

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
MBA TGP – TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS**

Vladimir Navazinas

O PROJETO DE EDIFÍCIOS COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

**Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Especialista em Tecnologia e Gestão na
Produção de Edifícios – MBA TGP**

Orientadora: Professora Dr. Mercia Maria Semensato Bottura de Barros

**São Paulo
2011**

Agradecimentos

Este trabalho foi resultado do aprendizado que tive durante os três anos de curso MBA TGP – Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, na Escola Politécnica da USP, no qual os colegas e professores tiveram grande participação. Não poderia deixar de fazer esta menção. Muito obrigado a todos.

Durante o percurso, algumas pessoas colaboraram diretamente para que esse trabalho fosse possível. Primeiramente, gostaria de agradecer, à orientadora Mercia que apresentou caminhos que ajudaram no desenvolvimento do trabalho, sobretudo, nos momentos finais, quando sua atenção foi fundamental.

Agradeço à minha família pelo apoio dedicado sempre e de forma intensa, durante todos esses anos. Ainda preciso citar a colaboração de outras pessoas também muito valiosas durante os anos de curso: Domingos Pascali e Tony Rosemberg.

À Oswaldo Luiz Dias pelas dicas sobre física.

E, finalmente, agradeço a Kika Salvi pela paciência e também pelo zelo com que fez algumas revisões nesse texto que ajudaram a melhorar a escrita. Muito Obrigado.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar as técnicas disponíveis para adaptar os sistemas fotovoltaicos como fonte de energia alternativa na construção de edifícios.

A origem deste trabalho tem como motivação compreender um tema atual pela relevância dos assuntos aqui abordados e a possibilidade de atrelar tal conhecimento ao repertório próprio da atuação profissional do autor em projetos de edificações.

Para isso, é feita uma pesquisa bibliográfica a respeito de energia e radiação solar, bem como sobre os elementos constituintes dos sistemas que utilizam o efeito fotovoltaico para obtenção de energia e, principalmente, como esses sistemas podem ser empregados nas edificações.

Apesar da distância entre o patamar de uso da tecnologia entre países desenvolvidos e outros países como o Brasil, as vantagens do uso de fontes de energia alternativas são significativas, principalmente ao se relacionar com o clima do país. A viabilidade econômica dos sistemas no país é o principal entrave para a disseminação desses sistemas fotovoltaicos em edificações.

Palavras-chave: Energias Alternativas, Arquitetura Sustentável, Painéis fotovoltaicos e construção civil.

Abreviaturas

AC – Corrente alternada (*Alternating current*)

BIPV – Sistema Fotovoltaico Integrado ao Edifício (*Building Integrated Photovoltaics*)

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

DC – Corrente Contínua (*Direct current*)

EVA (Etil Vinil Acetato)

DMA – Divisão de Clima e Meio Ambiente

IEA – International Energy Agency

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

J – Joule: unidade de medida de energia

kWp – Kilowatt no pico instalado pelo sistema fotovoltaico

MME – Ministério de Minas e Energia

OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PV – Fotovoltaico (*Photovoltaics*)

PVB – Polivinil butiral

SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment

V – Volt: unidade de medida de tensão elétrica

W – Watt: unidade de medida de potência elétrica

µm – micrometro (0,001mm)

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.3. JUSTIFICATIVA	3
1.4. METODOLOGIA.....	4
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2. ENERGIA E RADIAÇÃO SOLARES	6
2.1. BASE DE DADOS DA RADIAÇÃO	12
2.2. SITUAÇÃO NO BRASIL	14
3. O EFEITO FOTOVOLTAICO	16
3.1. A CÉLULA FOTOVOLTAICA	16
3.2. CÉLULAS CRISTALINAS.....	18
3.2.1. Células Monocristalinas	18
3.2.2. Células Policristalinas	19
3.2.3. Célula em Fita (Ribbon-Pulled)	20
3.2.4. Células de alto desempenho	22
3.2.5. Células transparentes;	23
3.3. CÉLULAS DE PELÍCULA FINA	24
3.3.1. Célula de silício amorfo	25
3.3.2. (di)Seleneto de Cobre Índio (CIS)	25
3.3.3. Telureto de Cádmio (CdTe).....	26
3.3.4. Célula nano cristalina sensível a corante (DSC - Dye-sensitized Cells).....	27
3.4. CÉLULAS HÍBRIDAS	28

4. APLICAÇÕES E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	30
4.1. MÓDULOS	32
4.1.1. Encapsulamento e substrato	33
4.1.2. Estrutura do módulo.....	35
4.1.3. Transmissão de energia	35
4.2. INVERSORES	37
4.3. BATERIAS.....	38
4.4. OUTROS COMPONENTES	39
4.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A SAÍDA DE ENERGIA.	39
5. OS SISTEMAS PV E AS EDIFICAÇÕES – TÉCNICAS CONSTRUTIVAS EMPREGADAS	40
5.1. SISTEMAS ANEXADOS	43
5.1.1. Coberturas inclinadas	45
5.1.2. Coberturas planas.....	48
5.2. SISTEMAS INTEGRADOS AO EDIFÍCIO (BIPV)	50
5.2.1. Coberturas planas ou inclinadas	53
5.2.2. Átrios	55
5.2.3. Sistemas de sombreamento	56
5.2.4. Revestimentos	59
5.2.5. Fachadas cortina (<i>Stick-System</i> ou <i>Curtain-Wall</i>)	61
5.2.6. Painéis Unitizados	63
5.2.7. Fachada de dupla camada (double-skin).....	65
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
BIBLIOGRAFIA	69

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de irradiância global anual. Fonte: Meteotest.	7
Figura 2: Parcelas da radiação solar que atingem a superfície terrestre. Fonte: Elaboração do autor partir de www.http://www.eurofix.pt . Acessado em 27/12/2010.....	8
Figura 3: Variação do posicionamento Solar nas estações de verão e de inverno que determinam a inclinação vertical do Sol. O Azimute é determinado pela inclinação do sol em relação à superfície horizontal com referencial nos pontos cardeais.	9
Figura 4: À esquerda, piranômetro (fonte: Kipp&Zonen); Ao centro, um pireliômetro (Fonte: Kipp&Zonen); direita aparelho com medidor de energia que utiliza sensores fotovoltaicos (Fonte: MacSolar).	12
Figura 5: Tela Inicial do Projeto Swera Fonte: UNEP/GRID-Sioux Falls.....	13
Figura 6: Reprodução de página interativa do sítio SWERA onde estão reunidos os dados sobre a radiação georreferenciados. Na coluna da direita, o usuário define os tipos de dados e que referencias geográficas quer ter como referência no mapa. Fonte: UNEP/GRID-Sioux Falls.	14
Figura 7: 1. Separação de cargas; 2- Recombinação; 3. Fóton não utilizado; 4. Reflexão	17
Figura 8: Células monocristalinas e seu aspecto uniforme em relação às tonalidades de cor. Fonte: Russel Solar e PV Expo	19
Figura 9: Células policristalinas. Fonte Russel Solar.....	20
Figura 10: Esquema de produção da célula em fita. Fonte: Sovello.....	21
Figura 11: Módulo PV de célula puxada em fita. O aspecto visual é semelhante aos outros aos de células PV. Fonte: Evergreen.	22
Figura 12: Detalhe ampliado da célula de alto desempenho. Elaborado pelo autor a partir de DGS (2009).....	22
Figura 13: Célula transparente modelo 125L da <i>Sunways</i> . Fonte: <i>Sunways</i>	23
Figura 14: Esquema com perspectiva isométrica da célula transparente com as ranhuras da camada do material semiconductor. Fonte: DGS (2009).....	24
Figura 15: Célula de silício amorfo. Importante destacar a flexibilidade do material, o que permite sua aplicação em várias direções e formas. Fonte: Marlec.	25
Figura 16: Esquema estrutural de célula de película fina tipo CIS. Fonte: University of Bath.	26
Figura 17: Módulo PV em película fina de CdTe. Fonte: FirstSolar.	27

Figura 18 (À esquerda): Detalhe ampliado das camadas presentes nas células híbridas. Fonte: DGS, 2009.	28
Figura 19 (À direita): Módulo PV de células híbridas. Fonte: Sanyo.....	28
Figura 20: Imagens de sistemas autônomos. Acima à esquerda: edificação rural (fonte: Kyocera); acima à direita: iluminação pública; abaixo à esquerda: sinalização de trânsito (fonte: Kyocera); abaixo à direita: telecomunicações (fonte Kyocera).	31
Figura 21: Sistema ligado à rede. Neste há a possibilidade da unidade produtora de energia fornecer eventuais excedentes à rede de distribuição de energia; há, também, a possibilidade de complementar a energia necessária a partir da rede, caso a sua produção não seja suficiente. Fonte: elaboração do autor.	32
Figura 22: Tipos de módulos PV e suas diferentes camadas. Fonte: Solarpraxis (2010), DGS (2009).	34
Figura 23: Detalhe das ligações elétricas metálicas entre as células PV. Fonte: DGS, 2009.	36
Figura 24: Transmissão da energia em célula de película fina. Fonte: DGS.	37
Figura 25: Modelos de inversores. À esquerda o modelo AT Series da Sunways (fonte Sunways); À direita o SureSine da MorningStar (fonte: Kyocera).	38
Figura 26: Plantas de sistemas PV independentes do edifício. Grandes plantas chamadas de “usinas solares”. Acima: Sarnia, Ontário no Canadá (Fonte: Google); abaixo, à esquerda, planta em Finserwalde, Alemanha (Fonte: Q-Cells); Abaixo, à direita, planta de Strasskirchen, Alemanha (Fonte: Q-Cells).	41
Figura 27: Instalação de sistema anexado em cobertura. Fonte: Energy-Trust.....	42
Figura 28 Edifício com módulos PV integrados na fachada. Fonte: Windweathersolar	42
Figura 29: Edifício com módulos PV integrados. Fonte: Shanghai Solar Energy S&T Co, Ltd.	43
Figura 30: Desenho esquemático das funções exercidas pelas coberturas numa edificação. Elaboração do autor.....	44
Figura 31: Desenho esquemático dos sistemas PV anexados ao edifício. À esquerda, aplicação em coberturas inclinadas. À direita, sistema PV em coberturas planas. Em laranja, destaca-se a presença de elementos de suportes aos módulos PV. Elaboração do autor	45
Figura 32: Trilhos metálicos sobre cobertura de cerâmica. Os ganchos sob os trilhos são fixados na estrutura do telhado. Fonte: Olino	46
Figura 33: Detalhe da fixação de módulo PV em coberturas inclinadas – Telhas cerâmicas. Fonte: Scheletter.	47
Figura 34: Detalhe da fixação de módulo PV em coberturas inclinadas – Telhados de chapas metálicas. Fonte: Scheletter	47

Figura 35: Exemplo de sistema com estrutura leve para módulos PV instalada sobre as coberturas. Fonte: Scheletter.....	49
Figura 36: Exemplos de suportes com lastro para módulos PV anexados em coberturas planas. Elaboração do autor.	50
Figura 37: Esquema ilustrativo das funções de uma fachada de uma edificação. Elaboração do autor.	52
Figura 38: Desenhos esquemáticos das formas como os módulos PV são integrados no edifício. Elaboração pelo autor.....	53
Figura 39: (À esquerda) Cobertura com célula PV de filme fino sobre cobertura. Fonte: Alwitra, 2003.....	54
Figura 40: (À direita) Instalação sobre coberturas de telhas metálicas. Fonte: Cleantechnica.....	54
Figura 41: Detalhe ampliado de sistema de cobertura em átrio com módulo PV integrado. Fonte: Roberts e Guariento, 2009.....	55
Figura 42: : À esquerda Átrio no paço municipal de Ludesch, Áustria (Fonte: PV Database); à direita, Cobertura transparente com módulos PV na Estação Central de Berlim. (Fonte: BSW Solar e.V.).....	56
Figura 43: Detalhe de sistema de sombreamento. Fonte: Roberts e Guariento, 2009.....	57
Figura 44: OHSU Center for Health and Healing em Portland, Oregon. Projeto de GBD Architects. Fonte: Brightworks.	58
Figura 45: Modo de aplicação dos módulos PV como revestimentos de fachadas. Elaboração do autor a partir de Roberts e Guariento, 2009.	59
Figura 47: CIS Tower, antes da reforma da torre de serviços (à esquerda). Fonte: Flickr.....	61
Figura 48: CIS Tower após a renovação da fachada em módulos PV (à direita). Fonte: Database.....	61
Figura 49: Detalhe de fachada cortina. Fonte: Schüco.....	62
Figura 50: Exemplo de fachada Cortina. Fonte: Atlantis Energy Systems.....	62
Figura 51: Detalhe de fachada-cortina com módulo PV. Em a, vidro; b: Módulo PV; c: Vidro de base; d: Requadro de alumínio (suporte do módulo); e - Montante de alumínio; f - Isolante térmico. Fonte: Detail.	63
Figura 52: Montagem com painéis unitizados de fachada em projeto de Jean Nouvel. Fonte: Redchalksketch.	64
Figura 53: Croqui esquemático da aplicação dos painéis de fachada unitizada com módulos PV integrados. Fonte: Elaboração do autor sobre Roberts e Guariento, 2009.	64

Índice de Quadros

Quadro 1: Indicadores de crescimento e proporção: PIB, consumo de eletricidade e de energia primária total em diferentes períodos e regiões. Fonte: GOLDEMBERG e LUCON, 2007 e OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico.....	2
Quadro 2: Índices Albedo por tipos de materiais de superfícies. Fonte: DGS.	11
Quadro 3: Tabela Eficiência energética e área necessária para a produção de 1kW. Fonte: Roberts e Guariento (2009) e DGs (2009).	18
Quadro 4: Quadro geral com os tipos de célula. Elaborado pelo autor a partir de DGS (2009).....	29

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A utilização dos módulos fotovoltaicos como produtor de energia e sua viabilidade na construção de edifícios coincidem com um momento histórico em que a preocupação com uma arquitetura sustentável e a busca de fontes de energia alternativas é crucial, na medida em que a demanda por energia e a preocupação com o meio ambiente têm se tornado cada vez maiores.¹ Para agravar ainda mais a situação, algumas fontes de energia, notadamente aquelas originadas pelos combustíveis fósseis, tendem a rarear a médio e longo prazos.

É neste cenário que o tema da produção de energia adquire relevância, tendo a energia elétrica umas das principais formas de suprir as necessidades em muitas das atividades realizadas pelo homem. Tanto no Brasil quanto nos demais países, verifica-se que a geração de energia elétrica ocorre por fontes diversas, entre as quais pode-se citar: termoelétricas (através de fontes como o petróleo, gás natural e carvão), nuclear, hidroelétricas e as fontes renováveis (biomassa, eólica e fonte solar).

Especificamente no Brasil, as questões envolvendo a produção de energia elétrica têm sido debatidas com o objetivo de buscar as melhores formas de atender às demandas. Num artigo recente, José Goldemberg e Oswaldo Lucon (2007) apontam que, no Brasil, o crescimento anual do consumo de eletricidade é, desde 1970, superior ao crescimento anual da produção de energia primária. (Tabela 1) As razões que levam a esse cenário não muito animador são o avanço intenso da eletrificação do país, bem como o crescimento do consumo em indústrias “eletrointensivas”.² E, ao estabelecer uma discussão sobre recomendações para o setor elétrico nacional, os autores apontam,

¹ O Relatório Brundtland, a Agenda 21, o Protocolo de Kyoto são alguns dos documentos, elaborados em períodos distintos, que objetivaram identificar ou traçar metas para o enfrentamento das questões relacionadas ao meio ambiente. Encontros como o Rio +5, ou mesmo a ECO 92, de onde saiu a Agenda 21, também reforçam a importância do tema na atualidade.

² Segundo Bermann, “são consideradas como atividades industriais eletrointensivas as indústrias de cimento, ferro-gusa e aço, ferro-ligas, não ferrosos e outros da metalurgia, química, papel e celulose. Tratam-se de setores produtivos que se caracterizam por consumir uma quantidade muito grande de energia elétrica para cada unidade física produzida.”

como premissa para ações futuras, a intensificação de políticas voltadas à geração de energia por formas renováveis.

Apresentam uma comparação com os demais países na qual mostram o Brasil com uma matriz energética mais equilibrada, o que significa possuir uma diversificação das fontes energéticas, renováveis ou não, que pode facilitar a adoção de estratégias no enfrentamento dessas questões (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

Quadro 1: Indicadores de crescimento e proporção: PIB, consumo de eletricidade e de energia primária total em diferentes períodos e regiões. Fonte: GOLDEMBERG e LUCON, 2007 e OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

Indicador	Região	Período				
		-1971 1980	-1980 1990	-1990 2000	-2000 2003	-2004 2005
1-Crescimento Do PIB anual	Brasil	8,34%	1,57%	2,65%	1,26%	2,28%
	Mundo	3,77%	2,90%	2,80%	4,97%	4,40%
	Não-OCDE	5,41%	2,11%	3,81%	3,82%	nd
	OCDE	3,44%	3,07%	2,58%	5,23%	nd
2 - Crescimento anual do consumo de eletricidade	Brasil	11,83%	5,90%	4,30%	1,05%	4,24%
	Mundo	5,18%	3,60%	2,62%	2,72%	nd
	Não-OCDE	6,96%	4,81%	2,81%	5,91%	nd
	OCDE	4,46%	3,02%	2,53%	0,88%	nd
3 - Crescimento anual da produção de energia primária	Brasil	5,39%	1,78%	3,32%	1,45%	1,75%
	Mundo	3,05%	1,90%	1,45%	2,02%	nd
	Não-OCDE	4,50%	2,93%	1,23%	3,80%	nd
	OCDE	2,07%	1,05%	1,64%	0,43%	nd

Pelas razões expostas anteriormente, a introdução, o desenvolvimento e difusão de práticas que utilizam fontes de energia alternativas são de extrema importância não somente como um meio de suprir as demandas, mas também como uma forma de diminuir os impactos ambientais causados pela ação do homem em todos ramos de atividade, entre os quais se destaca aqueles relacionados à produção do setor da construção civil. Nos processos de produção de edifícios, a chamada “sustentabilidade” ou temas daí derivados como, por exemplo, “eficiência energética” têm sido cada vez

mais adotados e considerados como importantes parâmetros de projeto ou mesmo como indicadores de qualidade nos edifícios.³

1.2. OBJETIVOS

É nesse contexto que se insere este trabalho, cujo objetivo é investigar e analisar os sistemas capazes de transformar a energia solar em energia elétrica, denominados “sistemas fotovoltaicos”, que podem ser adotados em edifícios como fontes de energia para o seu funcionamento. Com isso, pretende-se reunir informações para que projetistas, arquitetos, engenheiros possam obter referências para projetos que farão uso dessa tecnologia.

1.3. JUSTIFICATIVA

A interação desses sistemas fotovoltaicos com os edifícios gerou, para o setor da construção civil, uma “nova tecnologia construtiva” [BARROS, 2010] na medida em que abarca

“um conjunto sistematizado de conhecimentos específicos e empíricos, empregados na criação, produção e difusão de um modo específico de se construir um edifício ou uma sua parte e **orientado pela otimização do emprego de recursos envolvidos em todas as fases da construção**” (grifo do autor). (BARROS, 1996).

³ Vale citar aqui que concursos de projetos, como o Prêmio Holcim Internacional, já na sua 3a. edição, os vários certificados, como LEED ou o HQE, criados para avaliar como os conceitos da “construção sustentável” vêm sendo adotados nos edifícios e, ainda, as mais variadas exigências legais nos diferentes países que ultimamente têm sido adotadas. Um exemplo próximo é a recente publicação do decreto nº 49.148, no município de São Paulo, que determina a obrigatoriedade da instalação de sistemas de aquecimento solar de água nos edifícios novos na cidade. Todos os exemplos citados anteriormente representam um conjunto significativo de ações na direção de introduzir novas práticas para estimular a adoção de soluções técnicas que diminuam os impactos ambientais

O patamar atingido pela tecnologia dos módulos fotovoltaicos conferiu não apenas um contínuo aumento na eficiência de sua produção energética, como também possibilitou, na construção civil, a diversificação quanto aos usos e funções exercidos pelos módulos, tais como: a introdução como elemento de cobertura; como proteção térmica e solar, ao ser aplicado em *brise-soleils* e janelas; proteção contra ações vindas do ambiente externo das edificações, ao ser aplicado em painéis de fachadas. Essa integração dos módulos fotovoltaicos (PV) ⁴a diversos componentes dos vários subsistemas que compõem os edifícios traz a possibilidade de unir aspectos de sustentabilidade e eficiência energética às questões relacionadas à estética e à funcionalidade da edificação.

Com isso, os novos edifícios que vêm recebendo os sistemas integrados de módulos PV podem ser vistos como experiências, algumas delas apresentadas neste trabalho, que revelam soluções técnicas inovadoras por estabelecerem novas referências para a concepção de projetos de edifício.

1.4. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos pelo trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que buscou referências sobre os seguintes temas: produção de energia; arquitetura sustentável; efeito fotovoltaico; energia solar e as características da radiação; tecnologias construtivas e aspectos da indústria voltada à produção de células PV. As fontes que possibilitaram a pesquisa consistiram de livros técnicos, artigos em revistas especializadas e informações obtidas em sítios de fabricantes e de programas de abrangência mundial ou local sobre a produção de energia.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

⁴ Daqui a diante, às menções feitas sobre o termo “fotovoltaico(a)”, será adotado o termo PV (do inglês *photovoltaics*).

O trabalho está organizado da seguinte forma: há este primeiro capítulo, colocado a título de introdução que contém a contextualização do tema, o objetivo e a justificativa para o seu desenvolvimento e, ainda, a sua estruturação. No capítulo 2 buscou-se a compreensão do fenômeno de radiação e da energia solar. No capítulo 3, apresentam-se os princípios do funcionamento das células PV e as características técnicas dos diferentes tipos de células. No capítulo 4, são reunidas informações sobre a composição dos sistemas que contém as células PV e sua interface nos edifícios. O capítulo 5 apresenta exemplos das formas e tipos de aplicação dos sistemas PV em edifícios bem como as soluções técnicas encontradas para tal. E, finalmente, o capítulo 6 que reúne considerações finais sobre a pesquisa.

2. ENERGIA E RADIAÇÃO SOLARES

A origem da energia solar ocorre no processo da fusão de átomos de hidrogênio em gás Hélio ocorrido no Sol. A partir dele, ela percorre um trajeto longo, chegando a Terra numa taxa de $1,5 \times 10^{18} \text{KW}$ por segundo (ou unidade de tempo), sob a forma de radiação. Para se ter uma ideia da ordem de grandeza do que isso significa, afirma-se que tal número equivale a cerca de 0,01% do total das necessidades anuais de energia em todo o planeta ⁵(DGS, 2009, SMIL,2010).

Tendo-se dimensionado a energia no seu ponto de origem, também foi estabelecida uma referência para que ela pudesse ser mensurada no seu ponto de chegada, a superfície terrestre. Outro parâmetro utilizado para dimensionar a energia solar num determinado local é uma constante definida como “a energia proveniente do Sol, por unidade de tempo, recebida em uma unidade de área na superfície perpendicular à radiação, no espaço, a uma unidade astronômica de distância do Sol” (FERREIRA, 1993). O valor dessa constante é de 1.367W/m^2 , adotado para todo e qualquer lugar da superfície terrestre. Esse valor é uma média, já que a radiação solar, durante o período de órbita da Terra em torno do Sol, varia de acordo com a distância entre ambos⁶. Deve-se destacar que tal constante não é verificada nos pontos da superfície terrestre e sim, fora dela, pois representa a energia emitida pelo Sol.

Já o seu percurso para chegar à superfície terrestre, essa radiação, então constante, perde parte de sua energia inicial devido à influência dos mais diversos fatores como: a localização geográfica do ponto de referência, as camadas da atmosfera terrestre, e a consequente absorção da energia por moléculas existentes nessas camadas ou mesmo pela presença de partículas de sujeira ou cinzas ali presentes. A figura 1 ilustra essa variação cuja grandeza utilizada nessa referência é definida por alguns autores como “irradiância global” (DGS, 2009, p. 9), e é expressa em $\text{kWp/m}^2/\text{ano}$ ⁷.

⁵ Lugares próximos a linha da Linha do Equador podem obter cerca de 2300kWh/m^2 . Na Alemanha, a média é de 1.040kWh/m^2 , diferente de certas regiões da Europa, mais precisamente no sul onde a radiação solar pode chegar as 1.700kWh/m^2 .

⁶ A distância entre a Terra e o Sol em suas órbitas está entre $1,47 \times 10^8 \text{ km}$ e $1,52 \times 10^8 \text{ km}$.

Essa referência é um dos dados fundamentais para que se possam desenvolver projetos com os módulos fotovoltaicos. O mapa apresentado na figura 1 demonstra, em termos quantitativos, o modo como ela chega à superfície terrestre.

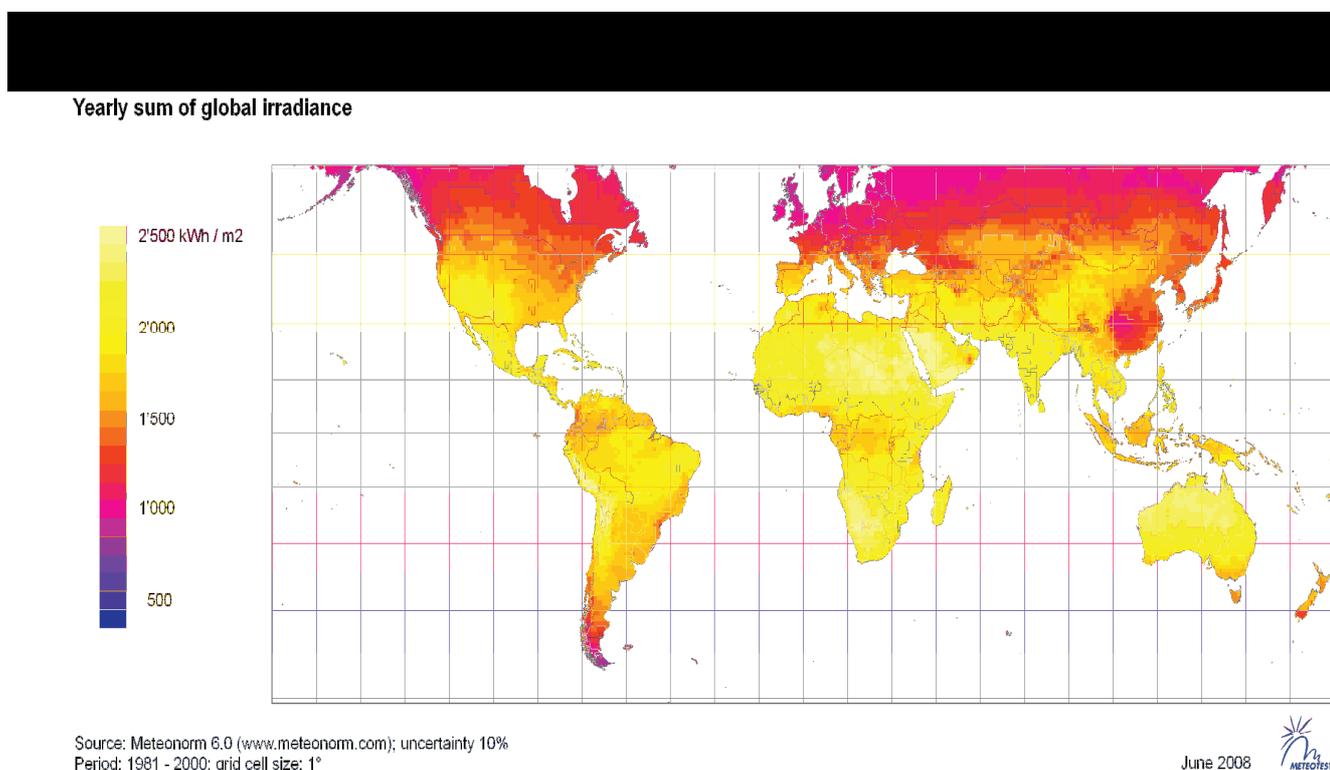


Figura 1: Mapa de irradiância global anual. Fonte: Meteotest.

No entanto, em termos qualitativos a radiação chega à superfície conforme o esquema apresentado na figura 2. Nela, observa-se que a radiação solar que atinge a superfície terrestre é composta de duas parcelas distintas: a radiação direta e a radiação difusa. A primeira não teve nenhum desvio durante o percurso entre o Sol e a Terra; enquanto a segunda consiste naquela radiação que sofreu alteração de direção devido a reflexos na camada atmosférica. Essas duas componentes são consideradas na conversão fotovoltaica, mas certos arranjos só utilizam a radiação direta. A captação de cada um desses tipos também tem como fator principal a posição geográfica e o clima do local onde se dá o processo. Em lugares onde há predominância de céu limpo e clima

⁷ Wp (ou Watt de pico instalado – Watt *peak*)

ensolarado, a maior parte da radiação recebida é a direta. Por outro lado, onde há predominância de tempos encobertos ou chuvosos, grande parte da radiação obtida é difusa.

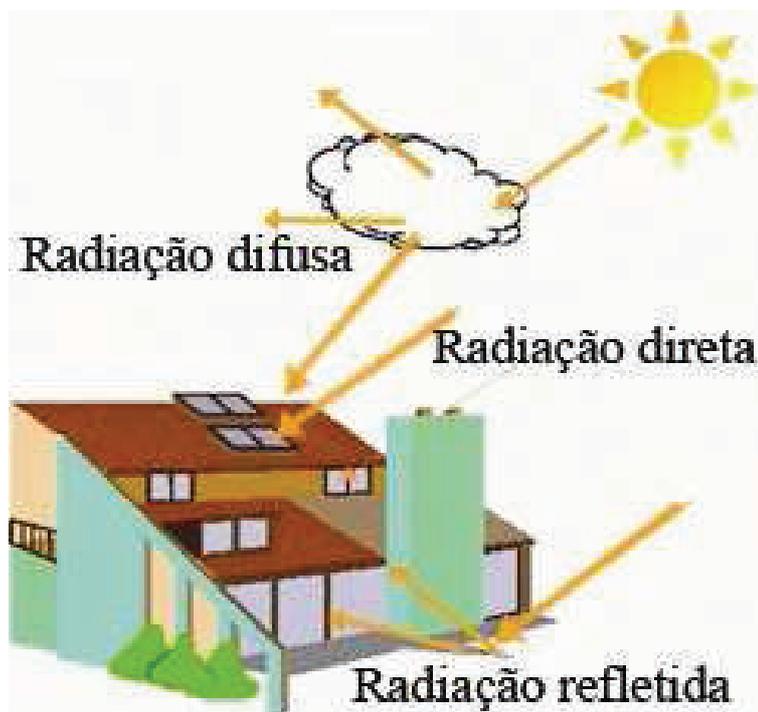


Figura 2: Parcelas da radiação solar que atingem a superfície terrestre. Fonte: Elaboração do autor partir de [www.http://www.eurofix.pt](http://www.eurofix.pt). Acessado em 27/12/2010.

Por exemplo, DGS (2009, p. 11) aponta que, durante o ano todo, a radiação difusa equivale a 60% do total da radiação observada anualmente na cidade de Berlim.

O restante - 40% - representa a quantidade de energia obtida da radiação direta. Essa última está presente, principalmente, nos meses de primavera e verão, enquanto a radiação difusa se faz presente ao longo do ano, obtendo grandes proporções no período de inverno.

Para o desenvolvimento dos projetos de sistemas de conversão fotovoltaica é necessário observar também outros fatores que determinam, de forma quantitativa, o aproveitamento da radiação solar. Tanto o posicionamento do Sol em relação ao local de implantação de sistemas PV como os fenômenos e elementos da atmosfera podem alterar significativamente a quantidade de radiação a ser absorvida pelos módulos PV.

Para uma dada latitude, identificar o posicionamento do Sol por meio do azimute solar (orientação do edifício em relação aos pontos cardeais) e pela atitude solar (inclinação vertical do Sol) - verticais mínimas e máximas - determina a posição mais eficaz dos módulos para a obtenção de energia solar (ver figura 3).

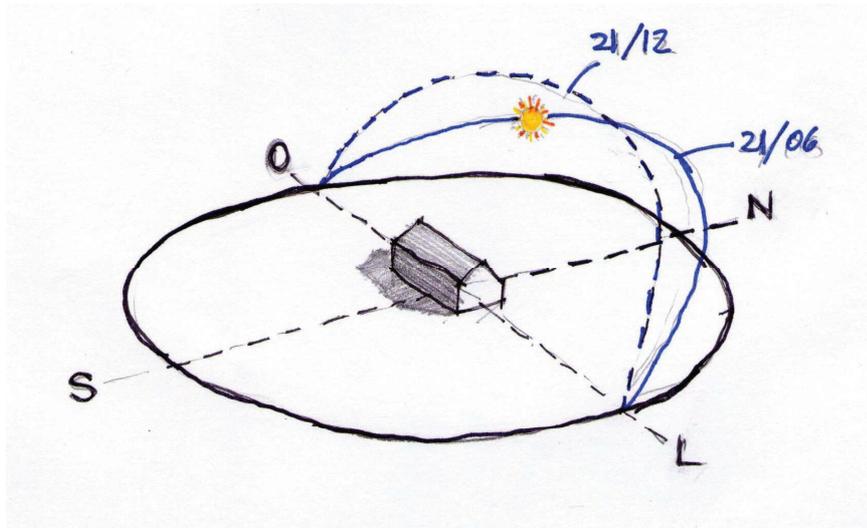


Figura 3: Variação do posicionamento Solar nas estações de verão e de inverno que determinam a inclinação vertical do Sol. O Azimute é determinado pela inclinação do sol em relação à superfície horizontal com referencial nos pontos cardeais.

Outro fator que determina os níveis de radiação solar incidente num determinado local é a atmosfera. Nela, estão constituídas certas barreiras para a passagem da radiação solar no seu percurso entre o Sol e a superfície. Figuram como barreiras na atmosfera os fenômenos e alguns dos elementos expostos a seguir:

- reflexão da atmosfera;
- absorção pelas diversas moléculas na atmosfera (O_3 , H_2O , O_2 e CO_2);

- dispersão de Rayleigh - (fenômeno ótico verificado quando a luz do Sol atravessa as diversas camadas da atmosfera. A cor azul do céu é causada pelo espalhamento da luz do Sol nas moléculas da atmosfera. Essa dispersão, chamada de espalhamento Rayleigh, é mais eficaz em comprimentos de onda curtos (a extremidade azul do espectro visível); portanto, a luz espalhada para a Terra em um ângulo grande com relação à direção da luz do sol é predominantemente na extremidade azul do espectro;

- dispersão pelas partículas de poluição ou cinzas na atmosfera.

Todos os efeitos ocasionados pela atmosfera serão ampliados quanto maior o percurso feito pela radiação entre o Sol e a superfície terrestre. Isso ocorre porque quando a inclinação vertical do Sol em relação à superfície é pequena, a passagem da radiação pela atmosfera ocorrerá de forma oblíqua. Assim, perfaz um caminho maior se comparado a momentos em que o Sol está posicionado com inclinações verticais mais próximas a 90° quando a radiação atravessa a atmosfera num percurso menor, pois incide quase de forma perpendicular na atmosfera. Dessa forma, o percurso da radiação solar é determinante para o adequado aproveitamento da energia solar.

E, por último, outro fator que determina como a radiação é absorvida pelas células PV é a reflexão ocasionada pelos materiais e acabamentos das superfícies presentes nas proximidades dos locais onde serão instalados os módulos PV. Essa reflexão propicia um acréscimo maior ou menor de radiação difusa que atingirá os módulos. A comparação dos dados das diferentes superfícies foi possível ao ser determinado o que foi denominado de índice “Albedo”⁸. Quanto maior o índice de Albedo, maior a reflexão ocasionada pela superfície e, portanto, maior a parcela de radiação difusa a ser absorvida pelos painéis (DGS, 2009). (quadro 1)

⁸ Os valores de “albedo” são necessários para alguns softwares direcionados ao projeto e simulação dos sistemas PV

Quadro 2: Índices Albedo por tipos de materiais de superfícies. Fonte: DGS.

Reflexão por tipo de superfície	Albedo
Gramma	0,25
Gramma seca	0,18-0,23
Solo seco	0,17
Cascalho	0,18
Concreto	0,36
Cimento polido	0,55
Asfalto	0,15
Superfície de água	0,12
Camada de neve recente	0,80-0,9
Areia	0,10-0,25
Bosques e áreas arborizadas	0,05-0,18

Esta gama de variáveis anteriormente expostas, relacionadas ao comportamento da radiação na sua origem, no seu percurso e também na sua chegada à superfície, constitui importantes parâmetros para o projeto de sistemas PV nos edifícios. Definem, por exemplo, a maior capacidade de absorção de um sistema PV, na medida em que os equipamentos a serem instalados estiverem “orientados de forma perpendicular ao fluxo de radiação solar” (FERREIRA, 2000, p. 9). Isso explica o maior aproveitamento nos sistemas PV dotados de mecanismos para controlar o posicionamento dos painéis em relação ao percurso solar, instalados na Europa, Ásia e EUA. Com eles, é possível manter, na maior parte do tempo, uma disposição que traz o máximo de aproveitamento possível. Esse acionamento permite, em certos casos, um ganho de radiação de 20% em relação a um sistema fixo, no período do verão. Já no inverno, quando a radiação difusa é predominante, esse ganho chega a cerca de 300% (DGS, 2009, p. 15).

Vale apontar ainda que a energia solar possui duas qualidades muito importantes: é não poluente e tem disponibilidade permanente. Essas qualidades não influenciam o dimensionamento dos sistemas, no entanto, constituem-se como premissas fundamentais para a adoção desse tipo de fonte de energia dado o panorama mundial atual.

2.1. BASE DE DADOS DA RADIAÇÃO

Os dados sobre a radiação solar recebida em determinado local são fundamentais para a concepção dos projetos dos sistemas fotovoltaicos. Para coletá-los, é necessário utilizar alguns aparelhos específicos. Um deles é o piranômetro que possui dois globos de vidro na parte superior, permitindo calcular a radiação solar pela diferença de temperatura entre os globos e o ambiente externo, baseando-se em elementos termoelétricos. Há também os actinógrafos que coletam os dados referentes à radiação solar em locais determinados e transferem os dados obtidos por um coletor envolto em vidro para gráficos feitos pelo próprio aparelho.

Os pireliômetros, por sua vez, permitem aferir a radiação direta e a captam através de uma pequena abertura que permite somente o contato com o disco solar (CRESESB, s. d.). Já os heliógrafos, medem a duração do brilho solar. Outros aparelhos fazem uso de sensores fotovoltaicos para medir a radiação. Possuem uma precisão inferior se comparada com o piranômetros, por exemplo, pois as células fotovoltaicas não absorvem certos componentes da radiação solar, tais como, por exemplo, os raios infravermelhos com grande comprimento de ondas (DGS, 2009). A figura 4 apresenta alguns aparelhos que coletam dados da energia solar.



Figura 4: À esquerda, piranômetro (fonte: Kipp&Zonen); Ao centro, um pireliômetro (Fonte: Kipp&Zonen); direita aparelho com medidor de energia que utiliza sensores fotovoltaicos (Fonte: MacSolar).

Há dados sobre a radiação solar disponibilizados em sítios na Internet ou reunidos em *softwares* específicos⁹. Uma dessas referências é o sítio do programa SWERA, de

⁹ Algumas dessas referências existentes são: O *software Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine*, ou SMARTS, desenvolvido pela NREL- *National Renewable Energy Laboratory* do Departamento de Energia dos Estados Unidos e o *software Meteonorm* desenvolvido pela MeteoTest

abrangência mundial, que se utilizou “medições por satélite e terrestres, modelos numéricos e métodos de mapeamento empírico e analítico” (SWERA, 2010, tradução do autor). Seu objetivo é o de servir como referência para a construção de novas políticas para energias renováveis e como fonte de qualidade para os investimentos neste tipo de fonte energética. Como resultado do programa, diversos mapas (detalhados com diversos dados sobre as fontes de energia renováveis, infra-estrutura e dados sobre o clima) e documentos que mostram as metodologias adotadas para a obtenção dos dados foram disponibilizados no sítio na Internet do SWERA. As figuras 5 e 6 trazem algumas telas da interface do sítio na Internet.

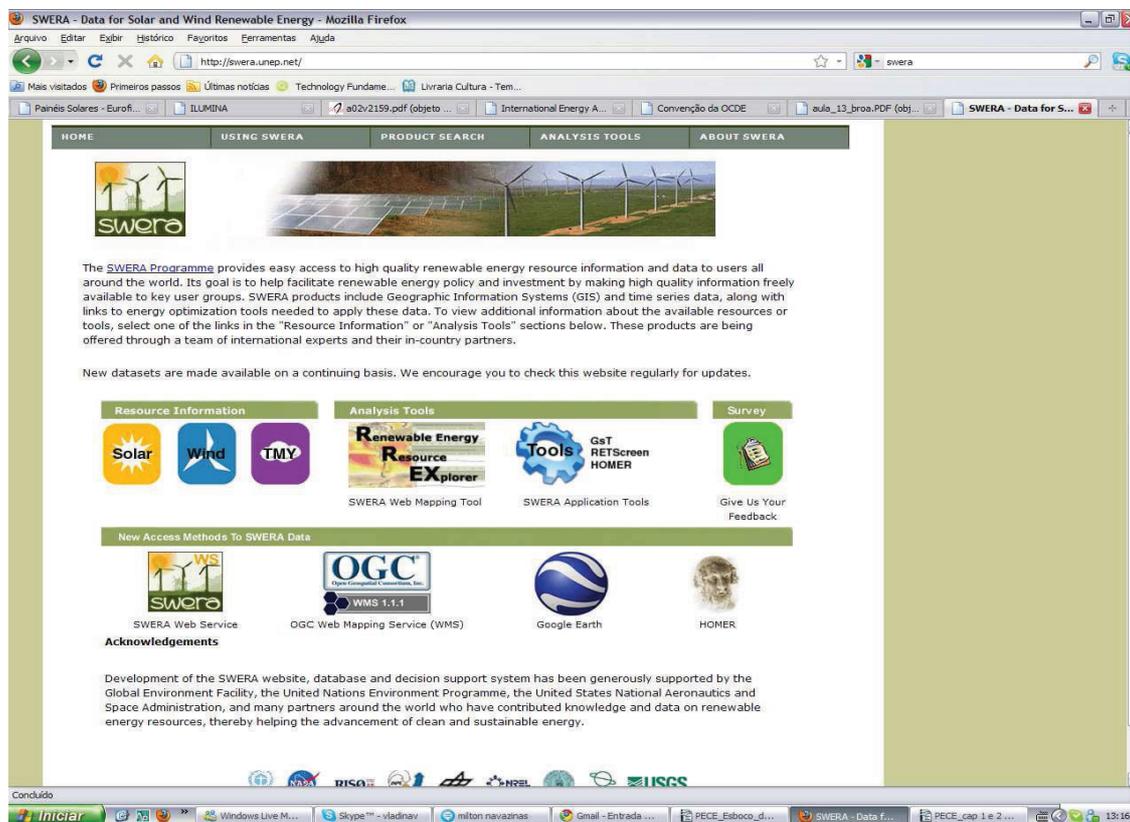


Figura 5: Tela Inicial do Projeto Swera Fonte: UNEP/GRID-Sioux Falls.

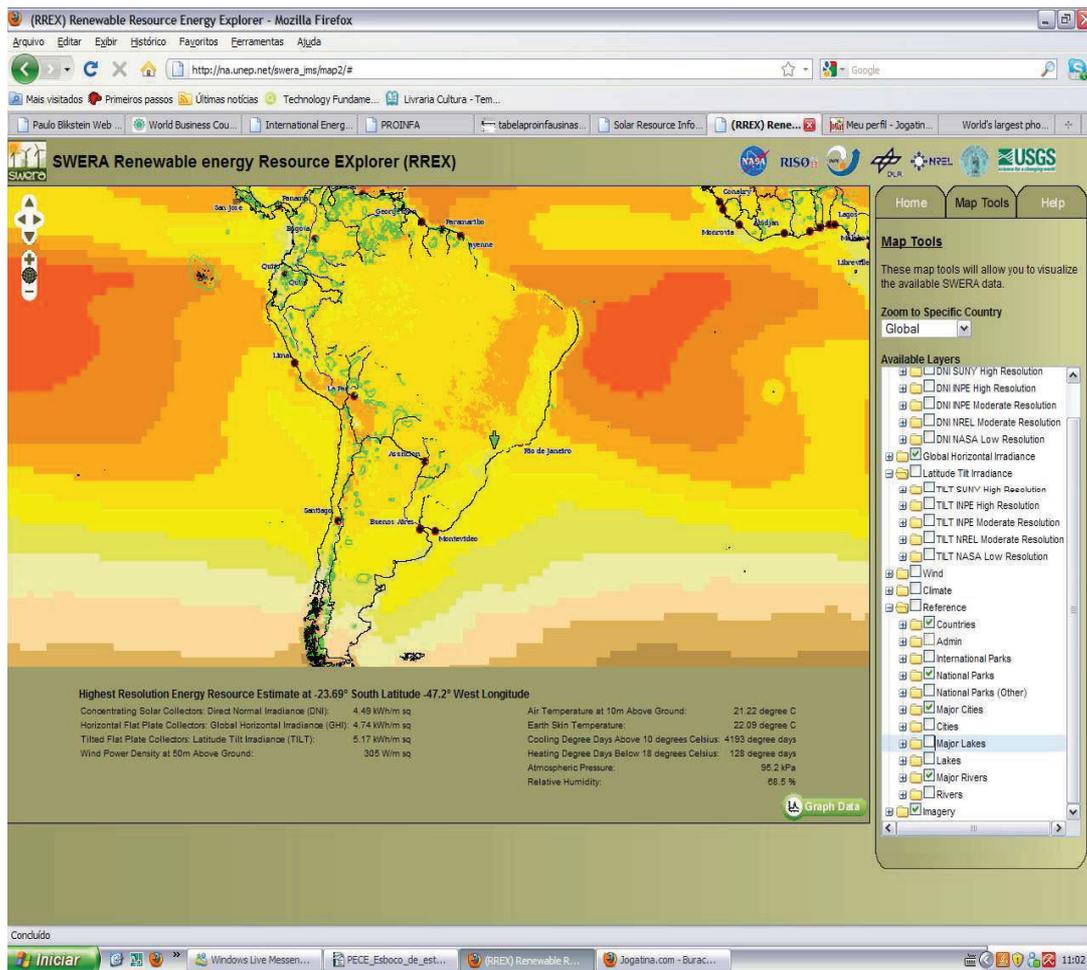


Figura 6: Reprodução de página interativa do sítio SWERA onde estão reunidos os dados sobre a radiação georreferenciados. Na coluna da direita, o usuário define os tipos de dados e que referencias geográficas quer ter como referência no mapa. Fonte: UNEP/GRID-Sioux Falls.

2.2. SITUAÇÃO NO BRASIL

Os dados disponibilizados no Swera relativos ao Brasil fazem parte do Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado pelo INPE em 2006. A pesquisa para obtenção dos dados foi coordenada pela Divisão de Clima e Meio Ambiente do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DMA/CPTEC/INPE). Os objetivos do Atlas Brasileiro são os mesmos do Projeto Swera, anteriormente apresentados. A reunião desses dados e as pesquisas já desenvolvidas nesse âmbito contribuem sobremaneira para a difusão da tecnologia

fotovoltaica no país. O Atlas confirma ainda que o potencial de radiação no Brasil¹⁰ é um fator que deve ser aproveitado como um dos incentivos à instalação dos sistemas fotovoltaicos (PEREIRA et al., 2006).

Segundo o Atlas Brasileiro há um cenário favorável para a disseminação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, na medida em que a instalação de sistemas PV constitui como alternativa para a eletrificação de comunidades muito distantes das redes de distribuição de energia elétricas existentes. O argumento utilizado é o de que os custos de montagem e de distribuição nesses casos são muito elevados. Por isso, pequenos sistemas PV instalados podem atender àquela demanda específica. Pesquisas apresentadas por Oliveira (2002), Ferreira (2002) e Mocelin (2006) abordam a inserção de sistemas PV em comunidades isoladas do Amazônia, Vale do Paraíba, entre outras, que corroboram a afirmação do Atlas sobre estas condições favoráveis para a expansão do uso dos módulos PV.

¹⁰ Segundo o mesmo Atlas Brasileira da Energia Solar, o maior nível de radiação verificado na Alemanha é menor do que o nível anual médio verificado no estado de Santa Catarina, no sul do país, e portanto, onde o clima é o mais ameno nos verões e onde há inverno mais rigoroso. (Pereira et al. 2006, p 31).

3. O EFEITO FOTOVOLTAICO

A descoberta do fenômeno físico que tornou viável a conversão da luz solar em energia elétrica foi feita pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel (1839). Sua pesquisa apresentou resultados que evidenciaram a diferença de potencial elétrico e, portanto, um surgimento de uma corrente elétrica, produzida nos extremos de um material semicondutor quando exposto à luz. Este é o princípio verificado no funcionamento da célula fotovoltaica. DGS (2009) explica o efeito fotovoltaico de uma célula solar (que é um semicondutor) ao ser exposta à luz solar:

“os fótons são absorvidos pelos elétrons. Essa entrada de energia quebra a ligação dos elétrons. Os elétrons liberados são puxados através de um campo elétrico para a região do pólo negativo da placa. Os vazios que são criados migram para a direção oposta, para o pólo positivo. Este processo, como um todo, é chamado de efeito fotovoltaico.” [DGS, 2009] tradução livre)

Em resumo, os fenômenos que ocorrem no interior das células fotovoltaicas seguem o seguinte roteiro: absorção de fótons; transferência de energia dos fótons para as cargas elétricas; conseqüente criação da corrente elétrica.

3.1. A CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica tem como seu principal componente o silício, segundo elemento mais abundante na Terra depois do oxigênio. No entanto, o silício não é encontrado em estado puro na natureza, e sim sob a forma de quartzo ou areia, estando associado a outros elementos, como, por exemplo, o oxigênio. Com isso, a extração do silício demanda muita energia que deve ser considerada nos processos de produção das células fotovoltaicas, dependendo do tipo de célula a ser produzida.

A composição clássica da célula solar traz duas camadas de cristais de silício, que é o material semicondutor, banhadas com fósforo e boro, respectivamente, como pólo negativo e pólo positivo. Ao receberem a radiação solar, as células PV são capazes de

transformá-la em energia elétrica através da criação de uma corrente, transmitida a partir das próprias células em uma malha de elementos metálicos adicionados nas partes frontais das células (em contato com a luz solar) e nas partes inferiores (sem contato com a luz solar) (Figura 7).

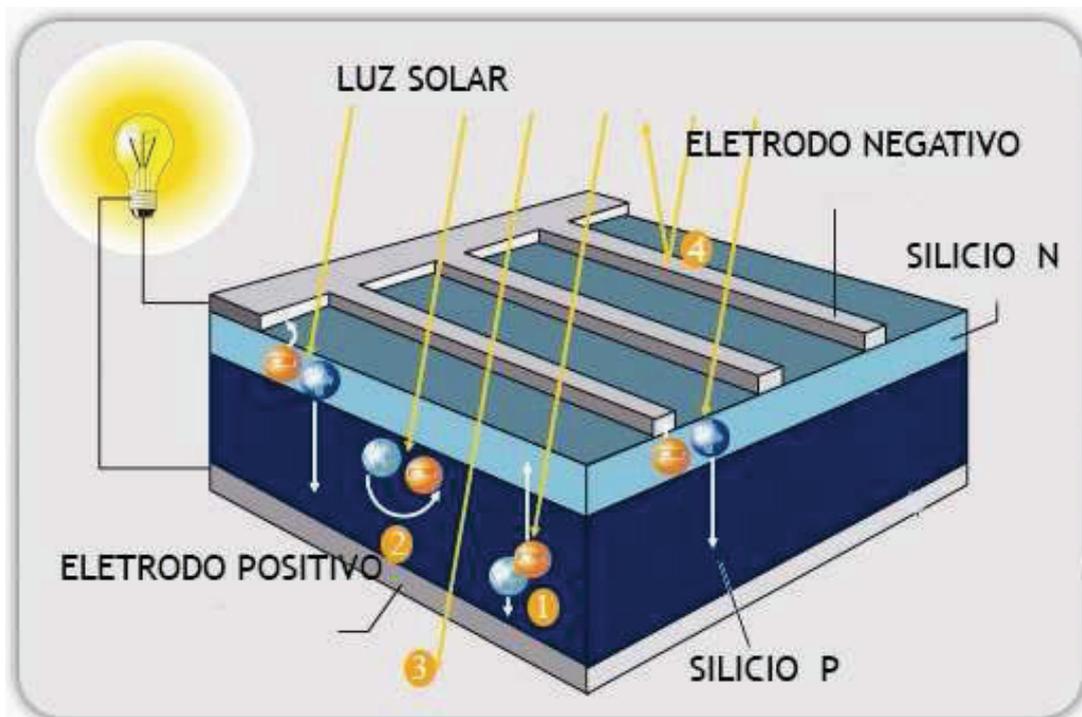


Figura 7: 1. Separação de cargas; 2- Recombinação; 3. Fóton não utilizado; 4. Reflexão ocasionada pelos elementos em contato com a luz. Fonte: Adaptado de V. Quaschnig (2007), DGS (2009) e Solarpraxis (2010).

Além do silício, outros materiais semicondutores têm sido aplicados na fabricação de células PV como, por exemplo, o Telureto de Cadmio (CdTe) e o Cobre Índio (di)Selênio (CIS). Esses representam o grupo de novos materiais, já que surgiram em decorrência das pesquisas desenvolvidas a partir dos anos 90, motivadas pela busca por maior eficiência energética das células e também a procura por células que pudessem utilizar menores quantidades de materiais semicondutores através da fabricação de películas de menor espessura. Enfim, era esperado com essas pesquisas obter maior quantidade de energia elétrica possível a partir da energia solar recebida, utilizando menores quantidades de material semicondutor por célula. (NREL, 2011; DGS, 2009)

A partir daí, além das células cristalinas, essas pesquisas trouxeram dois outros grupos de células: as de filmes finos e as chamadas híbridas.

Cada material e tecnologia empregados nas células contribui para estabelecer diferentes níveis de eficiência, ou seja, a capacidade que cada célula tem de transformar a energia solar em energia elétrica. Quanto maior a eficiência, maior a capacidade da célula de transformação da radiação solar em energia elétrica. Fazendo uso desse conceito na concepção de projetos com células PV, numa edificação com uma demanda estabelecida, células de melhor eficiência vão definir uma área de módulos para a captação de energia solar menor, se comparada com uma célula de menor eficiência (Quadro 2).

Quadro 3: Tabela Eficiência energética e área necessária para a produção de 1kW. Fonte: Roberts e Guariento (2009) e DGs (2009).

Tipo de célula	Eficiência	Área exigida para a produção de 1kWp
Células Híbridas	17-18%	6-7m ² /kWp
Células monocristalinas	15-18%	7-9m ² /kWp
Células policristalinas	13-16%	7-10m ² /kWp
Células de CIS	9-11%	9-11m ² /kWp
Células de CdTe	7-8%	12-17m ² /kWp
Células de silício amorfo	5-7%	14-20m ² /kWp

3.2. CÉLULAS CRISTALINAS

As células cristalinas têm no silício como material semicondutor. São exemplos de células cristalinas: as do tipo monocristalinas, as policristalinas; a de silício puxado em fita (*Ribbon-pulled*); as de alto desempenho; e as transparentes.

3.2.1. Células Monocristalinas

O polissilício é utilizado como matéria-prima tanto na célula monocristalina quanto na policristalina. Esse material é derretido após atingir 1.400°C. Desse produto liquefeito, é formado um cilindro com comprimento variável. A partir desse cilindro, formam-se pequenas barras que são posteriormente fatiadas nas espessuras usuais das células: aproximadamente 0,3 mm. Na execução desse corte, partes do material são

transformadas em pequenos pedaços e cinzas que podem ser reutilizados ao repetirem o mesmo processo descrito acima. (DGS, 2009).

As “fatias” são então banhadas em boro e fósforo para criarem as camadas que serão montadas na célula e que funcionam como pólos opostos. Na sequência, é coberta com uma camada antirreflexiva e, posteriormente, a célula recebe a aplicação de pinturas com elementos metálicos, tanto na parte frontal como na parte inferior, cuja função é fazer o transporte da corrente elétrica (figura 8).

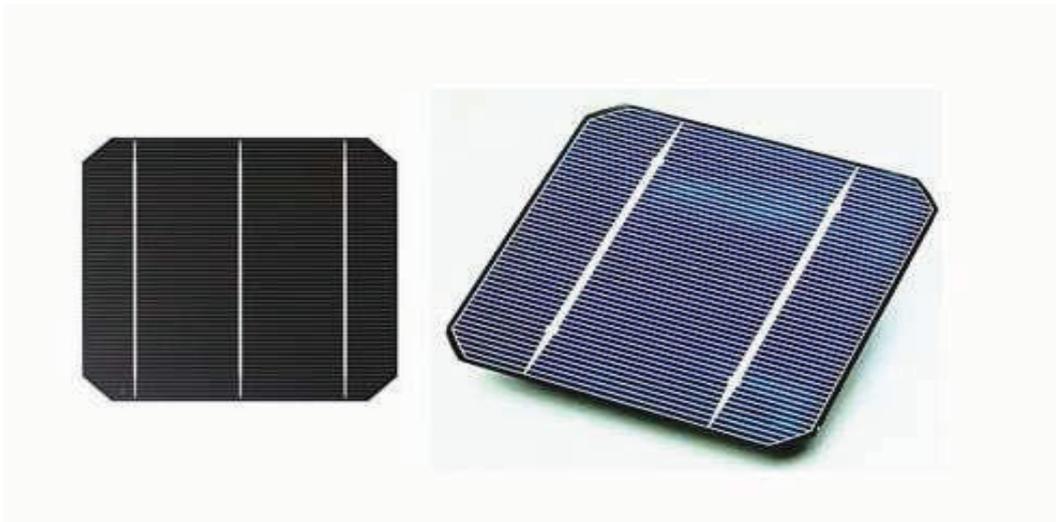


Figura 8: Células monocristalinas e seu aspecto uniforme em relação às tonalidades de cor. Fonte: Russel Solar e PV Expo

Vale citar que em algumas células cristalinas, principalmente nas células monocristalinas ou policristalinas, uma película antirreflexo de nitrito de silício ou dióxido de titânio é aplicada sobre as mesmas. O objetivo é reduzir a reflexão da luz verificada nas células e absorver a parcela que, anteriormente era perdida, gerando, portanto, um ganho de eficiência nas células. As diferentes espessuras com as quais essas películas podem ser aplicadas nas células dão a elas diferentes colorações. (Sunways, 2010 e DGS, 2009)

3.2.2. Células Policristalinas

A fusão do silício ocorre num recipiente específico de quartzo, no qual o material é moldado em formas prismáticas e resfriamento ocorre de forma controlada.

Nesse processo específico busca-se a formação de cristais de silício de diferentes tamanhos cujo aspecto se observa nestas células. (figura 9)

A partir dos grandes prismas, se obtém as células através do corte efetuado ao longo dos prismas numa distância com a espessura de cada célula policristalina (usualmente de 0,3mm). Após a execução do corte, é realizada a limpeza, e a aplicação de boro e fósforo. Por fim, é aplicada a película antirreflexo e os contatos metálicos para a transmissão da corrente são impressos. (DGS, 2009)

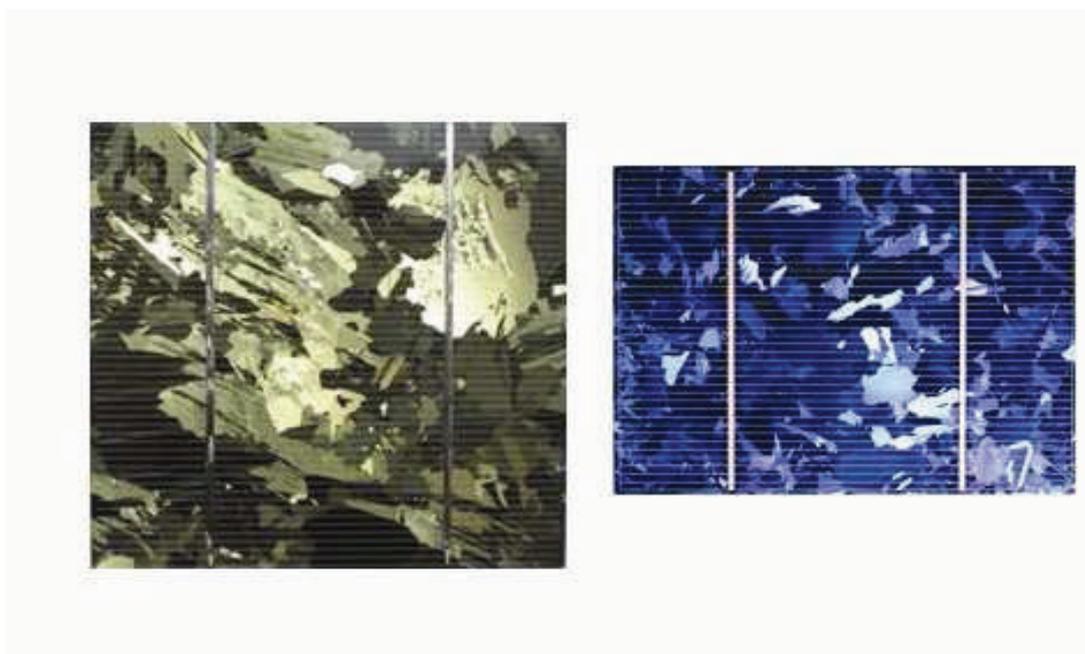


Figura 9: Células policristalinas. Fonte Russel Solar.

3.2.3. Célula em Fita (Ribbon-Pulled)

O processo de fabricação desse tipo de célula (Figura 10) consiste na extração da célula ou da película diretamente do silício derretido. (Figura 11) Ao não utilizar

processos mecânicos de corte e utilizar espessuras menores (0,1mm), este tipo de célula gera significativa redução de custos e do uso do silício.¹¹



Figura 10: Esquema de produção da célula em fita. Fonte: Sovello.



¹¹ Os métodos convencionais de produção das células convencionais chegam a desperdiçar até 40% do silício. (DGS, 2009, p. 27)

Figura 11: Módulo PV de célula puxada em fita. O aspecto visual é semelhante aos outros aos de células PV. Fonte: Evergreen.

No processo de produção deste tipo de célula obtém-se grande redução de energia empregada.

3.2.4. Células de alto desempenho

Fruto de desenvolvimento das pesquisas recentes, as células de alto desempenho buscam atingir eficiências maiores do que 20%. Para atingir tal patamar, foi necessário reduzir as perdas óticas e elétricas que ocorriam nas células policristalinas e monocristalinas (DGS, 2009, p.34). Para a produção desse tipo de célula foi necessário: executar uma célula com alto índice de pureza do silício; melhorar os contatos das partes de transporte da corrente; e reduzir os efeitos da reflexão na face que absorve a radiação solar (figura 12).

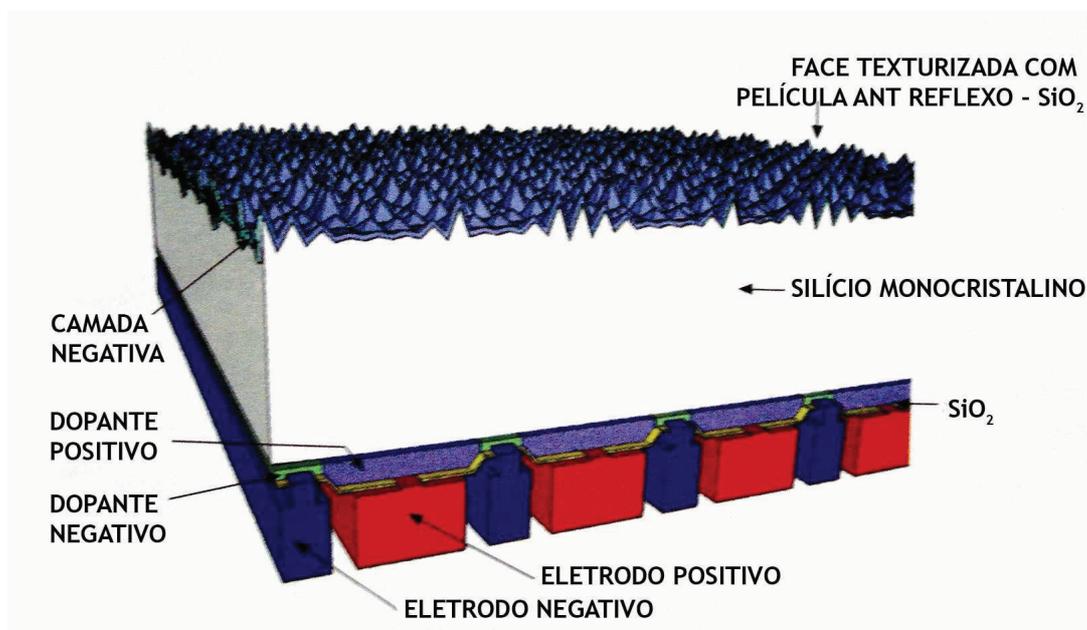


Figura 12: Detalhe ampliado da célula de alto desempenho. Elaborado pelo autor a partir de DGS (2009).

3.2.5. Células transparentes;

Feitas a partir de silício policristalino, as células transparentes possuem microscópicas ranhuras nas duas faces. A execução dessas ranhuras é feita em ambas as faces em sentidos distintos com uma rotação entre elas de 90°. (figura 13) No cruzamento dos pontos mais profundos dessas ranhuras, a espessura da célula é ainda mais fina, propiciando então o efeito de transparência. A figura 13 ilustra um modelo desse tipo de célula.

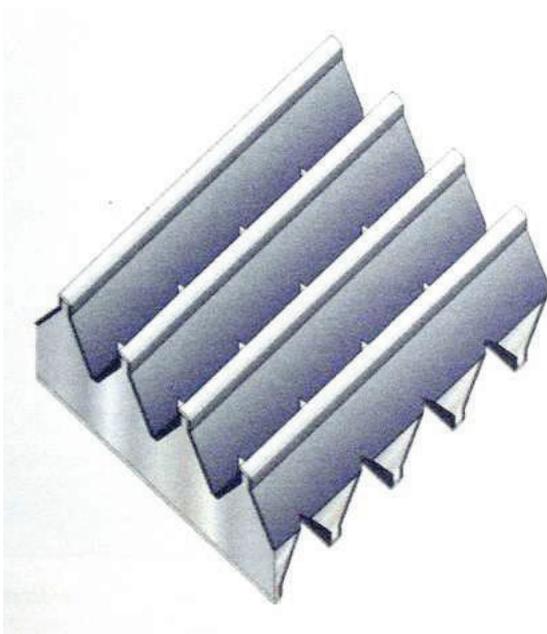


Figura 13: Célula transparente modelo 125L da *Sunways*. Fonte: *Sunways*.

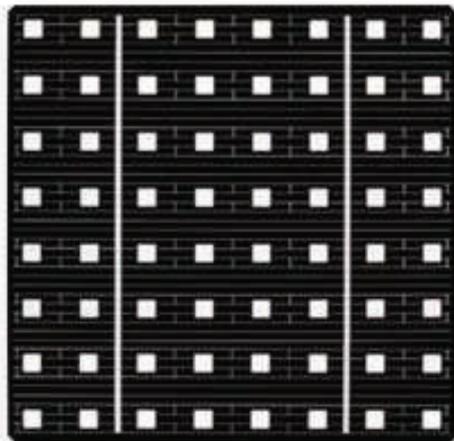


Figura 14: Esquema com perspectiva isométrica da célula transparente com as ranhuras da camada do material semiconductor. Fonte: DGS (2009).

3.3. CÉLULAS DE PELÍCULA FINA

As células de película fina fazem uso dos novos materiais semicondutores como o Telureto de Cádmio (CdTe), CIS e silício amorfo. A capacidade de absorção da radiação solar em uma camada de pouca espessura é a principal característica desse tipo de célula.

Enquanto as células de película fina possuem de $1\mu\text{m}$ a $6\mu\text{m}$ de espessura, as células cristalinas têm de $200\mu\text{m}$ a $300\mu\text{m}$. Por isso, tanto o consumo de material semiconductor como o dispêndio de energia no processo de fabricação das células são menores.¹²

¹² Segundo DGS (2009, p.40), numa comparação entre células de película fina e células cristalinas, o consumo de material semiconductor é de $0,2 \text{ kg/kWp}$ para o primeiro tipo e de 10 a 12 kg/kWp para o segundo. A energia necessária para a produção das células é de 6 - $10,5 \text{ MWh/kWp}$ para as células de película fina e de $10,5$ a 19 MWh/kWp no caso das células cristalinas.

3.3.1. Célula de silício amorfo

As células de silício amorfo se originam de uma forma não cristalina do silício. São células que consomem muito menos energia nos processos de produção¹³, devido à sua espessura reduzida e que, portanto, envolvem menores quantidades de material semicondutores. Esse tipo de célula é capaz de absorver grande parte de radiação difusa e, por isso, consegue obter bons resultados em áreas não muito ensolaradas (figura 15).



Figura 15: Célula de silício amorfo. Importante destacar a flexibilidade do material, o que permite sua aplicação em várias direções e formas. Fonte: Marlec.

3.3.2. (di)Seleneto de Cobre Índio (CIS)

O semicondutor responsável pela transformação da radiação solar em energia elétrica nesse tipo de célula é o (di)Seleneto de Cobre Índio. Sobre ela são anexadas as seguintes camadas (figura 16): alumínio banhado com Óxido de Zinco (ZnO:Al) e

¹³ Enquanto nas células cristalinas a temperatura empregada nos processos pode chegar a 1.400°, nas células de silício amorfo a temperatura máxima no processo de produção é de 250°C. (DGS, 2009, p.42)

adicionadas a uma pequena camada de ZnO (esse conjunto age como o contato frontal que recebe a radiação solar e especificamente o óxido de zinco atua como condutor negativo); e de Sulfeto de Cádmio (CdS) que realiza a proteção para minimizar as perdas elétricas. As camadas de base, normalmente de vidro, são cobertas por uma fina camada de Molibidênio (Mo) que se configura como camada que realiza a transmissão da corrente elétrica. As diversas camadas devem ser cuidadosamente seladas de modo a evitar a entrada de umidade. (DGS, 2009).

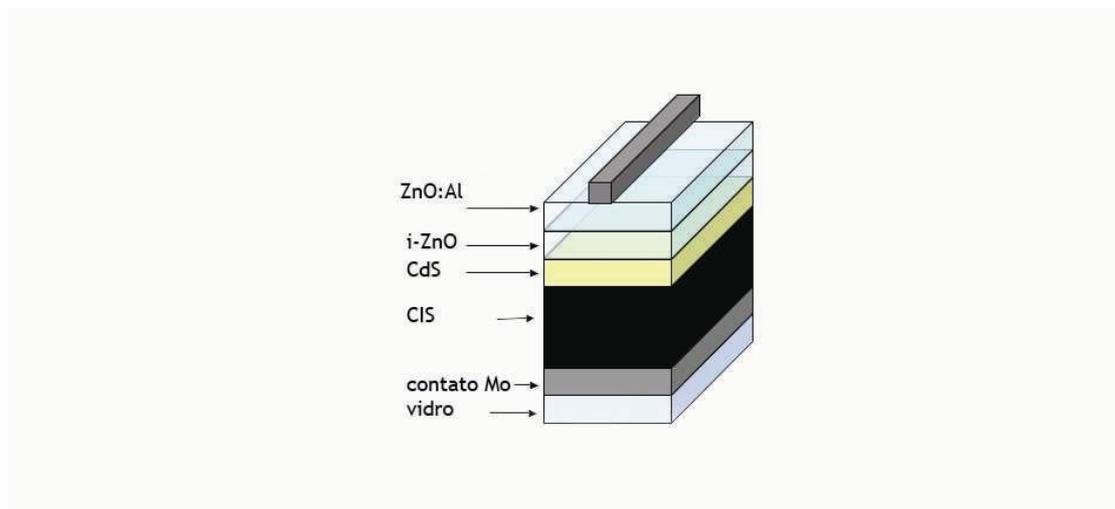


Figura 16: Esquema estrutural de célula de película fina tipo CIS. Fonte: University of Bath.

3.3.3. Telureto de Cádmio (CdTe)

O material semiconductor desse tipo de célula PV possui o Cádmio, que como metal pesado, representa uma barreira para o emprego do CdTe. Porém, desde que usado a partir da obtenção do zinco (o Cádmio é um subproduto do zinco) e houver controle quanto ao seu descarte, o uso em células solares não se torna agressivo ao meio ambiente (FTHENAKIS, 2011). Uma vantagem é que o CdTe é muito estável, o que explica sua não degradação em função da exposição à luz.

Segundo DGS (2009), nesse tipo de célula há possibilidade de efetuar a reciclagem de materiais dos módulos sem uso depois de terminada a sua vida útil. (Figura 17)



Figura 17: Módulo PV em película fina de CdTe. Fonte: FirstSolar.

3.3.4. Célula nano cristalina sensível a corante (DSC - Dye-sensitized Cells)

Representará uma alternativa às células de silício num futuro próximo. Descoberta em 1991 pelo professor suíço Michael Gratzel, a célula utiliza o Dióxido de Titânio como base de funcionamento da célula fotovoltaica. Uma vantagem desse tipo de célula é que os materiais empregados no seu processo de fabricação não são tóxicos e ainda têm baixos custos. Além disso, atingem grande eficiência quando expostas em altas temperaturas. Alguns fabricantes têm desenvolvido pesquisas acerca dessa opção; no entanto, a sua produção em massa ainda não ocorre (DGS, 2009).

3.4. CÉLULAS HÍBRIDAS

As células híbridas consistem numa combinação da tecnologia de células cristalinas e as células de filmes finos. (figuras 18 e 19)

As vantagens verificadas nas células híbridas estão relacionadas à sua menor perda de eficiência em altas temperaturas (Sanyo, 2010; DGS, 2009)¹⁴. O que determina, por exemplo, um ganho de cerca de 7% de energia se comparados com um sistema de células policristalinas, num período de um ano. (DGS, 2009, p.51).

Há também economia de energia e de materiais na produção das células pela utilização de filmes finos.

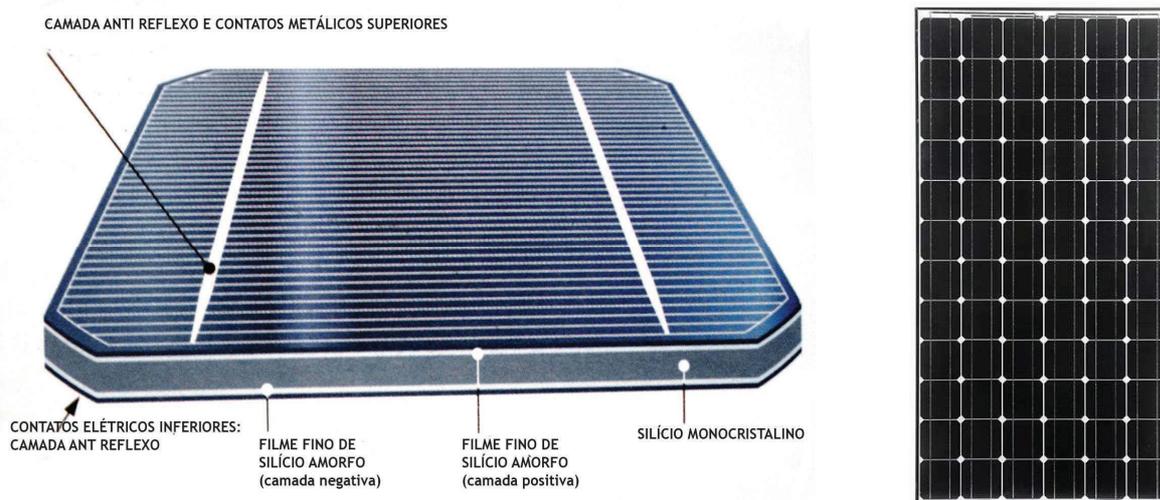


Figura 18 (À esquerda): Detalhe ampliado das camadas presentes nas células híbridas. Fonte: DGS, 2009.

Figura 19 (À direita): Módulo PV de células híbridas. Fonte: Sanyo.

O Quadro 3 apresentado traz, de forma sintética, os dados sobre os tipos de célula existentes.

¹⁴ DGS aponta uma perda de 0,33% na produção de energia das células híbridas em altas temperaturas, enquanto nas células cristalinas essa perda é de 0,45%. O fabricante Sanyo aponta que há um ganho de mais de 10% de eficiência nessas mesmas condições.

Quadro 4: Quadro geral com os tipos de célula. Elaborado pelo autor a partir de DGS (2009)

Grupos	Tipos De célula fotovoltaica	Eficiência (em %)	Forma	Tamanhos usuais	Espessura	Aparência	Cor	Alguns Fabricantes
Células cristalinas	Silício Monocristalino	15-18	Variada (quadrada, circular, semi circular)	10cmx10cm;12,5x12,5cm;15x15cm	0,2mm a 0,3mm	uniforme vista de cristais em orientações diversas.	de azul escuro a preta	GE Energy, Sharp
	Silício Policristalino	13-16	quadrada	10cm10cm; 12,5cmx12,5cm;15cmx15cm; 21cmx21cm	0,24mm a 0,3mm			BP Solar, Sunways, Suntech, Q-Cells, Kyocera
	Silício Puxado em Fita (Ribbon Pull)	14	quadrada	12,5cmx12,5cm	0,24mm em média	uniforme	preto fosco	RWE Schott Soiar
	Células de alta performance	20,8	semitruva	12,5x12,5cm	0,27mm	depende do tipo	varia de acordo com o tipo de célula	SunPower corporation
	Células transparentes	10-13,8	quadrada	10cmx10cm;12,5x12,5cm	0,3mm			Sunways
Películas finas	Células de silício amorfo	5 a 7	placa retangular	0,79mx2,44m	1mm a 3mm no material da base e 1µm de revestimento, sendo 0,3µm de silício amorfo.	uniforme	marron avermelhado ou azul/violeta	BP Solar; Canon; Sanyo; EPV
	CIS – diseleneto de cobre índio	9 a 11	módulos padrões	máximo 1,2mx0,6m	2mma 4mm de base e 3µm a 4µm de revestimento e 1µm a 2µm	uniforme	cinza escuro a preta	CIS Global Solar, Shell solar, EPV Showa Shell
	CdTe – Telureto de Cadmio	7 a 8,5	placa retangular	1,2x0,6m	3mm +0,005mm cobertura	uniforme	verde escuro a preto	Antec Solar Energy, First Solar
	Dye-sensitized	5-12	placas			uniforme	variada	
Híbridas		17-18	quadrada	10,4x10,4;12,5x12,5cm	0,2mm	uniforme	azul escuro a quase preto	Sanyo

4. APLICAÇÕES E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas PV implantados em edifícios podem ser de dois tipos:

- Sistemas autônomos ou fora da rede (*stand-alone systems*);
- Sistemas conectados à rede de energia existente (*grid-connections systems*)

A classificação dos sistemas sob um ou outro tipo é função da relação do mesmo com a rede de distribuição de energia elétrica já instalada.

Os sistemas autônomos são caracterizados pelo fato de estarem isolados, sem conexão com a rede de distribuição de energia existente. Podem ou não atender completamente à demanda, o que exige, em certos casos, um sistema híbrido que utiliza outras fontes, como, por exemplo, o diesel para geradores. É o tipo de sistema empregado em edifícios isolados sem fornecimento de energia elétrica pelas redes convencionais. É utilizado, também, em muitos equipamentos de sinalização, mobiliário urbano ou sistemas de automação e instrumentação, as chamadas “mini aplicações” (DGS, 2009). Todos eles utilizam baterias como meio de armazenar a energia produzida. A figura 20 mostra algumas dessas aplicações de módulos PV em sistemas autônomos.



Figura 20: Imagens de sistemas autônomos. Acima à esquerda: edificação rural (fonte: Kyocera); acima à direita: iluminação pública; abaixo à esquerda: sinalização de trânsito (fonte: Kyocera); abaixo à direita: telecomunicações (fonte Kyocera).

Os sistemas conectados à rede, por sua vez, estão conectados ao sistema de distribuição de eletricidade, e podem fornecer-lhe a energia excedente ou mesmo receber parte da energia necessária para o seu pleno funcionamento, caso a produção gerada pelo sistema PV não tenha sido suficiente (Figura 21).

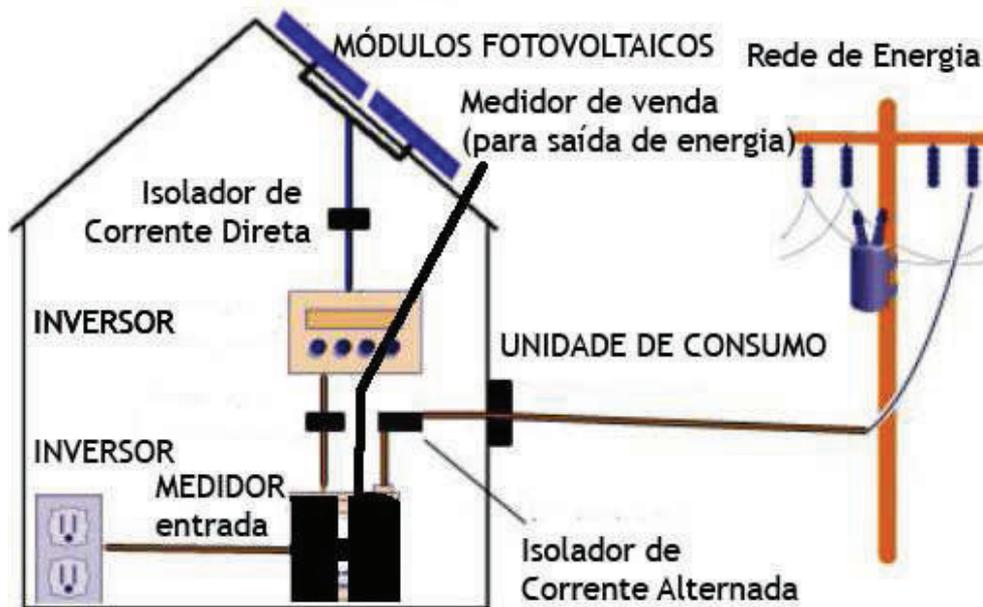


Figura 21: Sistema ligado à rede. Neste há a possibilidade da unidade produtora de energia fornecer eventuais excedentes à rede de distribuição de energia; há, também, a possibilidade de complementar a energia necessária a partir da rede, caso a sua produção não seja suficiente. Fonte: elaboração do autor.

Para cada um desses tipos são necessários equipamentos específicos para executar as funções que lhe são exigidas, os quais são abordados na sequência.

4.1. MÓDULOS

Para a montagem dos sistemas de geração de energia fotovoltaica em edifícios é necessário que as células, apresentadas no capítulo anterior, sejam dispostas nos chamados módulos fotovoltaicos, pois a energia que cada célula é capaz de gerar é baixa para atender às exigências mínimas de uso. Os módulos consistem em agrupamentos das células interligadas em série. A união entre elas ocorre por meio de ligações metálicas, posicionadas na face inferior e posterior.

A quantidade de células nos módulos varia conforme o fabricante. A única empresa brasileira que produz os módulos possui modelos com 36 células (HELIODINÂMICA, 2010). Outros fabricantes como a Kyocera ou a Sunways dispõem

de módulos que possuem entre 36 e 60 módulos (*SUNWAYS*, 2010 e *KYOCERA*, 2010).

Além da célula, os módulos exigem os seguintes elementos: encapsulamento e substrato; estrutura do módulo.

4.1.1. Encapsulamento e substrato

A célula PV é um componente sensível e, por isso, necessita de condições específicas de temperatura e de isolamento elétrico para seu pleno funcionamento. Isso exige que haja certos materiais a ela anexados que sejam capazes de protegê-la contra umidade e de quaisquer interferências que possam alterar a transmissão elétrica realizada internamente na célula. Por isso, na formação dos módulos, além da junção de células, é necessário à execução de camadas que realizam as funções descritas anteriormente.

De qualquer forma, nos módulos PV, as células mantêm-se numa posição intermediária dos mesmos. As camadas ao seu redor, que realizam a proteção das células e as isolam eletricamente, recebem a denominação de substrato e encapsulamento, respectivamente.

O encapsulamento, camada responsável pelo isolamento elétrico da célula, é executado principalmente com o EVA (Etil Vinil Acetato), o Poli Vinil Butiral (PVB) e o teflon. O teflon, por exemplo, quando empregado em módulos PV, exclui a necessidade de cobertura na parte frontal da célula, pois é um material transparente e que ainda possui a capacidade de não ter aderência de sujeira em sua superfície.

Também é resistente aos raios UV. O substrato ou base propicia aos módulos PV a estabilização estrutural necessária tanto para seu manuseio como para sua instalação. Usualmente, o substrato é feito de vidro; mas, em certos casos, outros materiais como o acrílico, plástico ou metal também são utilizados (*DGS*, 2009, p 67-71).

A disposição dessas camadas – a de substrato e a de encapsulamento – em relação ao material semicondutor das células depende dos materiais e tecnologias utilizadas pelas células PV, como pode ser visto na figuras 22.

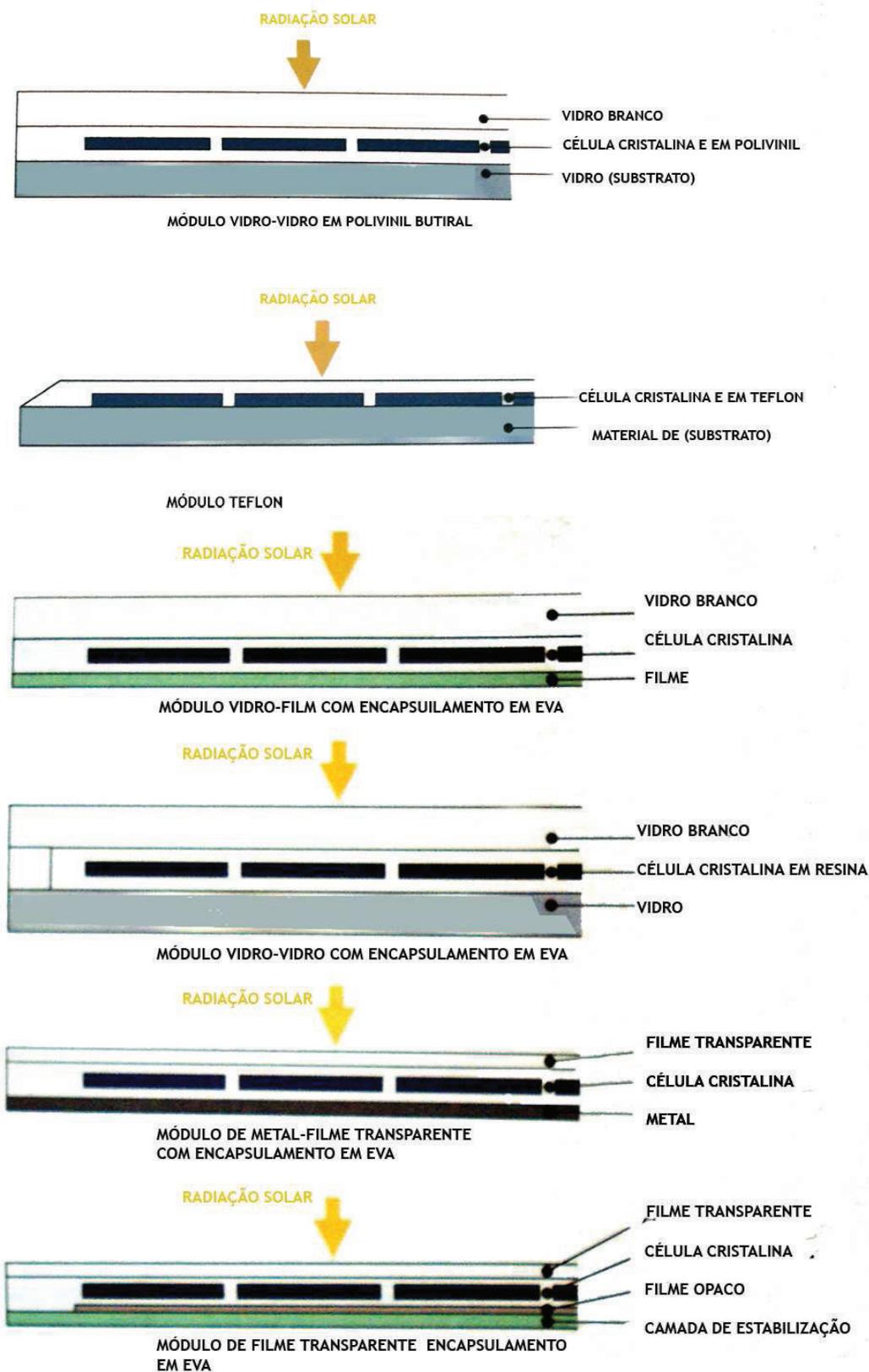


Figura 22: Tipos de módulos PV e suas diferentes camadas. Fonte: Solarpraxis (2010), DGS (2009).

4.1.2. Estrutura do módulo

Dependendo da aplicação a ser realizada, os módulos necessitam ou não de elementos estruturais nas suas bordas. Normalmente, tais elementos são executados em perfis metálicos e já saem dos fabricantes com essa configuração.

A presença ou não de elementos estruturais ao redor dos módulos ajuda a definir a forma como os módulos PV se relacionam com os demais elementos da edificação. Os módulos que dispõem de estruturas são normalmente anexados ao edifício, enquanto aqueles que não são dotados de estrutura são usualmente utilizados como integrante de diversos componentes da construção¹⁵.

4.1.3. Transmissão de energia

O nível de energia que cada célula produz individualmente é baixo. A partir dessa condição das células em geral, é necessário que elas sejam interligadas em série¹⁶ de modo a ampliar a quantidade de energia gerada pelos módulos. Essas ligações que realizam a transmissão da corrente pelos módulos são feitas por elementos metálicos que vão do pólo positivo ao pólo negativo da célula seguinte.

Nas células cristalinas, a ligação se faz de acordo com a figura 23.

¹⁵ Ver como exemplo de módulo sem estrutura ao redor o módulo produzido pela Sunways SM-215L. Disponível em <http://www.sunways.eu/en/products/solar-modules/sm-215l/>

¹⁶ Numa ligação de módulos PV em série, por exemplo, o cabeamento permanece em toda a extensão independente da quantidade de módulos presentes nessa ligação. Já numa ligação em paralelo de módulos, a corrente é diferente em vários pontos de um circuito



Figura 23: Detalhe das ligações elétricas metálicas entre as células PV. Fonte: DGS, 2009.

As ligações nas células cristalinas são executadas individualmente e constituem uma das etapas de produção das células. Os elementos são anexados, pintados ou impressos, já na base da célula pronta.

Nas células de película fina, por exemplo, os elementos responsáveis pela transmissão de energia da célula são inseridos como camadas, durante o processo de produção das células (figura 24).

No material de base ou de substrato das células de película fina (o vidro pode ser um deles) são aplicados: os materiais semicondutores (Silício amorfo, o CdTe-Telureto de Cádmio, por exemplo); um material transparente na parte frontal da célula, e por fim, materiais capazes de conduzir energia (nas células de CdTe esta camada recebe o nome de TCO - *Transparent Conductive Oxide* e nas células de CIS essa camada é feita de Alumínio com Óxido de Zinco).

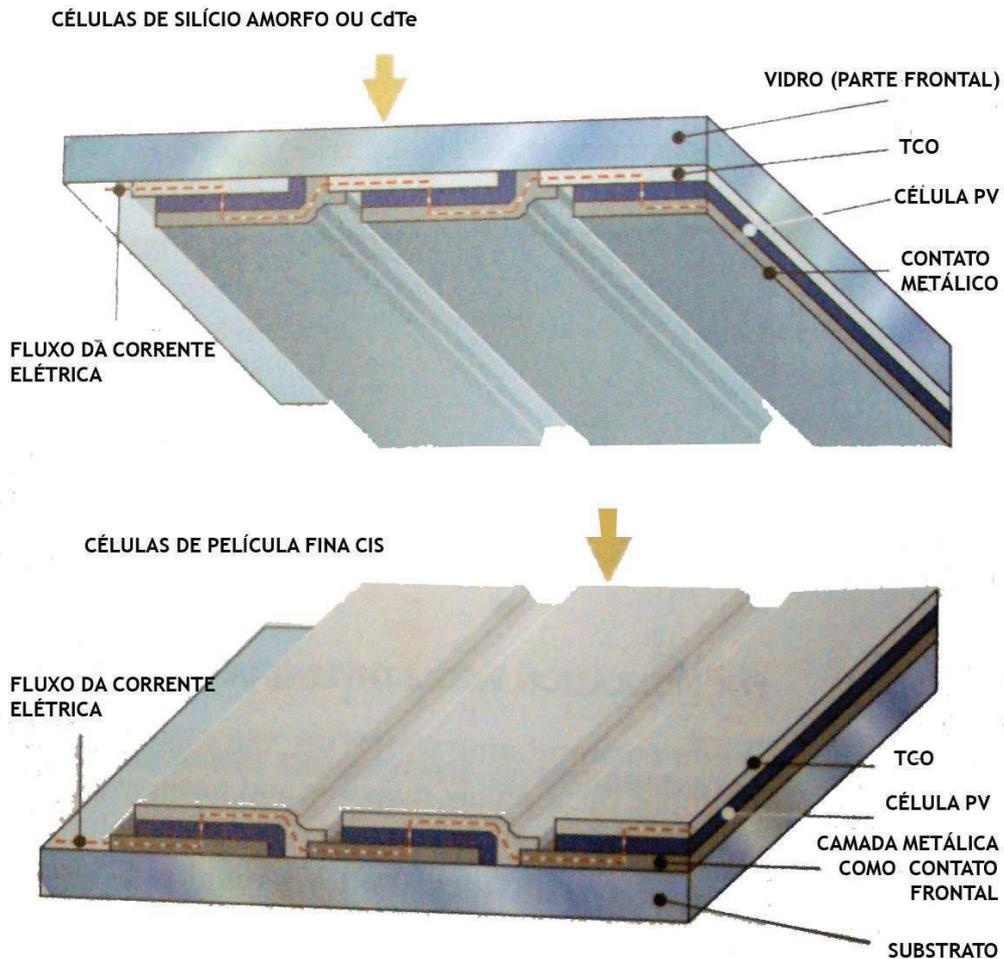


Figura 24: Transmissão da energia em célula de película fina. Fonte: DGS.

4.2. INVERSORES

Do processo de conversão de energia solar, que ocorre nos mais diferentes tipos de módulos PV, resulta uma corrente elétrica contínua (DC - *Direct current* ou *steady current*), cujas principais características são: ter um valor constante ou invariável; e fluir num único sentido. É uma corrente do mesmo tipo daquela fornecida por uma pilha ou bateria. Ainda, a tensão obtida nos módulos (em média de 10V) é baixa.

Essas condições não são suficientes para aplicar a corrente produzida diretamente na rede de eletrificação comum para alimentação dos equipamentos elétricos como os eletrodomésticos. Por isso, é necessária a incorporação de outros componentes como,

por exemplo, o inversor. Sua função é a de transformar a corrente contínua em corrente alternada (AC), além de ser capaz de ampliar a tensão de 10V para 117V, tornando a corrente aplicável nas instalações elétricas das edificações (figura 25). O dimensionamento depende de como os módulos estão arranjados, se em série ou paralelo.



Figura 25: Modelos de inversores. À esquerda o modelo AT Series da Sunways (fonte Sunways); À direita o SureSine da MorningStar (fonte: Kyocera).

4.3. BATERIAS

As baterias são fundamentais nos sistemas autônomos – sem ligação com a rede de energia convencional – e recomendadas para qualquer sistema interligado à rede e que esteja sujeito a variações climáticas que interfiram sobremaneira sobre a quantidade de radiação solar em determinados períodos.

Como possui a função de acumular energia, seu dimensionamento deve ser feito de modo que possa oferecer reservas de energia aos usuários do sistema, preferencialmente em épocas de pouca insolação ou mau tempo.

4.4. OUTROS COMPONENTES

Nos sistemas interligados à rede são empregados os controladores de carga, responsáveis por controlar a entrada ou a saída de energia, dependendo da produção do sistema implantado.

Ainda podem ser previstos mecanismos que controlam o posicionamento dos módulos PV conforme o posicionamento do Sol em cada período do dia ou estação do ano. A presença desses elementos num sistema PV chega a proporcionar ganhos na produção de energia na ordem de 20% a cerca de 300% (no inverno) (DGS, 2009, p. 16).

4.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A SAÍDA DE ENERGIA.

Adotando, então, os referenciais expostos neste capítulo e nos capítulos 2 e 3 acerca da energia e radiação solares e das características dos sistemas PV e seus componentes, pode-se concluir que a quantidade de energia produzida pelas células PV tem como fatores principais:

- a) o nível de irradiância global característico da localidade aonde o sistema venha a ser implantado;
- b) o posicionamento dos módulos PV em relação à orientação solar;
- c) o nível de sombreamento nos módulos ou eventuais interferências físicas (folhas, acúmulo de sujeira etc.);
- d) a influência da temperatura pelo aquecimento dos módulos por excesso de calor solar ou mesmo por ineficiência de ventilação;
- e) a eficiência energética das células PV, seus materiais e características técnicas dos diversos sistemas possíveis.

5. OS SISTEMAS PV E AS EDIFICAÇÕES – TÉCNICAS CONSTRUTIVAS EMPREGADAS

Em grande parte dos edifícios, seja na cobertura ou nas fachadas, existe a possibilidade de se implantar os módulos fotovoltaicos. Se não há restrições que estejam relacionadas ao local de implantação, também não há qualquer impeditivo no que diz respeito à idade dos edifícios que receberão o sistema PV, pois podem ser instalados tanto em obras de novos edifícios como em renovações ou adequações de edifícios existentes.

Em ambos os casos – edificações novas ou existentes – os painéis podem representar uma opção para o projeto de revestimentos e fachadas. Com o avanço das pesquisas sobre a tecnologia das células e, conseqüentemente, dos módulos PV trouxe novas possibilidades de arranjos entre os módulos e as edificações.

Verifica-se, então, que os sistemas PV podem se relacionar com as edificações pelas seguintes formas:

- utilização fora dos edifícios;
- sistemas anexados ao edifício;
- sistemas integrados aos edifícios ou BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*).

Sob a primeira forma, a título de exemplo, têm-se os sistemas montados no solo em grandes extensões, independentes de edifícios, os quais são conectados à rede. Através de grandes plantas, provêm grande quantidade de energia para rede e se configuram como “usinas solares” (PVRESOURCES, 2011). A figura 26 traz alguns exemplos desse tipo de instalação.



Figura 26: Plantas de sistemas PV independentes do edifício. Grandes plantas chamadas de “usinas solares”. Acima: Sarnia, Ontário no Canadá (Fonte: Google); abaixo, à esquerda, planta em Finslerwalde, Alemanha (Fonte: Q-Cells); Abaixo, à direita, planta de Strasskirchen, Alemanha (Fonte: Q-Cells).

Sob a segunda forma, as instalações de módulos PV têm como característica principal o seu posicionamento sobre uma estrutura anexada ou sobreposta ao edifício.

Possuem única e exclusivamente a função de gerar energia. São vistas na maioria das instalações em tetos e coberturas.

Já nos sistemas integrados ao edifício (*BIPV - Building Integrated Photovoltaics*), os módulos assumem, além da função primordial de gerar energia, outras funções por estarem integrados a elementos do edifício como, por exemplo, os brises-soleils, que fazem a proteção do edifício em relação à luz e ao calor do Sol. Ou ainda incorporados a janelas, fazendo a função de proteção climática ou mesmo isolante acústico. A integração dos painéis a elementos do edifício dá a flexibilidade para que sejam colocados tanto em coberturas como também em fachadas (figuras 27 a 29).



Figura 27: Instalação de sistema anexado em cobertura. Fonte: Energy-Trust.

Na sequência do trabalho, serão apresentados somente os sistemas anexados e os integrados ao edifício, já que as “usinas solares” não configuram uma interação de módulos PV e edifícios.



Figura 28 Edifício com módulos PV integrados na fachada. Fonte: Windweathersolar



Figura 29: Edifício com módulos PV integrados. Fonte: Shanghai Solar Energy S&T Co, Ltd.

5.1. SISTEMAS ANEXADOS

Nos sistemas anexados ao edifício, os módulos PV são usualmente posicionados sobre a cobertura ou telhados já existentes. São apoiados na cobertura por meio de suportes próprios feitos dos mais variados materiais. É a maneira mais rápida e mais econômica e aplicar o sistema e isso faz com que seja a principal forma de aplicação em edifícios existentes ou mesmo em novos.

Nesse sistema, as funções do sistema PV são executadas separadamente do elemento cobertura. Enquanto os módulos PV assumem a função de gerar energia elétrica através da radiação solar, a cobertura realiza as funções próprias a ela, tais como:

- Promover o fechamento e proteção da edificação contra a ação dos fenômenos climáticos (por exemplo, chuva, neve, ventos e raios solares);
- Delimitar a altura das edificações;
- Realizar o isolamento térmico- acústico dos ambientes internos;

- Proteger contra incêndios;
- Estabelecer referências estéticas envolvendo forma, cor, materiais, texturas próprias da cobertura.

O esquema da figura 30 ilustra tais funções.

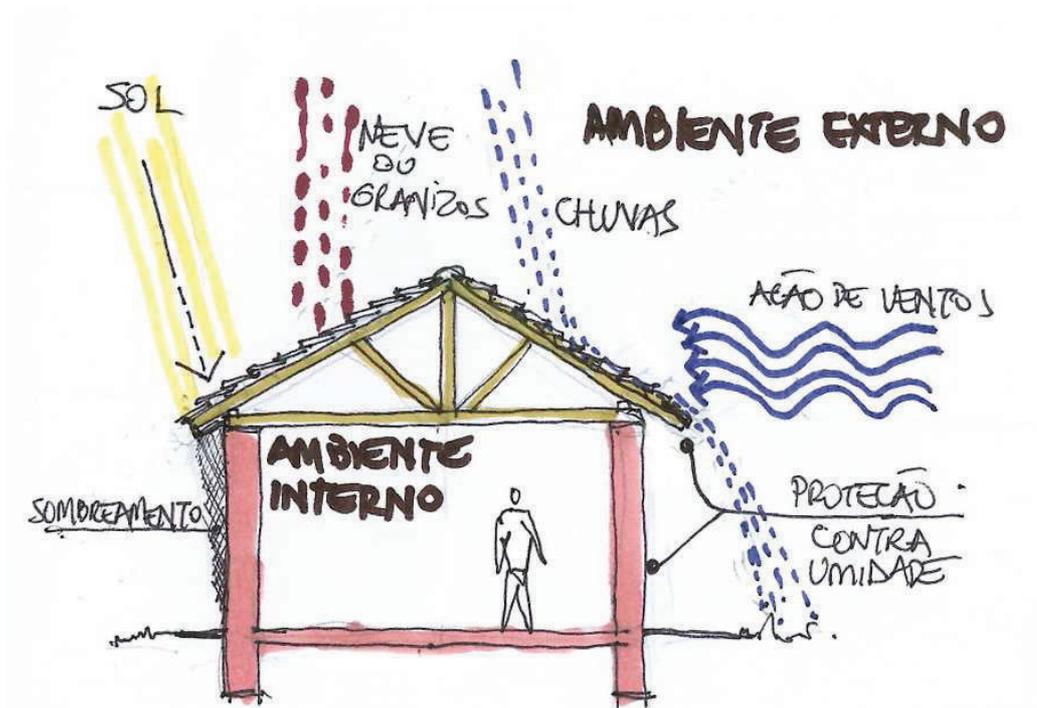


Figura 30: Desenho esquemático das funções exercidas pelas coberturas numa edificação. Elaboração do autor.

Nos sistemas anexados ao edifício, os módulos são aplicados tanto em coberturas inclinadas como também em coberturas planas, conforme figura 31.

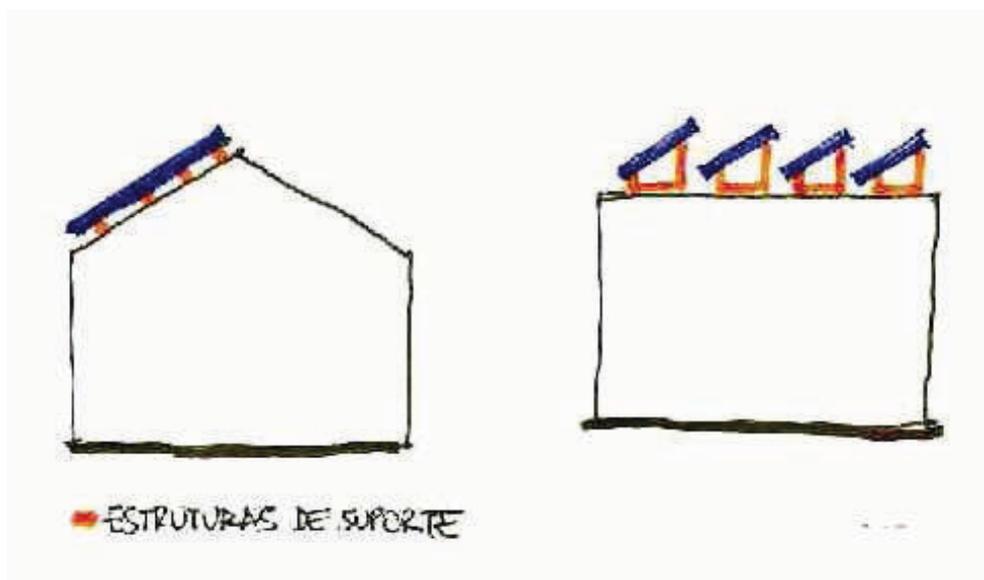


Figura 31: Desenho esquemático dos sistemas PV anexados ao edifício. À esquerda, aplicação em coberturas inclinadas. À direita, sistema PV em coberturas planas. Em laranja, destaca-se a presença de elementos de suportes aos módulos PV. Elaboração do autor

5.1.1. Coberturas inclinadas

Nas coberturas inclinadas, os sistemas PV são anexados ao edifício com o auxílio de estruturas auxiliares, fixadas usualmente na estrutura da cobertura. Geralmente, esses dispositivos são produzidos de elementos metálicos (figura 32). As peças comumente utilizadas para a montagem da estrutura são: os montantes, os trilhos (aplicados transversalmente em relação aos montantes) e as peças que fixam tanto os módulos nos seus suportes como também executam a fixação destes com a cobertura.

Os tipos e formas desses dispositivos variam de acordo com o tipo de cobertura¹⁷ que irá receber o sistema ou mesmo pelas diferentes soluções encontradas por cada fabricante (figuras 33 e 34).

¹⁷ Para cada tipo de telha (planas, telhas tipos capa e canal, etc., para cada material nela empregado pedra, cerâmica, ou metal) ou mesmo considerando a estrutura da cobertura como referência há dispositivos com desenhos e formas específicas para viabilizar a anexação dos módulos PV em coberturas.. Como exemplo, o catálogo da fabricante Schletter pode ser visto e consultado no seguinte endereço na internet:
http://www.schletter.de/files/addons/docman/solarmontage/prospekte/vista_general_de_componentes



Figura 32: Trilhos metálicos sobre cobertura de cerâmica. Os ganchos sob os trilhos são fixados na estrutura do telhado. Fonte: Olinó

Para a instalação desse tipo de sistemas em coberturas deve-se verificar as condições estruturais das mesmas, uma vez que a montagem do sistema resulta numa sobrecarga. Além disso, os módulos e sua estrutura de suporte necessitam ser resistentes aos esforços de vento que atingem as coberturas.

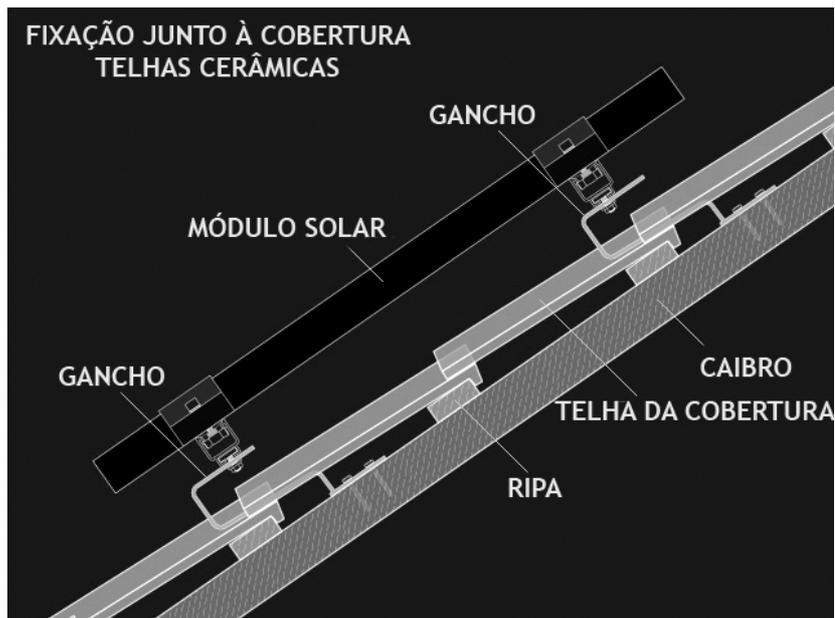


Figura 33: Detalhe da fixação de módulo PV em coberturas inclinadas – Telhas cerâmicas. Fonte: Scheletter.

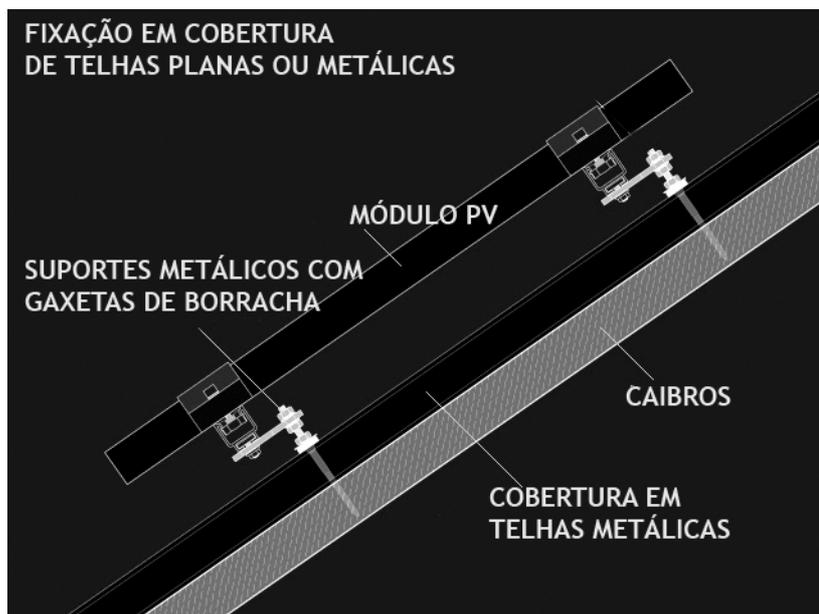


Figura 34: Detalhe da fixação de módulo PV em coberturas inclinadas – Telhados de chapas metálicas. Fonte: Scheletter

5.1.2. Coberturas planas

Nos sistemas PV anexados em coberturas planas, os módulos são montados sobre uma estrutura independente, posicionada sobre a cobertura existente, podendo ser fixada ou não na estrutura existente da cobertura.

Os módulos são posicionados de forma a obter uma orientação mais favorável em relação ao percurso do Sol. Assim, sua instalação ocorre de forma a manter os mesmos inclinados em relação à cobertura plana. Suportes mais leves são utilizados em coberturas que não podem receber estruturas de cargas maiores (figura 35). Para esses casos são indicados os suportes de metal, dada a leveza do material. Podem ser fixados à estrutura existente e têm capacidade de resistir às cargas presentes em coberturas, notadamente aquelas ocasionadas pela ação dos ventos.



Bottom beams		DN0		DN1		DN2,5	
Examples		mm	w	mm	w	mm	w
		40	40	40	60	50	110
		inches	1,57	inches	3,15	inches	4,33

The lower side of the mounting beam is designed as a shift groove for bolted connections M10. There is a click groove at the upper side. A square nut M10 is clicked into this click groove by means of the Klick component, then the supports or other connection elements are screwed on this square nut.

Connector		Double corrugated roof kit		FixE steel		FixT wood		FixT steel	
Examples									
		Double corrugated roof kit		FixE steel		FixT wood		FixT steel	

Please also pay regard to our product sheets FixT, CompactVario, sheet metal clamps overview.

TIPOS DE ENCAIXE A CADA TIPO DE ESTRUTURA EXISTENTE

Figura 35: Exemplo de sistema com estrutura leve para módulos PV instalada sobre as coberturas. Fonte: Scheletter.

Em coberturas que dispõem de maior capacidade de suportar carregamentos e que não possam receber elementos de fixação para os suportes dos módulos adotam-se elementos mais robustos, que possuem um lastro cuja função é manter inerte o conjunto “suporte+módulos PV”. Alguns exemplos desses suportes estão apresentados na figura 36.

Nos sistemas aplicados em coberturas planas, devem ser previstos espaçamentos entre os módulos de modo a facilitar a manutenção dos mesmos e da própria cobertura.

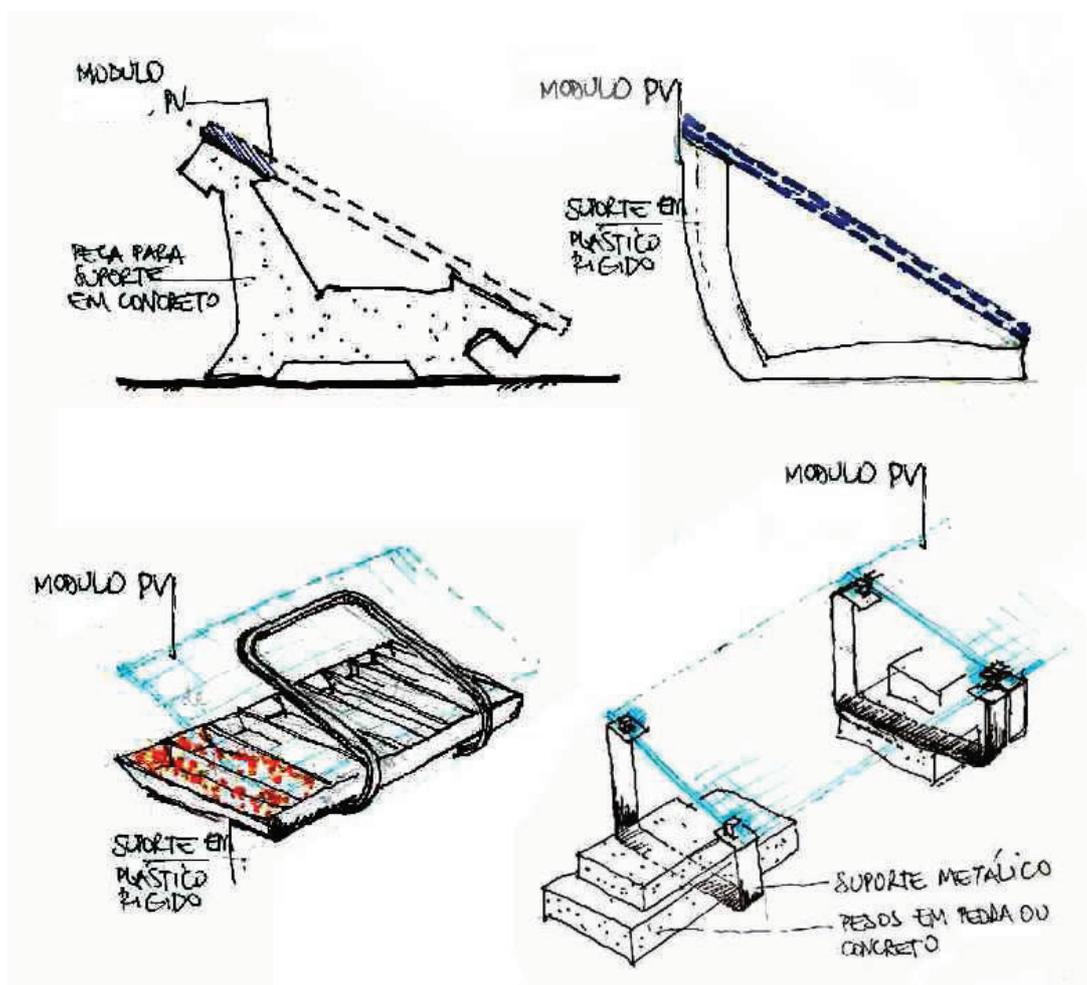


Figura 36: Exemplos de suportes com lastro para módulos PV anexados em coberturas planas. Elaboração do autor.

5.2. SISTEMAS INTEGRADOS AO EDIFÍCIO (BIPV)

Nos sistemas BIPV, a geração de energia não é a única função dos módulos PV, já que cumprem outras funções em conjunto com o elemento construtivo em que estiver incorporado. E, por isso, podem assumir diversas formas.

A partir dessas novas possibilidades trazidas pela integração dos módulos PV a subsistemas do edifício, são estabelecidas novas referências tanto de materiais como de soluções técnicas que podem ser empregadas em edifícios e que podem até definir a linguagem arquitetônica dos mesmos pelas formas e aparências próprias.

Nesse sentido, ao apresentar experiências de aplicações dos módulos PV integrados aos edifícios, os autores Roberts e Guariento (2009) sugerem que se estabeleça uma escala e abordagem para o desenvolvimento de projetos em quaisquer edificações cujo processo de definição para a utilização dos módulos deve prever quais os meios de promover a integração, já que os módulos

“podem estar fora do local do edifício, na cobertura ou como elemento autônomo. Isso pode ser apropriado numa área de conservação ou edifício históricos, ou onde se necessita de aproveitamento máximo de energia; pode se configurar com um pequeno elemento adicional ao edifício, num dispositivo para sombrear as aberturas e janelas; o PV pode ser integrado a uma fachada vertical sem haver alterações de visual do edifício; ou o PV pode ser elemento determinante no processo de projeto do edifício, determinando a formas e aparência do mesmo. (Roberts e Guariento, 2009, p.122, tradução livre)

Essa escala de abordagem representa, portanto, o repertório que o projetista pode adquirir ao considerar os módulos PV integrados como uma das alternativas de componente para quaisquer projetos.

As funções adicionais dos módulos PV são aquelas próprias de uma cobertura, já expostas no item 5.1. Podem ter ainda funções típicas de uma fachada, que pode ser, entre outras, a de evitar, por exemplo, que a água infiltre por uma fachada. Ou então, que uma carga de vento possa romper trechos da fachada. A figura 37 ilustra quais as ações físicas e climáticas que atuam sobre as fachadas.

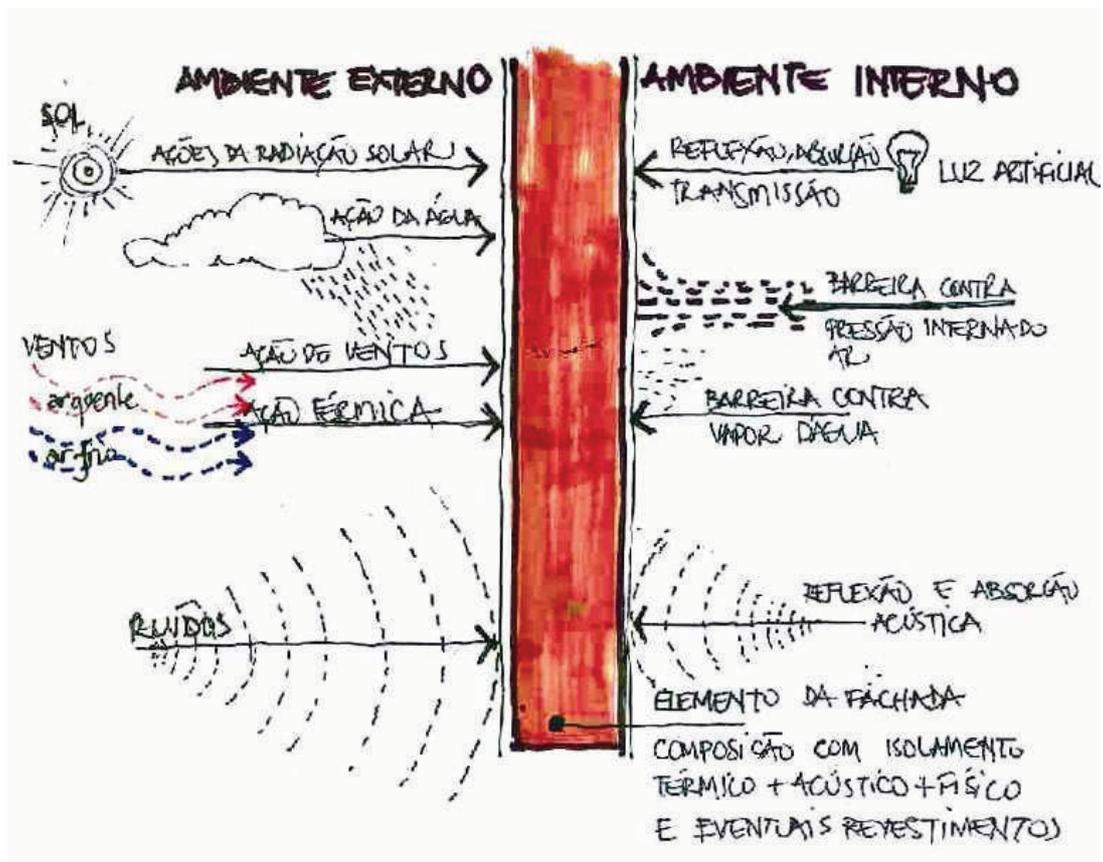


Figura 37: Esquema ilustrativo das funções de uma fachada de uma edificação. Elaboração do autor.

Baseados na sua pesquisa com estudos de caso, na prática profissional, e na possibilidade de instalação dos módulos PV em coberturas e em fachadas, os autores Roberts e Guariento (2009) definem uma classificação própria para os sistemas BIPV, a saber:

- Coberturas planas ou inclinadas;
- Coberturas em átrios;
- Fachadas com dispositivos de sombreamento;
- Em revestimentos de fachada;
- Fachadas cortina;

- Fachadas em painéis unitisados;
- Fachadas em cortina dupla.

A figura 38 ilustra esquematicamente, a forma como esses tipos de instalações dos módulos PV se relacionam com as edificações.

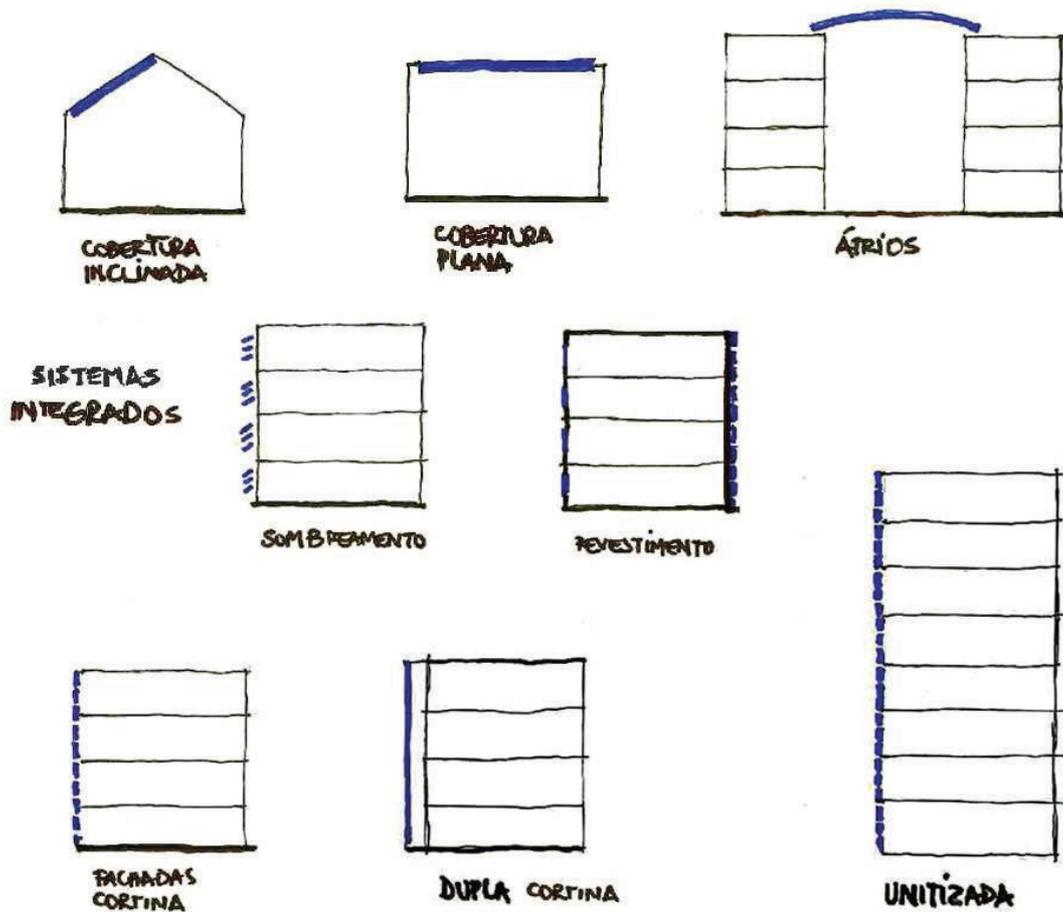


Figura 38: Desenhos esquemáticos das formas como os módulos PV são integrados no edifício. Elaboração pelo autor.

5.2.1. Coberturas planas ou inclinadas

Membranas plásticas como, por exemplo, a desenvolvida e comercializada pelo fabricante Alwitra, são utilizadas como camada impermeabilizante e de revestimento das coberturas. Os materiais utilizados como base para essa manta plástica podem ser a madeira, metal ou mesmo o concreto. Já a membrana plástica é a camada superior da

cobertura e para ser instalada deve ser estendida sobre uma base, cuja inclinação é suficiente apenas para permitir o escoamento das águas. O posicionamento da manta se baseia pela largura do rolo em que a membrana é produzida, o que acarreta uma sobreposição da membrana nas junções das camadas. A junção dessas camadas vizinhas são feitas através da termofusão das partes sobrepostas da membrana. É um produto que se adapta a geometria de qualquer telhado (Alwitra, 2003). (figura 39)

Tal item recebeu uma adaptação e recebeu células de películas finas de silício amorfo. A integração com módulos PV ocorre pela aplicação dos módulos sobre essas. Outras aplicações são possíveis em coberturas de telhas metálicas que recebem as células de películas finas sobre a face superior, conforme a figura 40. Ainda, os módulos PV podem substituir as telhas cerâmicas.

Subcoberturas são comuns em muitos casos de módulos PV integrados na cobertura com forma de garantir espaçamentos, e, portanto, um espaço destinado à ventilação abaixo dos módulos.



Figura 39: (À esquerda) Cobertura com célula PV de filme fino sobre cobertura. Fonte: Alwitra, 2003.

Figura 40: (À direita) Instalação sobre coberturas de telhas metálicas. Fonte: Cleantechnica.

5.2.2. Átrios

Como forma de aproveitar a luz solar em espaços internos de edifícios, a solução para cobertura através de teto de vidro – em átrios – pode ser vista normalmente em grandes espaços, abertos ou não, como estações de trem, aeroportos ou mesmo em espaços que são utilizados para a circulação de pessoas (figura 41).

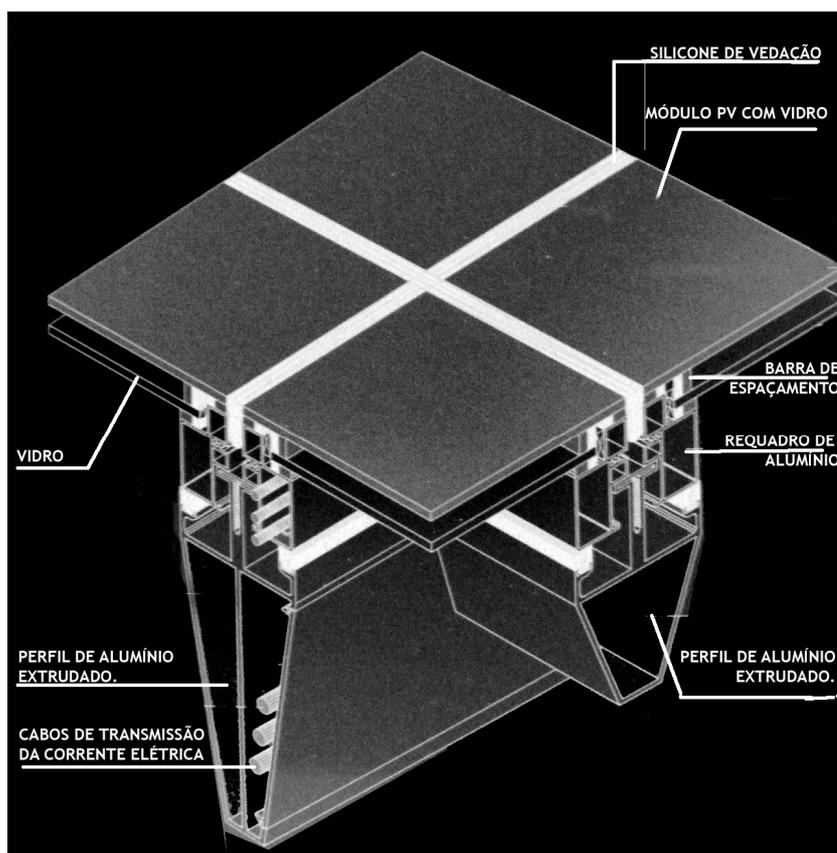


Figura 41: Detalhe ampliado de sistema de cobertura em átrio com módulo PV integrado. Fonte: Roberts e Guariento, 2009.

No entanto, os ganhos trazidos por esse tipo de solução também envolvem alguns cuidados que devem ser tomados no projeto desses espaços. Primeiramente, é preciso que no projeto estrutural sejam previstos os esforços exigidos por tal tipo de estrutura que, normalmente, é utilizada para cobrir grandes vãos. Posteriormente, o desenho da estrutura, o material e a técnica empregados precisam controlar a transmissão de calor para os ambientes internos.

Nesse sentido, os módulos PV assumem nesta forma de integração aos edifícios, a função de controlar a luz solar que atinge os espaços internos dos átrios. Para isso, são inseridos junto aos vidros, e cobrindo grandes áreas (figura 42).

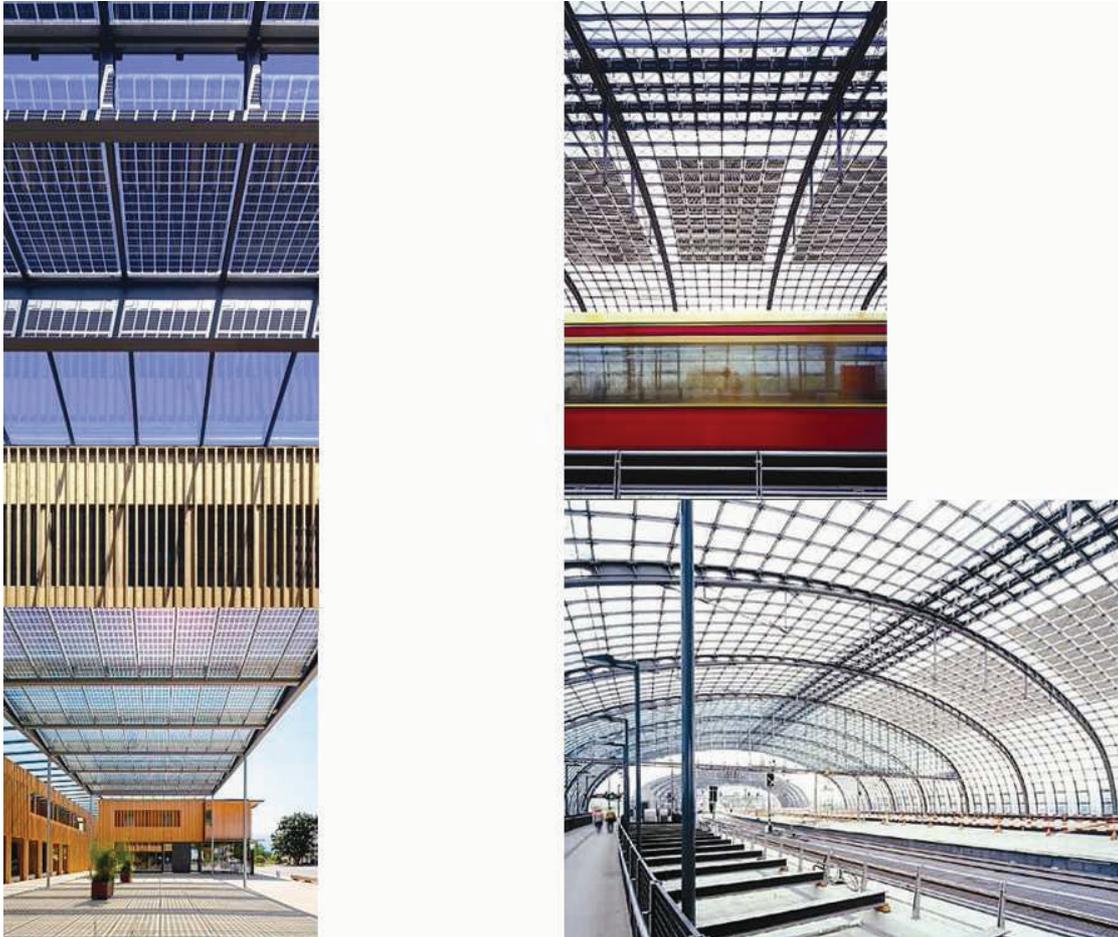


Figura 42: : À esquerda Átrio no paço municipal de Ludesch, Áustria (Fonte: PV Database); à direita, Cobertura transparente com módulos PV na Estação Central de Berlim. (Fonte: BSW Solar e.V.)

5.2.3. Sistemas de sombreamento

Os módulos PV classificados sob o que se denomina “sistemas de sombreamento” contribuem para que os ambientes internos do edifício não absorvam calor excessivo, sem que haja redução significativa de luminosidade nos mesmos. São instalados nas aberturas e vãos do ambiente interno que estão expostas diretamente à ação dos raios solares.

Os módulos PV são instalados nas partes externas ao edifício e seu desenho, suas formas e as técnicas empregadas no sistema são determinadas pelo posicionamento do edifício e de suas aberturas em relação ao percurso solar. A instalação dos módulos em relação à fachada do edifício pode ser feita em sentido horizontal, vertical ou em ambos.

Quanto aos métodos construtivos envolvidos nesse tipo de solução, foi verificado que os sistemas de sombreamento podem ser fixados diretamente na estrutura do edifício ou anexado em algum elemento de fachada. A definição para tal requer uma avaliação sobre quais devem ser as dimensões das aberturas e conseqüentemente, quais dimensões, peso e tipo de material devem ser empregados nos *brises-soleil* (Roberts e Guariento, 2009. p. 62) (figura 43).

A integração dos módulos PV nos sistemas de sombreamento ocorre justamente nos elementos responsáveis por proteger as aberturas dos raios solares. São produzidos como a grande parte dos módulos PV: com vidro como material de base que proporciona rigidez para as abas. Representam uma alternativa para substituir os materiais atualmente utilizados para este fim como o metal, a madeira ou o plástico.

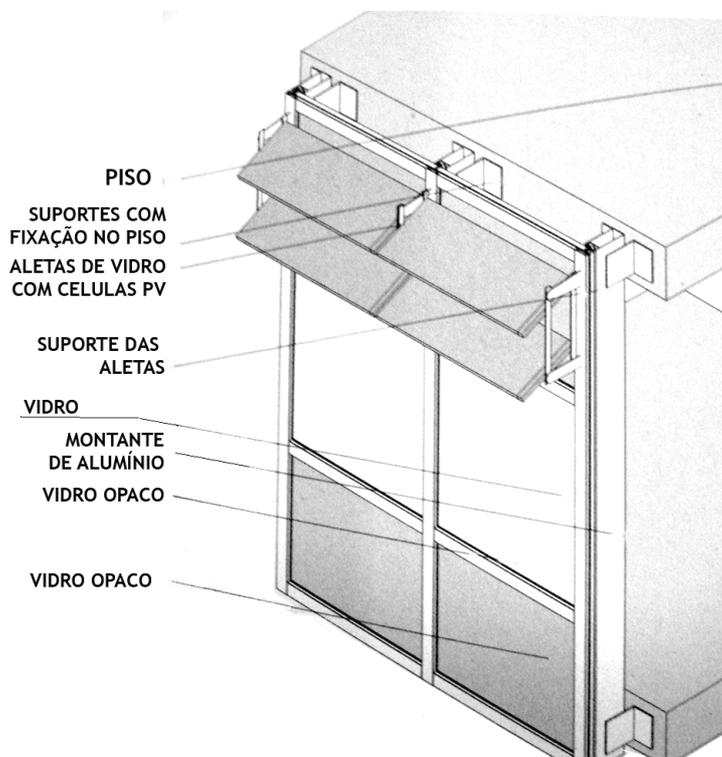


Figura 43: Detalhe de sistema de sombreamento. Fonte: Roberts e Guariento, 2009.

A figura 44 exemplifica o emprego de módulos PV como elemento de sombreamento do edifício. Alguns cuidados devem ser tomados nesse tipo de instalação como evitar com que os elementos criem sombreamento nos demais módulos instalados no mesmo edifício.

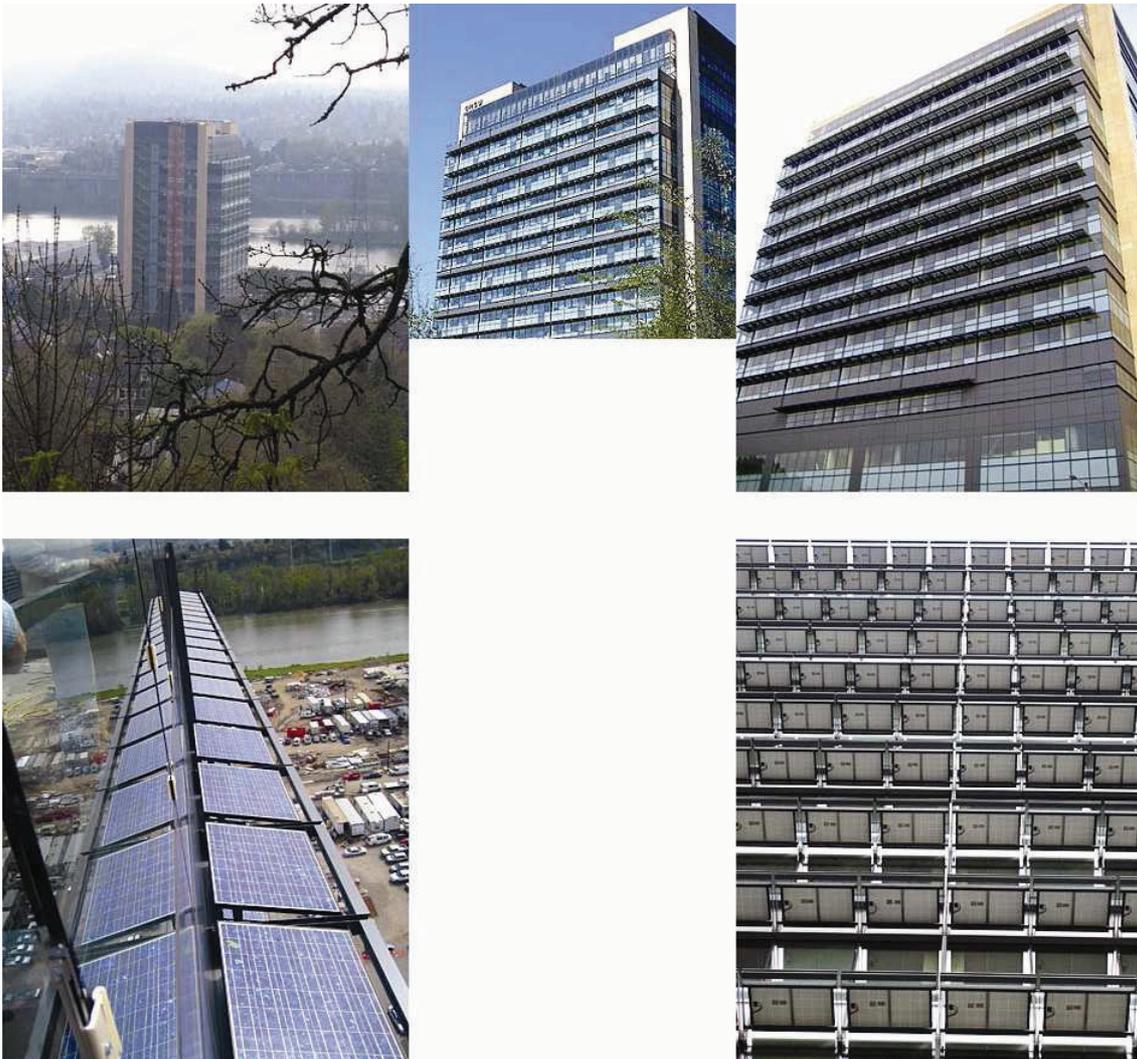


Figura 44: OHSU Center for Health and Healing em Portland, Oregon. Projeto de GBD Architects. Fonte: Brightworks.

5.2.4. Revestimentos

A utilização de módulos PV como revestimento de fachada pode ser feita com a aplicação dos módulos em suportes fixados nos elementos de fachada executados em alvenaria ou concreto, por exemplo. Trilhos ou montantes metálicos realizam a ligação entre os módulos e a alvenaria.

A função dos módulos que foi adicionada neste tipo de instalação é a de criar mais uma barreira entre o ambiente interno e o externo e, com isso, proteger as paredes contra a penetração de umidade e, de certa forma, do calor, já que entre os módulos e a alvenaria podem ser previstos espaços que são preenchidos ou não com materiais isolantes. Ao mantê-los vazios, formam colchões de ar.

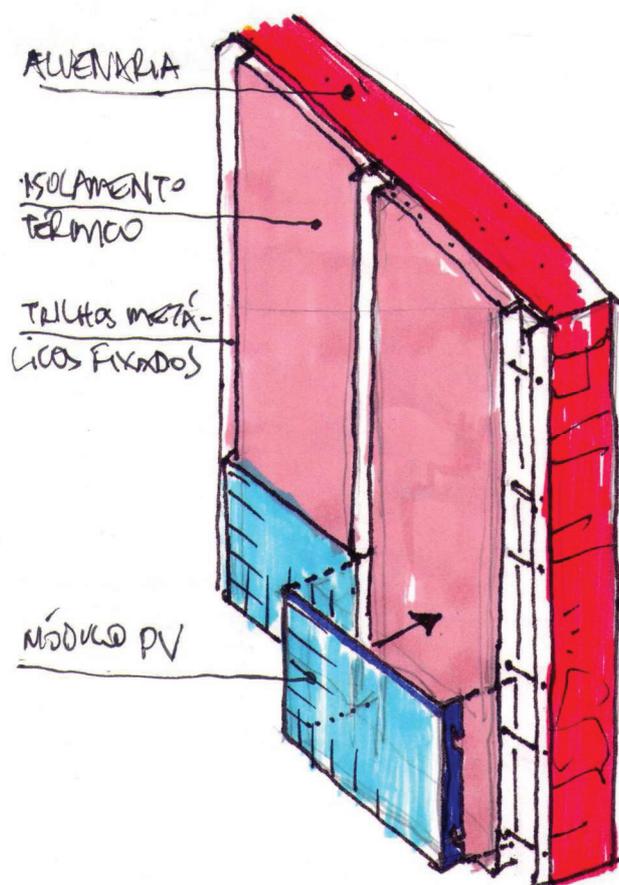


Figura 45: Modo de aplicação dos módulos PV como revestimentos de fachadas. Elaboração do autor a partir de Roberts e Guariento, 2009.

Vale destacar um projeto executado em Manchester, cujos projetistas adotaram o módulo PV como revestimento num caso de recuperação de fachada de uma torre comercial. (ROBERTS e GUARIENTO, 2009, p. 76-81).

O edifício “CIS Tower”¹⁸ tinha sua torre de serviços revestida totalmente por pastilhas cerâmicas. No começo dos anos 2000, após cerca de 40 anos de uso (a construção foi executada entre 1959-1962), muitas peças cerâmicas começaram a cair, deixando exposta a fachada e, acima de tudo, criando riscos para os usuários. Era necessário realizar a recuperação das fachadas. Durante o projeto, foram levantadas três alternativas para a intervenção: A primeira delas era efetuar a retirada dos mosaicos e refazer conforme o projeto original demandaria altos custos e um período maior de obras. Outra opção, era a de retirar os mosaicos e executar pintura sobre a base existente. Não havia aqui restrições quanto aos custos envolvidos nessa opção, porém, foi avaliado que adotar esta solução geraria problemas futuros na manutenção além de alterar o aspecto do edifício, o “impactando negativamente” (Roberts e Guariento, 2009). A terceira opção envolvia o uso dos módulos PV. E a solução dada foi a de manter os mosaicos restantes no próprio local (conforme croqui da figura 28) e, ainda, propiciar um aspecto moderno ao edifício, mesmo que alterando os materiais de acabamento. Com a fachada revestida em módulos policristalinos em cerca de 3972m² de área, a produção de energia atinge 183.000kW por ano (figura 43). Roberts e Guariento, 2009.

¹⁸ Projeto original dos arquitetos Burnet, Tait & Partners / GS Hay.

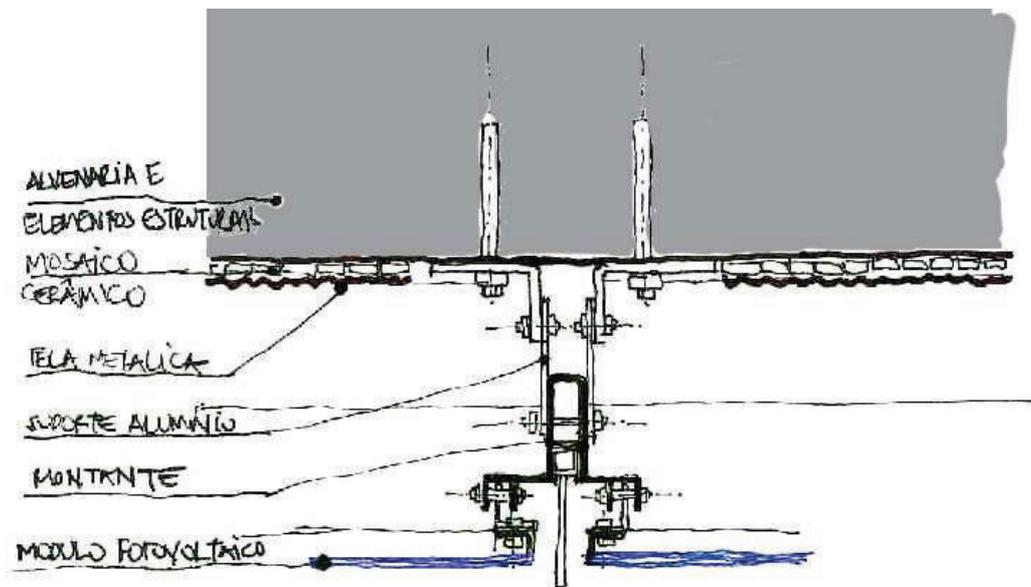


Figura 46: Solução para o projeto de revestimento de fachada da CIS Tower. A inserção da tela metálica sobre o mosaico garante a permanência desses elementos sem que haja a necessidade de efetuar a troca ou a retirada do mesmo. A estrutura metálica que suporta os módulos é ancorada na alvenaria existente. Fonte: Elaboração do autor sobre Roberts e Guariento, 2009.



Figura 47: CIS Tower, antes da reforma da torre de serviços (à esquerda). Fonte: Flickr



Figura 48: CIS Tower após a renovação da fachada em módulos PV (à direita). Fonte: Database

5.2.5. Fachadas cortina (*Stick-System* ou *Curtain-Wall*)

Esse tipo de instalação integrada de módulos PV é empregado em panos de fachada de vidro, em prédios de baixa ou média altura. Os vidros (o opaco e o transparente) e módulos das fachadas cortinas são fixados em montantes (elementos estruturais verticais) e travessas (elementos estruturais horizontais). Outros elementos como juntas suportes também são montados no local da obra.

A estrutura metálica presente nesse tipo de sistema é montada em forma de malha onde os montantes verticais e as travessas horizontais funcionam como suportes dos vidros (Figura 49). Estes, por sua vez consistem no fechamento da fachada. Todo o conjunto deve ser capaz de resistir aos esforços de vento a que são exigidos os quais são transferidos desta malha para a estrutura da edificação e para os pisos

As peças horizontais são montadas entre os montantes e sua posição definida pelas aberturas ou pelas áreas internas que terão aberturas para o exterior. Partes da fachada também podem permanecer sem contato com o exterior e, por isso, ao invés do vidro recebem um material opaco (ROBERTS e GUARIENTO, 2009) (Figura 50).

Os módulos PV são integrados ao substituírem as áreas onde vidros, opacos ou não, pedras são aplicados. Assim, atuam como elemento protetor e que realiza a separação dos ambientes interno e externos. (Figura 51)



Figura 49: Detalhe de fachada cortina. Fonte: Schüco



Figura 50: Exemplo de fachada Cortina. Fonte: Atlantis Energy Systems.

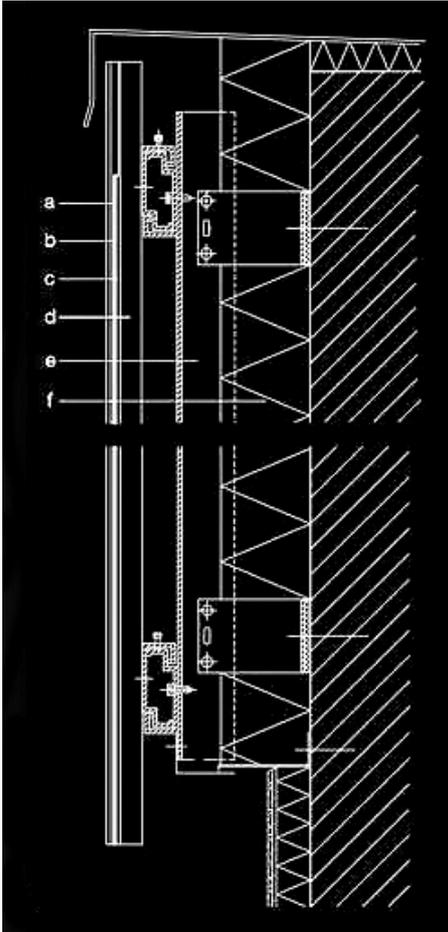


Figura 51: Detalhe de fachada-cortina com módulo PV. Em a, vidro; b: Módulo PV; c: Vidro de base; d: Requadro de alumínio (suporte do módulo); e - Montante de alumínio; f - Isolante térmico. Fonte: Detail.

5.2.6. Painéis Unitizados

As fachadas produzidas com os denominados painéis unitizados podem ser caracterizadas como um tipo de fachada cortina; porém, a grande diferença é a de que nas fachadas com painéis unitizados, os componentes utilizados são previamente montados, sendo instalados na fachada já prontos. Isso é necessário para que erros de montagem na obra sejam evitados (figura 52).

Os painéis unitizados para fachadas são usualmente feitos de perfis de alumínio extrudados, os quais são reunidos formando um painel rígido que deve suportar tanto o transporte desde o local de fabricação até a obra como também as ações de carregamento de forças externas como aquela proveniente da ação dos ventos, principalmente. (figura 53)



Figura 52: Montagem com painéis unitizados de fachada em projeto de Jean Nouvel. Fonte: Redchalksketch.

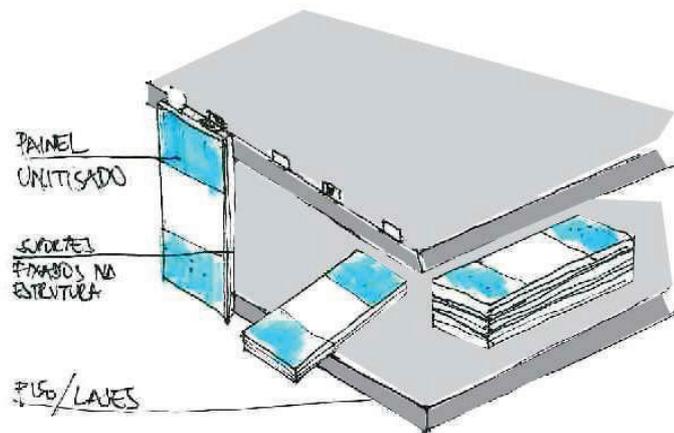


Figura 53: Croqui esquemático da aplicação dos painéis de fachada unitizada com módulos PV integrados. Fonte: Elaboração do autor sobre Roberts e Guariento, 2009.

Adicionadas aos perfis extrudados, juntas de silicone ou de borracha tipo EPDM (etileno-propileno-dieno) funcionam como elementos vedantes de modo a garantir a estanqueidade do conjunto. Após a inserção das juntas, a dupla camada de vidro é colocada no painel que, então, recebe os perfis externos de alumínio que finalmente forma o conjunto que será levado ao local de fixação (ROBERTS e GUARIENTO, 2009).

Outros elementos de fechamento podem ser instalados na fachada como, por exemplo, pedras, alumínio ou placas cerâmicas de modo a complementar o fechamento do painel.¹⁹

A integração com os módulos PV, neste caso, ocorre pela substituição de um dos painéis de vidro ou outro material opaco pelo módulo PV e pode-se afirmar que, geralmente, a forma como ela ocorre é semelhante ao que foi apresentada como solução das fachadas cortina no item 5.2.5.

5.2.7. Fachada de dupla camada (double-skin)

As fachadas de dupla camada são denominadas dessa forma por apresentarem uma cavidade vazia, utilizada para a ventilação, separando as duas “peles” da fachada do edifício.

O funcionamento da fachada de dupla camada é baseado principalmente nos dispositivos desenvolvidos para o direcionamento da ventilação na camada vazia.

Assim, os tipos de fachada de camada de ar ventilada podem ser com a ventilação mecânica ou com ventilação natural.

No primeiro tipo, a ventilação no interior da cavidade vazia é induzida por meio da ação de um equipamento. Já no segundo tipo, a ventilação é gerada pelo “efeito-chaminé”, fenômeno verificado quando porções de ar quente e ar frio são reunidos num mesmo espaço. A diferença de densidade entre eles faz com que aquele de menor densidade, o ar quente, seja expelido para fora do espaço.

Ambos os tipos buscam formas de regular as temperaturas no interior do edifício de acordo com as condições climáticas particulares de cada período. É possível, ainda, utilizar um sistema híbrido, no qual ocorrem os dois tipos de ventilação.

A saída do ar quente pode ser realizada por *shafts*. A integração dos módulos PV em fachadas de dupla camada deve ser feita na camada de vidro externa, de modo a se

¹⁹ Sobre as fachadas cortina e a tecnologia envolvida ver SIQUEIRA Jr, A. A. (2003). Tecnologia de fachadas-cortina com placas de grês porcelanato.

obter maiores exposições à radiação solar. As fachadas em dupla camada são produzidas de forma semelhante às fachadas cortina e unitizadas, ou seja, os módulos PV substituem partes de fechamento desses painéis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o atual cenário no qual as condições no presente e do futuro do meio ambiente são sistematicamente estudadas, debatidas e comentadas seja por cientistas, seja pela mídia ou pela sociedade civil em geral, ações de cunho ambiental têm acontecido sistematicamente. O objetivo destas é o de procurar formas de reduzir o impacto ambiental gerado pelas atividades humanas.

Uma das formas de reduzir tal impacto é adoção de fontes alternativas de energia e a utilização da radiação solar como fonte de energia para a produção de eletricidade se configura como umas das alternativas para a redução do impacto ambiental ocasionado pela ação humana.

Nesse contexto, se ampliam as possibilidades do emprego dos módulos fotovoltaicos como elemento integrante de soluções técnicas e de materiais voltados as mais diferentes exigências do mercado da construção civil. Conseqüentemente, os edifícios adquirem a capacidade de produzir energia elétrica através da radiação solar.

A partir das formas de aplicação estudados no trabalho, vale destacar que a integração dos módulos PV acontece em sistemas já utilizados usualmente na construção civil, como por exemplo, nas fachadas cortina ou em sistemas de átrios ou de sombreamento. No entanto, as inovações observadas consistem fundamentalmente nas **adaptações** necessárias para que o sistema PV possa funcionar plenamente em conjunto com os demais sistemas do edifício, inclusive àqueles com os quais os módulos estão integrados.

Ainda no que diz respeito à tecnologia das células, o que precisa ser destacado é a variedade dos tipos de células presentes no mercado. Isso influencia, sobretudo, nos processos de desenvolvimentos de projetos com sistemas PV, já que não estão envolvidos aqui apenas aspectos de economia de energia, mas também questões estéticas e de tecnologia de construção de edifícios.

Porém, essa discussão sobre a aplicação dos módulos PV, notadamente aqueles integrados ao edifício, é mais avançada nos países desenvolvidos e na China, já que esta pesquisa se desenvolveu preferencialmente através de fontes originadas no exterior.

Experiências isoladas de projetos, alguns poucos núcleos de pesquisas em universidades, e fornecedores que não utilizam a construção civil como destino de seus produtos caracterizam a situação do país em relação a difusão da tecnologia e do mercado de células PV.

Independentemente dessa diferença entre os estágios dos países em relação à tecnologia fotovoltaica, o tema é atual e assim permite um aprofundamento dos estudos iniciados neste trabalho, principalmente na questão das soluções de projeto dos componentes da construção e na aplicação de alguns destes como alternativa viável para o mercado no país.

A idéia é que esse trabalho possa ser o ponto de partida para desenvolver pesquisas futuras, que possam trazer novas informações e conhecimento às questões específicas sobre a tecnologia e soluções técnicas que tenham os módulos fotovoltaicos como componentes

BIBLIOGRAFIA

Allgood Creative Media, LLC. RUSSEL SOLAR LCC [homepage na internet]. Oreland Acessado em 24/ 12/2010. Disponível em <http://www.russellsolarpv.com/>

ALWITRA BRASIL [homepage na internet]. São Paulo-SP: 2003. Acessado em 5 de janeiro de 2011. Disponível em http://www.alwitrabrasil.com/prod_manta.html.

ARUP [homepage na Internet]. London, UK (AL). Acesso em 10 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www.arup.com>

BRIGHTWORKS [homepage na internet]. Portland: 2001-2011. Acessado em 05/01/2011. Disponível em <http://www.brightworks.net/projectdetail.php?id=38>.

ELECTRICAL ENGINEERING. ASSOCIATION FOR PROMOTION OF E-LEARNING TOOLS FOR ELECTRICAL ENGINEERING (e-LEE). 2010. Acessado em 20/09/2010. Disponível em http://elee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/PanneauxPhotovoltaiques/Principes/Effet_photovoltaique.htm em 10 outubro de 2010

BARROS, M.S.B. (2010). Implementação de novas tecnologias em canteiros de obras: um desafio a ser vencido. Acessado em dezembro de 2010. Disponível em http://congr_tgpe.pcc.usp.br/anais/Pg111a118.pdf.

_____. (1996) Metodologia para implementação de tecnologias racionalizadas na produção de edifícios. São Paulo, 422. Tese de Doutorado, EPUSP.

BERMANN, C. Indústrias Eletrointensivas e Autoprodução: propostas para uma política energética de resgate do interesse público. Artigo disponível em http://www.ilumina.org.br/zpublisher/materias/Estudos_Especiais.asp?id=15872 em 20 de setembro de 2010.

CIB & UNEP-IETC. International Council for Building Research Studies and Documentation and United Nations Environment Programme/International Environmental Technology Centre. Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: a discussion document. CSIR, Pretoria, 2002. 82 p.

CLEANTECHNICA [homepage]. 2011. Acessado em 15/01/2011. Disponível em www.cleantechnica.com

CRESESB (sem data) [monografia na internet]. Energia Solar – Princípios e Aplicações. Acesso EM 15 DE NOVEMBRO DE 2010. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.pdf.

DEUSTCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE-DGS, (2009). Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers. London, Earthscan.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA [base de dados na internet]. Washington DC – USA. Acesso em 06 de janeiro de 2010. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/page/solarphotv/solarpv.html>

ENERGY-TRUST [homepage na internet] 2010. Tamworth, UK. Acessado 20/12/2010. Disponível em <http://www.energy-trust.co.uk/pages/solar>.

EVERGREEN SOLAR, INC. EVERGREEN SOLAR [homepage na internet]. Marlboro, MA, USA: 2001-2011. Acessado em 15/01/2011. Disponível em <http://www.evergreensolar.com>.

EUROFIX [homepage na internet]. Rio de Mouro, 2010. Acessado m 27 de dezembro de 2010. Disponível em <http://www.eurofix.pt/energia.html>

GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (CRESESB/CEPEL) - [monografia] “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos” Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.pdf

FERREIRA, M. J. G. (1993). Inserção da Energia Fotovoltaica no Brasil. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em energia - IEE-USP. São Paulo.

FIRST SOLAR [homepage na internet]. Acessado em 05 de janeiro de 2011. Disponível em <http://www.firstsolar.com>.

_____, (2002). Experiência de projetos fotovoltaicos no Estado de São Paulo : modelagem para planejamento energético em comunidades isoladas – São Paulo.

FTHENAKIS, Vasilis M. Could CdTe PV Modules Pollute the Environment? [artigo na internet]. Acessado em 10/01/2011. Disponível em http://www.bnl.gov/pv/files/pdf/art_164.pdf

GOLDEMBERG, J. & LUCON, (2007) Energia e meio ambiente no Brasil. Revista Estudos Avançados, São Paulo vol. 21, n 59, p 7-20., abr. 2007.

HELIODINÂMICA [homepage na internet] São Paulo, 2010. Acessado em 9 de setembro de 2010. Disponível em <http://www.heliodinamica.com.br>

HORISUN Renewable Energy Strategies. PVDATABASE [base de dados na internet]. Utrecht, The Netherlands . Acessado em 16/01/2011. Disponível em <http://www.pvdatabase.org/>

KIPP & ZONEN [homepage na internet] 2008. Delft. Acessado em 14/12 de 2010. Disponível em <http://www.kippzonen.com/>

KYOCERA SOLAR DO BRASIL [homepage na internet]. (2007). Acessado em 30/12/2010. Disponível em <http://www.kyocerasolar.com.br/site/index.php>

LENARDIC, D. PVRESOURCES [homepage na internet]. (2001-2011) Large-scale photovoltaic power plants: ranking 1 – 50. Acessado em 05/09/2010. Disponível em <http://www.pvresources.com/en/top50pv.php>

2buy1click. MARLEC [homepage na internet] Corby Northants , 2008. Acesso em 23 de janeiro de 2011. Disponível em <http://www.marlec.co.uk/products/photovoltaicpanels-solar-pv-panels/spectraflex32/>

METEOTEST. METEONORM [homepage na internet]. Bern, Switzerland: 2010. Acesso em 23 de setembro de 2010. Disponível em <http://www.meteonorm.com/pages/en/meteonorm.php> 2010

MITHRARATNE, Nalanie. (2007). Sustainable living: the role of whole life costs and values. Elsevier Limited.

MOCELIN, André (2006) Instalações fotovoltaicas domiciliares em comunidades que possuem geradores a diesel -- Rio de Janeiro : COPPE/UFRJ.

NPD Group. SOLARBUZZ [base de dados na internet]. Washington, NY, 2010. Acessado em 10/12/2010. Disponível em <http://www.solarbuzz.org>

NREL National Renewable Energy Laboratory [base de dados na internet] (2011). <http://www.nrel.gov/rredc/> acessado em 06/01/2011.

OLINO [homepage na internet. 2011. Acessado em 20/01/2011. Disponível em <http://www.olino.org/us/articles/2009/03/30/my-solar-energy-system>

OLIVEIRA, Sérgio H. F. de. Geração distribuída de eletricidade : inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no Estado de São Paulo - São Paulo, 2002.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R., ABREU, Samuel L. de e RÜTHER, Ricardo (2006) Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: INPE.

PRASAD, D. & SNOW, M. (2009). Design with Solar Power. - A Source Book for Integrated Photovoltaics (BiPV). Victoria, Australia, The Images Publishing Ltd..

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (2008). Decreto nº 49.149. Acessado em 10/01/2011. Disponível em www.prefeitura.sp.gov.br

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL (2004). Decreto nº 5025/2004. Disponível em :http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5025.htm.

REED EXHIBITIONS JAPAN LTD. PV EXPO [homepage na internet]. Tokyo, 2010. Acessado em 24 de dezembro de 2010. Disponível em http://www.pvexpo.jp/index_en.html

Q-Cells SE. QCELLS [homepage na internet]. Bitterfeld-Wolfen Germany: 2011. acessado EM 5/01/2011. Disponível em <http://www.qcells.com/en/systems/references/index.html>

QUASCHNING, V. (2003) [artigo] na The Sun as an Energy Resource – Technology Fundamentals in http://www.volker-quaschning.de/articles/fundamentals1/index_e.php

ROBERTS, S. & GUARIENTO, N. (2009). Building Integrated Photovoltaics – A handbook. Basel, Birkhauser Verlag AG.

TRIGOSO, Federico M. (2004). Demanda de energia elétrica e desenvolvimento socioeconômico : o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos. São Paulo: Tese de Doutorado – EP/IEE/FEA/IF _USP.

SANYO Electric Co., Ltd. SANYO [homepage na internet], 2010. Acessado em 26/12/2010 Disponível em <http://solar.sanyo.com>.

SHANGHAI SOLAR ENERGY S&T CO.,LTD . [homepage na internet] Shangai, 2009. Acessado em 10 de janeiro de 2011. Disponível em <http://en.ssecsolar.com/cp/html/?12.html>

SIQUEIRA Jr, A. A. (2003). Tecnologia de fachadas-cortina com placas de grês porcelanato. São Paulo. Dissertação de Mestrado, EPUSP.

SMART-POWERSHOP. [homepage na internet] Karlsruhe, Germany, 2008. Acesso em 05/01/2011. Disponível em http://www.smartpowershop.com/product_info.php?language=en&products_id=153.

SCHLETTER INC [homepage na internet]. Tucson, 2011. Acesso em 05/01/2011. Disponível em <http://www.schletter-inc.us/brochures.html>

SMIL, Vaclav. (2010) [artigo na internet] Energy Resources and Uses: A Global Primer for the Twenty-First Century. Disponível em <http://www.vaclavsmil.com/wpcontent/uploads/docs/smil-article-2002-energy-resources-and-uses.pdf> .

SOLARPRAXIS AG . SOLARPRAXIS [homepage na internet]. Berlin, Germany: 2010. Acessado em 23/12/2010. Disponível em <http://www.solarpraxis.de/en/>

SOVELLO [homeage na internet]. Bitterfeld-Wolfen: 2010. Acessado em 10/01/2011. Disponível em www.sovello.com.

SUNWAYS AG 2011. SUNWAYS [homepage na internet]. Konstanz: 2011. Acessado em 10/01/2011. Disponível em <http://www.sunways.eu/en/>

UNEP/GRID-Sioux Falls. SWERA Programme [base de dados na internet] 2010. Acessado em 10/07/2010. Disponível em <http://www.swera.unep.net>

UNEP (2010). Renewable Energy Resource Assessment. Acessado em 21/09/2010. Disponível em http://swera.unep.net/uploads/images/SWERA_Brochure.pdf.

UNIVERSITY OF BATH [homempage na internet] www.bath.ac.uk. Acessado em 10/01/2011

WELLER, Bernhard y outros (2010). Photovoltaics - Technology, Architecture and Instalation. Berlin, Ed. Detail + Birkhäuser.

WINDWEATHERSOLAR [homepage na internet]. Mildura, Victoria: 2010. Acessado em 5 de janeiro de 2011. Disponível em <http://windweathersolar.com/SolarPower/AllSolarPowerProducts/tabid/67/CategoryID/1/ProductID/38/Default.aspx>

Periódicos

SOLAR TODAY. Boulder, Colorado: American Solar Energy Society. Fall 2008 Vol.26 no6. Bimestral.

TECHNE v.8, n.41, p.36, jul./ago. 1999