a fusão nuclear operando a cerca de 100.000.000°C, a uma distância média da terra de cerca de 150.000.000km.

**A constante solar:** No topo da atmosfera a radiação solar é reduzida a 1353W/m<sup>2</sup>; esta constante é chamada constante solar ( $G_{\text{extraterrestre}}$  ou  $G_{\text{AMO}}$ ). Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar sofre atenuação por absorção por O<sub>3</sub> (UV), H<sub>2</sub>O (IR) e CO<sub>2</sub> (IR) e espalhamento pelo Ar, vapor d'água e poeira. Assim, a intensidade de radiação que chega à superfície da terra ao meio-dia é da ordem de 1000W/m<sup>2</sup>, também denominada 1 SOL.

**O fluxo solar e a demanda energética da terra:** O fluxo solar, energia radiante ou potência instantânea total que incide sobre a terra é da ordem de 1,75 x 10<sup>17</sup> W (raio da terra = 6,4 x 10<sup>6</sup>m; área da seção reta da terra = 1,3 x 10<sup>14</sup>m<sup>2</sup>;  $G_{\text{AMO}} = 1,353\text{W/m}^2$ ). Por outro lado, a demanda energética mundial é da ordem de 3,4 x 10<sup>9</sup>Wh/ano. Assim, podemos calcular o tempo necessário para que incida sobre a terra uma quantidade de energia solar equivalente à demanda energética mundial anual:  $t = (3,4 \times 10^{15} \times 60) / 1,75 \times 10^{17} = \sim 12 \text{ minutos}!!!!$

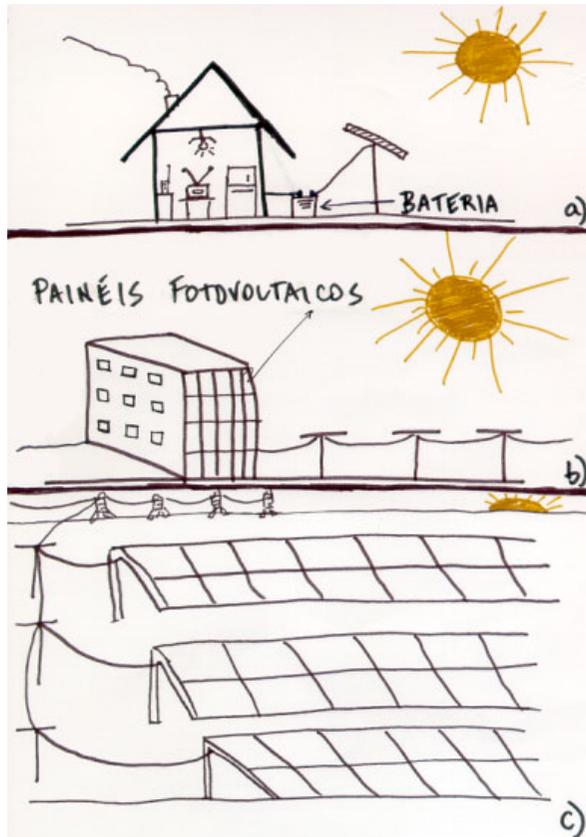
<sup>2</sup> Quando os fótons contidos na energia do sol incidem sobre um material semicondutor (e.g. silício) com determinadas características elétricas (junção elétrica p-n ou p-i-n), a energia de uma fração destes fótons pode excitar elétrons no semicondutor, que por sua vez poderão dar origem a uma corrente elétrica. Para um maior detalhamento sobre os fundamentos do efeito fotovoltaico, ver por exemplo, Hovell, 1975; Neville, 1978; Green, 1982.

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, como será visto em maior detalhe a seguir.

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. Este livro se concentra nos aspectos técnicos do primeiro tipo de configuração (figura 1b). 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 infra-estrutura adicionais; os painéis 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. Vários estudos indicam que até 2010, de 25 a 30% dos novos sistemas de geração serão distribuídos, ou seja, serão conectados diretamente ao sistema de distribuição secundário [Conti *et al.* 2003]. Todas as usinas geradoras convencionais têm problemas inerentes, tais como poluição (e.g. usinas termelétricas a 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. Neste livro são abordados estes aspectos e também as características técnicas peculiares de circuitos de instalações elétricas deste tipo.



**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.

## 2.

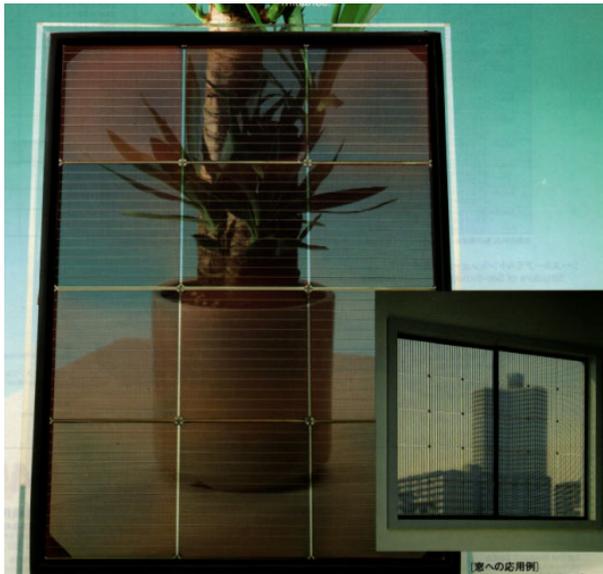
# Sistemas solares fotovoltaicos no entorno construído

No Brasil, mais de 40% da energia elétrica consumida é utilizada por edificações residenciais, comerciais e públicas; sendo o setor residencial responsável por 23% do total do consumo nacional e os setores comercial e público responsáveis por 11% e 8% respectivamente [Geller, 1994] [Lamberts *et al.*, 1997]. Em capitais como por exemplo o Rio de Janeiro, 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 [Lomardo, 1988][Toledo, 1995][Lamberts *et al.* 1997].

Painéis 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 recentemente 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, como mostram as figuras 2 a 4 a seguir. Algumas destas aplicações são exemplificadas ao longo deste livro.

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 ar-condicionados, em que a coincidência é perfeita (a potência elétrica demandada por ar-condicionados 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 [Green, 2000]) e dispensando a manutenção e reposição requeridas por um banco de baterias. Além disto, 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

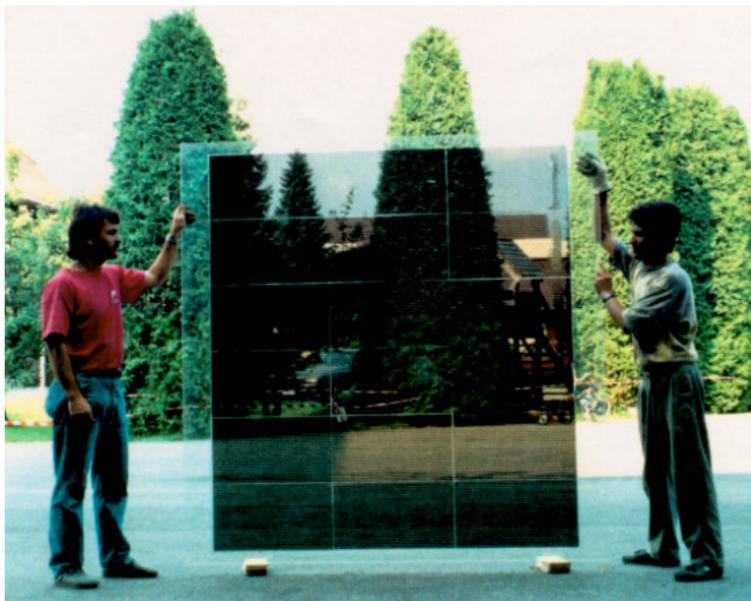


**Figura 2:** Painéis solares semitransparentes podem ser integrados a janelas em edificações urbanas, possibilitando ao mesmo tempo a entrada de luz natural e gerando energia elétrica para o consumo residencial, comercial ou industrial [Sanyo Solar Industries].

globo, do que decorre que para alguns períodos do ano o sistema aut  nomo freqüentemente estará superdimensionado, o que eleva os custos da instalação.

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

Painéis 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. Painéis solares de filmes finos fabricados sobre um substrato de vidro são basicamente o mesmo produto que os painéis de vidro revestidos por películas que são comumente utilizados na construção civil; existe



**Figura 3:** Módulos solares como os da figura 2 podem ser laminados em painéis de vidro de grandes dimensões (4.2m<sup>2</sup> no caso desta figura), onde os mesmos princípios de colocação/fixação/montagem para os painéis de vidro comumente utilizados em aplicações arquitetônicas, inclusive fachadas verticais, são empregados. Os painéis desta figura têm uma transparência de 12% em média, atuando como um filtro neutro, isto é, sem alterar as características cromáticas da luz transmitida [Photronics Solartechnik GmbH].

assim a expectativa a curto prazo de que se produzidos em grande escala os custos venham a declinar de forma acentuada.

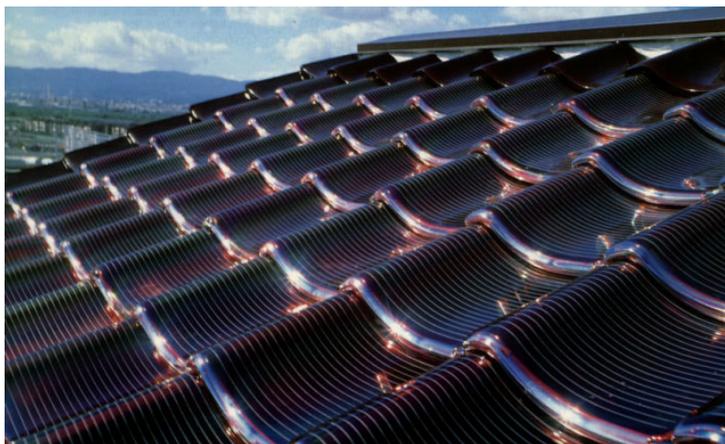
Pelo conceito de sincronicidade [US-DOE, 1996], em que geração e consumo ocorrem simultaneamente, a energia elétrica gerada em alguns períodos do dia tem um valor maior para a concessionária elétrica do que em outros períodos em que a demanda não é crítica. O mais óbvio exemplo disto é o caso da demanda 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 como os ocorridos recentemente em algumas capitais brasileiras e em diversas metrópoles importantes de outros países em função da sobrecarga do sistema de T&D em períodos de calor intenso. Desta forma, ainda que no sistema elétrico brasileiro o principal pico de consumo tenha início por volta do pôr do sol, vários ramais das concessionárias elétricas têm picos coincidentes com a máxima oferta solar, aumentando assim o valor da energia gerada nestes períodos.

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 será abordada na seção 13.1.

Quanto aos tipos de montagem destes geradores, em caso de telhado inclinado ou horizontal, o sistema pode ser montado sobre o telhado existente, ou o sistema pode ser integrado (módulo/telha), no caso de uma construção nova ou substituição total da cobertura. No caso de uma fachada, o gerador fotovoltaico pode ser utilizado como elemento de revestimento, ou como elemento de sombreamento e os custos de instalação destes painéis são comparáveis aos custos de instalação de uma fachada de vidro comum. As figuras 11, 18-20, 22-24, 26-33, 35-44 demonstram várias destas aplicações.

Um material de revestimento deve cumprir exigências físicas e estruturais (de engenharia); deve apresentar versatilidade em termos de tamanhos, formas e construção/montagem e, além disso, deve ter uma boa aparência est tica aliada a um alto padrão de qualidade e durabilidade. Dentre os painéis fotovoltaicos comercialmente disponíveis no mercado atualmente, existe uma grande variedade que atende a todos estes requisitos.

Este livro demonstra sistemas solares fotovoltaicos como geradores de potência elétrica integrados ao ambiente urbano. Os benefícios - tanto econ micos quanto ecológicos - da aplica o da energia solar fotovoltaica no entorno construído não estão, no entanto, completamente estabelecidos. Existe a necessidade de demonstrar que a integra o de instala oes solares fotovoltaicas ao entorno construído é muito mais que simplesmente uma boa idéia; ela pode t mber trazer grandes benefícios ao usuário, ao sistema elétrico nacional e   sociedade.



**Figura 4:** Módulos solares fotovoltaicos fabricados diretamente sobre telhas de vidro curvas, que substituem telhas convencionais num sistema residencial descentralizado que produz energia elétrica junto ao ponto de consumo e sem ocupar área adicional [Sanyo Solar Industries].

### 3.

# Componentes de um sistema solar fotovoltaico integrado a uma edificação urbana e interligado à rede elétrica

Uma instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação e conectada à rede elétrica é composta por vários itens, incluindo painéis solares, sistema de fixação ao envoltório da construção, sistema conversor CC-CA (inversor), diodos de *bypass* e diodos de bloqueio, fusíveis e disjuntores, cabos elétricos, terminais, proteções contra sobretensões e descargas atmosféricas e caixas de conexão.

Os módulos solares apresentam normalmente tensões de circuito aberto em torno de 20V, apropriadas para a carga de baterias de 12V em sistemas autônomos, visto que esta era tradicionalmente a aplicação mais comum. Com o crescente interesse por instalações conectadas à rede elétrica - onde as tensões de 110 ou 220V são utilizadas - a indústria vem lançando no mercado módulos com tensões de circuito aberto mais elevadas (e.g. 95V). Em qualquer caso, para atingir a potência instalada de projeto, normalmente são utilizadas combinações série/paralelo de vários módulos, para que se obtenham as tensões e correntes desejadas.

Muitas vezes se torna necessário proteger os cabos contra sobrecorrentes, o que se faz pela utilização de fusíveis. Quando vários módulos são conectados em série em um *string*, e vários *strings* são conectados em paralelo para que a potência de projeto seja atingida, é comum a utilização de diodos de bloqueio para evitar a circulação de corrente reversa por um *string*.

Diodos de *bypass* são normalmente utilizados em *strings* onde a tensão de circuito aberto seja superior a 30V, com o objetivo de isolar um *string* e evitar que atue como uma carga caso haja

sombreamento parcial. Os cabos utilizados nestes sistemas são normalmente resistentes à radiação ultravioleta e têm duplo isolamento. Eles devem suportar as temperaturas elevadas, muitas vezes até 50°C acima da temperatura ambiente, que são atingidas na região posterior dos módulos.

O sistema inversor é responsável pela conversão da energia gerada pelos módulos fotovoltaicos - que geram energia elétrica em corrente contínua (CC) e em tensão normalmente distinta da tensão de rede local - em corrente alternada (CA) e em tensão e frequência de rede, com baixo teor de harmônicos e onda de forma senoidal.

As proteções contra sobretensões e descargas atmosféricas se destinam a isolar o sistema de transientes de tensão indesejáveis. Apesar de os módulos fotovoltaicos modernos apresentarem uma elevada tolerância a picos de tensão (6kV), componentes eletrônicos como o sistema inversor, por exemplo, necessitam de proteção contra estes surtos de tensão. Estes componentes de proteção estão normalmente instalados nas caixas de conexão.

O sistema de fixação à edificação, que compreende a estrutura onde serão montados os painéis fotovoltaicos, deve suportar todas as cargas mecânicas e ventos, bem como as expansões/ contrações térmicas, com vida útil equivalente à esperada para o arranjo fotovoltaico (~30 anos).

Os painéis fotovoltaicos e o sistema inversor serão analisados em maior detalhe ao longo deste livro.

## 4.

# Legislação em vigor e normas ABNT

O sistema elétrico brasileiro se encaminha para a condição de mercado livre, com a introdução da figura do produtor independente de energia e também do consumidor livre. A legislação que rege a produção, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil não previa ainda os sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e interligados à rede elétrica convencional como os descritos neste livro. O contexto técnico-político em que tais sistemas se inserem ainda é tema em debate em todo o mundo e mais recentemente inclusive no Brasil [IEE-USP, 1998; Oliveira e Zilles, 2002].

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, órgão público responsável por regular o mercado de energia elétrica, enquadra tais sistemas no contexto da legislação energética brasileira em função de algumas leis como segue: a lei 8.631/93 dispõe sobre os níveis tarifários e a extinção da remuneração garantida; a lei 8.987/95 dispõe sobre o regime de concessão e permissão de serviço público; a lei 9.074/95 estabelece normas para outorga e prorrogação de concessões e permissões; o decreto 2.003/96 regulamenta a produção de energia elétrica de Produtores Independentes de Energia (PIEs) e Auto Produtores (APs), e o decreto 2.655/98 regulamenta o Mercado Atacadista de Energia elétrica (MAE) e define regras de organização do Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS). A resolução 112/1999, de 18 de maio de 1999, reproduzida no Anexo I, estabelece os requisitos necessários à obtenção de registro ou autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras de fontes alternativas de energia, incluindo as centrais geradoras fotovoltaicas. Neste contexto as instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública

se caracterizam como APs, podendo também se caracterizar como PIEs.

Na  rea de normatiza o, a Associa o Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da Comissão de Estudos CE-82.1 (Sistemas de Conversão Fotovoltaica de Energia Solar) do Comit  Brasileiro de Eletricidade (COBEI) vem se empenhando no sentido de elaborar normas técnicas referentes aos sistemas fotovoltaicos conectados   rede elétrica. A CE-82.1 vem preparando normas referentes a prote es contra sobretensões em sistemas fotovoltaicos (projeto de norma ABNT 03:082.01-011) entre outras. Outro documento normativo importante na instala o de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edifica es urbanas e interligados à rede elétrica é a norma ABNT NBR 5410, que normatiza as instala es elétricas de baixa tensão e que foi recentemente revisada.

## 5.

# Módulo solar fotovoltaico

Em qualquer instalação solar fotovoltaica o módulo solar fotovoltaico é a célula básica do sistema gerador. A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em CC. A corrente do gerador solar é definida pela conexão em paralelo de painéis individuais ou de *strings* (conjunto de módulos conectados em série). A potência instalada, normalmente especificada em CC, é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais.

O mercado de módulos fotovoltaicos, principalmente para aplicações como as descritas aqui, vem crescendo acentuadamente nos últimos anos, com novas tecnologias oferecendo alternativas especialmente desenvolvidas para a integração ao entorno construído.

### 5.1.

#### Tecnologias fotovoltaicas comercialmente disponíveis

Em termos de aplicações terrestres, dentre os diversos semicondutores utilizados para a produção de células solares fotovoltaicas, destacam-se por ordem decrescente de maturidade e utilização o silício cristalino (c-Si); o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou simplesmente a-Si); o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInSe<sub>2</sub> ou CIS e Cu(InGa)Se<sub>2</sub> ou CIGS). Neste último grupo aparecem elementos que são ou altamente tóxicos (Cd, Se, Te), ou muito raros (Te, Se, Ga, In, Cd), ou ambos, o que inicialmente se mostrou um obstáculo considerável ao uso mais intensivo destas tecnologias. Com relação à toxicidade, convém mencionar que lâmpadas fluorescentes (contêm mercúrio) e telas de computador (contêm chumbo) são classificados

da mesma maneira, devendo ser descartados de forma apropriada, o que também deverá ocorrer com painéis solares de CdTe, CIS e CIGS. O silício, por outro lado, é o segundo elemento mais abundante na superfície de nosso planeta (mais de 25 % da crosta terrestre é silício [Hammond, 1992]) e é 100 vezes menos tóxico que qualquer um dos outros elementos citados acima [Shah, 1992].

O c-Si é a tecnologia fotovoltaica mais tradicional e a única dentre as mencionadas acima que faz uso de lâminas cristalinas (diâmetro ~10cm tipicamente) relativamente espessas (espessura 300-400 $\mu$ m), o que representa uma maior limitação em termos de redução de custos de produção. Todas as outras tecnologias estão baseadas em películas delgadas (filmes finos, com espessura da ordem de 1 $\mu$ m) de material ativo semiconductor e é neste aspecto que reside o grande potencial de redução de custos que estas tecnologias detêm.

Filmes finos para aplicações fotovoltaicas, principalmente no entorno construído, estão sendo desenvolvidos para a geração de potência elétrica por apresentarem baixos custos de produção decorrentes das quantidades diminutas de material envolvido, das pequenas quantidades de energia envolvidas em sua produção, do elevado grau de automação dos processos de produção (grande capacidade de produção) e seu baixo custo de capital [Rütther & Livingstone, 1993].

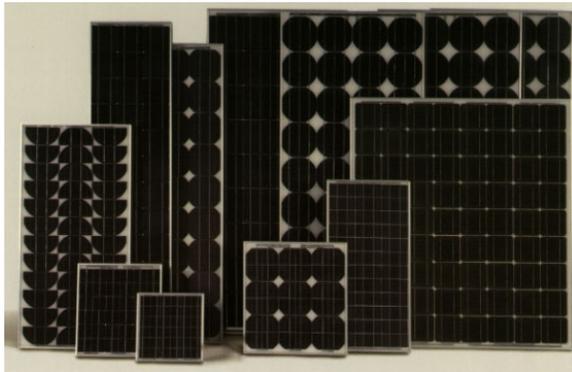
Devido ao fato de que a luz solar contém relativamente pouca energia (baixa densidade energética, da ordem de 1000W/m<sup>2</sup> num meio-dia ensolarado) se comparada a outras fontes energéticas, painéis solares fotovoltaicos devem ter um baixo custo para que possam produzir energia elétrica a preços competitivos.

A eficiência do processo de fotossíntese, no qual toda a vida em nosso planeta está baseada, é da ordem de 0.2% [Borgstrom, 1973] em média. Em termos de eficiência de conversão fotovoltaica, a tecnologia do c-Si é, dentre as tecnologias utilizadas em aplicações terrestres para gerar potência elétrica, a que apresenta a maior eficiência (ao redor de 15%) de conversão direta da energia do sol em energia elétrica para módulos disponíveis no mercado. As tecnologias de filmes finos, sendo inerentemente menos eficientes e também por estarem ainda na infância de seu desenvolvimento, têm no momento um rendimento ao redor de 7 a 10% para módulos comercialmente disponíveis, o que significa que se necessita de aproximadamente o dobro da área em módulos solares de filmes

finos para obter a mesma potência instalada com painéis de c-Si. Apesar de os painéis solares de filmes finos terem já hoje um preço inferior por Wp<sup>3</sup> (ou seja \$/potência, ou \$/energia) ao dos de c-Si, a área ocupada para uma determinada potência instalada deve ser levada em consideração na análise econômica, quando da opção por uma ou outra tecnologia fotovoltaica. As principais características de cada uma destas tecnologias será abordada a seguir. As figuras 5 e 6 mostram exemplos de módulos fotovoltaicos de c-Si e a-Si.

### 5.1.1. Silício cristalino (c-Si)

A mais tradicional das tecnologias fotovoltaicas e a que ainda hoje apresenta maior escala de produção a nível comercial (~80% em 2002 [Maycock, 2003]), o c-Si se consolidou no mercado fotovoltaico por sua extrema robustez e confiabilidade. O custo de produção destes módulos solares é, no entanto, bastante elevado e as possibilidades de reduzi-los já foram praticamente esgotadas, razão pela qual esta tecnologia é desconsiderada por muitos analistas como séria competidora com formas convencionais de geração de potência em larga escala. O c-Si segue sendo, no entanto, o líder dentre as tecnologias fotovoltaicas para aplicações terrestres em qualquer escala, principalmente porque nos principais mercados mundiais (Japão e Alemanha) a área ocupada por um arranjo fotovoltaico é uma limitação para as tecnologias fotovoltaicas que apresentam uma menor eficiência de conversão.



**Figura 5:** Exemplos de módulos solares fotovoltaicos de c-Si de várias potências comercialmente disponíveis [Siemens Solar Industries].

No caso de células fotovoltaicas que utilizam silício monocristalino (m-Si), o monocristal é “crescido” a partir de um banho de silício fun-

<sup>3</sup> A potência nominal de uma célula ou módulo solar fotovoltaico é a potência de pico (ou potência máxima) obtida sob condições padrão de teste (CPT). Daí vem o fato de se incluir o sufixo “pico” (ou “p”) à unidade de potência utilizada. As unidades comumente usadas são: watt-pico (Wp) e quilowatt-pico (kWp). As CPT para células e módulos fotovoltaicos são: (a) temperatura da junção da célula fotovoltaica =  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ; (b) intensidade de radiação =  $1000 \text{ W/m}^2$  normal à superfície de ensaio, e (c) espectro solar = AM1,5 (Projeto de Revisão 3:082.01-012/2000 da NBR10899/1988).

dido de alta pureza (Si = 99,99% a 99,9999%) em reatores sob atmosfera controlada e com velocidades de crescimento do cristal extremamente lentas (da ordem de cm/hora). Levando-se em conta que as temperaturas envolvidas são da ordem de 1400°C, o consumo de energia neste processo é extremamente intenso e o chamado *energy pay-back time* (tempo necessário para que o módulo gere energia equivalente à utilizada em sua fabricação) é superior a dois anos, dependendo dos níveis de radiação solar do local onde os módulos forem instalados. Etapas complementares ao crescimento do monocristal envolvem usinagem do tarugo; corte de lâminas por fios ou serras diamantadas; lapidação, ataque químico e polimento destas lâminas (processos estes todos em que ocorrem consideráveis perdas de material, da ordem de 50% do tarugo original); processos de difusão/dopagem, deposição da máscara condutora da eletricidade gerada e finalmente a interconexão de células em série para a obtenção do módulo fotovoltaico, como mostra a figura 5.

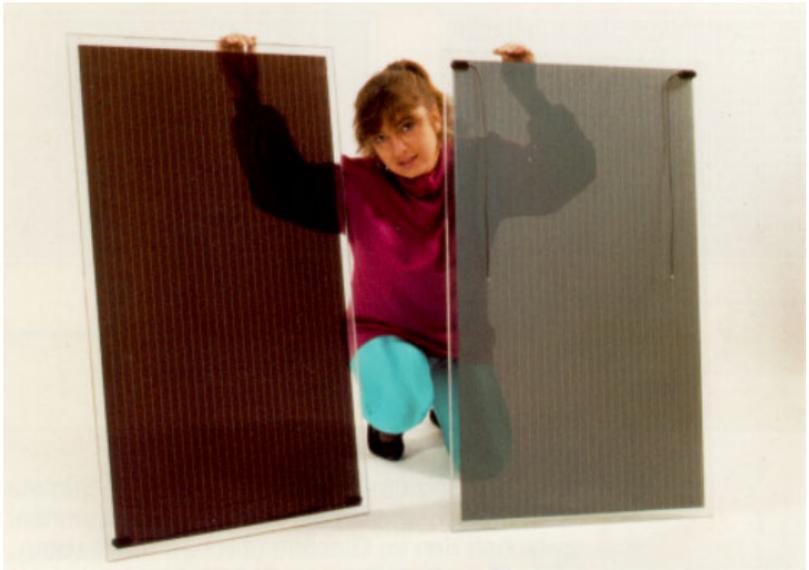
O silício policristalino (p-Si) apresenta menor eficiência de conversão, com a vantagem de um mais baixo custo de produção, já que a perfeição cristalina é menor que no caso do m-Si e o processamento mais simples. O material de partida é o mesmo que para o m-Si, que é fundido e posteriormente solidificado direcionalmente, o que resulta em um bloco com grande quantidade de grãos ou cristais, no contorno dos quais se concentram os defeitos que tornam este material menos eficiente do que o m-Si em termos de conversão fotovoltaica. Os processamentos posteriores até se obter um módulo fotovoltaico são semelhantes aos utilizados no caso do m-Si.

Nos últimos anos o p-Si tem crescido sua participação no mercado fotovoltaico mundial, em detrimento do m-Si, e atualmente mais de 50% da produção mundial utiliza o p-Si [Maycock, 2003]. O p-Si pode ser também produzido sob a forma de tiras ou fitas (*ribbon technology*), a partir de um banho líquido de silício e neste processo fica dispensado o fatiamento em lâminas, uma vez que as tiras de p-Si já são produzidas com a espessura final da célula.

### 5.1.2. Silício amorfo hidrogenado (a-Si)

No início dos anos 80 o a-Si era visto como a única tecnologia fotovoltaica em filmes finos (películas delgadas) comercialmente viável. Tendo sido pela primeira vez empregado em células solares em meados da década de 70, imediatamente despontou como tecnologia ideal para aplicação em calculadoras, relógios e outros produtos onde o consumo elétrico é baixo. Por apresentarem uma resposta espectral mais voltada para a região azul do espectro eletromagnético, tais células se mostraram extremamente eficientes sob iluminação artificial (e.g. sob lâmpadas fluorescentes e sob radiação difusa como a que predomina em dias com céus encobertos), com eficiência nestes casos superior à do c-Si.

Os processos de produção de a-Si ocorrem a temperaturas relativamente baixas (< 300°C), em processos a plasma, o que possibilita que estes filmes finos sejam depositados sobre substratos de baixo custo, como vidro (figura 6), aço inox (figura 7) e alguns plásticos (figura 8). Desta forma, foram desenvolvidos módulos solares hoje disponíveis no mercado que são flexíveis, inquebráveis, leves, semitransparentes, com superfícies curvas (figura 4), que estão ampliando o mercado fotovoltaico por sua maior versatilidade.

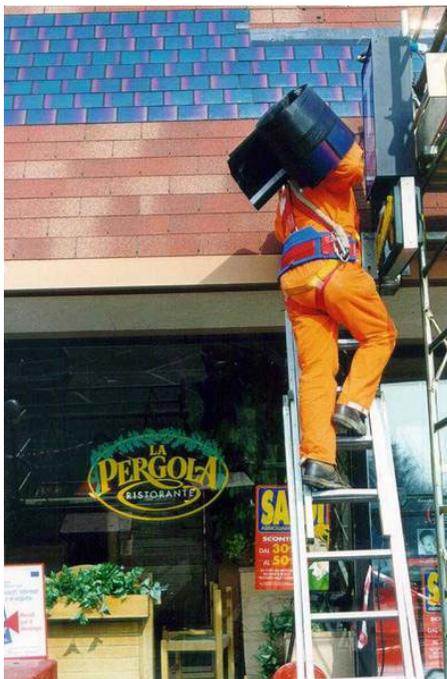


**Figura 6:** Exemplos de módulos solares fotovoltaicos de a-Si em substrato de vidro e sem moldura comercialmente disponíveis. Estes módulos são desenhados especificamente para aplicações integradas ao entorno construído (fachadas, telhados, etc.), onde sua instalação é feita de maneira análoga à instalação de um painel de vidro comum [Phototronics Solartechnik GmbH].

Por sua aparência estética mais atraente, o a-Si tem encontrado aplicações arquitetônicas diversas, substituindo materiais de cobertura de telhados e fachadas em instalações integradas ao ambiente construído. É como material de revestimento que o a-Si leva grande vantagem sobre o c-Si, pois o custo por  $m^2$  toma maior importância do que o custo por Wp e neste aspecto já hoje o a-Si tem custo inferior à metade do custo por  $m^2$  do c-Si.

O *energy pay-back time* para o a-Si é outro atrativo desta tecnologia e é consideravelmente menor que o do c-Si. Atualmente está em torno de um ano e se deve principalmente à energia utilizada na fabricação do substrato de vidro ou aço inox. A potência necessária para depositar a película delgada de a-Si sobre um substrato é bastante baixa e coincidentemente da mesma ordem de grandeza da energia do sol,  $1kW/m^2$ .

Ao contrário de todas as outras tecnologias fotovoltaicas, em que o aumento da temperatura ambiente provoca perdas na performance dos módulos fotovoltaicos, o a-Si não apresenta redução na potência com o aumento da temperatura de operação [Rütther & Livingstone, 1993; Rütther *et al.*, 2003; Rütther *et al.*, 2004], uma vantagem nas aplicações em países de climas quentes como o Brasil. Principalmente quando integrado ao envelope da edificação, onde os módulos atingem temperaturas elevadas pela falta de ventilação em sua superfície posterior, a performance do a-Si em termos de energia gerada



**Figura 7:** Exemplos de módulos solares fotovoltaicos de a-Si flexíveis em substrato de aço inox, produzidos sob a forma de rolos que podem ser colados diretamente sobre telhados metálicos ou de concreto e telhas do tipo shingles [United Solar Ovonic LLC].



**Figura 8:** Exemplos de módulos solares fotovoltaicos de a-Si flexíveis em substrato plástico [Sanyo Solar Industries].

(kWh) por potência instalada (kWp) tem se mostrado superior à das demais tecnologias em operação no Brasil [Rüther, 1999; Rüther & Dacoregio, 2000; Rüther *et al.*, 2004].

### 5.1.3.

#### Telureto de cádmio (CdTe)

O mais recente competidor do c-Si e a-Si no mercado fotovoltaico para geração de potência e nas aplicações integradas a edificações é o CdTe, também na forma de filmes finos. Para aplicações em calculadoras este material já vem sendo usado há mais de uma década, mas, nas assim chamadas aplicações *outdoors*, mais recentemente é que começam a ser comercializados módulos solares de grandes áreas. Estes módulos, normalmente sob a forma de placas de vidro num tom marrom/azul escuro como mostra a figura 9, também apresentam um atrativo estético em comparação ao c-Si. As empresas envolvidas com esta tecnologia vêm buscando as aplicações arquitetônicas como nicho de mercado enquanto desenvolvem seu produto, ampliam volumes de produção e reduzem custos.

Assim como no caso do a-Si, os custos de produção do CdTe são atrativamente baixos para produção em grande escala e esta tecnologia tem ótimas chances de despontar como um sério competidor no mercado fotovoltaico para a geração de potência elétrica.

A relativamente baixa abundância dos elementos

envolvidos e sua maior toxicidade são aspectos que têm de ser levados em conta, principalmente se esta tecnologia atingir quantidades mais significativas de produção (da ordem de GWp). A maior eficiência de conversão da energia solar em energia elétrica em comparação ao a-Si é um dos principais atrativos desta tecnologia.



**Figura 9:** Exemplo de módulos solares fotovoltaicos de CdTe em substrato de vidro para aplicações arquitetônicas [National Renewable Energy Laboratory].

#### 5.1.4. Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS)

Outro sério competidor no mercado fotovoltaico também em aplicações integradas a edificações é a família dos compostos baseados no disseleneto de cobre e índio ( $\text{CuInSe}_2$ , ou simplesmente CIS), e disseleneto de cobre, gálio e índio ( $\text{Cu(InGa)Se}_2$ , ou simplesmente CIGS), principalmente por seu potencial de atingir eficiências relativamente elevadas.

Painéis solares de CIS e CIGS apresentam, como o a-Si e o CdTe, uma ótima aparência estética e estão surgindo no mercado com grandes superfícies, encontrando aplicações arquitetônicas diversas. Assim como no caso do CdTe, a pouca abundância dos elementos envolvidos e sua toxicidade são aspectos que devem ser considerados se esta tecnologia atingir quantidades significativas de produção. A figura 10 mostra exemplos de módulos fotovoltaicos de CIGS.

Dentre os filmes finos comercialmente disponíveis, módulos de CIGS são os que apresentam o melhor rendimento fotovoltaico, razão pela qual várias empresas vêm investindo nesta tecnologia.



**Figura 10:** Exemplo de módulos solares fotovoltaicos de CIGS em substrato de vidro para aplicações arquitetônicas [Würth Solar GmbH].

## 6.

# Rendimento do gerador fotovoltaico

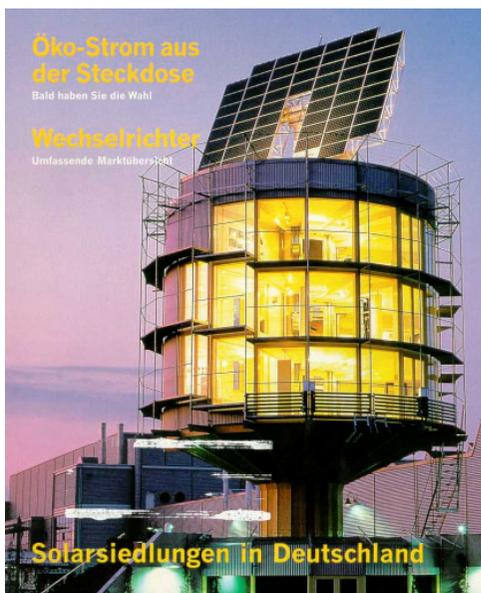
Vários parâmetros podem afetar o rendimento do conjunto de módulos solares fotovoltaicos, também denominado gerador fotovoltaico. O principal deles é o parâmetro radiação solar, que depende fundamentalmente da localização geográfica da instalação, bem como de sua inclinação e orientação. A temperatura dos painéis, o sombreamento parcial, o descasamento entre painéis de um mesmo *string* (que leva a perdas de rendimento conhecidas como *module mismatch losses*, que será tratado adiante), as resistências dos condutores e o estado de limpeza dos painéis também influenciam a performance do sistema gerador fotovoltaico.

Os efeitos da inclinação e orientação dos painéis no rendimento do gerador dependem da razão entre a radiação direta e difusa locais, bem como da fração de albedo (reflexão dos arredores), que é característica do ambiente que circunda a instalação. Como regra geral, a inclinação ótima com relação à horizontal para incidência solar máxima em regime anual é dada pela latitude local. A orientação ideal é a de uma superfície voltada para o equador (norte geográfico para instalações no hemisfério sul e sul geográfico para instalações no hemisfério norte). Van der Borg & Wiggelinkhuizen [Van der Borg & Wiggelinkhuizen, 2001] realizaram uma extensa análise dos efeitos da orientação de sistemas fotovoltaicos integrados a edificações, quantificando as perdas energéticas decorrentes de orientações e inclinações não-ótimas. A inclinação e a orientação exata não são, no entanto, críticas, ao contrário de uma percepção freqüente de que módulos solares somente podem ser instalados em estruturas voltadas para o norte (sul no hemisfério norte), de preferência móveis para poder seguir o sol e que se assemelham mais a um satélite do que a um edifício (figura 11)! Para uma grande variedade de orientações possíveis, pode-se atingir uma incidência de mais de 95% da radiação máxima.

Esta afirmação somente é válida para uma superfície livre de obstruções. Em situações onde ocorrerem obstáculos físicos, ou padrões climáticos diários ou sazonais anômalos, estes parâmetros devem obviamente ser levados em consideração. Além disto, fachadas voltadas para o leste ou oeste podem ter performance satisfatória mesmo quando instaladas em ângulos inclinados ou na vertical, com rendimentos da ordem de 60% em relação a uma orientação ótima, devido ao baixo ângulo do sol no início e final do dia [Sick & Erge, 1996] [Rütther & Kleiss, 1996].

O sombreamento é uma questão crítica. Um gerador fotovoltaico apresenta performance ótima quando iluminado homoganeamente. Dada a característica construtiva da maioria dos módulos fotovoltaicos, em que as células solares individuais são conectadas em série, uma pequena sombra sobre uma destas células, como a sombra projetada por uma antena, chaminé ou poste, pode reduzir acentuadamente o rendimento de todo o sistema. Isto se deve ao fato de que a célula sobre a qual incidir a menor quantidade de radiação é que irá determinar a corrente (e portanto a potência) de operação de todo o conjunto a ela conectado em série.

Sob certas condições, uma célula solar parcialmente sombreada pode vir a atuar como uma carga, o que pode levar a um aquecimento excessivo da célula e possivelmente à destruição do módulo. Este efeito, conhecido como *hot spot*, pode ser evitado pela instalação de diodos de *bypass* entre cada célula de um módulo, o que por outro lado leva a uma perda de rendimento. Módulos solares de filmes finos, cujas células são normalmente tiras longas e estreitas, são menos afetados por este fenômeno do que os mais tradicionais módulos solares de c-Si.



**Figura 11:** Sistema solar fotovoltaico integrado a uma edificação residencial projetada para otimizar a incidência solar sobre os módulos. A edificação gira sobre um eixo vertical e o conjunto de módulos tem inclinação variável [Photon 3-98].

## 7. Sistema inversor ou conversor CC – CA

Módulos solares fotovoltaicos geram energia em corrente contínua. Assim sendo, se faz necessário o uso de um equipamento eletrônico conhecido como inversor, ou conversor CC-CA, para que se obtenha tensão em corrente alternada com as características (frequência, conteúdo de harmônicos, forma de onda, etc.) necessárias para satisfazer as condições impostas pela rede elétrica pública e possibilitar assim a interconexão à rede. Os inversores comumente utilizados podem ser de dois tipos:

- (i) Comutados pela própria rede elétrica, onde o sinal da rede é utilizado para sincronizar o inversor com a rede, ou
- (ii) Auto-comutados, onde um circuito eletrônico no inversor controla e sincroniza o sinal do inversor ao sinal da rede.

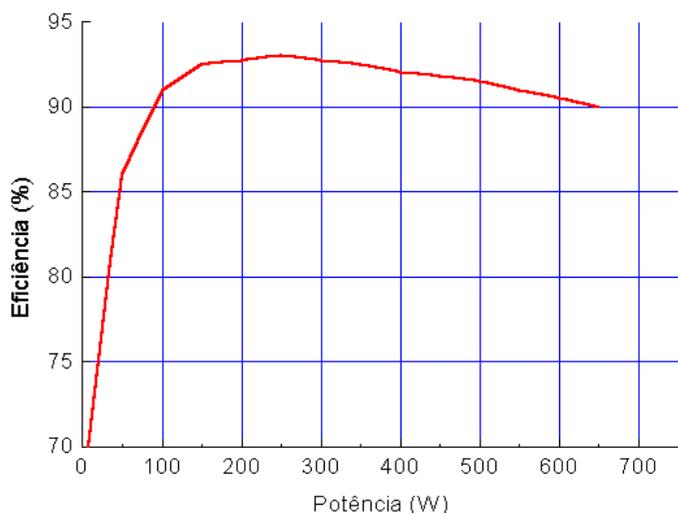
No início da década de 90 os sistemas solares fotovoltaicos interligados à rede elétrica pública utilizavam, independentemente de seu porte, inversores unitários, quase sempre dimensionados para atender à potência instalada total. Atualmente existe uma tendência na utilização de vários inversores idênticos e de menor potência conectados em paralelo.

Recentemente foram lançados os assim chamados *módulos CA*, que utilizam microinversores individuais incorporados a cada módulo. As principais vantagens deste novo conceito de *módulos CA* são o mais baixo custo de uma fiação em corrente alternada (e tensão residencial/comercial) e uma ainda maior modularidade, visto que se pode iniciar um sistema fotovoltaico interligado à rede com **um** *módulo CA* de 50W por exemplo, e que pode ser ligado diretamente a

uma tomada comum em uma edificação residencial ou comercial. No caso de inversores de maior porte (inversor centralizado), apesar de a conexão de um único módulo de 50W ser também possível, uma maior viabilidade econômica somente é atingida para um sistema com potência instalada de várias centenas de Watts. *Módulos CA* apresentam a desvantagem de uma menor eficiência de conversão dos microinversores (da ordem de <90% atualmente, em comparação a ~95% para inversores centralizados). Para sistemas residenciais e comerciais de porte inferior a 5kW, uma análise econômica realizada por Posbic & Rever III [Posbic & Rever III, 1998] revelou que o custo por Watt instalado de *módulos CA* é inferior ao custo de um sistema com inversor centralizado. Alguns aspectos a serem levados em consideração na seleção de um inversor incluem:

## 7.1. Eficiência

Um diferencial de 1% na eficiência do inversor pode resultar 10% a mais em energia gerada ao longo de um ano [FSEC, 1997]. Além da eficiência de operação, devem ser consideradas também as perdas quando em *standby*. A figura 12 a seguir mostra a curva característica típica da eficiência de conversão CC-CA de um inversor de 650W em função da potência de operação.



**Figura 12:** Curva típica de eficiência de conversão CC-CA em função da potência para um inversor de 650W [Würth, 1997]. A eficiência máxima não coincide com a potência máxima, sugerindo um melhor aproveitamento da energia fotogerada para um conjunto de módulos com potência total inferior à potência máxima do inversor.

## 7.2.

### Segurança (fenômeno *islanding*)

É da máxima importância que o sistema inversor sob hipótese alguma injete energia gerada pelos módulos fotovoltaicos na rede elétrica quando esta estiver desligada. Este fenômeno, denominado *islanding*, pode resultar na rede elétrica estar energizada mesmo quando desconectada do sistema de geração central e oferece sérios riscos aos operadores da rede. Por esta razão são recomendados transformadores de isolamento (trafo ou núcleo toroidal) no sistema inversor. Da mesma forma, é necessário prover proteção contra sobrecorrentes, surtos, sobre/subfreqüência, sobre/subtensão tanto pela entrada CC como pela saída CA.

## 7.3.

### Qualidade da energia gerada

O conteúdo de harmônicos deve ser baixo para proteger tanto as cargas (os consumidores) como o equipamento da rede elétrica. A forma da onda e o fator de potência devem estar dentro dos níveis aceitáveis pela concessionária elétrica. A injeção de corrente CC não pode ser admitida, pois iria saturar os transformadores da concessionária. A forma da onda deve ser senoidal a 60Hz + ou - 1% no Brasil; enquanto que o fator de potência aceitável deve estar na faixa de 0.90 indutivo a 0.90 capacitivo [Sick & Erge, 1996; EnergieNed, 1997; EnergieNed, 1998].

## 7.4.

### Compatibilidade com o arranjo fotovoltaico

A tensão máxima de operação do arranjo fotovoltaico ( $V_{mpp}$ ) deve ser compatível com a tensão (CC) nominal de entrada do inversor. A tensão máxima de circuito aberto do arranjo fotovoltaico ( $V_{oc}$ ), também deve estar dentro do limite máximo de tensão que o inversor pode tolerar (vide tabela I abaixo mostrando valores típicos para estes parâmetros). Seguidores do ponto de máxima potência do arranjo fotovoltaico [Hovel, 1975; Neville, 1978; Green, 1982] são comumente utilizados em inversores conectados à rede elétrica para controlar a tensão de operação do arranjo fotovoltaico. A tabela a seguir mostra as especificações típicas de um inversor monofásico de potência nominal 650W (figura 21).

Potência nominal de operação	650W
Máxima potência de entrada	800Wcc
Máxima eficiência	93%
Limite inferior de injeção na rede	7W
Consumo à noite ( <i>stand by</i> )	0W
Tensão de entrada	25 - 55Vcc
Tensão no ponto de máxima potência	28 - 50Vcc
Corrente de saída	senoidal 60Hz±1Hz
Tensão de saída	230Vca ± 10%
Temperatura ambiente	-25 ... +60°C
Máxima umidade do ar	95%
Emissão de ruído	35dB
Isolamento elétrico	
Transformador com núcleo toroidal	
Dimensões	240 X 300 X
120mm	
Peso	10kg

**Tabela I:** Dados técnicos de um inversor comutado pela rede e de onda senoidal, típico para aplicação em sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica (figura 21) [Würth Elektronik, 1997].

## 7.5. Outras características

Todas as normas de instalações elétricas relevantes à instalação, manutenção e segurança do sistema devem ser respeitadas, bem como forma, tamanho, peso e características físicas (acabamento, materiais utilizados, proteção contra o ambiente, terminais elétricos e instrumentação) devem ser apropriadas.

## 8. Aterramento

Em vista dos períodos prolongados pelos quais estarão sujeitos a intempéries, alguns elementos de um sistema solar fotovoltaico necessitam de aterramento individual para oferecer maior segurança. Devem ser aterrados tanto a estrutura de montagem dos painéis (para evitar que atinja tensões elevadas no caso de falha no aterramento do sistema) como qualquer componente metálico desta, além do circuito do arranjo fotovoltaico [IEA, 1993].

## 9.

# Segurança das instalações

Vários aspectos relativos à segurança de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações e interligados à rede elétrica devem ser considerados, incluindo: prevenção contra incêndios, dimensionamento apropriado de fios e cabos, aterramento e segurança com relação a agentes climáticos locais, especialmente cargas por ventos. Em vários países, sistemas deste tipo devem incluir circuitos de proteção que detectam falhas no aterramento do arranjo fotovoltaico e desconectam o sistema [Wiles, 1991].

Módulos fotovoltaicos são fontes de corrente e apresentam diferenças em relação às fontes de energia mais tradicionais como a rede elétrica, um motor gerador ou uma bateria. Além do mais, geradores fotovoltaicos não podem ser desligados, pois enquanto um módulo estiver iluminado haverá uma tensão em seus terminais. Os indivíduos envolvidos com a instalação destes sistemas devem estar conscientes disto. Muitos sistemas fotovoltaicos são projetados com tensões de operação baixas (~50V) no lado CC. No caso de tensões em CC mais elevadas, o risco de choque elétrico é o mesmo que se verifica em qualquer instalação convencional operando sob tensão semelhante.

# 10.

## Conexão elétrica dos módulos solares fotovoltaicos

Os módulos solares fotovoltaicos comumente encontrados no mercado se apresentam com tensões nominais de saída relativamente baixas e que variam desde 12V até 100V. A tensão de entrada do inversor não necessita estar nesta faixa, sendo que inversores que utilizam um núcleo toroidal (transformador) operam com tensões de entrada normalmente abaixo de 100V e inversores sem transformador operam em tensões de entrada mais elevadas. Assim sendo, o arranjo fotovoltaico muitas vezes apresenta uma combinação série x paralelo para atingir a tensão de entrada desejada para o inversor, do que decorrem algumas implicações importantes.

No caso de se utilizar um inversor com núcleo toroidal e tensão de entrada baixa, compatível com a tensão de saída dos módulos solares individuais, todos os módulos podem ser conectados em paralelo ao inversor, com a vantagem de que a tensão do lado CC será baixa, oferecendo maior segurança na instalação, operação e manutenção do sistema. Outra vantagem da conexão em paralelo está na questão do sombreamento, pois a sombra causada por qualquer obstáculo que incidir sobre a superfície de um módulo irá afetar somente aquele módulo neste tipo de configuração. A desvantagem deste tipo de conexão é que baixas tensões implicam grandes correntes e portanto cabos de maior diâmetro, ou maiores perdas elétricas. Por outro lado, inversores sem transformador e com maiores tensões de entrada requerem menores diâmetros para a fiação, já que vários módulos serão associados em série (para atingir a tensão de entrada do inversor) e a corrente gerada será baixa. Neste caso a questão do sombreamento deve ser considerada com cuidado, já que o módulo sob a menor iluminação é que determina a corrente de operação de todos os componentes do arranjo numa conexão em série, o que pode levar ao

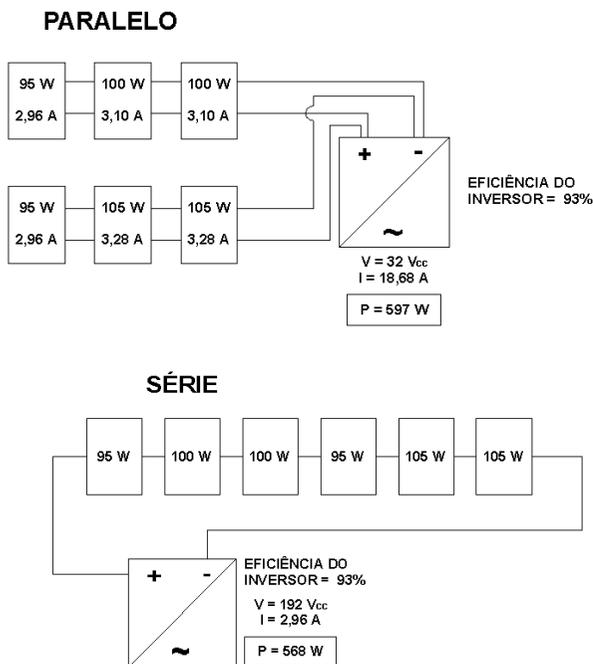
comprometimento de todo o arranjo caso um dos módulos esteja (mesmo que parcialmente) sombreado. Outra desvantagem do arranjo em série são perdas denominadas *module mismatch losses*, que derivam do fato de que as correntes de saída de módulos de mesmo tipo estão dentro de uma faixa de + ou - 5% ou até 10%. O exemplo da figura 13 a seguir ilustra as *module mismatch losses*.

**EXEMPLO:** Instalação com 6 módulos de 100Wp cada, conectados ao mesmo tipo de inversor, em PARALELO ou em SÉRIE

$P = 100 \text{ W (+ ou - 5\%)} = 95 \text{ a } 105 \text{ Wp}$

$V = 32 \text{ V}$

$I = 2.96 \text{ a } 3.28 \text{ A}$



**Figura 13:** Exemplo ilustrativo das perdas (module mismatch losses) causadas pela conexão em série de módulos solares fotovoltaicos "idênticos".

**CONCLUSÃO:** Utilizando os mesmos módulos fotovoltaicos e sistema inversor com mesma eficiência, a conexão em paralelo (597 W) possibilita neste exemplo um rendimento 5% superior    conexão em série (568 W), devido às perdas denominadas *module mismatch losses* (não homogeneidade entre a potência máxima de módulos individuais "idênticos").

Sistemas de potência nominal superior a 1 kWp associados a inversores sem transformador normalmente utilizam combinações série x paralelo, onde os assim denominados *strings* (conjuntos de  $n$  módulos conectados em série cujas tensões de saída se somam até atingir a tensão de entrada do inversor) são conectados em paralelo ao sistema inversor.

# 11.

## Conexão elétrica do gerador fotovoltaico à rede convencional

### 11.1. Medidores de energia

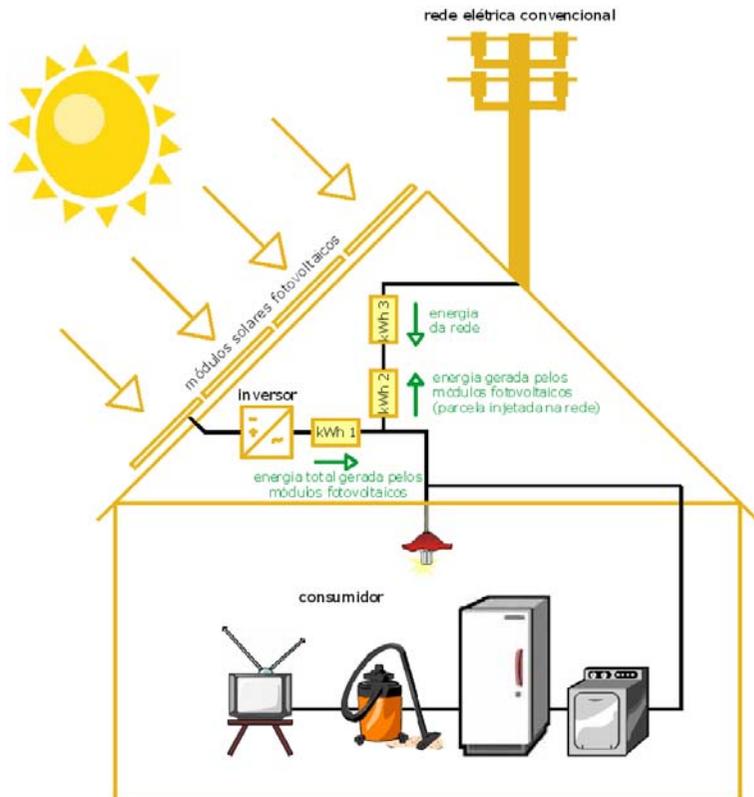
Nas instalações solares fotovoltaicas descritas neste livro e conforme indicado na figura 14, o arranjo fotovoltaico é conectado ao sistema inversor que por sua vez faz a interface com a rede elétrica convencional. No sistema *net metering*, que é o mais simples e o mais adotado nas instalações norte-americanas, o mesmo medidor bidirecional tradicionalmente utilizado nas instalações consumidoras residenciais e comerciais é adotado. Quando o sistema fotovoltaico gera mais energia do que a demandada pela instalação consumidora, o medidor anda para trás; o contrário ocorre quando a edificação consome mais energia do que a gerada pelo sistema solar. Neste caso a tarifa de importação e exportação de energia de e para a rede elétrica deve ser a mesma.

Quando as tarifas de importação e exportação são distintas, como em muitos países da Europa e em algumas regiões dos Estados Unidos, se faz necessária a instalação de dois ou até três medidores, conforme indica a figura 14. Para os sistemas que utilizam *net metering*, somente o medidor 3 (kWh 3) da figura 14 é necessário.

Cada país vem desenvolvendo seus conjuntos de normas e prescrições para a interligação destes sistemas à rede elétrica, explorando as diversas concepções possíveis e adotando critérios diversos [EnergieNed, 1997; EnergieNed, 1998; Khouzam & Hoffman, 1997].

## 11.2. Instalação elétrica

Conforme anteriormente mencionado, a instalação elétrica de um sistema solar fotovoltaico integrado a uma edificação deve obedecer às mesmas normas técnicas específicas para instalações elétricas de baixa tensão (NBR 5410). De uma forma geral, a única diferença envolvida na instalação de um sistema fotovoltaico em relação a uma instalação elétrica convencional se refere ao fato de que um gerador fotovoltaico estará energizado sempre que sobre ele incidir luz e também ao fato de que se trata



**Figura 14:** Diagrama esquemático de um sistema solar fotovoltaico integrado ao telhado de uma residência urbana e interligado à rede elétrica convencional. O relógio medidor 1 (kWh 1) mede a energia gerada pelo sistema solar fotovoltaico; o relógio medidor 2 (kWh 2) mede a energia gerada pelo sistema solar que é exportada para a rede elétrica; o relógio medidor 3 (kWh 3) mede a energia importada da rede elétrica.

de um circuito CC desde os painéis até o sistema inversor. Quanto ao aterramento, conforme já mencionado, toda estrutura condutora que não for conduzir corrente deverá ser devidamente aterrada. Esta deverá ser uma das primeiras medidas a ser efetivada numa instalação deste tipo, principalmente no que se refere à estrutura de fixação dos painéis fotovoltaicos. A seguir é feita a instalação elétrica do gerador fotovoltaico, com a conexão manual e individual dos módulos que o compõem. É importante salientar aqui novamente que **painéis solares fotovoltaicos são geradores de corrente contínua (CC), ou seja, a observância de polaridade (+ e -) é fundamental**. Perdas ôhmicas em sistemas CC de baixa tensão são minimizadas pelo menor comprimento possível de cabos elétricos que conectam os painéis fotovoltaicos ao sistema inversor e por contatos elétricos de qualidade. Uma recomendação adicional se refere à possibilidade de se abrir um arco elétrico quando um circuito CC é interrompido. Por esta razão a instalação deve ser feita de tal forma que todos os circuitos permaneçam abertos, evitando o fluxo de corrente, até que todas as conexões estejam completas.

# 12.

## Custos

Para instalações interligadas à rede elétrica pública, o custo atualmente é superior ao da energia fornecida de forma convencional. Estes custos vêm, no entanto, declinando continuamente desde o lançamento do primeiro programa de implantação de sistemas deste tipo no início dos anos 90 pelo governo alemão, o *1000-Roofs Program*, seguido no final daquela década do *100.000-Roofs Program* [Erge & et al., 2001; Germany2000, 2001].

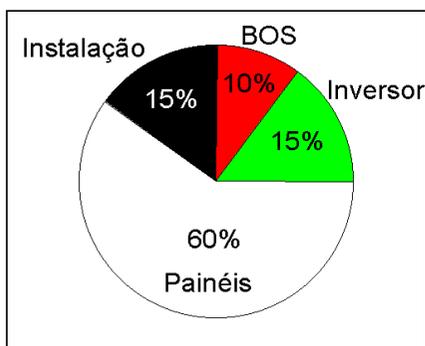
No caso de sistemas fotovoltaicos distribuídos, no entanto, o preço da energia fornecida no ponto de consumo não pode ser comparado diretamente ao custo no barramento (*busbar cost*) de uma usina geradora convencional, visto que as perdas por transmissão, custos de T&D, etc, são consideráveis no segundo caso e praticamente inexistentes no primeiro [Lovins et al., 2002].

O Departamento de Energia dos Estados Unidos vem identificando e atuando nos mercados onde, mesmo ao custo atual, sistemas solares fotovoltaicos residenciais integrados a edificações urbanas e interligados à rede elétrica pública são economicamente viáveis [US-DOE, 1997b]. Em função destas constatações, vários países têm adotado programas de incentivo à utilização de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e interligados à rede elétrica pública [Haas, 2003], sendo o programa Japonês o mais arrojado de todos (previsão de capacidade instalada de 4,82 GWp até o ano de 2010 [Kurokawa, 2001; Ogawa, 2002]). A intenção fundamental destes programas é a produção em grande escala de módulos fotovoltaicos, objetivando não somente a maior disseminação desta tecnologia, mas principalmente atingir o seu potencial de redução de custos, que depende de economias de escala. Desta forma a

energia solar fotovoltaica poderá competir também em termos de custos com as energias convencionais. A figura 15 a seguir mostra a distribuição dos custos típica no *1000 Roofs Program* alemão para sistemas residenciais interligados à rede e com potência de 2kWp.

A implantação e a administração de sistemas de geração como os descritos neste livro utilizando *net metering*    extremamente simples e vem sendo feita rotineiramente nos EUA [Starrs & Wenger, 1998; US-DOE, 1997a]. Coincidentemente, o relógio medidor de disco tipicamente utilizado em edificações residenciais, administrativas e comerciais    bidirecional; assim, o sistema *net metering* pode ser implementado sem a necessidade de substituição do equipamento de medição.

Por outro lado, se o contrato com a concessionária elétrica não incluir o sistema de *net metering*, então    necessária, conforme indicado na figura 14, a instalação de um ou dois contadores adicionais ao normalmente utilizado (relógio medidor kWh 3 na figura 14). Os medidores adicionais irão realizar a medição da energia produzida pelo gerador solar fotovoltaico (relógio medidor kWh 1) e da energia injetada na rede (relógio medidor kWh 2). A exemplo do que ocorreu com os *chips* de computadores - quando o governo norte-americano adquiriu quantidades maciças destes equipamentos viabilizando a produção em massa e a conseqüente redução de custos - o Japão, os Estados Unidos e a Comunidade Européia pretendem investir na tecnologia fotovoltaica para reduzir seus custos a níveis compatíveis com um mercado energético competitivo [Byrne *et al.*, 2004; Hayes, 1998; Eiffert & Thompson, 2000; Eiffert, 2003]. O grupo de trabalho *Task 7: Photovoltaic Power Systems in the Built Environment*<sup>4</sup>, da *International Energy Agency* (IEA), tem seu foco de trabalho nos sistemas fotovoltaicos integrados a edificações. Seus objetivos principais são a melhoria da viabilidade econômica e da qualidade técnica e arquitet  nica de sistemas solares fotovoltaicos no entorno



**Figura 15:** Distribuição típica dos custos no 1000 Roofs Program alemão, para sistemas solares fotovoltaicos residenciais interligados à rede elétrica com potências de 2kWp [Sick & Erge, 1996]. A sigla BOS se refere ao termo Balance of Systems, que designa todos os componentes complementares de um sistema solar fotovoltaico (cabos, conectores, estrutura de fixação, proteções, etc.).

<sup>4</sup> Maiores detalhes sobre a organização e atividades da *Task 7* podem ser vistos em [www.task7.org](http://www.task7.org) e [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)

construído, bem como a remoção de barreiras não-técnicas, de modo a promover a introdução desta tecnologia como uma alternativa energética de contribuição significativa.

Utilizando a metodologia da análise dos custos evitados, foi realizado na Inglaterra um estudo para ilustrar as vantagens da integração a prédios urbanos de elementos fotovoltaicos [Oliver & Jackson, 2001]. Considerando o custo evitado pela utilização de elementos fotovoltaicos em substituição a materiais de revestimento de edificações (como vidros blindados, mármore e granitos polidos e outros materiais de alto padrão), os edifícios solares apresentaram a melhor performance econômica.

Com a atual reestruturação do setor elétrico em todo o mundo, a modularidade, os curtos prazos de instalação e a geração descentralizada e junto ao ponto de consumo dos edifícios solares fotovoltaicos são características cujo valor é considerável. Alguns estudos [Lovins *et al.* 2002] demonstram, por exemplo, que para serem economicamente equivalentes, usinas geradoras de grande porte e que requerem longos prazos de instalação, devem apresentar um custo de kWh **consideravelmente** menor (até 70% menor!) do que usinas com curtos prazos de instalação.

# 13.

## Vantagens para o sistema elétrico

Os sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e interligados ao sistema de distribuição oferecem uma série de vantagens para o sistema elétrico, muitas das quais estão relacionadas a custos evitados e não vêm sendo atualmente consideradas ou quantificadas. Dentre elas, pode-se destacar:

- Perdas por transmissão e distribuição de energia são minimizadas;
- Investimentos em linhas de transmissão e distribuição são reduzidos;
- Edifícios solares fotovoltaicos não apresentam necessidade de área física dedicada, uma vez que a área necessária já é ocupada pela edificação;
- Edifícios solares fotovoltaicos têm capacidade de oferecer suporte kVAR a pontos críticos da rede de distribuição (melhoria da qualidade de energia) [Barker, 1997; Ginn *et al.*, 2003];
- Edifícios solares fotovoltaicos têm a capacidade de oferecer um elevado fator de capacidade a alimentadores da rede com picos diurnos (*e.g.* geração de energia quando e onde a demanda está concentrada, como no caso de demanda por ar-condicionados). Este aspecto, de grande importância para o sistema elétrico, é detalhado no ítem 13.1 a seguir;
- Geradores fotovoltaicos distribuídos estrategicamente apresentam mínima capacidade ociosa de geração: por sua grande modularidade e curtos prazos de instalação, podem ser considerados como um *just-in-time* de adição de capacidade de geração.

### 13.1.

## Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC)

Por sua natureza intermitente, sistemas solares fotovoltaicos tradicionalmente não são considerados como fontes despacháveis de energia e a eles são atribuídos normalmente fatores de capacidade (FC) baixos. No entanto, um gerador fotovoltaico de porte apropriado e localizado em um ponto estratégico do sistema de distribuição pode trazer uma série de benefícios que vão além da quantidade de energia que são capazes de produzir.

Alguns estudos demonstram [Barker *et al.*, 1997; Hoff *et al.* 1992; Perez *et al.* 1993] que, sob condições favoráveis, especialmente quando a demanda é devida a cargas de ar-condicionado em horários comerciais, a geração fotovoltaica coincide com o pico de demanda e pode assim contribuir *efetivamente* com o fator de capacidade localizado do alimentador em questão. Um exemplo típico desta situação são as ondas de calor que assolam várias regiões urbanas do globo no verão, quando a capacidade das redes de distribuição é reduzida, a demanda elétrica é intensiva (levando o preço da energia a níveis da ordem de US\$ 600/MWh [Herig, 2001]) e o recurso solar é intenso. Sob estas condições, o *FC efetivo* da geração fotovoltaica pode ser consideravelmente maior do que seu FC como definido tradicionalmente. Isto pode ter implicações econômicas importantes, uma vez que grande parte do valor da geração fotovoltaica (incluindo ambos o valor de seu FC tradicional e o valor local para o sistema de T&D) está relacionado à sua capacidade *efetiva*.

Vários parâmetros, estatísticos e determinísticos, têm sido apresentados para quantificar a capacidade efetiva. Um exemplo de parâmetro estatístico é o Fator Efetivo de Capacidade de Carga, ou FECC [Garver, 1966]. O FECC é definido como o incremento de capacidade disponível, devido à adição de um gerador (neste caso fotovoltaico), assumindo uma probabilidade de perda de carga constante e normalizada. Assim, o FECC passa a ser somente função da relação entre a demanda instantânea e a potência instantânea do gerador fotovoltaico. O FECC é dado em % da capacidade fotovoltaica (em CA) instalada. Para “demandas que seguem o sol”, o FECC pode exceder a 80% da capacidade fotovoltaica instalada. Neste caso, um sistema solar fotovoltaico de 100kWp tem um FECC de 80kW, ou seja, um sistema fotovoltaico de 100kWp poderia ser considerado uma fonte despachável de 80kW.

Alimentadores urbanos de regiões onde predominam consumidores comerciais apresentam os maiores índices de FECC, uma vez que a geração fotovoltaica coincide com o horário comercial e as demandas de ar-condicionado e iluminação artificial. Alimentadores urbanos em áreas predominantemente residenciais, por outro lado, apresentam índices FECC menores, uma vez que as maiores demandas residenciais ocorrem no final da tarde e à noite. O crédito de capacidade nestas regiões pode, no entanto, ser melhorado consideravelmente se considerarmos que a energia gerada pode ser utilizada em áreas urbanas de perfil comercial adjacentes do sistema de distribuição, já que áreas residenciais com padrão de construção horizontal em regiões ensolaradas apresentam grandes áreas de cobertura apropriadas para a geração fotovoltaica.

A nível de edificação individual em edifícios comerciais, o FECC pode ser incrementado ainda mais pelo controle do sistema de ar-condicionado central, reduzindo a potência do sistema quando ocorre a presença de nuvens, como ilustra a figura 16 a seguir, onde são combinados a geração fotovoltaica distribuída e eficiência energética e nestes casos o FECC pode chegar a 100%.

O sistema de ar-condicionado da edificação comercial é programado para aumentar a temperatura em 1°C ou 2°C sempre que uma nuvem cobrir o sol. O sombreamento limita a geração fotovoltaica, mas ao mesmo tempo reduz a carga imposta ao sistema de ar-condicionado, restituindo ao gerador fotovoltaico parte de sua capacidade de suprir a demanda.

**Figura 16:** Efeito da geração fotovoltaica distribuída e da presença de nuvens na redução da demanda de edifícios comerciais [Herig, 2001]. (i) A correlação entre a demanda de edificações comerciais e a disponibilidade do recurso solar é elevada. Assim, geradores fotovoltaicos disponibilizam potência quando necessário, deslocando os picos de demanda. (ii) No entanto, com a presença ocasional de nuvens, a redução da demanda pode ser prejudicada, ou (iii) a demanda pode ser diminuída pelo controle de cargas de ar-condicionado, acomodando a correlação natural entre disponibilidade de geração fotovoltaica e demanda por sistemas de ar-condicionado.



# 14.

## Edifícios solares fotovoltaicos no Brasil

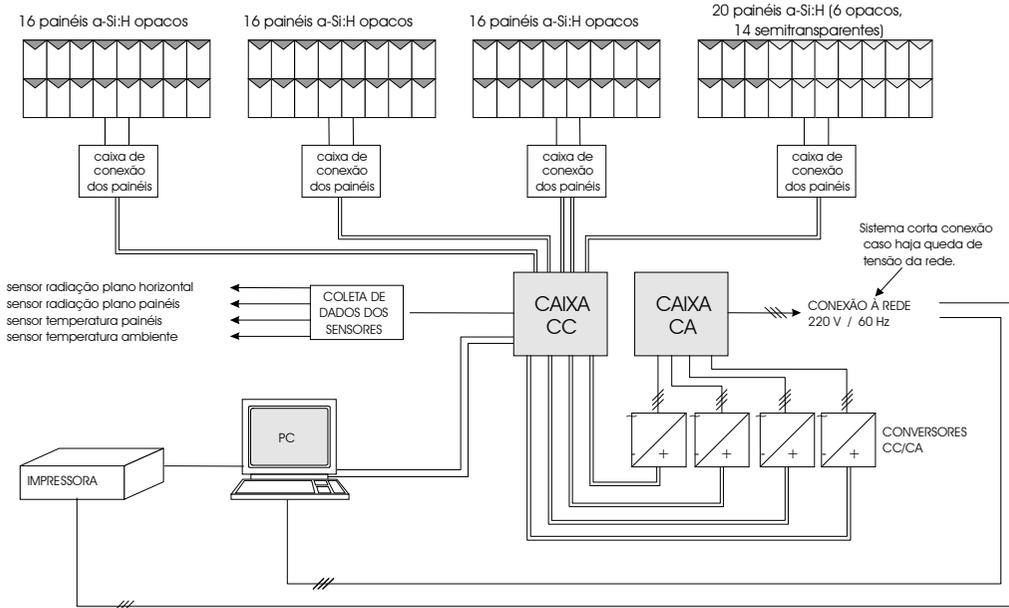
Em Setembro de 1997 foi posta em operação no campus da Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC em Florianópolis (lat. 27°S) a primeira instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação urbana e interligada à rede elétrica pública no Brasil [Rüther, 1996]. O sistema solar fotovoltaico foi originalmente dimensionado para atender em regime anual à demanda energética de uma família de quatro pessoas em uma residência urbana brasileira típica. A instalação fotovoltaica tem uma potência instalada de 2078Wp (em CC e sob condições standard de irradiação de 1000W/m<sup>2</sup>, temperatura de operação de 25°C e conteúdo espectral da irradiação solar de AM 1.5) e é composta por 68 módulos solares de vidro sem moldura de 60 x 100cm<sup>2</sup> cada, sendo 54 deles opacos e 14 semitransparentes (como mostram as figuras 3 e 6), numa área total de 40.8m<sup>2</sup>. A instalação conta ainda com um sistema inversor CC - CA, sensores de irradiação solar e temperatura (ambiente e dos módulos) e um sistema de aquisição de dados dedicado, que monitora a instalação continuamente por se tratar de um sistema demonstrativo e experimental.

A figura 17 a seguir mostra uma representação esquemática da instalação, que vem operando continuamente e com excelente performance, sem requerer manutenção alguma desde a sua posta em marcha [Rüther, 1998]. A escolha de módulos opacos e semitransparentes foi feita com o objetivo de chamar a atenção para os aspectos estéticos e arquitetônicos de ambos os tipos de módulo fotovoltaico.

A edificação selecionada para a instalação do sistema fotovoltaico foi o bloco A do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, onde o LABSOLAR opera também uma estação solarimétrica.

Quanto   orientação, a fachada escolhida para integrar os módulos, de modo a formarem parte da edificação, é bastante ideal, já que está orientada para o norte geográfico, com um desvio de 6  para o leste (o sol da manhã). Perdas por sombreamento são desprez veis, visto que não há obstruções por outras edificações ou vegetação ao redor e que todos os módulos estão montados sobre o mesmo plano, com inclinação igual   latitude local (~27 , para maximizar a oferta solar em regime anual) e constituindo uma superfície única como mostram as figuras 18 a 20. O sistema utiliza a configuração em paralelo para a conexão de todos os módulos fotovoltaicos aos quatro inversores independentes. Apesar de o sistema apresentar uma superfície única contendo todos os 68 módulos fotovoltaicos, no projeto foi especificada a subdivisão em quatro subsistemas, de ~500Wp cada um, conectados a quatro inversores de alto rendimento (eficiência de 93%, comutados pela rede e com onda senoidal) de 650W cada (figura 21). A injeção de corrente na rede elétrica pública se baseia em operação PWM (*pulse width modulated*) controlada por microprocessadores e rastreamento do ponto de máxima potência (PMP ou *MPP - maximum power point*) dos módulos fotovoltaicos, que desconecta o sistema   noite por meio de relés para evitar perdas em *stand by*.

**Figura 17:** Diagrama esquemático do sistema solar fotovoltaico de 2kWp integrado ao prédio do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC.



A decisão de subdividir o sistema nos quatro subsistemas ao invés de utilizar um só inversor de ~2000W foi tomada em função de reduzir a possibilidade de falha total do sistema por falha no inversor (tipicamente o componente mais suscetível a falhas num sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica), principalmente pelo fato de o sistema inversor ser importado e pela inexistência de um similar nacional. Deste modo, caso um dos inversores venha a apresentar problemas, somente o subsistema ao qual está conectado fica fora de operação, com a opção de os módulos fotovoltaicos conectados àquele inversor serem redistribuídos aos demais inversores, cuja potência total máxima especificada (650W cada um) comporta a redistribuição. Outra vantagem desta configuração é que, como a potência máxima gerada por cada subsistema está próxima à região de eficiência máxima do inversor (o que ocorre abaixo da região de



**Figura 18:** Vista do sistema solar fotovoltaico integrado ao envoltório da edificação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis, SC.



**Figura 19:** Sistema solar fotovoltaico de 2kWp instalado na UFSC em Florianópolis. A superfície de ~40m<sup>2</sup> apresenta uma inclinação de 27° e está orientada para o norte geográfico.

potência máxima do inversor como mostra a figura 12), o rendimento do sistema inversor é otimizado. O sistema é conectado a uma das fases do barramento trifásico do prédio onde se encontra instalado e a conexão à rede por *net metering* está formalmente autorizada pela concessionária elétrica local (CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina).

Ao longo de um ano, o sistema gera, em média, aproximadamente 2.6MWh de energia elétrica, o suficiente para atender à demanda de uma residência urbana média e energeticamente eficiente no mesmo período. Em um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica, a sazonalidade da oferta solar não é um parâmetro que interfira no dimensionamento do sistema, pois a rede elétrica (a “bateria” destes sistemas) tem capacidade



**Figura 20:** Vista ao por do sol do sistema instalado junto ao LABSOLAR/UFSC. A instala o solar fotovoltaica recebe a luz solar sem sombreamento por obstáculos desde as primeiras horas da manhã até o final da tarde.

para receber toda a energia que o sistema solar puder nela injetar<sup>5</sup>. O mesmo não acontece com os sistemas autônomos, onde na maioria dos casos a instalação deve ser dimensionada para atender ao período do ano com a menor oferta solar, do que decorre um superdimensionamento do sistema nos meses de abundância de irradiação, quando a energia elétrica que excede a capacidade de armazenamento do sistema acumulador (baterias) é desperdiçada.



**Figura 21:** Os quatro inversores Würth (650W cada) que compõem o sistema de 2kWp instalado na UFSC.

No ano 2000 o LABSOLAR instalou no campus da UFSC outro sistema solar fotovoltaico integrado a uma edificação, com potência instalada de 1.15kWp. Os 18 módulos foram integrados à fachada norte do Centro de Convivência como mostra a figura 22, com o objetivo de demonstrar aos estudantes da universidade o potencial desta elegante fonte renovável de energia que não ocupa espaço físico adicional e que não emite ruídos nem gases.



**Figura 22:** O conjunto de módulos fotovoltaicos totalizando 1.15kWp está integrado à fachada norte do Centro de Convivência no campus central da UFSC em Florianópolis – SC. Em primeiro plano aparecem as diversas lixeiras do programa de lixo seletivo da universidade.

<sup>5</sup> Para nível de penetração (percentual de participação na matriz energética) da geração fotovoltaica inferior a 10%.

Em 2001 o Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE/USP) instalou na fachada do prédio de sua administra o um sistema solar fotovoltaico de 6.3kWp [Zilles & Oliveira, 2001] ] como mostram as figuras 23. Esta instala o foi recentemente repotenciada para 12kWp e faz parte dos esforços de P&D desenvolvidos pelos pesquisadores da USP na área da gera o fotovoltaica conectada à rede pública, iniciados em 1998 [Oliveira & Zilles, 2001].

Em 2003 o LABSOLAR instalou também no campus central da UFSC, no prédio do Centro de Eventos da universidade,



**Figuras 23:** Prédio do IEE/USP, com a integra o de 12kWp de módulos fotovoltaicos em sistema interligado à rede elétrica [Zilles & Oliveira, 2001].

um sistema de 10kWp integrado a parte da cobertura daquele edifício, como mostram as figuras 24. A instalação tem por objetivos, além do fornecimento de energia para a demanda da edificação e a continuidade dos estudos do LABSOLAR na área de sistemas fotovoltaicos descentralizados e integrados a edificações urbanas, chamar a atenção dos estudantes da universidade e do público em geral para esta fonte renovável de energia, já que está integrado a um dos maiores espaços culturais da cidade de Florianópolis.

Também em 2003 o LABSOLAR instalou em parceria com a CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina), no contexto do programa de P&D ANEEL/CELESC, três sistemas solares onde pela primeira vez foram utilizados módulos fotovoltaicos do tipo flexível

sobre superfície curva, como os mostrados na figura 25. Neste projeto os módulos flexíveis foram integrados a superfícies curvas em forma de onda, que compõem três coberturas, uma das quais é mostrada na figura 26. Este tipo de módulo fotovoltaico é especialmente robusto e inquebrável, podendo ser colado diretamente sobre superfícies metálicas e de concreto, planas ou curvas.



Em 2001 o LABSOLAR e o Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES) firmaram acordo de cooperação técnica, que

*Figuras 24: Centro de Eventos da UFSC, com sistema fotovoltaico de 10kWp integrado a parte da cobertura da edificação.*



envolve uma série de projetos na área de energia solar fotovoltaica, entre eles o projeto de integração de seis tecnologias fotovoltaicas de filmes finos   cobertura do Prédio Frontal do CENPES, no Rio de Janeiro, com uma potência instalada total de 44.4kWp, como mostram as figuras 27 a seguir. Este edifício solar fotovoltaico emprega módulos fotovoltaicos das mais modernas tecnologias de filmes finos de a-Si, CdTe e CIGS, com o objetivo de acompanhar a performance de diferentes tecnologias utilizadas na integração a edificações. No âmbito desse mesmo projeto, estão sendo integrados a dois postos de serviço Petrobras, um na cidade de Florianópolis e outro no Rio de Janeiro, sistemas solares fotovoltaicos integrados   edificação das respectivas lojas de conveniências. As figuras 28 e 29 mostram um esboço destes dois projetos.

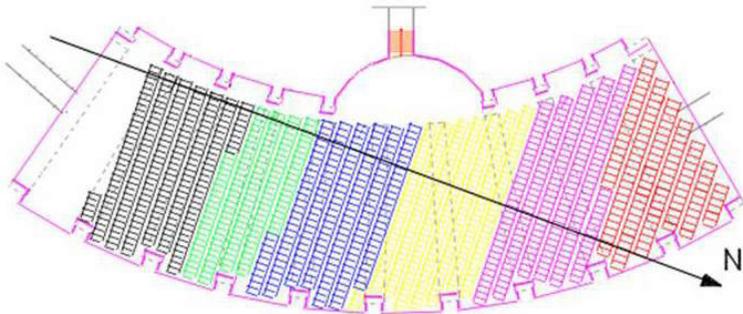


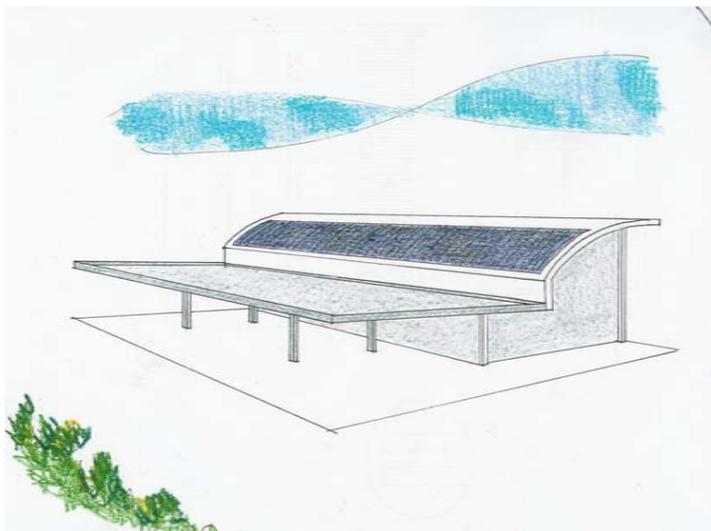
**Figuras 25:** Módulos solares fotovoltaicos do tipo flexível, acondicionados sob a forma de um rolo com superfície autocolante, para integração direta a superfícies metálicas ou de concreto, planas ou curvas.

**Figura 26:** Módulos solares fotovoltaicos do tipo flexível, colados diretamente sobre superfícies curvas de uma cobertura metálica em forma de onda. Projeto LABSOLAR / CEESC. Foram instalados três sistemas como o desta figura em Florianópolis, Lages e Tubarão – SC, com 1.4kWp cada.

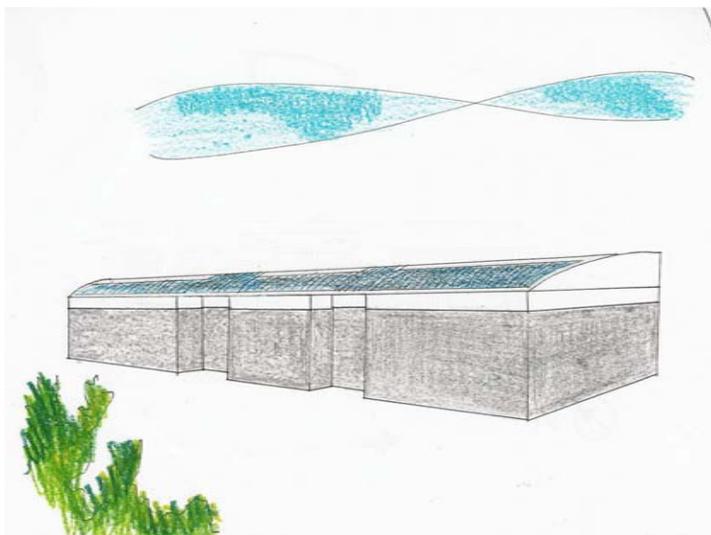


**Figuras 27:** Diagrama esquemático do sistema solar fotovoltaico integrado ao Prédio Frontal do Centro de Pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro. A instalação utiliza módulos solares de filmes finos de seis tecnologias fotovoltaicas, num total de 44.4kWp, devendo entrar em operação ao longo de 2004.





**Figura 28:** Esboço da integração de módulos solares fotovoltaicos a um posto de serviços Petrobras na cidade de Florianópolis, SC. A superfície curva é parte do telhado da loja de conveniências e utiliza módulos fotovoltaicos flexíveis colados diretamente a uma superfície metálica. O sistema está projetado para entrar em operação em 2004.



**Figura 29:** Esboço da integração de módulos solares fotovoltaicos a um posto de serviços Petrobras no Rio de Janeiro. A superfície curva é parte do telhado da loja de conveniências e utiliza módulos fotovoltaicos flexíveis colados diretamente a uma superfície metálica. O sistema está projetado para entrar em operação em 2004.

# 15.

## Exemplos de outros edifícios solares fotovoltaicos

As figuras a seguir exemplificam algumas configurações residenciais, comerciais, públicas e também industriais de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e interligados à rede elétrica convencional em operação em diversos países.

### 15.1. Instalações residenciais

Em sistemas residenciais, as figuras a seguir mostram exemplos tanto de coberturas ou telhados, em que os módulos fotovoltaicos estão integrados à edificação desde a concepção do projeto original, quanto casos de *retrofit*, em que o gerador solar

**Figura 30:** Sistema solar fotovoltaico interligado à rede elétrica pública utilizando módulos de silício policristalino (p-Si) integrados ao telhado de uma residência unifamiliar [Ecofys]. Esta residência utiliza também um sistema solar térmico para o fornecimento de água quente e calefação, além de princípios de arquitetura solar passiva para conforto ambiental (temperatura e iluminação) e é um exemplo típico de sistema energeticamente auto-suficiente em todos os aspectos.



fotovoltaico é montado e adaptado posteriormente sobre uma cobertura ou telhado já existente. Os sistemas integrados apresentam vantagens não somente em termos estéticos, pois são incorporados ao *design* original do projeto arquitetônico, como também apresentam vantagens em relação ao custo total da instalação, pois substituem materiais de revestimento e/ou recobrimento.



**Figura 31:** Sistema fotovoltaico instalado em retrofit sobre telhado de residência unifamiliar, utilizando módulos solares de silício amorfo (a-Si) [Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, 1000 Roofs Program].



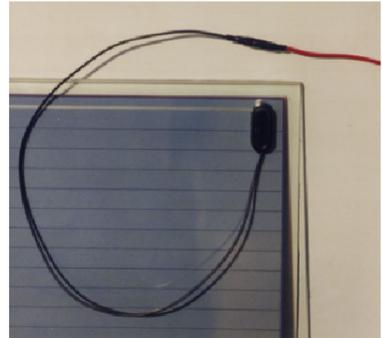
**Figura 32:** Módulos solares de filmes finos de silício amorfo (a-Si) nesta residência multifamiliar substituem toda uma seção do telhado, com aparência estética agradável e reduzindo os custos associados ao telhado que substituem [Phototronics Solartechnik GmbH].



**Figura 33:** Instalação fotovoltaica integrada ao telhado de uma edificação centenária. Neste caso o sistema foi instalado de forma integrada quando da renovação do telhado desta igreja [Photronics Solartechnik GmbH].



**Figura 34:** Frente e verso (esq.) e verso (dir.) mostrando detalhe do contato elétrico (dir.) de módulo solar fotovoltaico como os utilizados nas instalações das figuras 18-20, 31-33, 36-38 e 43 [Photronics Solartechnik GmbH].



**Figura 35:** A integração de módulos solares fotovoltaicos de filmes finos de a-Si colados diretamente sobre telhas metálicas pode ser discreta como ilustra esta figura, onde somente a residência da extrema direita recebeu a integração dos elementos fotovoltaicos ao seu telhado [United Solar Ovinic LLC].



## 15.2 Instalações comerciais

Pela natureza das atividades a que se destinam, edificações comerciais apresentam tipicamente um perfil de consumo mais coincidente com a geração de energia elétrica por sistemas solares fotovoltaicos a elas integradas. Principalmente em períodos de calor intenso, onde a demanda energética nestas edificações aumenta de forma acentuada em consequência da utilização intensa de aparelhos de ar-condicionado, é que a geração solar fotovoltaica atinge valores máximos, aliviando desta forma o sistema de T&D da concessionária elétrica e fornecendo energia de elevado valor junto ao ponto de consumo. Dada a aparência estética agradável das novas gerações de módulos fotovoltaicos especialmente desenvolvidos para aplicações no envoltório de edificações, estes elementos vêm sendo muitas vezes utilizados em substituição a materiais de revestimento mais nobres, como granitos, mármore, cerâmicas e vidros especiais, etc. As figuras que seguem mostram alguns exemplos de sistemas fotovoltaicos instalados de forma integrada a edificações comerciais.

Como a maioria destes exemplos demonstra, sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica podem ser integrados à arquitetura de qualquer edificação, sendo o único requisito fundamental uma orientação solar favorável (superfície voltada tanto quanto o possível para o norte geográfico no hemisfério sul e para o sul

**Figura 36:** Módulos solares integrados à fachada de um edifício, mostrando duas diferentes formas de aplicação. Nas janelas à esquerda os módulos de silício cristalino (c-Si) estão montados em plano inclinado, atuando também como elementos de sombreamento do sol de verão para o interior do prédio; na fachada vertical à direita os módulos de silício amorfo (a-Si) estão montados com inclinação vertical, em substituição a elementos de revestimento normalmente utilizados, como mármore, vidros espelhados, etc. [Phototronics Solartechnik GmbH].



geográfico no hemisfério norte e com um mínimo de obstrução por sombreamento).

As modernas tecnologias de filmes finos, originalmente concebidas com o objetivo de reduzir o custo de módulos solares fotovoltaicos, apresentam a vantagem adicional de proporcionar um produto final com aparência estética mais apropriada para aplicações no entorno construído. Desta forma um sistema solar pode competir em aparência com materiais nobres de revestimento, viabilizando a instalação do gerador solar pela substituição de outros materiais de alto custo e finalidade cosmética.

Por gerar energia junto ao ponto de consumo, uma maior penetração destes sistemas no ambiente urbano poderia em certos casos causar também uma redução no impacto visual causado pelo pouco atraente sistema de T&D. O rol de vantagens de instalações fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica convencional vai além da geração silenciosa de energia renovável sem agressão ao meio-ambiente.

**Figura 37:** Opções semitransparentes de módulos fotovoltaicos para diferentes aplicações arquitetônicas. Os módulos solares têm excelente aparência estética, podem ser configurados para proporcionar a transparência que se deseja e ao mesmo tempo geram energia elétrica, que pode ser utilizada para atender ao consumo da edificação. Principalmente em sistemas instalados em edificações comerciais, demanda energética e geração solar apresentam coincidência temporal, além de apresentarem coincidência espacial, já que a energia é gerada no ponto de consumo, eliminando as perdas por transmissão e distribuição peculiares ao sistema tradicional de geração centralizada [Phototronics Solartechnik GmbH].





**Figura 38:** Aplicação de módulos solares de filmes finos de silício amorfo (a-Si) semitransparentes à cobertura de uma edificação comercial. Neste caso uma fração de luz é admitida ao interior da edificação promovendo a utilização de iluminação natural ao mesmo tempo em que uma fração da energia utilizada para atender ao consumo das instalações do prédio é gerada in situ [Phototronics Solartechnik GmbH].



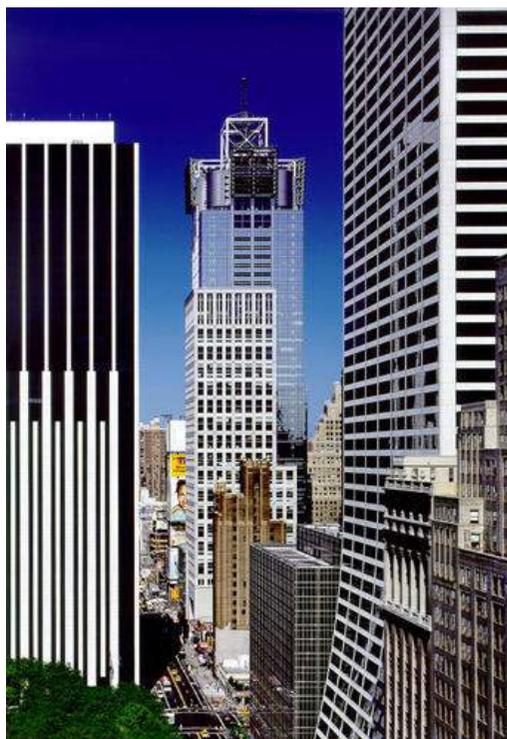
**Figura 39:** Exemplos de módulos solares fotovoltaicos flexíveis de a-Si configurados sob a forma de shingles (que podem ser pregados diretamente sobre um telhado de madeira), ou sob a forma de rolos autocolantes (que podem ser colados diretamente sobre telhas metálicas) [United Solar Ovonic LLC].

**Figura 40:** Edifício solar fotovoltaico, onde módulos solares de p-Si foram integrados à fachada principal deste prédio de escritórios na Inglaterra. Em latitudes elevadas, onde o deslocamento relativo do sol ao longo do dia é sempre mais baixo no horizonte em relação a regiões mais equatoriais, a integração de módulos fotovoltaicos em superfícies com grandes ângulos de inclinação apresenta excelente performance energética [Doxford International, UK].



**Figura 41:** Edifício solar fotovoltaico no Hawaii, com módulos solares integrados à cobertura horizontal deste hotel. Em regiões próximas ao equador, onde o sol está sempre alto no céu, a integração de módulos fotovoltaicos a superfícies com pequenos ângulos de inclinação apresenta excelente performance energética [National Renewable Energy Laboratory].





**Figura 42:** Edifício solar fotovoltaico em New York, onde foram integrados - de forma harmoniosa com os elementos de vidro arquitetônico convencionais dos pavimentos inferiores - módulos fotovoltaicos a alguns dos pavimentos superiores da edificação (entre o 38° e o 45° pavimento, que não sofrem sombreamento considerável de edificações vizinhas). Esta edificação conta também com uma célula combustível para geração in situ de energia elétrica a partir da reação de hidrogênio e oxigênio [National Renewable Energy Laboratory].

### 15.3 Instalações industriais

Também no caso de instalações industriais, sistemas solares fotovoltaicos podem ser integrados a edificações e interligados à rede elétrica pública para gerar energia elétrica junto ao ponto de consumo. As coberturas de edificações industriais normalmente apresentam grandes áreas planas ou com curvaturas suaves e que são bastante adequadas à integração de geradores fotovoltaicos. Desta forma, sem ocupar área extra ou infra-estrutura adicional, o setor industrial pode também hospedar estes geradores elétricos para satisfazer parte de sua demanda energética. Cada vez mais, grandes

corporações industriais vêm se utilizando desta fonte alternativa, cujo potencial de suprir as necessidades energéticas impostas pela atividade humana vem crescendo ano a ano.



**Figura 43:** Utilização de módulos solares fotovoltaicos de filmes finos de silício amorfo (a-Si) integrados a uma edificação industrial [Phototronics Solartechnik GmbH].

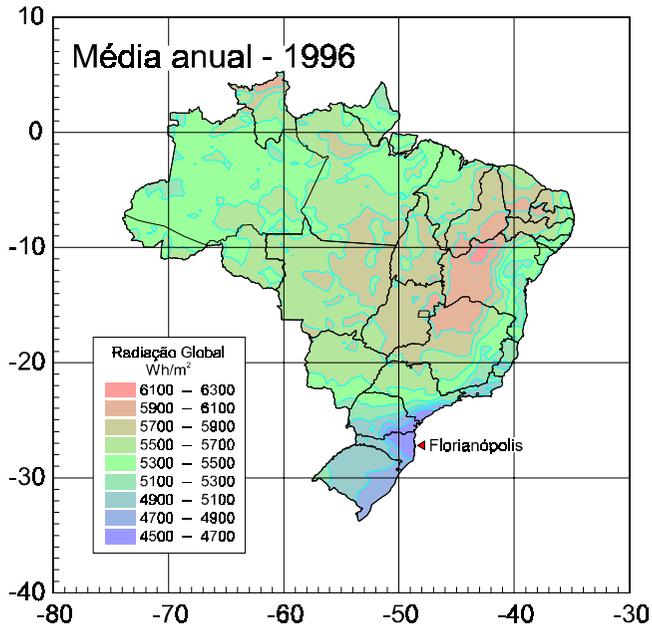


**Figura 44:** Edifício solar fotovoltaico industrial que abriga uma fábrica de células solares fotovoltaicas, utilizando módulos planos de p-Si compondo uma fachada curva [Shell Solar GmbH].

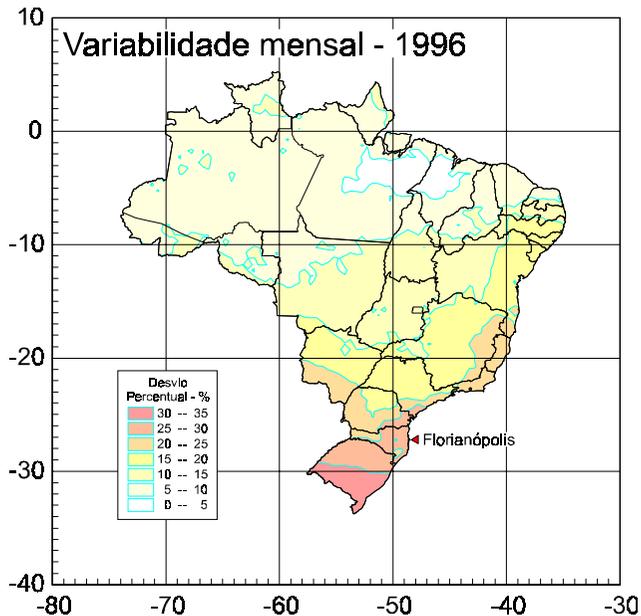
## 16.

# Atlas Solarimétrico do Brasil e Atlas Fotovoltaico do Brasil

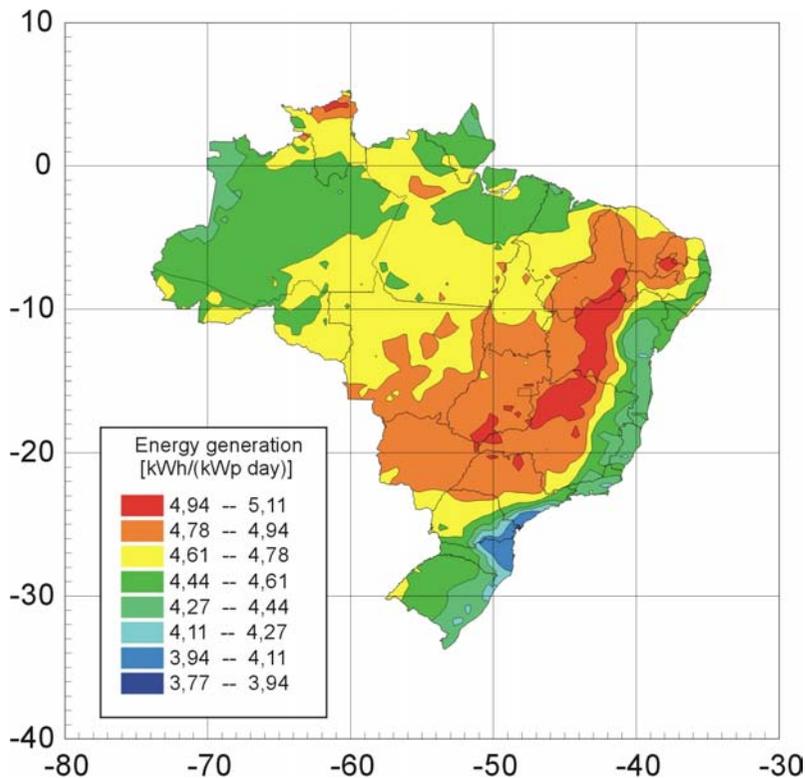
O Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina se dedica há mais de uma década ao levantamento do potencial de radiação solar incidente sobre o território nacional. As figuras 45 e 46 a seguir mostram dois dos 26 mapas do Atlas Solarimétrico do Brasil (*outros oito mapas são apresentados no Anexo II*), contendo a média anual do total diário da radiação solar incidente no plano horizontal e a variabilidade anual do recurso solar em qualquer ponto do território nacional (12 mapas de médias mensais + 1 mapa de média anual + 12 mapas de variabilidade mensal + 1 mapa de variabilidade anual). Este atlas é o resultado de vários anos de consolidação de medições realizadas em estações de superfície (para um maior detalhamento da localização destas estações, consultar [www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)) que validam medições realizadas através de imagens de satélite fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE. O atlas é refinado ano a ano, na medida em que mais dados medidos são agregados ao banco de dados e a série se torna mais representativa de um ano típico. A partir deste atlas, mostrado em mais detalhes no Anexo II, e de dados medidos em sistemas solares fotovoltaicos em operação no Brasil, principalmente dos sistemas descritos neste livro, foi derivado o Atlas Fotovoltaico do Brasil, que contém 13 mapas (1 mapa de média anual + 12 mapas de médias mensais), mostrados a partir da figura 47. A partir deste atlas é possível estimar o potencial de geração de sistemas solares fotovoltaicos instalados em qualquer ponto do território Brasileiro. Os mapas mostram a quantidade de energia (kWh) que um sistema fotovoltaico utilizando módulos de a-Si voltados para orientação norte e com inclinação igual à latitude local é capaz de gerar diariamente para cada kWp instalado.



**Figura 45:** Atlas Solarimétrico do Brasil, mostrando a média anual do total diário da radiação global incidente no plano horizontal para qualquer ponto do Brasil [Colle e Pereira, 1996].

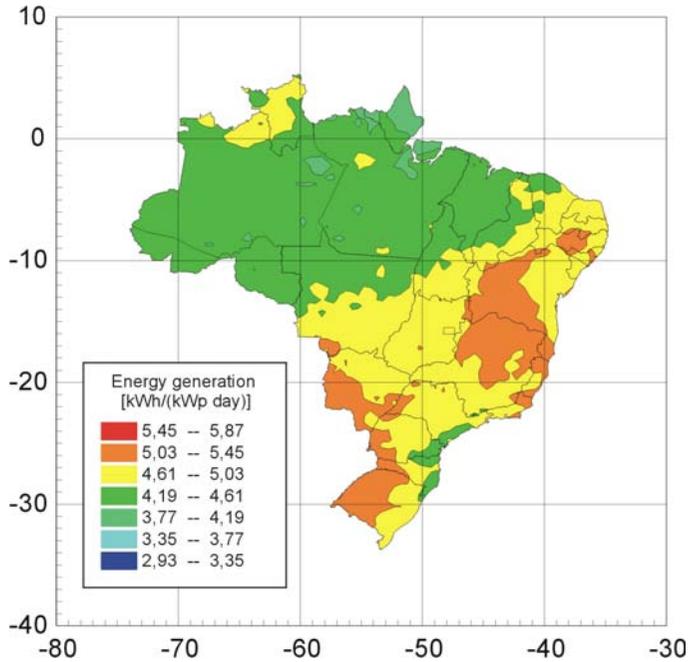


**Figura 46:** Mapa de variabilidade mensal do Atlas Solarimétrico do Brasil, mostrando a média anual do desvio percentual da variabilidade da radiação global incidente no plano horizontal para qualquer ponto do Brasil [Colle e Pereira, 1996].

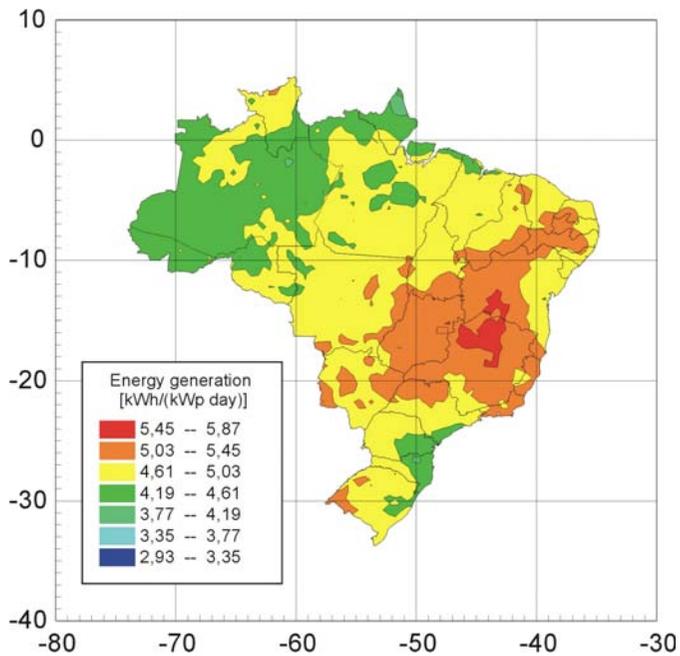


**Figura 47:** Atlas Fotovoltaico do Brasil, mostrando o mapa da média anual do total diário de energia (kWh) que pode ser gerado por cada kWp de módulos fotovoltaicos instalados em qualquer ponto do território nacional. O atlas foi desenvolvido para sistemas solares fotovoltaicos utilizando a tecnologia de filmes finos de a-Si, com os módulos voltados para o norte verdadeiro e com inclina o igual   latitude local.

As figuras a seguir mostram mapas mensais do Atlas Fotovoltaico do Brasil calculados para os 12 meses do ano, para sistemas solares utilizando a tecnologia de filmes finos de silício amorfo, com orienta o voltada para o norte geográfico (norte verdadeiro) e inclina o igual   latitude local.



**Figura 48:** Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Janeiro.



**Figura 49:** Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Fevereiro

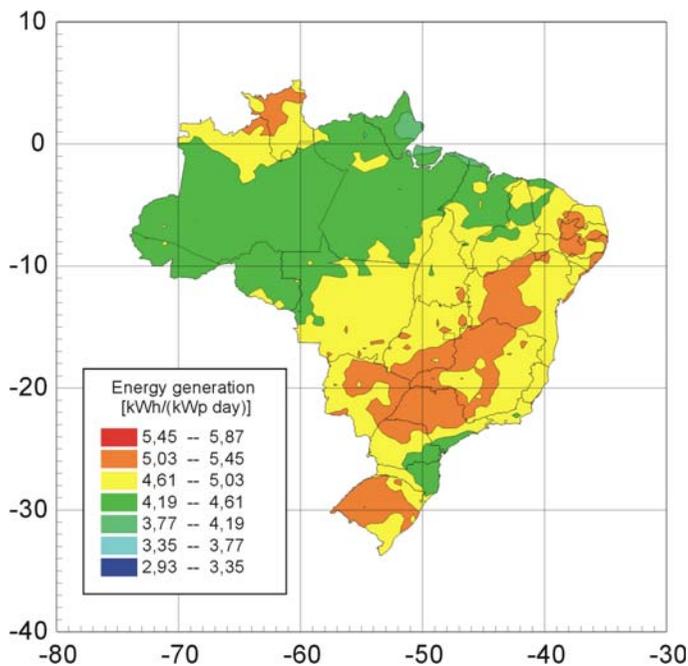


Figura 50: Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Março

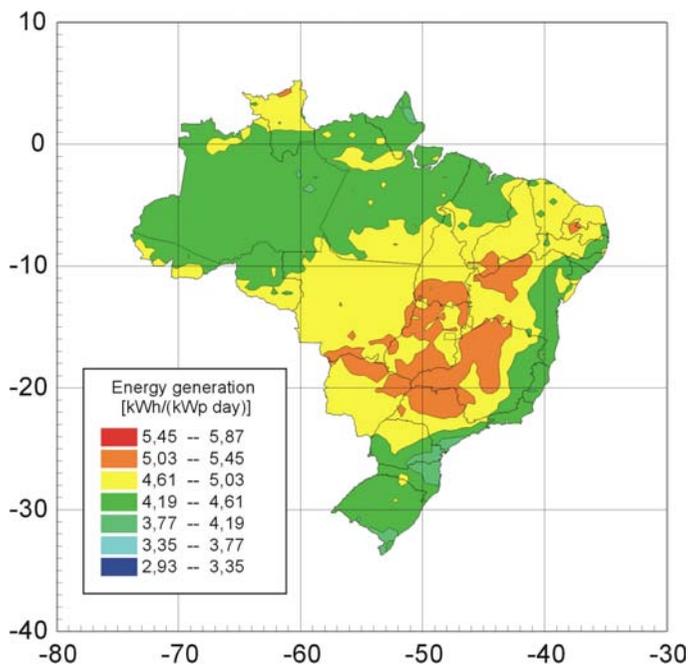
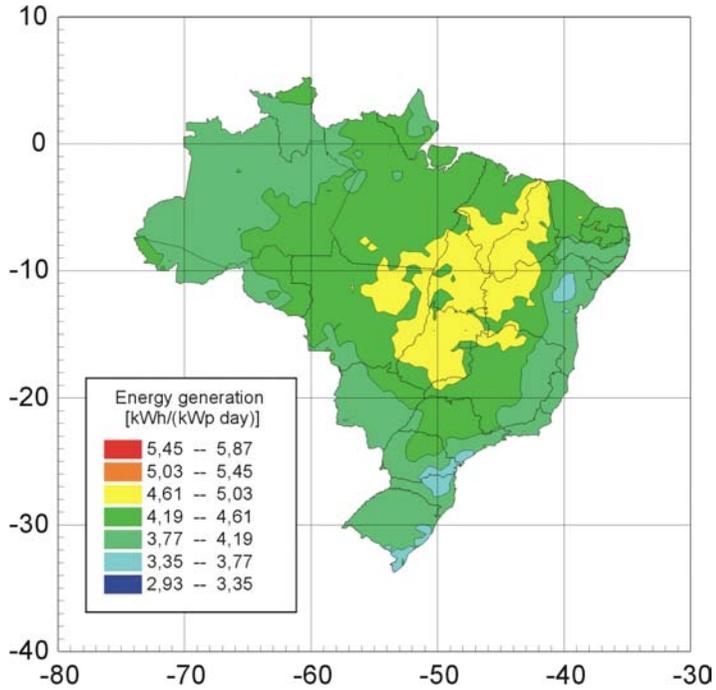
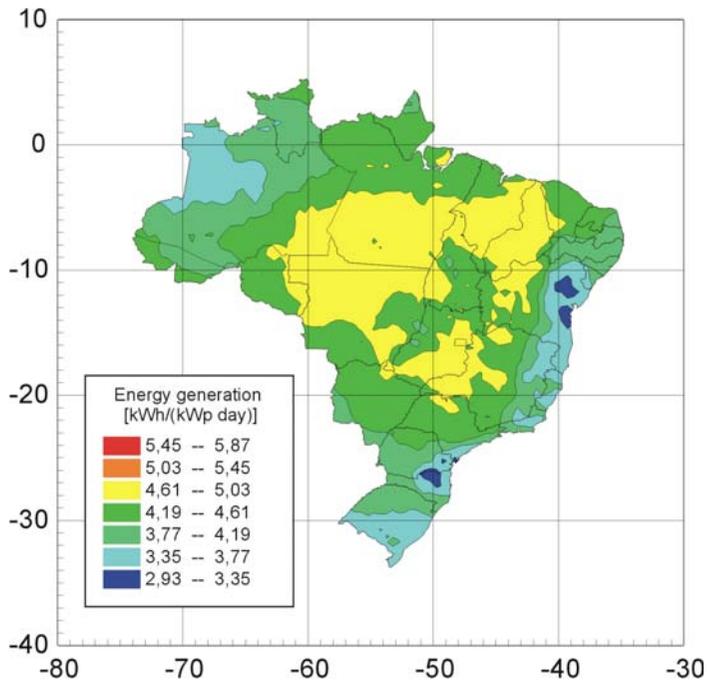


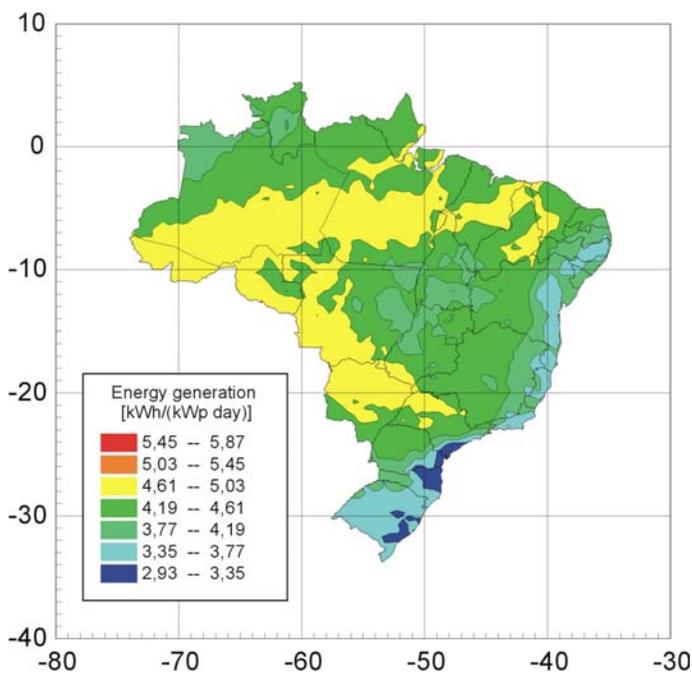
Figura 51: Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Abril



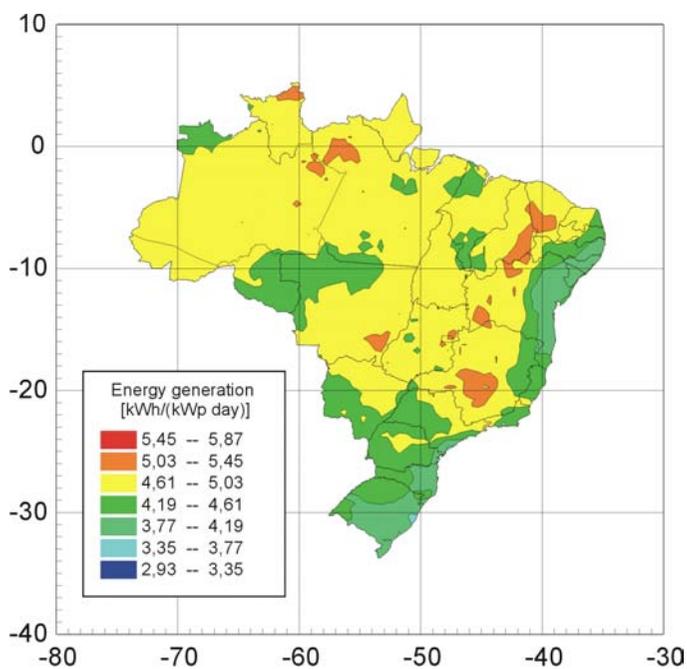
**Figura 52:** Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Maio



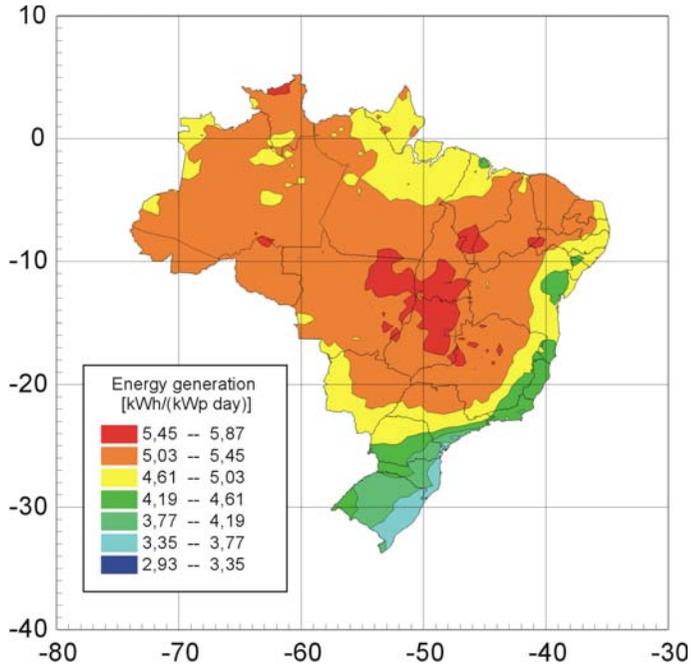
**Figura 53:** Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Junho.



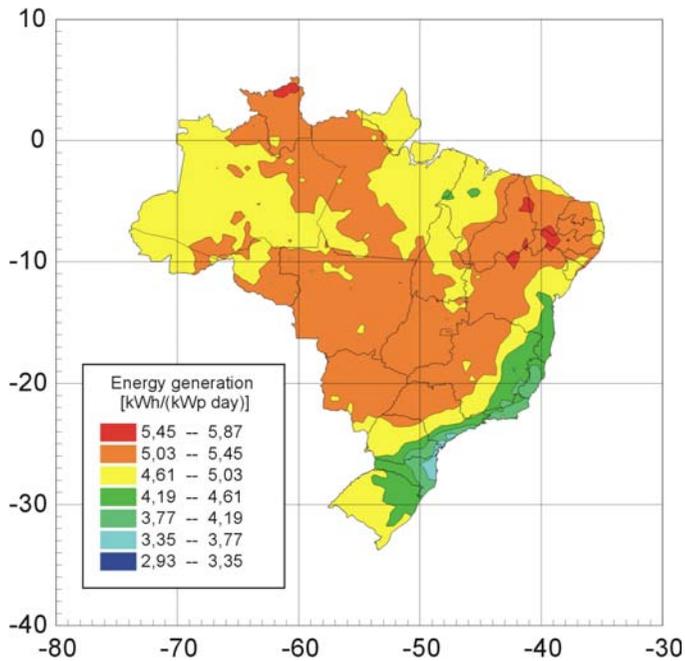
*Figura 54: Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Julho.*



*Figura 55: Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Agosto.*



**Figura 56:** Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Setembro.



**Figura 57:** Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Outubro.

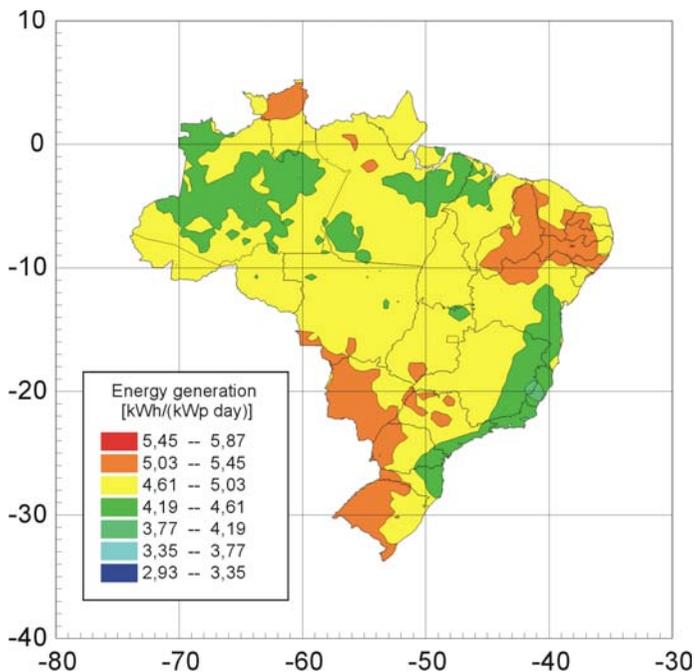


Figura 58: Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Novembro.

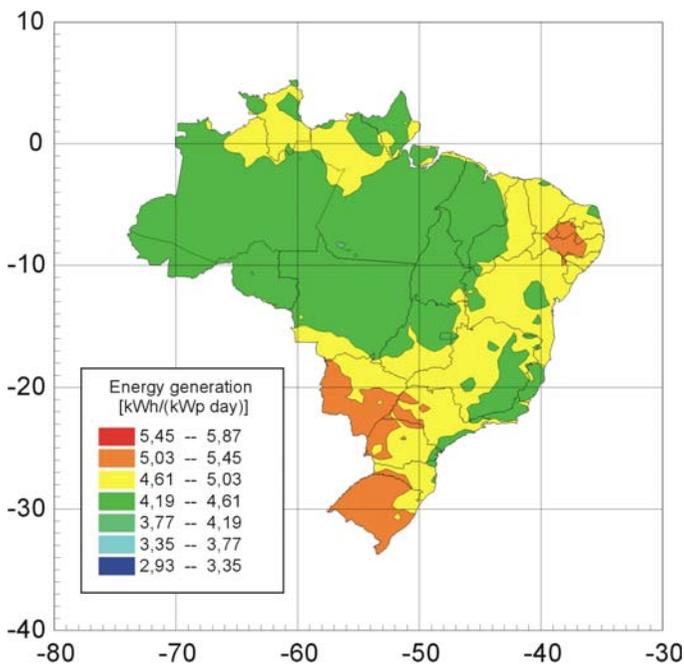


Figura 59: Mapa do Atlas Fotovoltaico do Brasil para o mês de Dezembro.

# 17.

## Potencial da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

O potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil é muitas vezes superior ao consumo total de energia elétrica do país. Para exemplificar este potencial, a comparação com a usina hidrelétrica de Itaipu, que contribui com aproximadamente 25% da energia elétrica consumida no país, é bastante ilustrativa. Cobrindo-se o lago de Itaipu com módulos solares fotovoltaicos de filmes finos comercialmente disponíveis, como os descritos neste livro, seria possível gerar o dobro da energia gerada por Itaipu, ou o equivalente a 50% da eletricidade consumida no Brasil<sup>6</sup>. A proposta apresentada aqui, no entanto, é a integração dos módulos fotovoltaicos ao entorno construído dos ambientes urbanos, como anteriormente mencionado, para evitar os investimentos e as perdas por T&D, bem como a ocupação desnecessária de área física (os 1.350km<sup>2</sup> no caso do lago de Itaipu!), utilizando-se os telhados das edificações ao invés de áreas que podem ter outras finalidades.

Uma comparação com a geração eólica demonstra também o grande potencial da geração fotovoltaica no Brasil. Somente a instalação fotovoltaica hipotética no lago de Itaipu do exemplo anterior corresponderia a aproximadamente 60% do potencial de geração eólica de todo o Brasil<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> O lago de Itaipu cobre uma superfície de 1.350 km<sup>2</sup>, para um potência instalada de 12,6GW e uma produção anual de energia elétrica em torno de 80 TWh [Balanço Energético Nacional, 2002 – [www.eletrobras.gov.br](http://www.eletrobras.gov.br)]. Cobrindo uma área equivalente com um sistema solar fotovoltaico de filmes finos com eficiência de conversão em torno de 7%, a potência instalada seria de 94,5GWp e, em função da disponibilidade de energia solar na região do lago de Itaipu (de acordo com o Atlas Fotovoltaico do Brasil da figura 47, a quantidade anual de energia elétrica fotogerada seria em torno de 160TWh. Em 2002 o Brasil consumiu 321,5TWh de energia elétrica.

<sup>7</sup> O Atlas Eólico do Brasil, disponibilizado pelo Centro de Pesquisas da Eletrobrás – CEPEL ([http://cresesb.cepel.br/atlas\\_eolico\\_brasil/atlas-web.htm](http://cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm)), indica um potencial eólico total para o Brasil de 143,5GW, que pode ser traduzido em uma geração anual de energia da ordem de 272,2 TWh.

Estas comparações são úteis para quantificar o enorme potencial da geração solar no Brasil, mas um equilíbrio entre as diversas fontes de geração disponíveis no país deve ser o objetivo do setor elétrico nacional, buscando utilizar sempre a fonte mais apropriada para cada região ou situação. Como este trabalho revela, a aplicação da energia solar em edifícios fotovoltaicos apresenta grandes vantagens por situar a geração de energia de forma integrada no meio urbano e deverá ter uma participação relevante na matriz energética nacional na medida em que seus custos declinem com a produção em grande escala.

# 18.

## Conclusões

A integração de sistemas solares fotovoltaicos ao entorno construído vem tomando impulso crescente, principalmente nos países industrializados, por oferecer várias vantagens que compensam seu atual alto custo. Como algumas das imagens neste livro demonstram, se utilizados como material de construção, módulos solares substituem outros materiais de revestimento, reduzindo assim o custo total do sistema fotovoltaico. Com relação à instalação elétrica predial envolvida por sistemas deste tipo, algumas peculiaridades devem ser observadas para que um sistema solar fotovoltaico seja integrado ao entorno construído e conectado à rede elétrica pública sem maiores dificuldades. A instalação de sistemas deste tipo nos campi da UFSC e USP demonstrou a simplicidade de instalação de um sistema com um projeto de engenharia adequado.

As tecnologias de filmes finos são promissoras para o futuro da aplicação em larga escala da energia solar fotovoltaica ao entorno construído por demandarem pouca energia e matérias primas na sua fabricação e pelo seu grande potencial de redução de custos se produzidos em grande escala. Aspectos estéticos também são melhor atendidos pelas tecnologias fotovoltaicas de filmes finos, razão pela qual poderão vir a dominar as aplicações integradas ao entorno construído no Brasil no futuro próximo.

Sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações urbanas dispensam os custos relativos à área ocupada por sistemas montados junto ao solo, bem como os custos de preparação do terreno, fundações, sistemas de suporte estrutural, distribuição elétrica e conexão à rede. O envelope da edificação proporciona a área e a

estrutura de suporte; a instalação elétrica predial passa a ser a interface do gerador fotovoltaico com a rede elétrica convencional. Geradores solares instalados em edificações geram energia à jusante do relógio medidor e portanto dispensam a compra de energia a custo de consumidor, enquanto que plantas geradoras centralizadas geram energia à montante do sistema de T & D, com valor portanto equivalente aos custos no barramento praticados pelas concessionárias elétricas. Para o sistema elétrico nacional, instalações deste tipo também apresentam vantagens econômicas diretas e indiretas, relacionadas ao custo evitado. A Alemanha, um dos principais mercados da tecnologia fotovoltaica, instituiu tarifas diferenciadas para os edifícios solares fotovoltaicos; as concessionárias alemãs compram a energia gerada por edifícios solares a uma tarifa de US\$ 723/MWh (com tarifa garantida por 20 anos [Siemer, 2003]), o que torna o investimento atrativo. O custo deste programa de incentivo é diluído na tarifa de todos os consumidores, com impacto desprezível (<1%) na conta final de cada um.

O Atlas Fotovoltaico do Brasil, preparado a partir do Atlas Solarimétrico do Brasil e de dados de performance de sistemas fotovoltaicos em operação, permite que se estime a performance de uma instalação solar fotovoltaica em qualquer ponto do país. Este atlas se constitui em valiosa ferramenta de projeto no planejamento energético nacional, em um futuro quiçá próximo em que esta elegante fonte de energia poderá vir a compor a matriz energética nacional a custos competitivos, advindos de sua aplicação em larga escala. Este cenário somente irá se concretizar com a introdução de programas de incentivo, como os praticados na Alemanha e Japão, entre outros países, onde a incidência de radiação solar é muito menor do que no Brasil, mas que têm tido a visão de estimular esta tecnologia em busca de sua viabilidade econômica. A promoção de um programa nacional de incentivo aos edifícios solares fotovoltaicos [Oliveira, 2001; Rütther, 2001], aproveitando a experiência das melhores práticas adotadas por países que já vêm promovendo esta fonte de geração, podem promover as economias de escala necessárias para que o potencial de redução de custos desta tecnologia [Ovshinsky, 1994; Green, 2003] seja atingido. Esta redução de custos traz benefícios adicionais aos programas de universalização do acesso à energia elétrica, uma vez que as escalas envolvidas nos edifícios solares fotovoltaicos justificam a instalação de plantas de produção de módulos no Brasil, com o que promovem também a geração de

empregos diretos na fabricação dos módulos fotovoltaicos e indiretos na sua integração e instalação. O mercado denominado *off-grid*, das aplicações de pequeno porte em sistemas isolados, se ressentem da pequena escala e natureza dispersa destes serviços<sup>8</sup>. A instalação de forma intensiva de edifícios solares fotovoltaicos proporciona um salto quântico na resolução destes problemas.

---

<sup>8</sup> Enquanto que uma instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação urbana residencial típica e interligada à rede elétrica pública tem potência instalada de 2.000Wp ou mais, um sistema fotovoltaico residencial isolado típico tem potência instalada de 200Wp ou menos. A natureza concentrada dos sistemas urbanos tem o potencial de estabelecer um mercado de produtos e serviços fotovoltaicos altamente qualificado.

# Agradecimentos

O autor agradece à Fundação Alexander von Humboldt (AvH, [www.avh.de](http://www.avh.de)), que no âmbito de seu programa de *follow-up* financiou o projeto e o equipamento do primeiro edifício solar fotovoltaico do Brasil, que deu origem a todo o trabalho do LABSOLAR/UFSC nesta área, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, [www.cnpq.br](http://www.cnpq.br)) e ao Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES-PETROBRAS, [www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br)) pelo apoio financeiro para a publicação deste livro. Aos colegas do LABSOLAR/UFSC e LabEEEE/UFSC, o autor agradece especialmente pelo apoio e colaboração.

# Referências bibliográficas

Barker, P.P. [1997] *Photovoltaics support distribution feeder*, Electric Light & Power, Vol. March 1997.

Borgstrom, G. [1973] *Harvesting the Earth*, Abelard-Schulman, New York.

Byrne, J.; Kurdgelashvili, L.; Poponi, D. & Barnett, A. [2004] *The potential of solar electric power for meeting future U.S. energy needs*, Energy Policy, Vol. 32.

Colle, S. & Pereira, E. B. [1996] *Atlas de Irradiação Solar do Brasil*, LABSOLAR – INMET, Florianópolis.

Conti, S.; Raiti, S.; Tina, G. & Vaglgiasind, U. [2003] *Integration of multiple PV units in urban power distribution systems*, Solar Energy, Vol. 75.

Eiffert, P. & Thompson, A. [2000] *U.S. guidelines for the economic analysis of building-integrated photovoltaic power systems*, National Renewable Energy Laboratory, Report NREL/TP-710-25266.

Eiffert, P. [2003] *Guidelines for the economic evaluation of building-integrated photovoltaic power systems*, IEA PVPS Task 7 Technical Report NREL/TP-550-31977.

EnergieNed [1997] *Supplementary conditions for decentralized generators – low voltage level*, Association of Energy Distribution Companies in The Netherlands.

EnergieNed [1998] *Guidelines for the electrical installation of grid-connected photovoltaic systems*, Association of Energy Distribution Companies in The Netherlands.

Erge, T.; Hoffmann, V.U. & Kiefer, K. [2001] *The German experience with grid-connected PV-systems*, Solar Energy, Vol. 70.

Fraunhofer ISE [1990] *Solar electricity from a thousand roofs*, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.

Fraunhofer ISE [1996] *1000-Dächer Me-ß- und Auswerteprogramm Jahresjournal 1996*, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.

FSEC [1997] *Photovoltaic system design – course manual*, Florida Solar Energy Center.

Garver, L. [1966] *Effective load carrying capability of generating units*, IEEE Transactions, Power Apparatus and Systems, Vol. Pas-85, No. 8.

Geller, H. [1994] *O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*, INEE, ACEEE.

Germany2000 [2001] *Act on granting priority to renewable energy sources (Renewable Energy Sources Act, Germany, 2000)*, Solar Energy, Vol. 70.

Ginn, J.; Ralph, M.; Gonzalez, S. & Byrd Jr., T. [2003] *Photovoltaics as a distributed energy resource*, NCPV and Solar Program Review Meeting 2003, NREL/CD 520-33586.

Green, M. [1982] *Solar cells – operating principles, technology and system applications*, Prentice Hall.

Green, M. [2000] *Power to the people*, University of New South Wales Academic Press.

Green, M. [2003] *Green energy visions: Personal views on the future of photovoltaics*, 3<sup>rd</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japão.

Hammond, C. R. [1992] *The elements, Handbook of chemistry and physics*, Ed. D.R.Lide, CRC Press.

Haas, R. [2003] *Market deployment strategies for photovoltaics: an international review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 7.

Hayes, D. [1998] *Carter official puts price of full PV commercialization at \$5 billion*, Sustainable Energy Industry Journal, vol. 3 (supplement *Finance in the greenhouse*).

Herig, C. [2001] *Using photovoltaics to preserve California's electricity capacity reserves*, National Renewable Energy Laboratory, NREL/BR-520-31179.

Hoff, T.; Shugar, D.; Suchard, A.; Wenger, H.; Lau, K.; Ball, G. & Mead, J. [1992] *The photovoltaic grid-support project at Kerman substation – Project plan*, PG&E Advanced Energy Systems Report 007.5-92-5, Pacific Gas and Electric Company, San Ramon, EUA.

Hovel, H.J. [1975] *Solar cells*, Academic Press.

IEA [1993] *DC cabling systems for building integrated PV modules*, IEA Task 16: Photovoltaics in Buildings – Working document 4.

IEE – USP [1998] *Encontro Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de distribuição: discussão de aspectos técnicos e legais*, Universidade de São Paulo.

Khouzam, K. & Hoffman, K. [1997] *Technical guidelines for the interconnection of PV generation systems in Queensland*, 26<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, EUA.

Kurokawa, K. & Ikki, O. [2001] *The Japanese experiences with national PV systems programmes*, Solar Energy, Vol. 70.

Lamberts, R.; Dutra, L. & Pereira, F.O.R, [1997] *Eficiência energética na arquitetura*, PW Editores.

Lomardo, L.L.B. [1988] *Consumo de energia nos grandes prédios comerciais: estudos de caso*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Lovins, A.B.; Datta, E.K.; Feller, T.; Rábago, K.R.; Swisher, J.N.; Lehmann, A. & Wicker, K. [2002] *Small is profitable: the hidden economic benefits of making electrical resources the right size*, Rocky Mountain Institute.

Maycock, P.D. [2003] *PV News annual survey of PV module production*, PV News, Vol. 22 (3).

Neville, R.C. [1978] *Solar energy conversion: the solar cell*, Elsevier Scientific.

Ogawa, K.-I. [2002] *Present status of research and development of PV technology in Japan*, 29<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, EUA.

Oliveira, S.H.F. & Zilles, R. [2001] *Grid-connected photovoltaic systems: The Brazilian experience and the performance of an installation*, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 9.

Oliveira, S.H.F. & Zilles, R. [2002] *Why do we need rules and standards to implement grid-connected distributed PV systems in Brazil?* IEEE/PES T&D 2002 Latin America, São Paulo, Brasil.

Oliveira, S.H.F. [2002] *Geração distribuída de eletricidade: Inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo*, Tese de Doutorado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Oliver, M. & Jackson, T. [2001] *Energy and economic evaluation of building-integrated photovoltaics*, Energy, Vol. 26.

Ovshinsky, S.R. [1994] *The material basis of efficiency and stability in amorphous photovoltaics*, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 32.

Perez, R.; Seals, R. & Stewart, R. [1993] *Solar resource: utility load matching assessment*, Interim Subcontract Report No. NREL/TP-411-6292, NREL, Golden, EUA.

Posbic, J.P. & Rever III, W.B. [1998] *Economic Optimization of Building Integrated Photovoltaic Systems*, 27<sup>th</sup> Annual Meeting of the American Solar Energy Society, Albuquerque, EUA.

Rüther, R. & Livingstone, J. [1993] *Amorphous and Crystalline Silicon Solar Modules: Choice of Technologies*, Anais da Conferência Solar '93, Australian and New Zealand Solar Energy Society, Perth, Australia.

Rüther, R. [1996] *The first grid-connected, building-integrated, thin film solar photovoltaic installation in Brazil*, Projeto de pesquisa financiado pela Fundação Alexander von Humboldt (Alemanha).

Rüther, R. & Kleiss, G. [1996] *Advantages of thin film solar modules in façade, sound-barrier, and roof-mounted PV systems*, European Solar Energy Conference - EuroSun '96, Freiburg, Alemanha.

Rüther, R. [1998] *Experiences and Operational Results of the First Grid-Connected, Building-Integrated, Thin Film Photovoltaic Installation in Brazil*, 2<sup>nd</sup> World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna, Áustria.

Rüther, R. [1999] *Demonstrating the Superior Performance of Thin-Film Amorphous Silicon for Building-Integrated Photovoltaic Systems in Warm Climates*, ISES 1999 Solar World Congress - International Solar Energy Society, Jerusalem, Israel.

Rüther, R. & Dacoregio, M.M. [2000] *Performance assessment of a 2kWp grid-connected, building-integrated, amorphous silicon photovoltaic installation in Brazil*, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 8.

Rüther, R. [2001] *Grid-connected PV systems in Brazil can push PV to mass production*, 17<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munique, Alemanha.

Rüther, R.; Tamizh-Mani, G.; del Cueto, J.; Montenegro, A.A. & von Roedern, B. [2003] *Performance test of amorphous silicon modules in different climates: higher minimum operating temperatures lead to higher performance levels*, 3<sup>rd</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japão.

Rüther, R.; Beyer, H.G.; Montenegro, A.A.; Dacoregio, M.M. & Knob, P. [2004] *Performance results of the first grid-connected, thin-film PV installation in Brazil: high performance ratios over six years of continuous operation*, 19<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, França.

Shah, A.; Meier, J.; Tschärner, R. & Wyrsh, N. [1992] *Photovoltaic Power Generation*, Plasma Physics & Controlled Fusion, vol. 37.

Sick, F. & Erge, T. [1996] *Photovoltaics in Buildings – A design handbook for architects and engineers*, International Energy Agency, James & James Science Publishers.

Siemer, J. [2003] *German PV train rolls on*, Photon International, Vol. December 2003.

Starrs, T.J. & Wenger, H. [1998] *Promoting profitable home power*, Home Energy, Vol. Jan/Feb.

Toledo, L.M.A. [1995] *Uso de energia elétrica em edifícios públicos e comerciais de Florianópolis*, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

US – DOE [1996] *Photovoltaics can add capacity to the utility grid*, U.S.Department of Energy.

US – DOE [1997a] *Solar electric buildings – an overview of today's applications*, U.S.Department of Energy.

US – DOE [1997b] *Customer-sited photovoltaics*, U.S. Department of Energy.

van der Borg, N.J.C.M. & Wiggelinkhuizen, E.J. [2001] *Building integration of photovoltaic power systems using amorphous silicon modules: irradiation losses due to non-conventional orientations*, ECN Report ECN-C-01-068.

Wiles, J.C. [1991] *Photovoltaic safety equipment and the national electrical code*, 22<sup>nd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Las Vegas, EUA.

Würth Elektronik [1997], *Line-commutated sine-wave inverter*, Catálogo técnico Würth Elektronik GmbH.

Zilles, R. & Oliveira, S.H.F. [2001] *6.3kWp photovoltaic building integration at São Paulo University*, 17<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munique, Alemanha.



# **Anexo I**

**Resolução ANEEL 112, de 18 de maio de 1999**



## AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL

### RESOLUÇÃO Nº 112, DE 18 DE MAIO DE 1999.

Estabelece os requisitos necessários à obtenção de Registro ou Autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia.

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com Deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto nos incisos IV e XXXI do art. 4º do Anexo I do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, no art. 6º, no inciso I do art. 7º, no art. 8º e no § 3º do art. 17 da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, com nova redação dada pela Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, no inciso I do art. 4º e no art. 5º do Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996, no art. 4º do Decreto nº 2.655, de 2 de julho de 1998, e considerando:

a necessidade de atualizar os procedimentos contidos nas Normas DNAEE nºs 10 a 13 para Apresentação e Aprovação de Estudos e Projetos de Usinas Termelétricas, aprovadas pela Portaria DNAEE nº 187, de 21 de outubro de 1988, e de estabelecer procedimentos para as centrais geradoras eólicas e de outras fontes alternativas de energia, no que se refere a solicitação de Registro ou Autorização para a sua implantação ou ampliação;

as mudanças estruturais e institucionais do setor de energia elétrica brasileiro, resolve:

#### DO OBJETO

Art. 1º Estabelecer os requisitos necessários à obtenção de Registro ou Autorização, junto à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia.

#### DA APLICAÇÃO

Art. 2º O disposto nesta Resolução aplica-se a:

I – pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio interessadas em

produzir energia elétrica destinada à comercialização sob forma de produção independente;

II – pessoa física, pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio interessadas em produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo;

III – registro de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia, de potência até 5.000 kW, destinadas à execução de serviço público; e

IV – ampliação e repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia destinadas à execução de serviço público.

Parágrafo único. As centrais geradoras referidas nesta Resolução não compreendem aquelas cuja fonte de energia primária seja hidráulica.

## DO REGISTRO

Art. 3º O Registro de implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia, com potência igual ou inferior a 5.000 kW, deverá ser solicitado à ANEEL mediante requerimento, acompanhado de Ficha Técnica preenchida, na forma dos modelos anexos, conforme o caso.

## DOS ESTUDOS DE VIABILIDADE

Art. 4º A realização de estudos de viabilidade de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia não necessita de prévia autorização. Entretanto, facultativamente, a mesma poderá ser solicitada à ANEEL, mediante requerimento contendo dados e informações a seguir indicados, não gerando, porém, direito de preferência, exclusividade ou garantia de obtenção da Autorização para implantação da respectiva central geradora:

I - nome ou razão social, número de inscrição no Cadastro de Pessoas Físicas – CPF ou número do registro no Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas – CNPJ do Ministério da Fazenda – MF, endereço da empresa ou empreendedor e o nome do representante legal da empresa;

II - denominação, potência e localização da central geradora, com indicação do Município e do Estado da Federação;

- III - características técnicas gerais da central geradora;
- IV - finalidade a que se destina a energia elétrica;
- V - finalidades previstas além de geração de energia elétrica;
- VI - combustíveis previstos; e
- VII - prazo previsto para conclusão dos estudos e projetos.

#### DA AUTORIZAÇÃO

Art. 5º A Autorização para implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia, com potência superior a 5.000 kW, deverá ser solicitada à ANEEL, mediante requerimento, acompanhado de relatório contendo os seguintes requisitos:

##### I - Requisitos Legais :

- a) nome ou razão social, número de inscrição no Cadastro de Pessoas Físicas – CPF ou número do registro no Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas – CNPJ do Ministério da Fazenda – MF, endereço da empresa ou empreendedor e o nome do representante legal da empresa;
- b) contrato ou estatuto social da empresa, com indicação da composição acionária;
- c) denominação e localização da central geradora, com indicação do Município e do Estado da Federação;
- d) prova de propriedade da área ou do direito de dispor livremente do terreno, onde será implantada a central geradora ;
- e) acordo de fornecimento comprovando, quando for o caso, a disponibilidade do combustível a ser utilizado; e
- f) certificados de regularidade perante a Seguridade Social e o FGTS, e certidões de regularidade para com as Fazendas Federal, Estadual e Municipal do domicílio ou sede do interessado.

## II - Requisitos Técnicos :

a) arranjo geral e memorial descritivo da central geradora, contendo suas características técnicas principais, incluindo a respectiva subestação e as demais instalações de conexão ao sistema de transmissão, à rede de distribuição e/ou diretamente a outros consumidores;

b) finalidade a que se destina a energia elétrica;

c) finalidades previstas além da geração de energia elétrica;

d) estudo comprovando a disponibilidade dos combustíveis previstos;

e) fluxograma simplificado do processo;

f) diagrama elétrico unifilar geral;

g) balanço térmico da planta para as condições de operação com cem, setenta e cinco e cinquenta por cento de carga, onde aplicável;

h) fluxograma do sistema de resfriamento da central geradora, contendo vazões e temperaturas, onde aplicável;

i) ficha técnica preenchida na forma dos modelos anexos, conforme o caso;

e

j) cronograma geral de implantação da central geradora destacando as datas de elaboração do projeto básico, elaboração do projeto executivo, obtenção das licenças ambientais, início da construção, implementação da subestação e respectivo sistema de transmissão associado, conclusão da montagem eletromecânica, comissionamentos e início da operação comercial de cada unidade geradora.

Art. 6º A não apresentação de qualquer dos dados, informações e documentos, referidos nos arts. 3º, 4º e 5º desta Resolução, acarretará a sustação do respectivo requerimento até o integral cumprimento de todas as exigências.

Art. 7º A ANEEL examinará o histórico do interessado, quanto ao comportamento e penalidades acaso imputadas, no desenvolvimento de outros processos de autorização e concessão dos serviços de energia elétrica.

## DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 8º Toda documentação a ser apresentada deverá estar no idioma português.

Art. 9º Os desenhos, mapas, plantas e gráficos deverão ser numerados e apresentados obedecendo às correspondentes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em escalas gráficas, de tal forma que se permita identificar claramente os seus elementos, em todas as folhas, abrangendo a identificação e o local do empreendimento, sua área de influência e outros detalhes imprescindíveis à sua localização e inserção na região.

Art. 10. Toda documentação técnica a ser apresentada deverá ser assinada pelo Engenheiro Responsável Técnico (RT), não sendo aceitas cópias de assinaturas.

§ 1º A Autorizada será responsável pelas Anotações de Responsabilidade Técnica (ART's) do empreendimento perante o Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA.

§ 2º Para cada responsável Técnico (RT), deverá ser indicada a região e o número de seu registro no respectivo Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CREA.

Art. 11. Toda documentação técnica a ser apresentada, conforme listado nos arts. 4º e 5º desta Resolução, poderá também ser apresentada, em igual teor, em meio digital, em CD – ROM, informando o software utilizado.

Art. 12. Quaisquer modificações dos dados apresentados na solicitação de Registro ou Autorização, que impliquem alterações significativas nas características do empreendimento, deverão ser informadas à ANEEL, imediatamente.

Art. 13. A ANEEL poderá solicitar outros dados e informações correlatos, ou a complementação daqueles já apresentados, para melhor instrução e análise do requerimento de Autorização.

Art. 14. A Autorizada deverá submeter-se aos “Procedimentos de Rede”, elaborados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS e aprovados pela ANEEL, nos requisitos de planejamento, implantação, conexão, operação e de todas as responsabilidades relacionadas ao seu sistema de transmissão.

Parágrafo único. A Autorizada deverá, após o início de operação da central geradora, pagar os encargos de uso dos sistemas de distribuição e transmissão de acordo com a regulamentação específica.

Art. 15. A Autorizada deverá atender e cumprir a legislação relativa aos recursos hídricos, no que se refere à captação e lançamento de água de uso na central geradora.

Art. 16. Para fins de início das obras de implementação e início de operação a Autorizada deverá remeter à ANEEL, obrigatoriamente, previamente ao início da construção da central geradora bem assim de sua operação, cópia das Licenças de Instalação (LI) e de Operação (LO), respectivamente, emitidas pelo Órgão Licenciador Ambiental.

Art. 17. A Autorizada, além de atender ao disposto no art. 5º desta Resolução, deverá manter em seu arquivo, à disposição da ANEEL, os seguintes documentos:

I - Estudo de Impacto Ambiental (EIA) , Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) ou estudo ambiental formalmente requerido pelo órgão ambiental conforme legislação específica de meio ambiente;

II - Projeto Básico; e

III - resultados dos ensaios de comissionamento.

Art. 18. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogando-se a Portaria DNAEE nº 187, de 21 de outubro de 1988, e demais disposições em contrário.

JOSÉ MÁRIO MIRANDA ABDO

 <b>ANEEL</b> AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA	<b>FICHA TÉCNICA</b> <b>CENTRAIS GERADORAS EÓLICAS</b>	<b>SCG</b> SUPERINTENDÊNCIA DE CONCESSÕES E AUTORIZAÇÕES DE GERAÇÃO
	ENDEREÇO: SGAN 603 - MÓDULO J - TEL.: (061) 312-5753 – FAX.: (061) 312-5777 - CEP. 70.830.030 - BRASÍLIA - DF	

### 1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO:

DENOMINAÇÃO DO EMPREENDIMENTO:			
PROPRIETÁRIO:			
ENDEREÇO DO PROPRIETÁRIO:			
DISTRITO:		MUNICÍPIO:	
ESTADO:		ESTADO:	
CNPJ/CPF:	TEL.: ( )	FAX.: ( )	E-mail:
FINALIDADE	PRODUTOR INDEPENDENTE... †	AUTOPRODUTOR... †	SERVIÇO PÚBLICO... †
SISTEMA	ISOLADO..... †	INTERLIGADO..... †	INTEGRADO..... †

### 2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO EMPREENDIMENTO:

ENDEREÇO:			
MUNICÍPIO:		ESTADO:	
TEL.: ( )	FAX.: ( )	E-mail:	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	LATITUDE:	LONGITUDE:	
ALTITUDE (m):	Temperatura Ambiente Média Anual(°C):	Umidade Relativa Média Anual (%):	
VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DO VENTO(m/s):	FATOR DE WEIBULL K:	FATOR DE WEIBULL c:	
RUGOSIDADE MÉDIA DO TERRENO:	INTENSIDADE DE TURBULÊNCIA MÉDIA ANUAL:		
INTENSIDADE DE TURBULÊNCIA MÁXIMA:	MÁXIMA RAJADA DE VENTO LOCAL (m/s):		

### 3. CUSTOS ÍNDICES:

RS/kw:	DATA BASE: / /	RS/kWh:	DATA BASE: / /
--------	----------------	---------	----------------

### 4. CENTRAL GERADORA EÓLICA:

FABRICANTE DAS TURBINAS:	TIPO:
NUMERO DE TURBINAS:	POTÊNCIA INSTALADA TOTAL (kW):

#### TURBINAS EÓLICAS – ESPECIFICAÇÕES (1)

Turbina(s) Nº : 01 a	Potência nominal: (kW)	Potência de referência: (kW)	Máxima potência gerada: (kW) (média de 10 minutos)	
Controle de Potência	Passo Fixo(STALL) †	Passo Variável (PITCH) †	Controle de escorregamento †	Conversor de frequência †
Velocidade de Vento (m/s)	Nominal:		Partida(CUT IN):	Máxima(CUT OUT):
Nível de Ruído na base da torre(Db) :	Rotações de operação : (RPM)	(RPM)	Número de Pás:	Comprimento das pás (m) :

#### TORRES – ESPECIFICAÇÕES (1)

Torres(s) Nº : 01 a	ALTURA (m):	Tipo treliçada †	Tipo cilíndrica †	Material :	Peso (kgf):
---------------------	-------------	------------------	-------------------	------------	-------------

#### GERADORES – ESPECIFICAÇÕES (1)

GERADORE(S) NÚMERO	Potência Nominal Aparente (kVA)	Rotações de Operação (rpm)	Rotação / Potência	Tensão (kV)	Fator de potência	Classe de isolamento	Data de entrada em operação
01 a	Número máximo de chaveamentos/conexões do gerador em 2 horas durante a : 1. Entrada de operação do gerador/enrolamento no.1 na velocidade de vento de partida da turbina eólica (CUT IN): _____ (*) 2. Entrada de operação do gerador/enrolamento no.2 na velocidade de vento de mudança de gerador/enrolamento: _____ (*) (*) para unidades com dois geradores/enrolamentos						

### RESPONSÁVEL TÉCNICO:

NOME:

Nº DE REGISTRO NO CREA:

REGIÃO:

ASSINATURA:

LOCAL:

DATA:

(1) – NÃO SENDO OS ESPAÇOS SUFICIENTES PARA ENTRADA DE TODOS OS DADOS ( OU DADOS ESPECÍFICOS DE UM DETERMINADO EQUIPAMENTO), FAVOR AMPLIAR-LOS ADEQUADAMENTE.  
(Incluir linhas onde necessário)

 <b>ANEEL</b> <b>AGÊNCIA NACIONAL DE</b> <b>ENERGIA ELÉTRICA</b>	<b>FICHA TÉCNICA</b> <b>CENTRAIS GERADORAS FOTOVOLTAICAS</b>	<b>SCG</b> <b>SUPERINTENDÊNCIA DE</b> <b>CONCESSÕES E</b> <b>AUTORIZAÇÕES DE</b> <b>GERAÇÃO</b>
	<b>ENDEREÇO: SGAN 603 - MÓDULO J - TEL.: (061) 312-5753 – FAX.: (061) 312-5777 - CEP. 70.830.030 - BRASÍLIA - DF</b>	

**1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO:**

<b>DENOMINAÇÃO DO EMPREENDIMENTO:</b>			
PROPRIETÁRIO:			
ENDEREÇO DO PROPRIETÁRIO:			
DISTRITO:		MUNICÍPIO:	
ESTADO:		CNPJ/CPF:	
TEL.: ( )		FAX.: ( )	
E-mail:		FINALIDADE	
PRODUTOR INDEPENDENTE...		AUTOPRODUTOR...	
SERVIÇO PÚBLICO...		SISTEMA	
ISOLADO.....		INTERLIGADO.....	
INTEGRADO.....			

**2. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO:**

<b>ENDEREÇO:</b>		
DISTRITO:		MUNICÍPIO:
ESTADO:		TEL.: ( )
FAX.: ( )		E-mail:
COORDENADAS GEOGRÁFICAS		LATITUDE:
LONGITUDE:		ALTITUDE (m):
Temperatura Ambiente Média Anual ( <sup>o</sup> C):		Umidade Relativa Média Anual (%):

**3. CUSTOS ÍNDICES: (NÃO INCLUIR SUBESTAÇÃO E RESPECTIVO SISTEMA DE TRANSMISSÃO ASSOCIADO)**

R\$/kw:	- DATA BASE: / /	R\$/kWh:	- DATA BASE: / /
---------	------------------	----------	------------------

**4. CENTRAL GERADORA FOTOVOLTAICA:**

POTÊNCIA INSTALADA TOTAL (kW):		NÚMERO DE ARRANJOS:			
ÁREA TOTAL DA CENTRAL GERADORA (m <sup>2</sup> ):		FATOR DE CAPACIDADE:			
<b>MÓDULOS DA CENTRAL GERADORA FOTOVOLTAICA (1):</b>					
ARRANJOS	N.º de Placas por Arranjo	Área do Arranjo (m <sup>2</sup> )	Potência de Pico (kW)	Energia Produzida (kWh/mês)	FABRICANTE
01					
02					
(1)					
<b>Operação CC - Tensão de Operação (V):</b>		<b>Tensão de circuito Aberto (V):</b>		<b>Corrente de Curto Circuito (A):</b>	
Potência do Inversor (kW):			Tensão do Inversor (V):		
RENDIMENTO (%):		Tensão de Conexão (kV):		DATA DE ENTRADA EM OPERAÇÃO (1) :	
REGIME OPERACIONAL:					

**RESPONSÁVEL TÉCNICO:**

NOME: \_\_\_\_\_ Nº DE REGISTRO NO CREA: \_\_\_\_\_ REGIÃO: \_\_\_\_\_

ASSINATURA: \_\_\_\_\_

LOCAL: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_\_\_\_

- (1) – NÃO SENDO OS ESPAÇOS SUFICIENTES PARA ENTRADA DE TODOS OS DADOS (OU DADOS ESPECÍFICOS DE UM DETERMINADO EQUIPAMENTO), FAVOR AMPLIÁ-LOS ADEQUADAMENTE. (Incluir linhas onde necessário)

 <b>ANEEL</b> AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA	<b>FICHA TÉCNICA</b> <b>CENTRAIS GERADORAS TERMELÉTRICAS</b>	<b>SCG</b> SUPERINTENDÊNCIA DE CONCESSÕES E AUTORIZAÇÕES DE GERAÇÃO
	ENDEREÇO: SGAN 603 - MÓDULO J - TEL.: (061) 312-5753 - FAX.: (061) 312-5777 - CEP. 70.830.030 - BRASÍLIA - DF	

**1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO:**

DENOMINAÇÃO DO EMPREENDIMENTO:			
PROPRIETÁRIO:			
ENDEREÇO DO PROPRIETÁRIO:			
DISTRITO:		MUNICÍPIO:	
ESTADO:		ESTADO:	
CNPJ/CPF:	TEL.: ( )	FAX.: ( )	E-mail:
FINALIDADE	PRODUTOR INDEPENDENTE... †	AUTOPRODUTOR... †	SERVIÇO PÚBLICO... †
SISTEMA	ISOLADO..... †	INTERLIGADO..... †	INTEGRADO..... †

**2. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO:**

ENDEREÇO:		
DISTRITO:	MUNICÍPIO:	ESTADO:
TEL.: ( )	FAX.: ( )	E-mail:
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	LATITUDE:	LONGITUDE:
ALTITUDE (m):	Temperatura Ambiente Média Anual (°C):	Umidade Relativa Média Anual (%):

**3. CUSTOS ÍNDICES: (NÃO INCLUIR SUBESTAÇÃO E RESPECTIVO SISTEMA DE TRANSMISSÃO ASSOCIADO)**

RS/kW:	DATA BASE: / /	RS/kWh:	DATA BASE: / /
--------	----------------	---------	----------------

**4. CENTRAL GERADORA TERMELÉTRICA:**

Potência Instalada Total Bruta (kW):	Consumo Interno (kW):
Nº de Unidades Geradoras:	Fator de Disponibilidade:
Combustível Principal:	"Heat Rate" da Central Geradora ( kJ/kWh ) :
Combustíveis Alternativos:	Poder Calorífico Inferior - PCI (kJ/kg) – Combustível Principal :
Consumo de Combustível (kg/dia):	Densidade (kg/Nm <sup>3</sup> ) ou (kg/m <sup>3</sup> ) – Combustível Principal :

**GERADORES ELÉTRICOS DA CENTRAL GERADORA TERMELÉTRICA (1):**

GERADORES	Potência (kVA)	Tensão (kV)	Fator de Potência	Frequência (Hz)	Classe de Isolamento	Rotação (rpm)	Fabricante	Data Prevista de Entrada em Operação Comercial
01								
02								
(1)								

**EQUIPAMENTO MOTRIZ DA CENTRAL GERADORA TERMELÉTRICA (1):**

EQUIPAMENTO MOTRIZ	Tipo (2)	Potência (kW)	Rotação (rpm)	Fabricante	"Heat Rate" (base PCI) <input type="checkbox"/> (kJ / kWh) ou Consumo Específico <input type="checkbox"/> (-----/kWh)
01					
02					
(1)					

**(2) TURBINA A VAPOR / MOTOR A PISTÃO / TURBINA A GÁS INDUSTRIAL / TURBINA A GÁS AERODERIVADA**

CICLO TÉRMICO SIMPLES..... †	CICLO TÉRMICO COMBINADO..... †	COGERAÇÃO..... †
------------------------------	--------------------------------	------------------

SISTEMA DE RESFRIAMENTO EM CICLO ABERTO..... †	SISTEMA DE RESFRIAMENTO EM CICLO FECHADO..... †
Vazão de água na captação(m <sup>3</sup> /s):	Vazão de água de "MAKE-UP" (m <sup>3</sup> /dia):
Temperatura da água (°C):	Temperatura da água (°C):

**GERADORES DE VAPOR DA CENTRAL GERADORA TERMELÉTRICA (1):**

GERADORES DE VAPOR	Tipo	Produção de Vapor (p/Energia Elétrica) (t/h)	Produção de Vapor (p/ Processo) (t/h)	Pressão de Vapor (bar)	Temperatura (°C)
01					
02					
(1)					

**RESPONSÁVEL TÉCNICO:**

NOME: \_\_\_\_\_ Nº DE REGISTRO NO CREA: \_\_\_\_\_ REGIÃO: \_\_\_\_\_

ASSINATURA: \_\_\_\_\_

LOCAL: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_\_\_\_

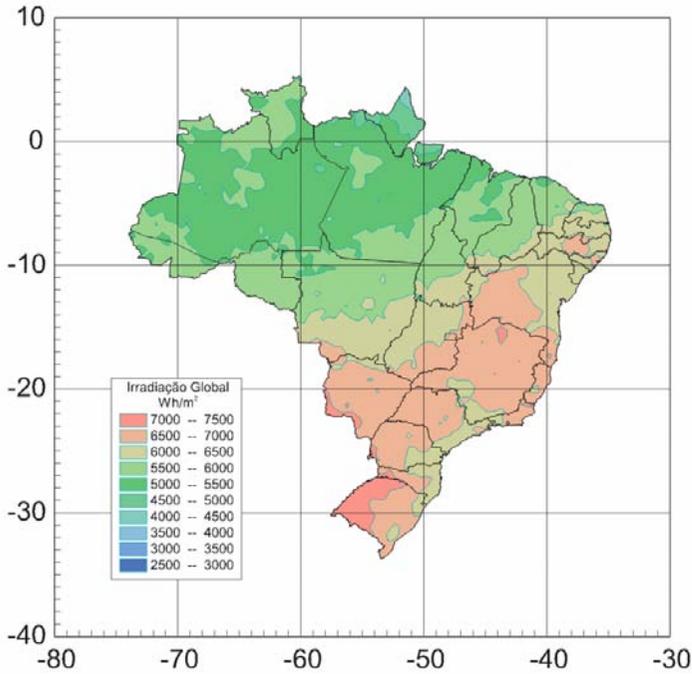
(1) NÃO SENDO OS ESPAÇOS SUFICIENTES PARA ENTRADA DE TODOS OS DADOS ( OU DADOS ESPECÍFICOS DE UM DETERMINADO EQUIPAMENTO), FAVOR AMPLIÁ-LOS ADEQUADAMENTE. (Incluir linhas onde necessário)



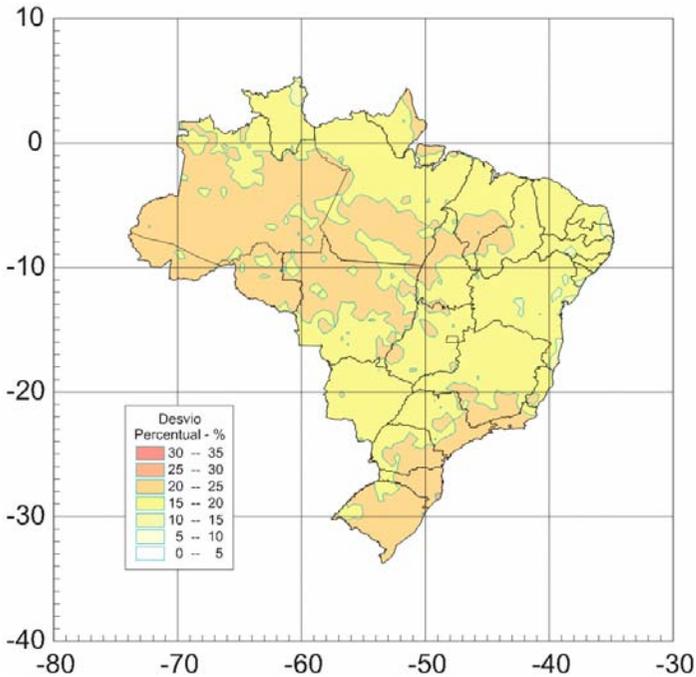
# **Anexo II**

## **Mapas sazonais do Atlas Solarimétrico do Brasil**

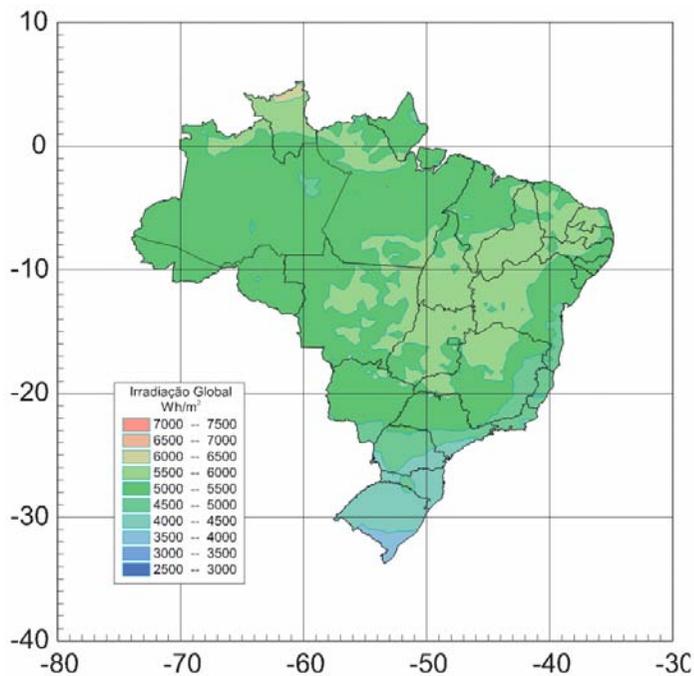




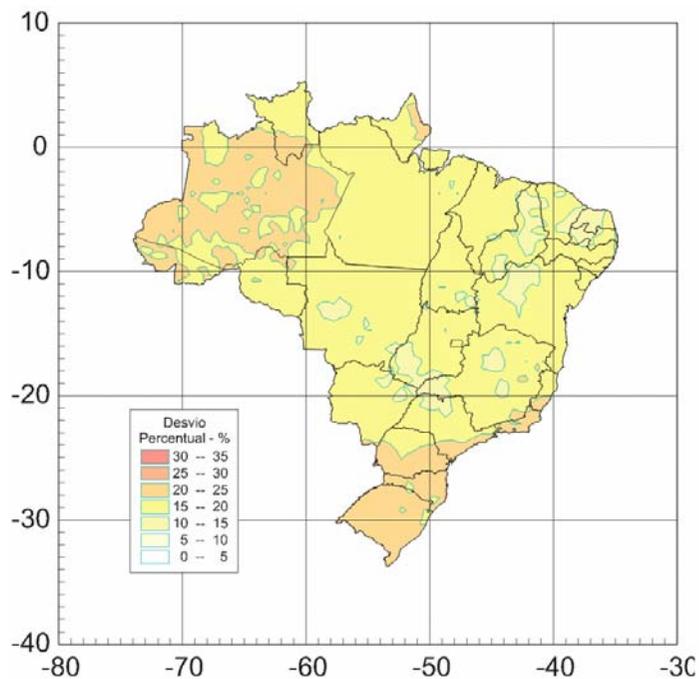
**Mapa 1A:** Irradiação média diária Janeiro (verão).



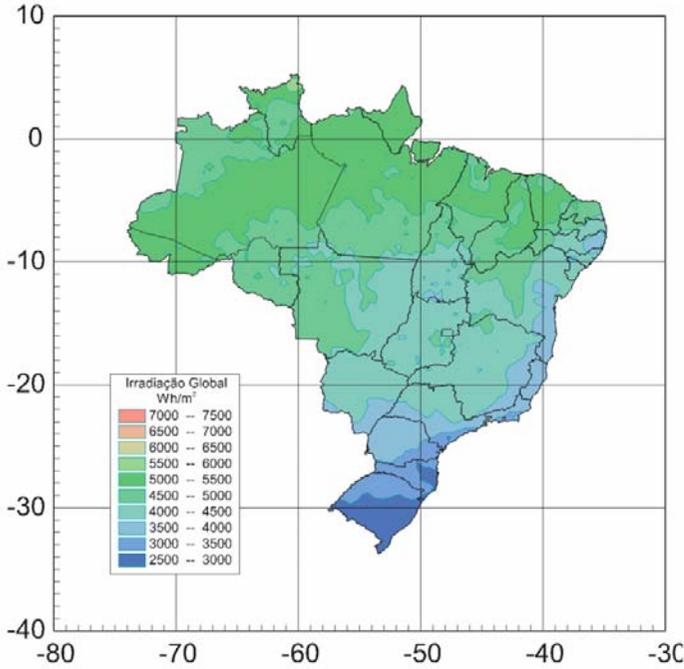
**Mapa 1B:** Variabilidade da irradiância diária ao longo do mês Janeiro (verão).



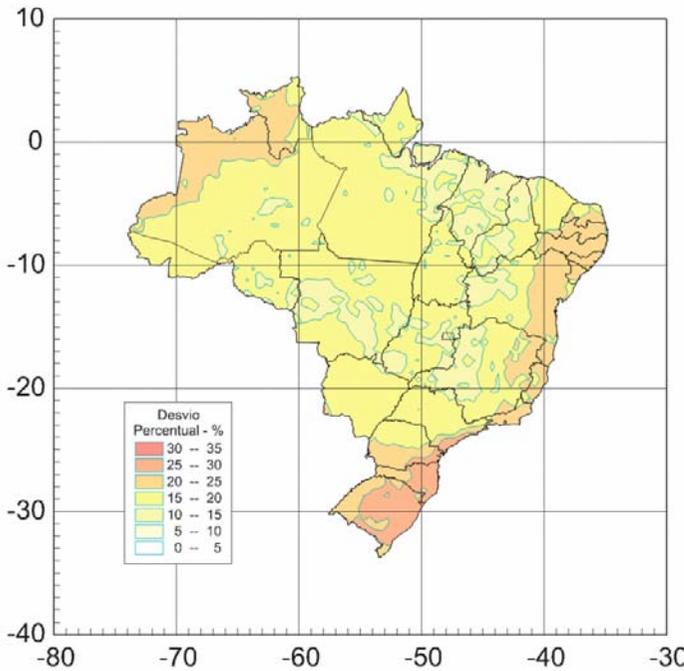
**Mapa 2A:** Irradiação média diária em Abril (outono).



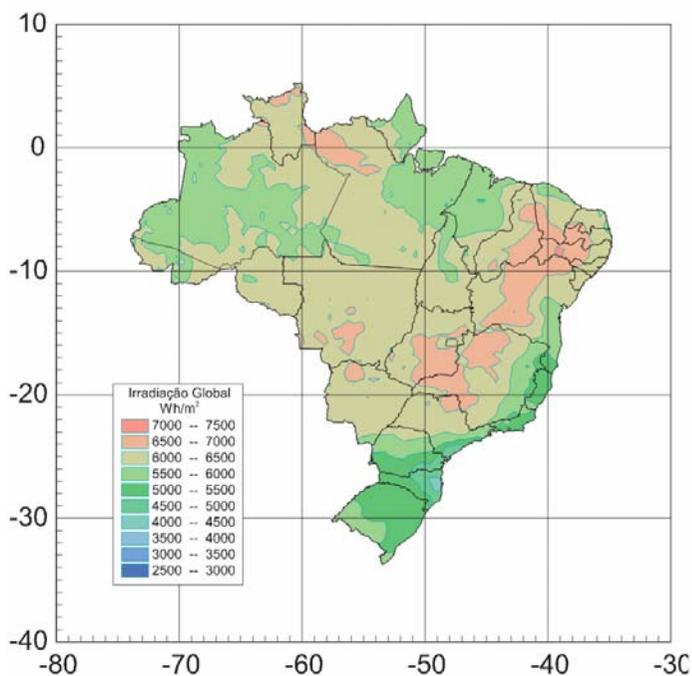
**Mapa 2B:** Variabilidade da irradiação diária ao longo do mês em Abril (outono).



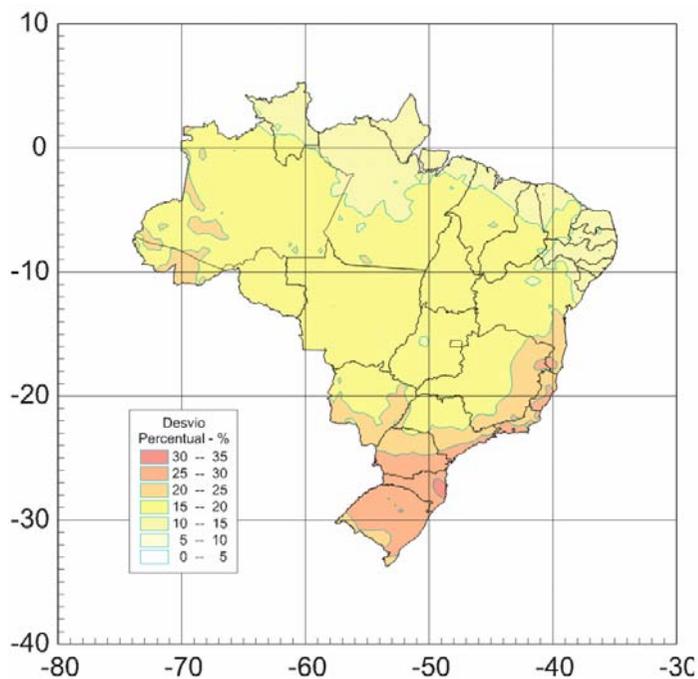
**Mapa 3A:** Irradiação média diária Julho (inverno).



**Mapa 3B:** Variabilidade da irradiação diária ao longo do mês Julho (inverno).



**Mapa 4A:** Irradiação média diária em Outubro (primavera).



**Mapa 4B:** Variabilidade da irradiação diária ao longo do mês em Outubro (primavera).

# **Anexo III**

**Sites da Internet com informações adicionais  
relativas aos Edifícios Solares Fotovoltaicos e outras  
Fontes Renováveis de Energias**



## Edifícios solares fotovoltaicos

[www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)

[www.iee.usp.br](http://www.iee.usp.br)

[www.task7.org](http://www.task7.org)

[www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)

[www.ise.fhg.de/english/fields/field4/index.html](http://www.ise.fhg.de/english/fields/field4/index.html)

[www.nrel.gov/buildings/pv/](http://www.nrel.gov/buildings/pv/)

[www.smartroofsolar.com](http://www.smartroofsolar.com)

[www.uni-solar.com/bipv\\_comm.html](http://www.uni-solar.com/bipv_comm.html)

[www.wuerth-elektronik.de/we\\_web/frames.php?parLANG=DE&parKAT=251](http://www.wuerth-elektronik.de/we_web/frames.php?parLANG=DE&parKAT=251)

[www.asepv.com](http://www.asepv.com)

## Conversão Fotovoltaica de Energia Solar

[www.labsolar.ufsc.br/Ruther/index.html](http://www.labsolar.ufsc.br/Ruther/index.html)

> link “fotovoltaica.pdf”

[www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)

> link “Produtos e Serviços” (à esquerda)

> link “Livro Fontes Não-convencionais de Energia”

[www.labsolar.ufsc.br/evento2000](http://www.labsolar.ufsc.br/evento2000)

> link “palestras”

[www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)

> link “eventos”

> link “Brasil Solar”

[www.solar.ufrgs.br](http://www.solar.ufrgs.br)

[www.scientificsonline.com](http://www.scientificsonline.com) (venda de pequenos kits fotovoltaicos)

[www.aondevamos.eng.br](http://www.aondevamos.eng.br)

[www.energiapura.com](http://www.energiapura.com)

[www.planetasolar.com.br](http://www.planetasolar.com.br)

[www.heliodinamica.com.br](http://www.heliodinamica.com.br)

[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

[www.pvportal.com](http://www.pvportal.com)

[www.pvportal.com](http://www.pvportal.com)

> link “Brazil” - à direita (indicação de todas as empresas, universidades e institutos de pesquisa que trabalham na área, no Brasil)

[www.pvportal.com](http://www.pvportal.com)

> link “Cheapest” - à esquerda  
(indicação dos módulos fotovoltaicos mais baratos)

[www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com)

[www.mrsolar.com](http://www.mrsolar.com)

## **Energia Solar para Aquecimento de Água**

[www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)

[www.solar.ufrgs.br](http://www.solar.ufrgs.br)

[www.soletrol.com.br](http://www.soletrol.com.br)

(ver também link “Centro de Treinamento PRAÇA DO SOL”)

[www.portalabrava.com.br](http://www.portalabrava.com.br)

[www.agenciaenergia.com.br](http://www.agenciaenergia.com.br)

[www.solares-online.com.br](http://www.solares-online.com.br)

[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

[www.green.pucminas.br](http://www.green.pucminas.br)

## **Radiação solar no brasil, por regiões e períodos**

[www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)

> link “Produtos e Serviços” (à esquerda)

> link “Atlas de Irradiação Solar do Brasil”

[www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)

> link “Produtos e Serviços” (à esquerda)

> link “Livro Fontes Não-convencionais de Energia”

[www.solar.ufrgs.br](http://www.solar.ufrgs.br)

(Softwares RADIASOL e ESPECTRO - download gratuito)

## **Programas para cálculo da declinação magnética (diferença entre o Norte Geográfico e o Norte Magnético)**

[www.pangolin.co.nz/almanac.php](http://www.pangolin.co.nz/almanac.php)

[www.pangolin.co.nz/downloads/alma\\_su.exe](http://www.pangolin.co.nz/downloads/alma_su.exe)  
(para versão gratuita por 30 dias)

[www.on.br](http://www.on.br)  
(Site do Observatório Nacional-CNPq- solicitar via e-mail o Programa ELEMAG)

## **Energia Eólica**

[www.windpower.org](http://www.windpower.org)

[www.enercon.com.br](http://www.enercon.com.br)

[www.energiapura.com](http://www.energiapura.com)

[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

[www.aondevamos.eng.br](http://www.aondevamos.eng.br)

[www.labsolar.ufsc.br/evento2000](http://www.labsolar.ufsc.br/evento2000)  
> link “Palestras”

[www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)  
> link “Produtos e Serviços” (à esquerda)  
> link “Livro Fontes Não-convencionais de Energia”

## **Mapas de levantamentos de energia eólica existente no Brasil**

[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

## **Biomassa**

[www.labsolar.ufsc.br/evento2000](http://www.labsolar.ufsc.br/evento2000)  
> link “Palestras”

[www.aondevamos.eng.br](http://www.aondevamos.eng.br)

[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

## **Livros e artigos sobre energias renováveis:**

[www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)

> link “Produtos e Serviços” (à esquerda)

> link “Livro Fontes Não-convencionais de Energia”

[www.labeee.ufsc.br/publicacoes/publicacoes.html](http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/publicacoes.html)

[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

[www.aondevamos.eng.br](http://www.aondevamos.eng.br)

[www.livrariacultura.com.br](http://www.livrariacultura.com.br)

[www.energynews.efei.br/livros/livros.htm](http://www.energynews.efei.br/livros/livros.htm)

[www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br)

## **Clipping de notícias sobre energia**

[www.energynews.efei.br](http://www.energynews.efei.br)

[www.canalenergia.com.br](http://www.canalenergia.com.br)

## **Normas técnicas:**

[www.abntdigital.com.br](http://www.abntdigital.com.br)

## **Eficiência Energética em Edificações**

[www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)

## **Desenvolvimento Sustentável**

[www.carbonobrasil.com](http://www.carbonobrasil.com)

(com informações também sobre o Mercado de Carbono)

## **Ministério das Minas e Energia**

[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)

> link “programas”

[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)

> link “publicações”

---

Esta edição utiliza as fontes Helvetica (45 Light, 55 Roman, 65 Medium, 95 Black e Rounded) e HancockParkLaser, sobre papel Couché Mate 115g/m<sup>2</sup>.

**Impressão e Acabamento**  
COAN Gráfica, Editora e CTP

---



ISBN 85-87583-84-2



9 788587 583048

