

## 6 PLANEAMENTO E DESENHO DE SISTEMAS AUTÓNOMOS

### 6.1 Introdução

O presente capítulo descreve um procedimento simplificado para o dimensionamento de sistemas autónomos, com base em publicações de relevo e na experiência do autor. O processo de cálculo apresenta-se tão simples e perceptível quanto possível, não tendo a pretensão de atingir a precisão de um programa de simulação.

O correcto uso de programas de simulação, requer um conhecimento prévio por parte do técnico sobre os sistemas fotovoltaicos autónomos. Os programas devem a sua precisão à introdução de consideráveis quantidades de dados complexos e à destreza do técnico no manuseamento desses dados. A este respeito, o processo de desenho aqui descrito deve ser visto como um primeiro passo, no sentido de se produzir um desenho final do sistema a instalar.

Uma das tarefas mais importantes quando se planeiam sistemas autónomos, consiste em equilibrar a relação entre o consumo e a produção de energia. Uma vez que a energia solar é uma fonte de energia limitada e aleatória, o consumo diário de energia eléctrica, o nível de radiação e a capacidade do acumulador, devem ser calculados com rigor e equilibrados entre si.

O planeamento de sistemas autónomos torna-se mais complexo, quando a intenção é a de fornecer electricidade ao longo de todo o ano. Nas nossas latitudes, a quantidade de radiação disponível é cerca de seis vezes maior no Verão do que no Inverno. O consumo de electricidade, no entanto, é geralmente maior no Inverno do que no Verão. Dimensionar o gerador fotovoltaico para as necessidades do Inverno, pode levar à produção de uma considerável quantidade de energia que não é utilizada durante o resto do ano, tornando o sistema particularmente pouco económico. Esta situação é também pouco satisfatória do ponto de vista ecológico.

Um gerador fotovoltaico que seja apenas usado durante uma fracção do seu tempo de vida útil, conduzirá a maiores períodos de retorno do investimento. Nestes casos, é mais sensato utilizar um sistema híbrido, composto por um gerador fotovoltaico e um gerador auxiliar operado por um motor de combustão. Outra combinação possível consiste num sistema fotovoltaico apoiado por um gerador eólico. Dependendo das condições do local, o gerador eólico poderá constituir uma interessante solução, uma vez que o sol e o vento se complementam em muitos locais. O diagrama de um simples sistema fotovoltaico autónomo é ilustrado na figura 2.14.

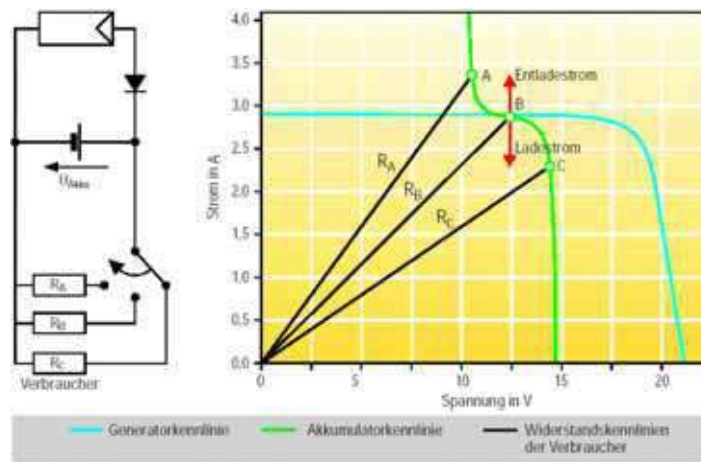
#### **Geradores fotovoltaicos, baterias e cargas**

Com o intuito de se ter um maior conhecimento sobre a interacção entre as baterias e os geradores fotovoltaicos, é no presente capítulo apresentada uma breve descrição do processo eléctrico associado a um sistema autónomo directamente acoplado. Os sistemas autónomos directamente acoplados, são utilizados maioritariamente para sistemas de menor escala. Por razões de custo, frequentemente carecem de controlador adicional (controlador de carga).

Um pequeno gerador fotovoltaico (como por exemplo um módulo fotovoltaico), está ligado a um díodo de bloqueio e a um acumulador (ver figura 6.1). De noite, quando o módulo fotovoltaico não fornece nenhuma tensão, o acumulador deve ser impedido de se descarregar, através da resistência interna do módulo fotovoltaico. Nesta situação, o díodo de bloqueio garante que nenhuma corrente inversa circule através do módulo fotovoltaico. Caso contrário, o módulo fotovoltaico funcionaria como uma carga, convertendo a energia eléctrica em calor. O díodo de bloqueio é assim necessário para evitar perdas de descarga do acumulador e para proteger o módulo fotovoltaico de sobreaquecimentos. Quando o gerador fotovoltaico está iluminado, o díodo de bloqueio provoca uma queda adicional de tensão de **0,5 V a 0,7 V**.

Num dia soalheiro, o módulo fotovoltaico fornece corrente em correspondência com a curva característica do gerador. A figura 6.1 ilustra a curva corrente/tensão do módulo fotovoltaico e da curva dinâmica I-U do acumulador. Observa-se que a tensão do acumulador flutua perto da tensão de circuito aberto à volta de **12,5 V**. A tensão de circuito aberto pode cair para valores inferiores a **11 V** antes de

atingir a tensão de corte da descarga, ou elevar-se acima de **14 V**, até atingir a tensão de corte da carga. O acoplamento do gerador fotovoltaico provoca um deslocamento da curva característica do acumulador, em função do valor da corrente fotovoltaica que provém da curva característica do gerador. De outro modo, o ponto **B** da curva dinâmica do acumulador iria situar-se directamente no eixo da tensão.



**Figura 6.1 - Sistema autónomo fotovoltaico directamente acoplado e curvas características do gerador e do acumulador**

No nosso exemplo, podem estar ligadas três diferentes cargas ao acumulador através de um comutador. Conforme a carga que estiver ligada (resistência **R<sub>a</sub>**, **R<sub>b</sub>** ou **R<sub>c</sub>**), ocorrem diferentes condições operacionais.

No caso **B**, a resistência da carga é tão grande que a corrente para a carga **B** é completamente fornecida pelo gerador fotovoltaico. A curva de carga resistiva corta as curvas **I-U** do acumulador e do módulo fotovoltaico, precisamente no seu ponto de intersecção.

A carga **A** precisa de uma corrente maior. O módulo fotovoltaico fornece apenas parte da energia eléctrica requerida, sendo a restante fornecida pelo acumulador, pelo que a corrente de descarga flui e o acumulador é descarregado.

Caso a carga **C** seja ligada, desenvolve-se uma menor corrente devido à maior resistência **R<sub>c</sub>**. A corrente fotovoltaica é maior que a corrente pedida pela carga. Uma adicional corrente de carga, de aproximadamente **0,9 A**, circula através do acumulador. Por este motivo, o módulo fotovoltaico pode alimentar a carga **C** e carregar simultaneamente o acumulador. Este sistema operará de modo fiável, com poucos cuidados de manutenção se, considerando as quedas de tensão do díodo de bloqueio e das linhas fotovoltaicas, o sistema for dimensionado por forma a que não seja ultrapassada a tensão de corte da carga, e se a capacidade do acumulador for tal que, para fazer face às necessidades de consumo, a tensão de corte da descarga não seja atingida.

Os controladores electrónicos são normalmente utilizados nos sistemas autónomos equipados com vários módulos fotovoltaicos e acumuladores. Os controladores de carga melhoram consideravelmente o funcionamento destes sistemas, assegurando que o acumulador não seja sobrecarregado (ver capítulo 3 "controladores de carga"). Para além disso, muitos controladores de carga proporcionam protecção contra a descarga. Um adicional controlador **MPP** otimiza a exploração da energia solar.

O capítulo que se segue descreve o processo de desenho de um sistema fotovoltaico autónomo, tomando o exemplo de uma pequena casa de férias, na qual se pretende, apesar das consideráveis flutuações de radiação solar, garantir o abastecimento de energia eléctrica durante todo o ano.

## 6.2 Cálculo do consumo de energia eléctrica

A fase mais importante e complexa do processo de dimensionamento de um sistema fotovoltaico autónomo, consiste na caracterização dos consumos diários de energia eléctrica. Estes consumos são listados na tabela 6.1, tomando o exemplo de uma pequena casa de férias.

As consideráveis flutuações de radiação durante o decorrer do ano levam a que, para se atingir uma elevada eficácia do sistema autónomo, seja muitas vezes necessário estimar o consumo em função dos meses e das estações ou, pelo menos, entre os picos do Verão e do Inverno.

Neste caso foi considerado que o período do Verão decorre entre Maio e Agosto, e de Inverno entre Setembro e Abril (devido ao baixo nível de radiação característico deste período). O cálculo da energia da radiação de cada período é baseado no mês mais fraco, tomando em consideração a localização, a inclinação e a temperatura. O cálculo da radiação será tratado em detalhe na próxima secção.

Iremos agora tratar da análise de todos os pontos individuais de consumo de energia eléctrica. São listados todos os dispositivos eléctricos previstos, a respectiva potência, o tempo diário de operação e o consequente consumo energético.

**Tabela 6.1 - Pontos de consumo de energia eléctrica**

Análise de consumo para uma pequena casa de férias					
Consumidor	Potência nominal Pn em W	Nº de horas de serviço		Consumo em Wh	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno
3 lâmpadas na sala	3 x 12 = 36	1	3	36	108
1 lâmpadas no quarto	12	0,5	0,5	6	6
2 lâmpadas para leitura no quarto	2 x 7 = 14	1	1	14	14
Frigorífico	50	Desconhecido	Desligado	300	Desligado
TV	50	2	2	100	100
Bomba de água	60	3,33	0,33	200	20
Total:	222			656	248

- 1 Foi planeado adquirir-se um frigorífico de elevada qualidade e eficiência energética. Os frigoríficos modernos trazem sempre uma informação sobre o consumo diário normal. Uma vez que este valor numérico pode ser usado nos nossos cálculos, a informação sobre o tempo de funcionamento da unidade de refrigeração já não é necessária.
- 2 Considerou-se que o frigorífico não será utilizado no Inverno, atendendo ao tipo de utilização desta casa de férias e respectiva localização. Como veremos nos cálculos do gerador fotovoltaico, esta opção levará a uma redução de custos do sistema.
- 3 No Verão está prevista a irrigação diária do jardim com cerca de 2.000 l de água. Durante o Inverno apenas será preciso o fornecimento de água para fins sanitários, na quantidade de 200 l/dia. A bomba fornece 600 l/hora, resultando tempos de operação de 3,33 e 0,33 horas/dia.

A tabela 6.1 mostra as três principais cargas: frigorífico, sistema de bombagem de água e televisão. O frigorífico tem o maior consumo de energia eléctrica. Se o frigorífico não estiver desligado no Inverno, o consumo durante o Inverno levaria a que fosse necessário duplicar a potência do gerador solar. O sistema de bombagem é uma carga interessante para um sistema solar, porque no Inverno apenas requer **1/10** do consumo que se verifica no verão. A taxa de consumo está, por assim dizer, sincronizada com o nível de radiação solar.

O cliente poderá considerar como necessário o abastecimento de reservas de energia, através do incremento da capacidade do gerador ou através da utilização de um equipamento auxiliar (sistema híbrido). Deverá ser assegurado que todos os aparelhos de consumo finais possuam uma elevada eficiência energética. O seu maior custo na compra é normalmente justificado, pois será inferior ao sobrecusto dos módulos fotovoltaicos, que seria necessário considerar para satisfazer a ineficiência dos equipamentos alternativos menos eficientes.

### 6.3 Dimensionamento do gerador fotovoltaico

Depois de se estimar a procura diária de energia eléctrica, devemos determinar a correcta dimensão do gerador fotovoltaico. Há diversos métodos para o cálculo da energia produzida pelos diferentes tipos de módulos solares disponíveis no mercado. No procedimento mais simples o cálculo tem por base a potência nominal de um módulo (ver capítulo 3 “parâmetros eléctricos dos módulos fotovoltaicos nas condições de teste standard”).

#### 6.3.1 Modelo para o cálculo da energia que é produzida por um gerador fotovoltaico

A explicação que a seguir será desenvolvida, é dirigida aos leitores que pretendem ter uma visão mais aprofundada sobre esta matéria. Aqueles que estão mais interessados nos resultados do que propriamente na fundamentação das fórmulas, podem avançar para o resumo da secção 6.3.4 e para os exemplos de cálculo da secção 6.8..

#### Consideremos um exemplo:

O valor horizontal da radiação para o mês de Maio, para um dado local na Região do Ribatejo, atinge **5,80 kWh/ (m<sup>2</sup> x d)**. Por outras palavras, no decorrer de um dia normal de Maio, o sol fornece uma radiação energética de **5,80 kWh** por metro quadrado de área horizontal. O período entre o nascer e o pôr do sol no mês de Maio, dura aproximadamente **14** horas.

Receberíamos a mesma quantidade de energia, por assim dizer, ao comprimir a ocorrência da radiação para **5,8** horas e tendo a intensidade de irradiação standard de **1.000 W/m<sup>2</sup>**, incidindo numa superfície com uma área de **1 m<sup>2</sup>**. Um módulo de **50 watts**, assente no solo (irradiação horizontal), será irradiado por **5,8** horas com uma intensidade de irradiação de **1 kW/m<sup>2</sup>**, e assim produziria uma energia diária de **5,8 h x 50 W = 290 Wh** (assumindo que a temperatura da célula permaneça a 25° C durante este período). Por exemplo, um gerador solar de **0,5 kWp**, fornece em Maio **0,5 kW x 5,8 h/dia = 2,9 kWh/dia**.

Se alinharmos este gerador solar na direcção Sul, com um ângulo de inclinação de **45°** em relação ao plano do chão, teremos de ajustar a energia produzida utilizando o respectivo factor de correcção de inclinação. O factor **Z<sub>3</sub>** em Maio é de **0,94**. A energia produzida pelo nosso gerador seria então de **2,242 kWh/d x 0,94 = 1,973 kWh/dia**.

Por último, devemos tomar em consideração o desvio da temperatura da célula em relação ao valor standard, que em média é sempre superior a **25 °C** para os meses de Verão. Por este motivo a potência é reduzida. O correspondente factores **Z<sub>4</sub>** apresenta em Maio um valor de **0,88**. A energia produzida pelo nosso gerador solar passará assim a ser de **2,242 kWh/d x 0,88 = 1,973 kWh/dia**.

#### Resumo:

A energia produzida pelo gerador fotovoltaico, resulta do produto entre a potência nominal do gerador fotovoltaico e os factores de correcção. Podemos resumir o cálculo da energia produzida por um gerador fotovoltaico, pela seguinte fórmula:

$$E_{ideal} = P_{PV} \times Z_2 \times Z_3 \times Z_4$$

Tabela 6.2

Parâmetros	Símbolo	Unidade
Energia idealmente produzida pelo gerador fotovoltaico	E <sub>ideal</sub>	KWh/d
Potência nominal do gerador fotovoltaico	P <sub>PV</sub>	KWp
Factor da Tabela 6.2, influência da localização e do mês do ano	Z <sub>2</sub>	h/d
Factor da Tabela 6.3, influência do desvio do plano horizontal	Z <sub>3</sub>	-
Factor da Tabela 6.4, influência da temperatura	Z <sub>4</sub>	-

### 6.3.2 Consideração das perdas da linha, de conversão e de desajustamento

Até ao presente momento, ficamos a conhecer a procura total de energia eléctrica diária dos futuros aparelhos de consumo e a energia produzida por um gerador solar, de acordo com a sua localização geográfica, a estação do ano e a orientação do gerador. O gerador fotovoltaico, a carga e o acumulador, estão ligados através de linhas de transmissão eléctricas. As linhas e os acumuladores, em particular, são os principais responsáveis pela redução da energia final a ser entregue ao consumo. As quedas de tensão que ocorrem nas linhas e a variação da tensão aos terminais do acumulador, provocam perdas adicionais de conversão e de desajustamento. Só depois de se considerarem estas perdas é que poderemos conhecer a quantidade de energia que realmente está disponível para os consumidores.

#### Perdas na linha

Quando dimensionamos as linhas (ver secção 6.4), devemos garantir que as perdas fiquem limitadas a cerca de **3 %**. Como será visto a seguir, este é um objectivo bastante ambicioso em sistemas de baixa tensão. A energia solar é um bem primário que não deve ser desperdiçado. Só para raros casos poderá fazer sentido, do ponto de vista económico, aceitar elevadas perdas na linha e compensá-las com a colocação adicional de módulos. Em termos práticos, uma percentagem de perdas de **3 %** é plenamente justificada.

De um modo simples, a energia produzida por um módulo é reduzida em duas linhas (3 % de cada vez):

- 1 na linha que vai do gerador ao acumulador através do controlador de carga;
- 2 na linha que vai do acumulador à carga através do controlador de carga.

Por este motivo, aplicaremos **6 %** como perdas da linha. Isto significa que devemos reduzir pelo factor  $V_l = 0,94$  a energia libertada pelo gerador.

#### Perdas de conversão

A conversão da energia eléctrica em energia química e de novo em energia eléctrica, que ocorre no acumulador, é um processo difícil de calcular em termos energéticos, dado que envolve pormenores da sua construção e idade, da temperatura, da profundidade de descarga e da intensidade da carga e de descarga. Neste caso só é possível utilizar valores baseados na experiência. Na prática é aceite uma perda média de **10 %**, o que implica a redução da energia produzida pelo gerador pelo factor  $V_c = 0,9$ .

#### Perdas por desajuste

Estas perdas são o resultado da variação do nível da tensão durante a operação. Os diferentes níveis de tensão, observados pelo gerador solar nos terminais da bateria, são determinados pelo respectivo estado de carga das mesmas e da temperatura. Isto significa que o gerador está com frequência operando fora do seu ponto máximo de potência, o que, contudo, depende simultaneamente da radiação e da temperatura. Este desvio de tensão, conhecido por desajuste, é estimado como uma perda média de energia de **10 %**. Esta perda leva ao factor adicional de perda  $V_m = 0,9$ .

Para reduzir estas perdas, também é possível utilizar o controlador de **MPP**, utilizando conversores DC/DC ou, como normalmente se faz nos sistemas fotovoltaicos com ligação à rede, utilizando um inversor apropriado.

Os controladores **MPP** sob a forma de conversores DC/DC, podem ser bastante eficazes. Estão também disponíveis controladores de carga com controladores **MPP**. Neste último caso, deve contudo ser tomado em consideração os maiores custos de investimento.

Os controladores **MPP** também podem ser integrados em inversores autónomos. Fará sentido a integração de um controlador **MPP** com um inversor, se muitos aparelhos de consumo operarem com uma corrente alterna de **230 V**. Contudo, em contraste com a operação de injeção de energia para a rede, a tensão é convertida por duas vezes (de corrente contínua em corrente alterna e de corrente alterna em corrente contínua), permitindo assim que o acumulador possa ser usado como um dispositivo de armazenamento. Esta dupla conversão origina perdas maiores, do que as que ocorrem com o controlador **MPP** num sistema com ligação à rede. Junto com as perdas de eficiência que ocorrem com cargas parciais, resultam perdas médias globais de **10 %**, pelo que raramente se justifica a instalação de um inversor apenas com a finalidade de rastrear o **MPP**.

### 6.3.3 Resumo dos resultados obtidos

O gerador fotovoltaico é dimensionado em função do consumo diário de energia **W**, expresso em **kWh/dia**. Dependendo das necessidades, pode-se utilizar o valor médio para o Verão ou para o Inverno.

Dimensionamento do gerador:

$$PPV = \frac{W}{Z_2 \times Z_3 \times Z_4 \times V}$$

Com

$$V = V_l \times V_c \times V_m$$

A quantidade de energia eléctrica realmente disponível para o sistema de consumo eléctrico, pode agora ser reduzida à seguinte fórmula:

$$E_{real} = E_{ideal} \times V$$

ou também,

$$E_{real} = P_{PV} \times Z_2 \times Z_3 \times Z_4 \times V$$

Desta forma, resultam as seguintes perdas totais: **V = 0,94 x 0,9 x 0,9 = 0,76**

**Tabela 6.3**

<b>Características</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidade</b>
Consumo médio diário de energia	<b>W</b>	<b>KWh/d</b>
Energia realmente produzida pelo gerador fotovoltaico (energia útil disponível)	<b>E<sub>real</sub></b>	<b>KWh/d</b>
Energia idealmente produzida pelo gerador fotovoltaico	<b>E<sub>ideal</sub></b>	<b>KWh/d</b>
Potência nominal do gerador fotovoltaico	<b>P<sub>PV</sub></b>	<b>KWp</b>
Factor da tabela 6-2, influência da localização e do mês do ano	<b>Z<sub>2</sub></b>	<b>h/d</b>
Factor da tabela 6-3, influência do desvio do plano horizontal	<b>Z<sub>3</sub></b>	<b>-</b>
Factor da tabela 6-4, influência da temperatura	<b>Z<sub>4</sub></b>	<b>-</b>
Perdas totais das linhas, de conversão e desajuste	<b>V</b>	<b>-</b>
Excesso no verão	<b>VE</b>	<b>KWh/d</b>
Reserva no Inverno	<b>IR</b>	<b>KWh/d</b>

#### **Determinação do excesso de produção no Verão e da reserva no Inverno do sistema fotovoltaico**

Em Portugal, o dimensionamento de uma instalação autónoma típica conduz geralmente a um excesso de energia no Verão. Para a optimização energética e económica do sistema, é calculado o excesso do Verão e a reserva do Inverno. O nível destes valores deve ser acordado com o utilizador do sistema, permitindo então determinar o consumo efectivo. Para este efeito, os valores médios diários dos meses mais representativos, são utilizados para determinar a energia produzida pelo sistema fotovoltaico. O excesso do Verão **VE**, é o resultado da diferença entre a energia média eléctrica produzida e o consumo diário de energia **W<sub>verão</sub>** no Verão: **VE = E<sub>verão real</sub> - W<sub>verão</sub>** em **kWh/dia**.

A reserva do Inverno **IR**, é calculada a partir da diferença entre a energia media diária e o consumo diário de energia **W<sub>inverno</sub>** no Inverno: **IR = E<sub>inverno real</sub> - W<sub>inverno</sub>** em **kWh/dia**.

#### **Exemplo:**

Para este exemplo teremos, num determinado lugar situado na Região do Ribatejo, um gerador solar de **0,5 kWp**, com um ângulo de incidência de **45°**, orientado para sul. Na época de Verão, representada pelo mês de Maio, podemos calcular uma energia útil de **0,5 kW x 5,8 h/d x 0,94 x 0,88 x 0,76 = 1,5 kWh/dia**.

Na época de Inverno, representada por Dezembro, apenas teremos disponíveis **0,5 kW x 1,95 h/d x 1,55 x 1,02 x 0,76 = 0,276 kWh/dia**.

As necessidades de **248 Wh/dia** para a pequena casa de férias, podem desta forma ser cobertas. No entanto, a reserva seria apenas de **11 %**. Neste caso, o cliente deveria ser consultado sobre a possibilidade de experimentar o gerador de **0,5 kW** e de, posteriormente, caso venha a ser necessário, aumentar a potência do sistema. Esta possibilidade deverá ser considerada na fase de planeamento do sistema, em termos da flexibilidade da estrutura de fixação e suporte dos módulos, na escolha do controlador de carga e na secção transversal do cabo, por forma a permitir a fácil implementação de uma eventual maior potência no futuro.

No Verão será produzido um excesso de energia considerável: são consumidos **0,656 kWh/dia** e estarão disponíveis **1,5 kWh/dia**, o que corresponde a um aumento de **130 %**. Poderão assim ser alimentados pontos de consumo adicionais e/ou tolerados maiores períodos de consumo dos equipamentos, do que aqueles que foram considerados na fase de dimensionamento.

#### 6.3.4 Descrição sumária do método de cálculo para o dimensionamento de um gerador fotovoltaico, tomando como exemplo a pequena casa de férias

##### Dados necessários:

- Consumo diário de energia:  
No Verão (de Maio a Agosto): **0,656 kWh/dia**  
No Inverno (de Novembro a Fevereiro): **0,248 kWh/dia**
- Factor  $Z_2$  para a radiação horizontal, na localização indicada. Seleccionar o mês com a menor radiação para cada caso (no Verão é Maio, no Inverno é Dezembro):  
No Verão (Lisboa, Maio):  **$Z_2 = 5,80$  h/dia**  
No Inverno (Lisboa, Dezembro):  **$Z_2 = 1,95$  h/dia**
- Factor  $Z_3$  para a orientação do gerador fotovoltaico (ângulo de inclinação de  $45^\circ$ , orientado para sul):  
No Verão (Maio):  **$Z_3 = 0,94$**   
No Inverno (Dezembro):  **$Z_3 = 1,55$**
- Factor  $Z_4$  tomando em conta a temperatura da célula:  
No Verão (Maio):  **$Z_4 = 0,88$**   
No Inverno (Dezembro):  **$Z_4 = 1,02$**
- Factor total  $V$  para as perdas da linha, conversão e desajuste  **$V = 0,76$**

Fórmula para calcular a potência necessária do gerador  $P_{PV}$

$$PPV = \frac{\text{consumo diário de energia } W}{Z_2 \times Z_3 \times Z_4 \times V}$$

Tabela 6.4

Estação	Consumo energético diário em kWh/d	$Z_2$ em h/d	$Z_3$	$Z_4$	$V$	Potência do Gerador em kW <sub>p</sub>
Verão (Maio)	0,656 kWh/dia	$Z_2 = 5,80$	$Z_3 = 0,94$	$Z_4 = 0,88$	$V = 0,76$	0,5
Inverno (Dezembro)	0,248 kWh/dia	$Z_2 = 1,95$	$Z_3 = 1,55$	$Z_4 = 1,02$	$V = 0,76$	0,5

Para garantir com algum nível de fiabilidade a operacionalidade do sistema no Inverno, precisamos de escolher um gerador de **0,5 kW<sub>p</sub>**, mesmo se estiver consideravelmente sobredimensionado para a época do Verão.

### 6.4 Dimensionamento das secções transversais dos cabos

Para dimensionar as secções transversais dos cabos, deve-se também tomar em conta a extensiva discussão sobre o dimensionamento de cabos que é abordada no capítulo 5. A capacidade das linhas de transmissão da corrente eléctrica e o dimensionamento dos fusíveis, deve seguir o estabelecido na norma **VDE 0298** parte 4.

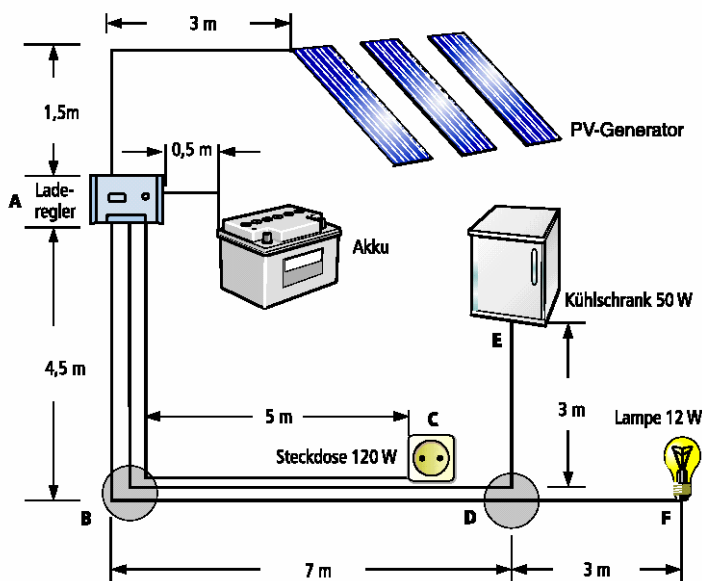
A secção transversal do cabo pode ser calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$S = \frac{L \times P}{3\% \times U_2 \times \kappa}$$

**Tabela 6.5**

Parâmetros Eléctricos	Símbolo	Unidade
Comprimento da linha (condutor positivo + negativo)	L	M
Potência transmitida na linha	P	W
Secção transversal do cabo	S	mm <sup>2</sup>
Condutividade eléctrica (cobre $\kappa_{Cu} = 56$ , alumínio $\kappa_{Al} = 34$ )		
Perdas percentuais da linha (geralmente 3 %)		%
Tensão do sistema	U	V

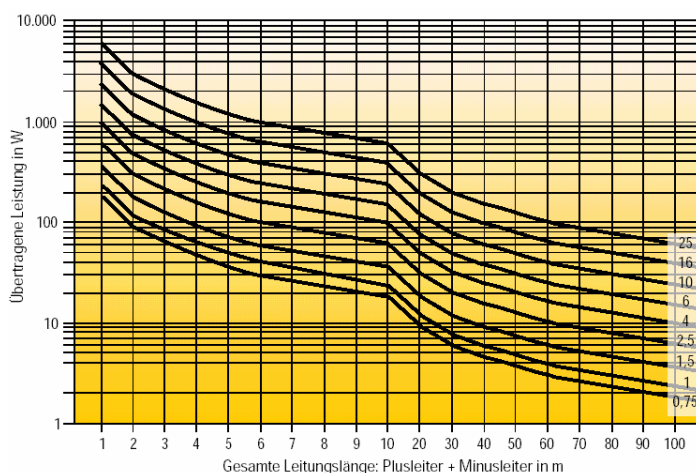
No desenho do gerador fotovoltaico, assumimos na secção anterior uma perda de tensão nas linhas de **3 %**. Para cumprir esta condição, deve ser seleccionada uma suficiente secção transversal de linha. O método para o fazer é indicado na figura 6.2:



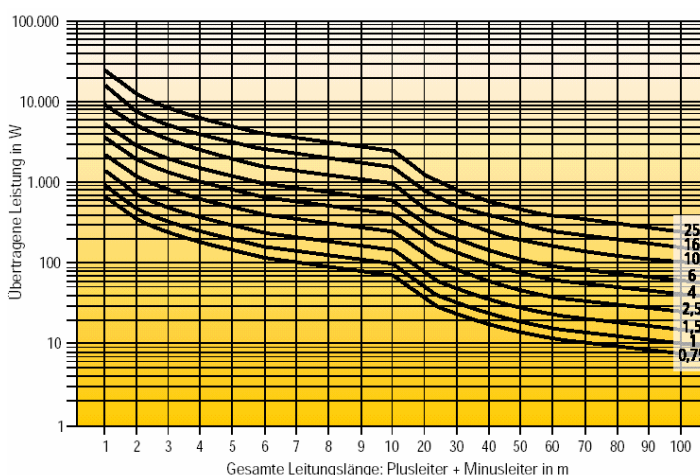
**Figura 6.2 - Cálculo do comprimento da linha**

Nesta imagem é apresentado um exemplo de um sistema solar com gerador fotovoltaico, controlador de carga, acumulador e três diferentes elementos de consumo. No início, cada ponto de consumo tem a sua própria linha de cabo calculada. Se a instalação for levada a cabo deste modo, cada ponto de consumo será protegido por um fusível, a partir de um quadro de distribuição, situado após o controlador de carga.

No entanto, também seria possível combinar linhas em ligações paralelas, entre as estações **A, B e D** do distribuidor. Neste caso, ao permitir o factor simultaneidade, deve ser acrescentada a secção transversal das linhas que correm em paralelo. O fusível de corte da linha principal e os fusíveis de potência a jusante, são escolhidos em concordância. As respectivas secções transversais podem ser calculadas utilizando a fórmula acima indicada, ou encontradas a partir dos diagramas a seguir apresentados e compilados numa tabela.



**Figura 6.3 - Secções transversais da linha recomendadas num sistema de 12 V: Perdas da linha de 3%**



**Figura 6.4 - Secções transversais da linha recomendadas num sistema de 24 V: Perdas de linha de 3%**

**Tabela 6.6 - Determinação das secções transversais da linha numa instalação de 12 V**

<b>Cablagem entre:</b>	<b>Comprimento em m (condutores positivo e negativo)</b>	<b>Componentes</b>	<b>Potência de ligação em W</b>	<b>Ø Calculado em mm<sup>2</sup></b>	<b>Ø Seleccionado em mm<sup>2</sup></b>
Gerador-acumulador		Gerador	500	20,7	25
Acumulador - A-B-C		Tomada de 10 A	120	9,9	10
Acumulador -A-B-D-E		Frigorífico	50	6,2	6
Acumulador - A-B-D-F		Lâmpada	12	1,5	1,5
Combinação das linhas A-B e B-D (opcional)					

**Tabela 6.7 - Determinação das secções transversais da linha numa instalação de 24 V**

<b>Cablagem entre:</b>	<b>Comprimento em m (condutores positivo e negativo)</b>	<b>Componentes</b>	<b>Potência de ligação em W</b>	<b>Ø Calculado em mm<sup>2</sup></b>	<b>Ø Seleccionado em mm<sup>2</sup></b>
Gerador-acumulador	10	Gerador	500	20,7	25
Acumulador - A-B-C	20	Tomada de 10 A	120	9,9	10
Acumulador -A-B-D-E	30	Frigorífico	50	6,2	6
Acumulador - A-B-D-F	30	Lâmpada	12	1,5	1,5
Combinação das linhas A-B e B-D (opcional)					
A-B	10			17,6	16
B-D	14			7,7	10

A capacidade de transmissão da corrente de acordo com a norma **VDE 0298** parte **4**, é feita em camadas separadas e com uma temperatura ambiente inferior a **30 °C**, utilizando as secções transversais de cabo calculadas. Devido ao facto da tensão do sistema, no cálculo da secção transversal do cabo, se encontrar no denominador como um valor quadrático, a duplicação da tensão implica uma redução de  $\frac{1}{4}$  da secção transversal. Os custos da cablagem podem assim ser reduzidos, concebendo a instalação para uma tensão do sistema de **24 V**. Contudo, é difícil encontrar cargas apropriadas para tensões de **24 V**, pois são escassas e são significativamente mais caras, do que as aplicações para **12 V**. A tensão que em última análise acaba por ser seleccionada, depende de cada caso individual.

### Ressalva importante sobre a cablagem do acumulador– controlador de carga

Este cabo está sob tensão, quer durante a carga quer durante a descarga. A secção transversal do cabo é definida de acordo com a maior carga. A carga máxima acontece, quer na carga do acumulador à potência máxima do gerador, quer ao descarregar o acumulador através dos elementos de consumo, com o maior factor de simultaneidade (coeficiente que representa a probabilidade dos equipamentos eléctricos estarem ligados em simultâneo), na ausência de radiação.

Há cenários de aplicações (por exemplo, em sistemas que são apenas utilizados aos fins-de-semana), nos quais a dimensão do gerador pode ser reduzida significativamente, dado que é capaz de recarregar o acumulador nos dias úteis, por forma a que haja suficiente energia disponível no fim-de-semana (é a seguir apresentado um exemplo representativo). Neste caso, a potência de descarga pode ser maior do que a potência de carga. A secção transversal do cabo deve então ser determinada com base na potência de descarga e no relevante factor de simultaneidade, podendo ser equivalente à soma de todas as secções transversais dos cabos que servem cada ponto de consumo.

### 6.5 Dimensionamento do acumulador

A tarefa do acumulador é a de compensar a não simultaneidade entre a produção energética e o consumo de energia. Nas nossas latitudes, temos de tomar em consideração as significativas flutuações da radiação. Em consequência, faz sentido prever uma reserva mínima de dois a três dias para os meses de Verão e de três a cinco dias para os meses de Inverno. A capacidade do acumulador é estabelecida em **Ah**. Até agora definimos o consumo energético em **Wh**. Para sermos capazes de estabelecer a relação entre estes dois valores (**Ah e Wh**), convertemos os valores de consumo em **Ah**, ao dividir o **Wh** pela tensão do sistema (por exemplo **12V**).

*Exemplo:* **656 Wh** corresponde a **656 VAh / 12 V = 54,7 Ah**

Com o objectivo de obter um tempo de vida útil suficientemente longo para as baterias de electrólito ácido (ver capítulo 3), deve-se calcular a capacidade da bateria para uma profundidade de descarga sempre inferior a **50 %** da capacidade nominal da mesma, tal como vem definida pelo fabricante. Desta forma, teremos de seleccionar um acumulador com uma capacidade **Cd** igual ao dobro da capacidade calculada a partir dos valores de consumo. A equação empírica que a seguir é indicada pode ser utilizada para determinar a capacidade do acumulador.

$$C_n = \frac{Z \times W \times F}{U_n}$$

**F** é um factor para os dias de reserva, **W** é o respectivo consumo médio diário e **Un** a tensão nominal aos terminais do acumulador.

Factor para os dias de reserva		Valor Médio	
F	Verão	2-3 dias	2,5
F	Inverno	3-5 dias	4,0

O factor específico que deve ser utilizado para os dias de reserva deve ser discutido com o utilizador.

Evidentemente que precisamos de seleccionar o maior dos dois valores. Mas o valor para o Verão deverá também implicar a disponibilidade de uma reserva que seja suficiente para este período.

À primeira vista, o custo de um sistema de **24 V** é inferior (cerca de **50%**) ao custo de **12 V**. Mas após esta primeira impressão, fica claro que para criar uma tensão de **24 V**, precisamos do dobro das células do acumulador (precisamos de 6 células no sistema de 12 V e de 12 no sistema de 24 V). Em teoria temos os mesmos custos (pois embora tenhamos no sistema de 24 V células com metade da capacidade, precisamos do dobro delas).

## 6.6 Aplicação de um inversor

Nem todos os aparelhos de consumo estão disponíveis em versões de **12 V** ou de **24 V**. Por vezes é muito dispendioso comprar um novo dispositivo DC, ou então já existe um dispositivo AC e deseja-se continuar a utilizá-lo. Para todos estes casos, pode ser mais interessante a conversão da corrente directa em corrente alternada, para uma tensão de **230 V**. Os detalhes das propriedades dos inversores autónomos que são necessários neste ponto, já foram discutidos anteriormente no capítulo ponto 3. No nosso exemplo da pequena casa de férias, poderia fazer sentido operar o frigorífico através do inversor, uma vez que poderá ser mais fácil encontrar um frigorífico eficiente de **230 V**, para além de que um frigorífico novo de **12 V**, para a mesma capacidade, é normalmente mais caro do que o sobrecusto do inversor. Acresce que no período estival, caracterizado por maiores níveis de produção energética, o inversor permitirá novos tipos de consumos, tais como ferramentas eléctricas.

Seria agora possível comprar um pequeno inversor de **400 W**, com uma tolerância a sobrecargas até **50 %** (o preço para um inversor sinusoidal para esta capacidade é normalmente de 350 EUR), restringindo a utilização a pequenos equipamentos eléctricos, ou optar por um produto significativamente mais potente, com o intuito de abranger outros tipos de aparelhos eléctricos. Assim, uma ou duas tomadas de **230 V** seriam instaladas à saída do inversor e, para os outros aparelhos eléctricos (luz, televisão, bomba de água), seria instalada uma rede de **12 V** ou de **24 V**.

Embora seja possível converter todas as cargas para **230 V**, será necessário ter em atenção que o inversor será mais caro e estará a funcionar muitas vezes em carga parcial, logo sob condições desfavoráveis, reduzindo a eficiência da conversão.

Para grandes comprimentos de linha e sistemas maiores, é recomendado o uso de um inversor central autónomo.



Figura 6.5 - Inversor autónomo

## 6.7 Sistema híbrido

Temos a consciência de que no Inverno a energia solar disponível poderá ser escassa para a satisfação dos consumos de electricidade da nossa casa de férias, enquanto que no Verão temos a situação inversa. Surge assim a ideia de que a combinação com uma outra fonte de energia, poderá constituir uma boa solução para manter os níveis de produção estáveis.

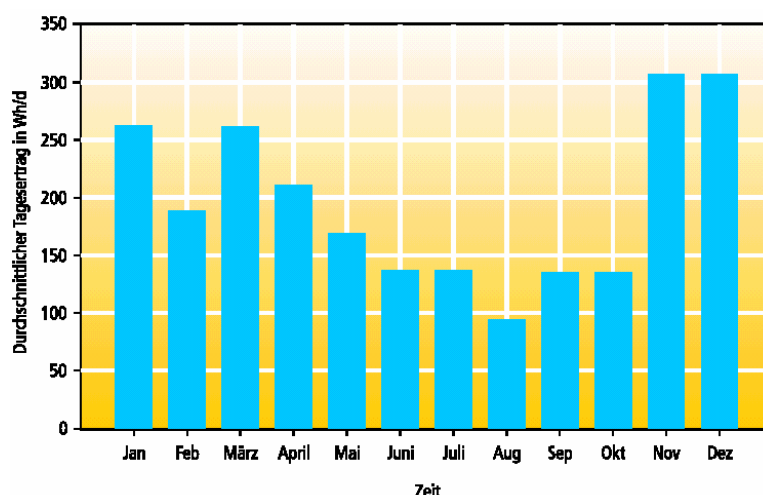


Figura 6.6 - Energia produzida por um pequeno gerador eólico doméstico, com condições favoráveis em termos de localização e com os seguintes dados: Diâmetro do rotor: 1,5 m, Potência a 9 m/s de velocidade: 200 W (aprox.) e Energia libertada: 72 kWh/a (aprox.)

A combinação com um gerador eólico poderá ser uma boa ideia, se existir um espaço sem prédios nem árvores na área circundante, idealmente numa colina exposta. A energia solar e a energia eólica podem com muita frequência complementarem-se entre si. A figura 6.6 mostra que nos meses do Inverno existe, na realidade, uma compensação para a radiação solar disponível.

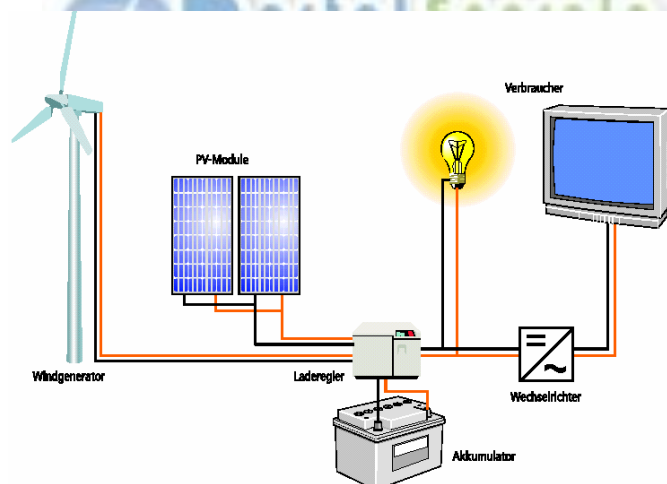


Figura 6.7 - Esquema eléctrico de uma instalação híbrida com gerador eólico

Um pequeno gerador de apoio implica uma menor despesa. A corrente alternada fornecida por este gerador, é utilizada para carregar o acumulador através de um carregador de baterias, caso a radiação solar já não seja suficiente e o acumulador esteja perto do seu nível crítico de carga. O gerador de apoio não deverá ter demasiada potência, para prevenir excessivas correntes de carga e elevados custos de geração e de carga. No nosso caso, consideraríamos uma potência de **0,5 a 2 kW**. A potência em causa poderia ser superior a quatro vezes a potência do gerador solar. Para os operadores do sistema solar mais preocupados com os impactos no meio ambiente, para além dos geradores comuns que trabalham a petróleo, estão disponíveis pequenos geradores por menos de **1.000 EUR**, que funcionam com gás líquido.

Existe uma solução mais elegante para combinar um gerador de apoio nos grandes sistemas: o inversor e o carregador da bateria são combinados numa única unidade (compreendem os mesmos componentes básicos), e o gerador de apoio entrará automaticamente em funcionamento quando for preciso, através de um controlador central. Num sistema como este, para além das falhas de concepção, que podem sempre acontecer, existe a segurança de uma alimentação continua durante todo o ano.

Numa situação ideal, este gerador auxiliar poderia funcionar a partir de fontes de energias renováveis (**óleo vegetal ou gás biológico**). Para além disso, e para melhorar o equilíbrio ecológico, existe a possibilidade de combinar a geração de calor e de electricidade (**CHP**): o calor desperdiçado na combustão do motor seria utilizado para efeitos de aquecimento.





## 7 SOFTWARE E PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### 7.1 Uso de software e de programas de simulação

Existe um amplo leque de aplicações fotovoltaicas, onde é possível utilizar software e programas de simulação. No planeamento, estes meios permitem resolver problemas de dimensionamento e levar à optimização dos sistemas fotovoltaicos. Os programas de simulação permitem verificar valores de tensão limiar de condução e estados operacionais, e simular o funcionamento de um sistema para diferentes configurações. Estes programas são frequentemente utilizados no ensino académico, e na formação de projectistas e de instaladores. Os programas de simulação têm também sido um importante instrumento de trabalho nas áreas de investigação e de desenvolvimento, promovidas pelos fabricantes de componentes. Se o objectivo consiste em melhorar, optimizar ou desenvolver novos componentes e novos conceitos de sistemas, o software de simulação é sempre uma opção válida.

Muitos Engenheiros ou Projectistas que trabalharam durante largos períodos com módulos fotovoltaicos e inversores específicos, tendo desta forma adquirido uma forte experiência acumulada, terão com certeza importantes referências sobre o dimensionamento dos sistemas. Contudo, terão dificuldades em resolver problemas mais complexos sem a ajuda de programas de desenho e de simulação.

O desenho dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede eléctrica pública, não é uma tarefa fácil, contrariamente ao que poderá parecer numa primeira apreciação. Cada inversor tem o seu próprio raio de acção **MPP** no lado DC. Ao mesmo tempo, cada inversor tem os seus próprios valores limite de corrente e tensão, definindo assim o campo de operação permitido para o equipamento. Os módulos têm de ser ligados de modo a que os componentes eléctricos do sistema (gerador fotovoltaico e inversor) sejam compatíveis entre si. Por este motivo, para cada módulo fotovoltaico particular, as configurações de instalação eléctrica irão depender do inversor instalado. A questão começa assim a ficar interessante. Qual destas configurações tem a maior eficiência? Qual é a solução mais prática do ponto de vista económico? Estas são questões para as quais os métodos empíricos e a experiência muitas vezes não são suficientes.

#### Quais são as tarefas que podem ser executadas por um programa?

O principal objectivo de um programa consiste em dar apoio na concepção dos diferentes sistemas fotovoltaicos.

Os resultados da simulação podem ser fundamentais na apresentação do orçamento e do projecto ao cliente (venda e marketing). Os investidores potenciais e os operadores de sistemas fotovoltaicos, irão querer saber qual a solução ideal para o sistema, a eficiência global do sistema (estimativa da energia produzida, viabilidade económica de cada uma das soluções técnicas propostas, ...) e o nível de redução de emissões. A determinação prévia da energia produzida e da redução das emissões, bem como o cálculo dos indicadores económicos, que são alguns dos aspectos positivos dos sistemas fotovoltaicos, proporcionam normalmente fortes argumentos do ponto de vista comercial.

Inicialmente, o orçamento, o planeamento e o desenho dos sistemas eram frequentemente baseados nos exemplos do passado e na experiência. Hoje é possível poupar tempo e dinheiro com a utilização apropriada dos computadores. Para além do rigor dos resultados, o dimensionamento do sistema e a previsão da energia produzida podem ser rapidamente calculados. Cada solução poderá assim ser simulada por forma a ser encontrada a melhor escolha do ponto de vista energético, económico e ecológico. Alguns programas compilam o esquema da instalação, as características e os resultados dos cálculos num relatório pronto para ser impresso.

No entanto, a simulação não substitui o desenho nem a estimativa da energia produzida nas fases preliminares por parte de um técnico. Para além do poderoso programa de simulação, é necessário o conhecimento de um especialista, no sentido de se poder obter resultados de simulação que sejam realistas. Só desta forma será possível conseguir-se a optimização de grandes ou complexos sistemas.

A qualidade dos resultados da simulação depende do rigor dos parâmetros introduzidos e do método de simulação utilizado. Se forem introduzidos dados errados num computador, o resultado será uma série

impressionante de dados que não fazem qualquer sentido. Os resultados da simulação devem ser avaliados de forma crítica e não se deve confiar neles cegamente. É importante escolher o programa certo para cada tarefa particular, dado que o tempo dedicado à aprendizagem do programa não servirá de nada se o programa não for adequado para a tarefa que tivermos em mente.

## 7.2 Avaliação dos resultados da simulação

Enquanto que na maioria dos países industrializados os sistemas fotovoltaicos com ligação à rede estão fortemente difundidos, nos países em vias de industrialização são predominantes os sistemas fotovoltaicos autónomos.

A ocorrência de erros de desenho num sistema ligado à rede, afecta substancialmente a funcionalidade do sistema e a viabilidade económica do projecto.

Nos sistemas autónomos, o mau dimensionamento resulta em falhas grosseiras do sistema. Uma das consequências directas mais frequentes, é o envelhecimento prematuro das baterias. No caso de se verificar o sobredimensionamento do sistema, levará a maiores custos de investimento, os quais poderão ser muito significativos.

A utilização de programas de simulação poderá evitar estes diferentes tipos de problemas. No entanto, há que ter a noção de que o leque de erros que podem resultar da utilização de programas de simulação, também pode ser significativo. O primeiro passo deve sempre consistir na completa caracterização do sistema que está a ser simulado. A introdução de dados incorrectos e os respectivos cálculos com resultados errados, são frequentes nos programas complexos, sobretudo no caso dos utilizadores inexperientes.

Alguns programas como o **PV\*SOL** e o **PVS**, fazem a validação dos principais parâmetros introduzidos, mas não garantem que todos os erros sejam evitados. O **SolEm**, por exemplo (à semelhança do processo de validação dos dados de entrada), proporciona perspectivas adicionais sobre a frequência de particulares estados de funcionamento, permitindo que se reconheçam rapidamente situações de sobredimensionamento.

Os algoritmos dos programas podem apresentar cálculos insuficientes, o que por sua vez também pode causar falsos resultados. É fácil entender porque é que os programas de computador originam erros - apenas temos de pensar no volume de sistemas operacionais ou nos aplicativos do "Office", que têm centenas de programadores envolvidos no seu desenvolvimento. Em comparação, os programas de simulação de sistemas solares são desenvolvidos por um técnico ou por pequenas equipas de trabalho.

O reduzido número de unidades vendidas, a ausência de reclamações dos erros que ocorrem e a pressão na manutenção do preço de venda, impedem maiores desenvolvimentos e revisões depois do lançamento do software. As dificuldades iniciais (tais como o colapso do programa) encontram-se hoje resolvidas, tendo sido concluído também um trabalho de validação dos programas.

No entanto, o resultado dos programas de simulação deverá ser sempre comparado com anteriores resultados. Para os sistemas com ligação à rede, o rácio de performance **PR** ou a energia anualmente produzida em função da potência instalada **E** (em **kWh/kWp**), proporciona uma boa referência (ver capítulo 5). Estes parâmetros de avaliação estão disponíveis na maioria dos programas. Para os sistemas fotovoltaicos em Portugal, o rácio de performance deve ser maior do que **1,1** e a energia anualmente produzida deve ser superior a **1.100 kWh/kWp**. Contudo, uma inclinação desfavorável do sistema (na integração em telhados ou nas fachadas), ou a presença de sombras, afectam a quantidade de energia que é possível gerar. Neste caso, se os resultados forem significativamente superiores a **1.500 kWh/kWp** ou significativamente inferiores a **500 kWh/kWp**, poderá assumir-se que os valores introduzidos estão incorrectos, ou que o desempenho do sistema é largamente prejudicado pela envolvente.

Os resultados do cálculo para sistemas fotovoltaicos autónomos, são mais difíceis de conferir. Neste caso, os resultados podem ser comparados, através de regras empíricas que se baseiam na relação entre o gerador fotovoltaico, o acumulador de energia e as cargas (ver capítulo 6), ou então com base na experiência adquirida nos anteriores sistemas instalados.

### 7.3 Simulação de sombreamentos

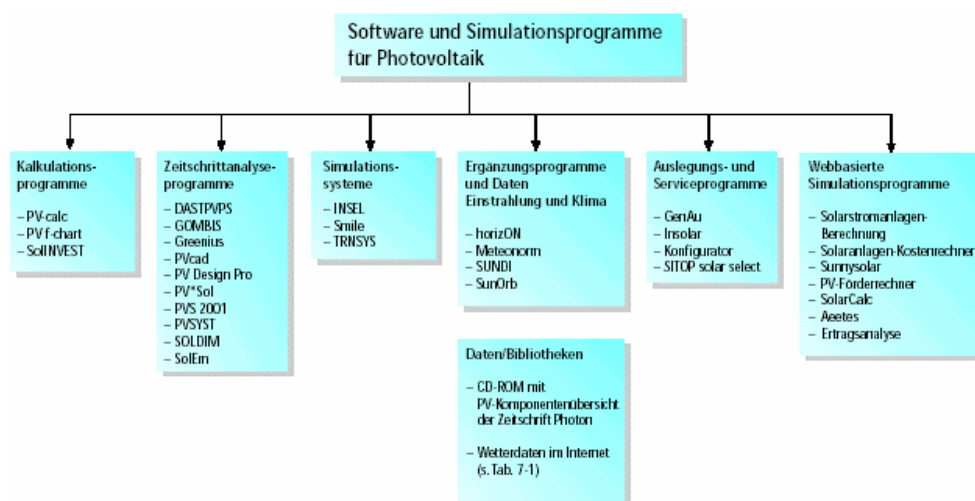
No programa dos “1.000 telhados” que foi promovido na Alemanha, o sombreamento foi responsável por mais de **30 %** das perdas de energia nos sistemas fotovoltaicos. O efeito do sombreamento da superfície do módulo acaba geralmente por provocar perdas que são sempre superiores ao que inicialmente estava previsto (ver capítulos 4 e 5). A análise de sombreamentos é assim factor crítico nas simulações dos sistemas fotovoltaicos.

Por outro lado, a qualidade de cada programa varia consideravelmente. Enquanto que no **SOLDIM** e no **GOMBIS** as perdas de sombreamento são estimadas pelo utilizadores, nos programas **PVS** e **PV\*SOL** a sombra horizontal pode ser introduzida graficamente. No entanto, é assumido que a sombra cobre por igual todo o gerador fotovoltaico. Podem ser realizados cálculos similares para as perdas de radiação solar utilizando o programa **SUNDI**.

Os programas **PVSYST** e **Pvcad**, permitem uma análise tridimensional do sombreamento que pode ainda ter em conta os seus contornos não homogéneos. Contudo, esta maior precisão implica uma descrição mais complexa da área circundante e a possibilidade da ocorrência de erros.

### 7.4 Análise geral do mercado e classificação dos programas de simulação

Com o intuito de oferecer um panorama geral do mercado, os programas de simulação podem ser classificados de acordo com os métodos de programação e de cálculo.



**Figura 7.1 - Classificação do software e dos programas de simulação para sistemas fotovoltaicos**

O método de programação determina a precisão, os dados a introduzir, a flexibilidade, o âmbito de aplicação, a velocidade de processamento (actualmente já não é um problema, graças aos computadores cada vez mais potentes) e o custo do programa. Quanto maior for a flexibilidade de um programa, maior será o número de solicitações ao utilizador.

### 7.5 Descrição dos programas

Na presente secção será apresentada uma selecção dos programas mais importantes de simulação que se encontram disponíveis. Para além da informação geral sobre o programa, é discutido o campo de operação, a facilidade de uso e as principais características do programa. São também apresentados exemplos sob a forma de imagens de ecrã (imagem da interface do software com o utilizador), com o objectivo de se dar uma impressão visual do programa.

Na maioria dos programas, uma versão de demonstração gratuita está disponível e pode, nalguns casos, ser conseguida a partir da Internet. Na escolha do programa de simulação, são factores importantes o tipo de aplicação solar, o âmbito de intervenção ou o campo de aplicações do programa. É importante definir qual o tipo de sistema ou a configuração do sistema que desejamos simular: sistema montado no telhado, sistema integrado no telhado, sistema autónomo, sistema híbrido fotovoltaico, sistema fotovoltaico para bombagem de água ou se um sistema ligado à rede.

Os dados do programa, os parâmetros, os dados meteorológicos e dos componentes, os detalhes da meio envolvente do sistema e finalmente o âmbito de intervenção, devem ser obtidos das breves descrições e das tabelas. Os populares programas **PV\*SOL**, **PVS** e **SolEm**, são tratados em maior detalhe, ainda que nenhum destes possua uma interface CAD (Desenho Assistido por Computador).

Com a crescente integração da tecnologia fotovoltaica nos edifícios, os programas que oferecem as facilidades CAD, como é o **PVcad**, virão a ser utilizados com maior frequência. Por este motivo, os fabricantes de módulos são chamados a disponibilizar os ficheiros CAD dos módulos nos respectivos sites da Internet.

### 7.5.1 Programas de cálculo

A primeira categoria compreende o grupo constituído por programas de cálculo ou de análise elementar. Estes programas são baseados em métodos estatísticos, em combinação com cálculos simples. Na maioria dos casos, os resultados são baseados em valores mensais. Os programas de cálculo são orientados por aplicação e fornecem resultados de forma expedita. No entanto, em geral são menos flexíveis e podem ser apenas utilizados para sistemas standard. O programa americano **PV F-chart** e o simples programa de cálculo em DOS, **PV-calc**, não são abordados com profundidade por serem pouco utilizados. No capítulo 6 é apresentado um programa que permite dimensionar simples sistemas autónomos. Devido à sua estrutura simplificada, os processos de computação são adequados para o seu uso nos programas de simulação baseados na internet (ver capítulo 7).

### 7.5.2 Programas de simulação por passo de tempo

Os programas de simulação por passo de tempo, são amplamente utilizados devido ao seu largo âmbito de aplicação. Estes programas utilizam modelos que pretendem reproduzir, o mais fielmente possível, o sistema real. O comportamento do programa é calculado com base em séries temporais de dados meteorológicos, que normalmente têm uma resolução definida em intervalos de uma hora. Os modelos foram implementados para vários componentes, tal como módulos fotovoltaicos, inversores, baterias e cargas, permitindo obter numerosas variantes do mesmo sistema.

Este sistema é simulado em intervalos de uma hora ou inferiores a uma hora, utilizando dados de irradiação solar, de temperatura e, caso se aplique, valores de consumo para um período típico simulado (normalmente um ano). Estes programas requerem mais tempo de processamento do que os programas de cálculo. Contudo, a crescente capacidade de processamento dos últimos computadores, implica que esta desvantagem deixou de fazer sentido. Os programas de simulação por passo de tempo são consideravelmente mais flexíveis do que os programas de cálculo. No entanto, a simulação por passo de tempo também tem os seus limites, devido aos métodos implementados. Para simular novas configurações de um sistema ou investigar parâmetros muito específicos, normalmente não existe outra opção do que especificar o sistema no programa de simulação.

## **DASTPVPS**

O dimensionamento ideal de um sistema fotovoltaico de bombagem de água é um assunto complexo. Como resultado foi desenvolvido o software para PC **DASTPVPS** (Instrumento de Desenho e Simulação para Sistemas fotovoltaicos de bombagem de água).

O **DASTPVPS** é um pacote de software utilizado para dimensionar, simular e identificar defeitos nos sistemas fotovoltaicos para bombagem de água. O programa foi desenvolvido na Universidade de Bundeswehr (Universidade Federal das Forças Armadas) em Munique, na Alemanha.

O pacote **DASTPVPS** compreende cinco módulos: treino, dimensionamento, simulação AC, simulação DC e diagnóstico. O programa permite dimensionar, em conjunto com a tubagem, o gerador fotovoltaico, o inversor (quando aplicável), o motor AC ou DC, o parafuso excêntrico ou o êmbolo da bomba, assim como simular o sistema fotovoltaico para bombagem de água em geral.

O módulo de treino é utilizado para explicar o modo básico de funcionamento de um sistema fotovoltaico. O módulo de dimensionamento ajuda o Engenheiro a dimensionar o sistema mais adequado. No módulo de simulação AC, o comportamento operacional de um sistema fotovoltaico AC de bombagem de água é calculado para várias configurações e dados de irradiação. O módulo de simulação DC permite a simulação de sistemas DC de bombagem de água com ligação directa ao gerador solar (sem controlador **MPP**). O módulo de diagnóstico oferece a possibilidade de análise do sistema e de validação dos resultados. Estes últimos são expostos sob a forma de gráficos e de tabelas.

O **DASTPVPS** inclui uma extensa biblioteca de dados de irradiação, de módulos fotovoltaicos e de grupos motor/bomba. Mas o utilizador pode também introduzir os seus próprios dados directamente na base de dados de componentes. O **DASTPVPS** é uma aplicação suportada pelo sistema operativo DOS, mas que pode correr em Windows.

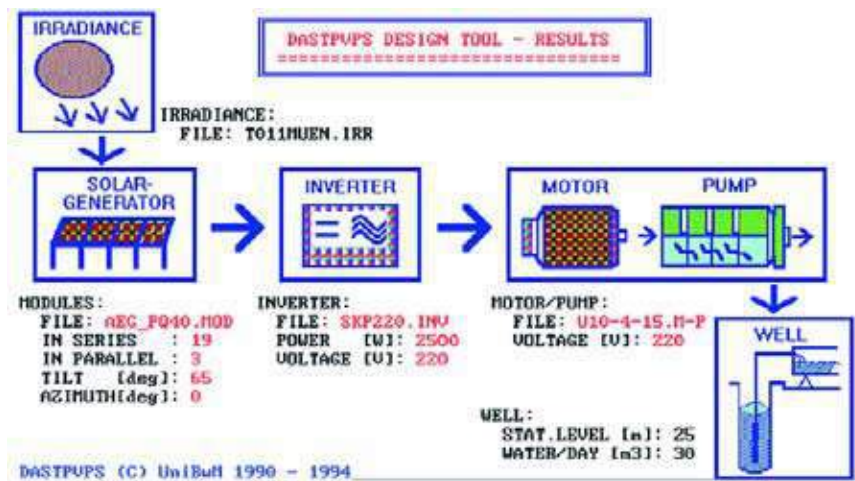


Figura 7.2 - Resultados do dimensionamento no **DASTPVPS**

## Greenius

O programa de simulação **Greenius** está disponível no mercado desde Julho de 2002. O programa está a ser desenvolvido pelo Centro Aeroespacial Alemão, DLR (Deutsches Zentrum für Luft – und Raumfahrt e.V.), no seu posto “Plataforma Solar de Almería” em Espanha, sendo subsidiado pelo programa Altener da União Europeia. Este programa de simulação é principalmente aplicado nos projectos de grandes centrais de produção com base em fontes de energia renováveis. À semelhança dos sistemas fotovoltaicos, o programa também pode simular parques eólicos e vários tipos de centrais solares termoeléctricas.

No **Greenius**, a central produtora é definida a partir dos respectivos dados de localização e dos parâmetros tecnológicos e económicos. Pode aceder-se aos dados de diferentes locais a partir da base de dados meteorológica do **Greenius**. Alternativamente, pode ser completada com dados meteorológicos pessoais. As simulações técnicas ocorrem por períodos de um ano com intervalos de uma hora e mostram, por exemplo, a potência fornecida pela central a cada hora.

Para além de simulações técnicas, podem ser executados extensivos cálculos económicos. Isto faz do **Greenius** um importante instrumento para desenhar e planear projectos de centrais produtoras baseadas em fontes de energia renováveis. O programa inclui ainda um aplicativo que permite dimensionar sistemas fotovoltaicos com ligação à rede pública eléctrica.

O programa foi concebido para projectistas que para além do detalhe dos resultados técnicos, procuram também análises económicas baseadas em indicadores chave que resultem de extensas análises do fluxo de caixa. Em comparação com os restantes programas, o cálculo da eficiência económica é dos

mais versáteis. Estão disponíveis numerosas interfaces para exportar resultados e gráficos para outras aplicações Windows.

O **Greenius** permite comparações entre tecnologias para diferentes fontes de energia renováveis, o que o torna um programa particularmente apropriado para empresas de projectistas que se concentram no mercado internacional. Uma versão de baixo custo do programa está disponível para fins de formação. O **Greenius** está, até agora, apenas disponível em inglês. O próximo lançamento está actualmente em desenvolvimento.

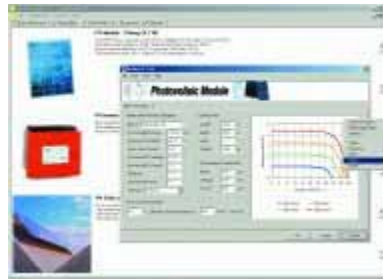


Figura 7.3 - Especificações de uma instalação fotovoltaica no **Greenius**

### PV-DesignPro (Solar Studio Suite)

O programa de simulação **PV-Design Pro** compreende três variantes, nomeadamente para a simulação de sistemas autónomos, de sistemas com ligação à rede e de sistemas fotovoltaicos para bombagem de água.

Para os sistemas autónomos, podem ser integrados no sistema fotovoltaico um gerador de apoio e um gerador eólico, sendo feita uma análise de sombreamentos. O sistema pode ser optimizado através da variação dos parâmetros individuais, e efectua cálculos detalhados para a obtenção de dados operacionais e das curvas características. As extensas bases de dados climáticas e de componentes (módulos) também deixam um pouco a desejar.

O programa de simulação **PV-Design Pro** está incluído no **Solar Studio Suite**, bem como programas de cálculo de sistemas solares térmicos, aplicativos para o cálculo da posição do sol e dados meteorológicos. Apesar do **Solar Studio Suite** ser um dos programas mais completos deste panorama, o seu preço supera largamente a maioria dos produtos da concorrência. Para os utilizadores que se sentem confortáveis com a versão inglesa, o pacote de programas do Hawai será uma boa alternativa às opções Europeias.

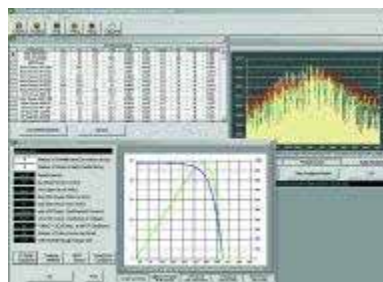
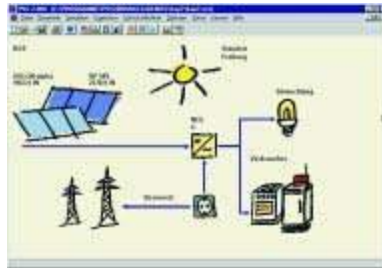


Figura 7.4 - Gráfico das curvas características para uma determinada instalação fotovoltaica no **PV-DesignPro**

### PVS

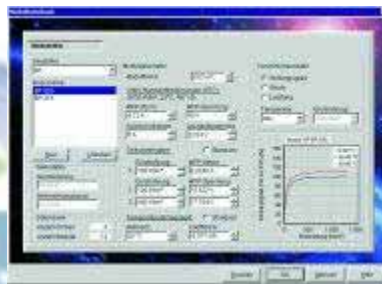
O **PVS** foi desenvolvido no Instituto Fraunhofer de Sistemas de Energia Solar em Freiburg e é comercializado a partir de Freiburg (Alemanha), pela empresa Econzept. O **PVS** é um programa profissional controlado por um menu, que permite simular e dimensionar sistemas fotovoltaicos ligados à rede, assim como sistemas autónomos.

No **PVS** pode ser observado, com a ajuda dos resultados da simulação, a influência que as variáveis de entrada (irradiação, temperatura do módulo e consumo) têm no comportamento operacional do sistema. É ainda possível observar as principais interdependências: o método de operação do gerador solar e a função do sistema de controlo.



**Figura 7.5 - Principal menu do PVS para a simulação de sistemas com ligação à rede**

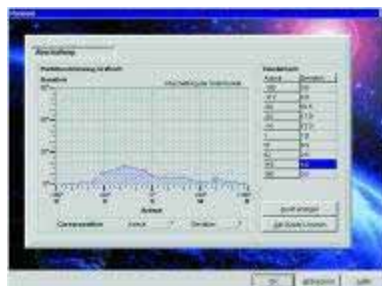
O comportamento dos componentes do sistema é descrito através de modelos de eficiência, que estão caracterizados por um número reduzido de parâmetros que precisam de ser especificados pelo utilizador. Podem ser simuladas configurações típicas do sistema tais como sistemas DC, sistemas AC com ou sem gerador de apoio e sistemas com ligação à rede. Para os sistemas autónomos pode, por exemplo, ser definida a rejeição de carga e visualizada a frequência da distribuição dos níveis de carga da bateria.



**Figura 7.6 - Menu da base de dados dos módulos no PVS**

Nas bases de dados dos módulos fotovoltaicos e dos inversores, podem ser acrescentadas as características de novos produtos. Actualmente existe um número limitado de módulos e inversores integrados no programa. Os dados mais recentes dos componentes (actualmente só existe uma base de dados de módulos), podem ser periodicamente actualizados através de uma base de dados disponível na Internet.

É possível introduzir dois campos fotovoltaicos com diferente orientação. No entanto, só é possível utilizar um tipo de inversor por sistema. No processo de dimensionamento, todos os valores introduzidos para cada parâmetro são analisados e confirmados. Se o inversor e o gerador fotovoltaico estiverem incorrectamente dimensionados, surge uma mensagem de erro.



**Figura 7.7 - Editor de sombras no PVS**

Os dados de entrada necessários para a simulação da irradiação são fornecidos pela aplicação lógica que processa a radiação e que está integrado no **PVS**. Para além dos valores médios mensais calculados a partir da irradiação diária, são ainda necessários dados de temperatura. Esta informação é fornecida pela base de dados que integra o software.

Também está integrada uma ferramenta que permite comparar as variações que resultam de diferentes ângulos de inclinação. Para tomar em consideração o sombreamento, é disponibilizado um editor de sombras. Este componente permite introduzir o contorno da sombra utilizando o cursor. Como característica adicional, pode otimizar-se o espaçamento entre as várias filas de módulos nos sistemas inclinados.

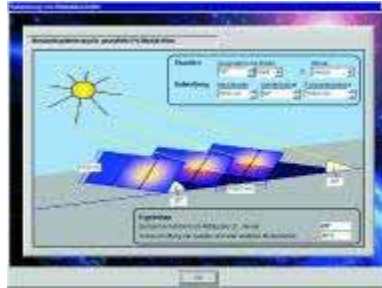


Figura 7.8 - Otimização do espaço para sistemas inclinados

O software é completado com um menu para o cálculo da eficiência económica do sistema. Neste cálculo são considerados os subsídios e a tarifa especial de venda de energia eléctrica para a rede. Os resultados são impressos em três formatos: sob a forma de um relatório resumido, de uma apresentação detalhada e de uma representação do comportamento do sistema. Para além disso, oferece ainda a possibilidade de comparar diferentes sistemas. A viabilidade económica é demonstrada num relatório. Posteriormente, é possível armazenar os valores da simulação horária num ficheiro **ASCII**, permitindo maiores avaliações com outras aplicações lógicas.

Está actualmente em desenvolvimento uma nova versão, sendo antecipada uma nova estruturação do núcleo do programa e o aperfeiçoamento do subprograma que simula os sistemas fotovoltaicos autónomos. O maior enfoque será o modelo da bateria, tendo em conta os modos de funcionamento, o seu comportamento ao longo da sua vida útil, as perdas e os sistemas de controlo, para além da integração de uma análise e de uma optimização automática de custos, com a capacidade de auto-configurar complexos sistemas autónomos.

## PV\*SOL

O **PV\*Sol** é um programa de simulação por passo de tempo que se tornou largamente utilizado e que foi desenvolvido pela empresa Dr. Valentin Energie Software GmbH de Berlim, que também desenvolveu o conhecido programa **T\*SOL** para sistemas solares térmicos. O **PV\*SOL** permite o desenho e a simulação de sistemas fotovoltaicos com ligação à rede e de sistemas autónomos. Nos últimos anos, este programa tem sofrido melhoramentos constantes, atingindo um nível funcional que faz dele uma ajuda extremamente útil para os profissionais que trabalham com o fotovoltaico.

Com o seu expedito instrumento de desenho, o programa permite o fácil dimensionamento, fornecendo os principais resultados da simulação a uma velocidade impressionante. Os utilizadores mais entendidos beneficiam das diversas funções que o programa oferece para a optimização dos sistemas. Neste programa são considerados aspectos tais como os efeitos da temperatura, da variação do erro de cálculo e da dispersão dos dados característicos.



Figura 7.9 - Menu principal para a simulação de sistemas fotovoltaicos com ligação à rede no **PV\*SOL**



a forma de relatórios e de gráficos. Os resultados podem ser visualizados em tabelas e gráficos com resoluções definidas para intervalos inferiores a uma hora.



Figura 7.13 - Apresentação de resultados no PV\*SOL

Os resultados da simulação podem ser fornecidos sob a forma de um extenso relatório de projecto ou processados noutras aplicações. O **PV\*SOL** permite ainda cálculos exaustivos ao nível da análise económica, tendo em conta todos os possíveis subsídios, tarifários e modelos de venda da energia eléctrica injectada na rede. Calcula ainda as emissões de gases poluentes para a atmosfera. O programa tem uma interface directa com o programa **METEONORM** para a síntese dos dados meteorológicos e com o programa **horizOn** para o cálculo da linha do horizonte.

O **PV\*SOL** está disponível numa “Versão N” simplificada, que serve unicamente para simular sistemas fotovoltaicos com ligação à rede. A versão “Profissional” contém, para além desta unidade de simulação, os modelos e bibliotecas para a simulação de sistemas fotovoltaicos autónomos. Está também disponível uma versão multilíngue do **PV\*SOL**, onde é possível mudar livremente a língua, mesmo durante o funcionamento da aplicação.



## PVSYST

A extensa funcionalidade do **PVSYST**, que é constantemente submetido a novos desenvolvimentos pela Universidade de Génova, faz dele um dos mais potentes e completos programas desta análise. Contudo, o **PVSYST** é também relativamente difícil de utilizar.

A versão actual não só é mais acessível para o utilizador, como também tem um melhor desempenho. O **PVSYST** funciona agora numa “perspectiva multinível”. Existem diferentes níveis de aplicação com diferentes funcionalidades que correspondem aos variados grupos de utilizadores, tais como Arquitectos, Engenheiros e Cientistas, com as suas diferentes expectativas e conhecimentos.

O programa oferece um largo leque de funcionalidades, dos quais se destaca o instrumento tridimensional para o cálculo do sombreamento, a possibilidade de importar dados de medição para comparar directamente os valores medidos e os valores simulados, e uma caixa de ferramentas para a geometria solar, a meteorologia e o comportamento operacional do sistema fotovoltaico. Pretende-se que o próximo lançamento do **PVSYST** (versão 3.2), também simule módulos solares amorfos.

O programa está apenas disponível em Inglês e Francês. Uma característica agradável para o utilizador, consiste no suporte “on line” (em ligação com a rede de transmissão de dados), linha que permite contactar o autor do programa directamente via e-mail, assim como participar num fórum “on line” para utilizadores. Para efeitos de teste, pode ser conseguida a versão total do programa pela Internet. Esta versão pode ser testada por um período máximo de dez dias.

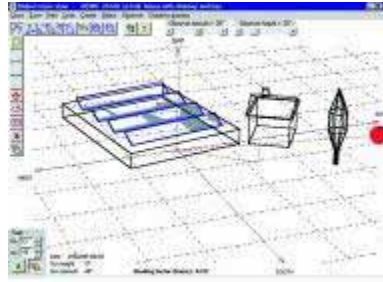


Figura 7.14 - Interface gráfica do usuário para a análise tridimensional do sombreamento com o **PVSYST**

Para além da simulação de sistema autónomos com geradores de apoio e sistemas com ligação à rede, o **PVSYST** é também capaz de fazer análises especiais. Pode ser utilizado para calcular as curvas características dos módulos fotovoltaicos quando existe sombreamento parcial, o que permite, por exemplo, determinar a carga térmica dos módulos solares. Para além disso, para efeitos de simulação, é possível determinar e expor numerosos parâmetros, tais como dados meteorológicos, tensões e correntes eléctricas, quantidades de energia e desempenhos. O **PVSYST** permite também a análise tridimensional da sombra.

## SOLDIM

O programa **SOLDIM** pode ser utilizado para a concepção de sistemas fotovoltaicos autónomos e de sistemas com ligação à rede. O **SOLDIM** integra módulos **STASYS** e **IN-GRID**, bem como bases de dados e ferramentas para suporte. O **IN-GRID** foi desenvolvido para o planeamento e a análise económica de sistemas fotovoltaicos ligados à rede. O Módulo **STASYS** pode ser utilizado para o desenho de sistemas fotovoltaicos autónomos.

O **SOLDIM** consiste num híbrido entre um programa de cálculo e um programa de análise por passo de tempo. Para a simulação são utilizados valores médios mensais e alguns valores diários que variam sempre para a hora mais próxima. A rapidez do cálculo, as composições individuais das janelas Windows de introdução de dados, as bases de dados e as listagens dos custos dos artigos, fazem do **SOLDIM** um suporte útil para aquisição e consulta pelo cliente. O programa permite aos utilizadores experimentados fazer cálculos rápidos e fiáveis e comparar várias configurações de sistemas.

Os utilizadores podem comprar o **SOLDIM** como um completo pacote de software ou simplesmente comprar os módulos em separado. Tanto o **SOLDIM** como os módulos que o compõem estão disponíveis em Alemão e em Inglês. Uma nova versão **SOLDIM**, o **Visual PV Studio**, está actualmente a ser desenvolvido em profundidade. Nesta versão, a estrutura modular do **SOLDIM** deverá fornecer um pacote que inclua módulos para o desenho de sistemas fotovoltaicos autónomos, híbridos, para bombagem de água e para sistemas com ligação à rede, assim como uma caixa de ferramentas.



Figura 7.15 - Menu principal do **SOLDIM** para o cálculo de sistemas fotovoltaicos com ligação à rede

## SolEm

O programa de simulação **SolEm** foi apresentado aos profissionais pela primeira vez em Março de 2001. Desde então o programa estabeleceu-se com sucesso no mercado, tendo recebido numerosos prémios.

O **SolEm** proporciona um modo barato e fácil de analisar sistemas fotovoltaicos com ligação à rede. Em contraste com os outros programas apresentados, o **SolEm** está baseado no MS-Excel da Microsoft. A interface entre o Excel e o código fonte VBA, permite que o programa seja transparente e facilmente adaptado pelos utilizadores. O código fonte aberto suporta a ideia de ser um programa de simulação que pode ser personalizado ou melhorado pelo utilizador, como é normal na comunidade Linux. Por este motivo, o **SolEm** fornece assim uma interface ideal para a sua expansão.

A navegação no programa é semelhante à das páginas de internet. Dada a qualidade da interface do programa com o utilizador, os itens do menu são muito intuitivos.



Figura 7.16 - Folha principal de cálculo no **SolEm**

O **SolEm** inclui extensas bases de dados de módulos, de inversores e de estruturas de montagem, com capacidades de expansão e de modificação, bem como funções úteis de busca.



Figura 7.17 - Folha de Trabalho do Gerador Solar no **SolEm**

Actualmente, a base de dados meteorológica compreende mais de cem locais, permitindo a importação de dados meteorológicos de outros locais a partir do **METEONORM** ou de dados de medição.

As funções de desenho permitem três orientações diferentes (número de módulos, área do módulo e produção). Juntamente com o teste da validade dos valores introduzidos, os testes de potência, da corrente e da tensão, facilitam o correcto dimensionamento do sistema. São determinadas e apresentadas a frequência dos diferentes estados operacionais do inversor e a relação inversor-gerador fotovoltaico. O módulo de desenho é capaz de otimizar o sistema através destas ferramentas úteis. O dimensionamento do cabo AC e DC é também facilitado, uma vez que permite a selecção entre a definição da queda de tensão ou da secção transversal do cabo.

Para além do tipo de montagem e do sombreamento horizontal, o **SolEm** também toma em consideração os vários parâmetros operacionais do sistema – desde a temperatura dos módulos e o comportamento para uma carga parcial, até à eficiência dos inversores e às perdas de linha. Consequentemente, a simulação por passo de tempo num sistema fotovoltaico com ligação à rede é neste caso muito precisa. O **SolEm** fornece também considerável informação sobre a qualidade técnica e operacional das configurações do sistema fotovoltaico simulado. É possível escolher entre dois algoritmos diferentes de simulação para calcular a irradiação em superfícies inclinadas. Os resultados são expostos em várias folhas de resultados na forma de gráficos e de tabelas.

A análise económica permite que seja efectuado o prognóstico sobre o balanço da energia solar, os custos de produção da electricidade, a amortização e a taxa de crédito. Neste caso são considerados factores de custo, tabelas de preços, subsídios, tarifários especiais, impostos, entres outros parâmetros financeiros.



Figura 7.18 - Cálculo de viabilidade económica no SolEm

O **SolEm** permite ajudar vários tipos de utilizadores a determinar o desenho e a energia produzida. O **SolEm** torna o desenho do sistema facilmente perceptível e, devido à sua adaptabilidade, pode ser implementado em aplicações de maior complexidade.

### 7.5.3 Simulação de sistemas

Os programas de simulação de sistemas, são necessários para simular sistemas que vão para além dos limites dos programas de simulação por passo de tempo, ou no caso de se pretender calcular novas variantes de componentes e de sistemas. Estes programas permitem que a simulação individual dos módulos seja definida e implementada nos cálculos. Neste caso, o utilizador define o método de simulação através de uma fórmula ou linguagem de simulação orientada para o diagrama.

O sistema de simulação de sistemas fotovoltaicos mais conhecido é o **INSEL**. O **SMILE**, que foi desenvolvido na TU de Berlim, também entra nesta categoria de programas. Os sistemas fotovoltaicos podem ainda ser simulados com o **TRNSYS**, um sistema de simulação utilizado na simulação da eficiência energética de edifícios e no sector do solar térmico. Os sistemas de simulação utilizados no sector electrónico, como o **PSpice**, também podem atingir bons resultados de simulação se forem introduzidos os circuitos equivalentes das células solares.

No entanto requerem um treino considerável, por forma a que seja possível aproveitar a maioria das vantagens fornecidas, tal como a sua grande flexibilidade. Nos programas profissionais de simulação por passo de tempo com interfaces acessíveis para o utilizador, mesmo utilizadores com pouca experiência com computadores, podem executar a simulação de um sistema em poucas horas. Por outro lado, com os programas de simulação, o período de treino pode alastrar-se durante vários dias ou semanas. Consequentemente, são mais apropriados para efeitos de investigação e desenvolvimento.

### INSEL

O ambiente de simulação **INSEL**, que foi desenvolvido na Universidade de Oldenburg, está no mercado há uma década. Uma linguagem de simulação orientada para blocos foi desenhada para o **INSEL**, estando especialmente talhada para simular sistemas que utilizam fontes de energia renováveis. São implementados numerosos modelos no interior dos vários blocos, de células solares, inversores, baterias, geradores eólicos, sistemas para bombagem de água e centrais solares termoeléctricas.

Os vários blocos podem ser combinados visualmente com a interface **HP VEE**. O **INSEL** inclui uma base de dados de radiação que contém os valores médios mensais de cerca de dois mil locais em todo o mundo.

O **INSEL** é particularmente apropriado para efeitos de investigação, de simulação de aplicações especiais, de análise detalhada dos resultados das simulações e para profissionais que precisam de considerável flexibilidade.



Figura 7.19 - Simulação de um sistema doméstico solar no ambiente de simulação do INSEL

## SMILE

A Universidade Técnica de Berlim e a companhia GMD First, têm vindo a desenvolver o ambiente de simulação **SMILE** desde 1990. O **SMILE** é utilizado maioritariamente para simular e otimizar sistemas complexos de conversão energética. O ambiente de simulação **SMILE** inclui uma linguagem de simulação orientada para objectos e fórmulas com capacidade de tradução, um sistema de execução (runtime system), um “solucionador” numérico, uma estrutura de planeamento otimizada e uma biblioteca de componentes. Esta última proporciona um conjunto básico de modelos que descrevem a maioria dos conversores de energia e as suas combinações, e permite ao utilizador reunir, simular e otimizar, um sistema energético segundo o princípio dos blocos estruturais.

A orientação para blocos e fórmulas permite que os vários módulos sejam facilmente integrados e os módulos existentes facilmente expandidos. As áreas de aplicação do **SMILE** estendem-se à utilização da energia solar térmica, ao aquecimento e ar condicionado, à simulação térmica de prédios, às redes hidráulicas e à tecnologia das centrais energéticas. No campo do fotovoltaico, estão implementados vários modelos para os módulos fotovoltaicos e inversores. Contudo, o **SMILE** não possui interfaces gráficas nem descrição dos resultados. Actualmente, o **SMILE** apenas está disponível para as plataformas UNIX. Para um uso não comercial, pode ser gratuitamente disponibilizado através da Internet.

## TRNSYS



O **TRNSYS** foi desenvolvido em 1974, no Laboratório de Energia Solar da Universidade de Wisconsin (Madison, USA), tendo vindo a ser melhorado desde então. O **TRNSYS** é hoje em dia líder do mercado entre os sistemas de simulação térmica. Permite a avaliação dos conceitos de racionalização dos consumos de energia e do consumo activo e passivo da energia solar. Apesar da simulação estar focada em sistemas térmicos, o ambiente da simulação **TRNSYS** também permite a inclusão de modelos fotovoltaicos. Contudo, a interface gráfica do utilizador raramente suporta a simulação dos sistemas fotovoltaicos. Dado que o **TRNSYS** requer um grande período de aprendizagem, é apenas recomendado para utilizadores que tenham experiência em sistemas de simulação.

### 7.5.4 Complemento dos programas e fontes de dados

Estas categorias incluem programas para cálculos de irradiação, para a análise de sombreamentos, bem como bibliotecas de componentes e dados meteorológicos. Os programas de simulação que permitem a introdução de novos dados de localização incluem, por exemplo, o **horizon**, o **METEONORM**, o **SHELL SOLAR PATH** e o **SUNDI**. Estes programas permitem ainda a produção de dados de radiação e descrições dos diagramas da trajectória solar ou a análise de sombreamentos. Dados meteorológicos suplementares podem ser adquiridos “on line”.

## horizon

A actual versão **2.0** do **horizon**, é comercializada pela empresa Energiebüro de Zurich. Este programa está focado no cálculo da linha do horizonte e da trajectória solar. Baseia-se em fotografias digitais que são combinadas até ao milímetro, por forma a constituir um panorama de **360°**. O horizonte calculado pode ser impresso com a prática função de impressão, ou exportado para um dos seguintes formatos de programas: **METEONORM**, **PV\*SOL** e **PVSYST**. A interface com o utilizador é muito simples e está claramente estruturada. O software é na sua generalidade apropriado para aqueles que desejam determinar de um modo preciso a linha do horizonte, sem ter de despendar muito tempo e esforço.



Figura 7.20 - Determinação da linha do horizonte com o programa de suporte horizonON

## METEONORM

A Oficina Federal de Energia Suíça (BEW), encomendou à companhia Meteotest, sediada em Berna, o desenvolvimento do programa **METEONORM**, com vista à execução de cálculos com dados meteorológicos.

Ainda que a maioria dos programas possuam uma extensa biblioteca de dados meteorológicos para variadíssimos locais, frequentemente as características das localizações têm de ser simuladas por não existirem dados disponíveis sobre elas. Com o **METEONORM**, é possível calcular a radiação global necessária e os dados da temperatura para qualquer parte do mundo. Para além destes parâmetros, também é possível determinar a humidade relativa, bem como a velocidade e direcção do vento.

No **METEONORM** foram integradas várias bases de dados de qualidade, para criar uma única base de dados mundial para a simulação de sistemas energéticos. Utilizando a interpolação espacial baseada nesta extensa base de dados, que inclui actualmente os dados meteorológicos de 2.400 estações meteorológicas espalhadas por todo o mundo, os dados pretendidos podem ser calculados para os locais desejados em intervalos de uma hora. Os resultados das subseqüentes simulações é fornecido em intervalos horários com 16 formatos diferentes à escolha, bem como com formatos previamente definidos pelo utilizador. Os dados obtidos podem também ser apresentados na forma gráfica e impressa.

Para os dados de temperatura e de irradiação registados individualmente, o programa permite que os cálculos estatísticos sejam usados para criar séries temporais numa base mensal ou horária, para qualquer período de tempo e para qualquer local específico. Também permite ter em consideração as áreas inclinadas e a presença de sombras.

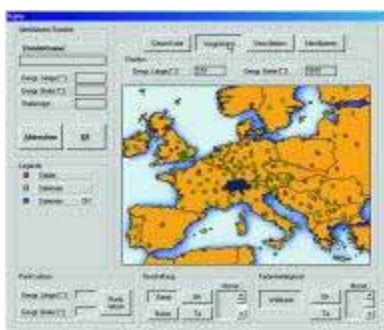
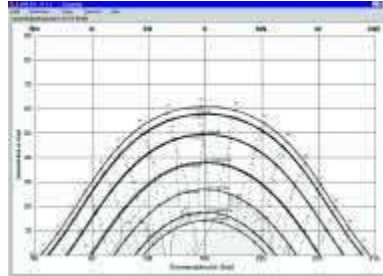


Figura 7.21 - Selecção visual de um local no **METEONORM**

## SUNDI

O **SUNDI** foi desenvolvido no Instituto para a Tecnologia da Energia Eléctrica na Universidade Técnica de Berlim. O programa calcula o percurso do trajecto solar e permite a análise dos sombreamentos. Pode ser aplicado para qualquer localização no globo, quer seja seleccionada da base de dados, quer seja introduzida individualmente.

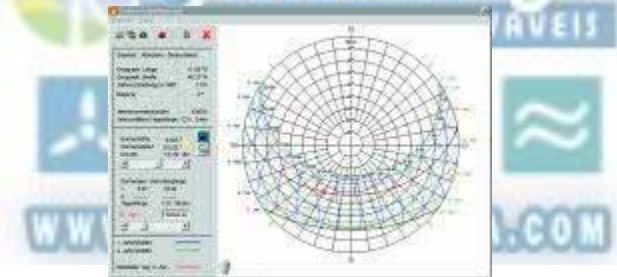
De acrescentar que, utilizando os seus próprios valores de medida de radiação global, o software pode determinar a radiação directa e difusa e a irradiação numa área, para qualquer orientação da mesma. Todos os cálculos podem ser conduzidos para um determinado período, dia ou ano específico. Os resultados são fornecidos na forma gráfica ou em tabelas. Os mapas de trajectória solar podem ser visualizados no ecrã com a sombra projectada. A irradiação horizontal, sombreada e não sombreada, e definida em intervalos de meia hora, pode ser exportada para outros programas para uma posterior utilização. Este programa tem sido utilizado pelas Universidades, Escolas Técnicas e Centros de Formação. O **SUNDI** pode ser obtido gratuitamente através da Internet (para o endereço, ver a secção 7.6).



**Figura 7.22 - Descrição visual de um mapa de trajectória solar com os elementos de sombreamento, para uma localização em Berlim, utilizando o SUNDI**

### Shell Solar Path

O programa **Shell Solar Path**, foi desenvolvido na Universidade de Bochum, sendo a actual versão **2.0** comercializada pela Shell Solar. Permite o desenho de mapas de trajectória solar para qualquer local do mundo, tomando em consideração os sombreamentos locais.



**Figura 7.23 - Mapa de trajectória solar para Munique utilizando o Shell Solar Path**

Pode ainda determinar a duração da irradiação directa em superfícies inclinadas. Como característica adicional, é possível descrever o nascimento e o pôr-do-sol, bem como o comprimento do dia. As séries temporais geradas para a altitude solar podem ser exportadas sob a forma de um ficheiro de texto, com um intervalo mínimo temporal de um minuto. No entanto, ainda que a duração da sombra possa ser determinada, não é possível calcular a energia da irradiação e as perdas derivadas do sombreamento. Consequentemente, o **Shell Solar Path** não pode ser comparado com o programa **SUNDI** em termos de funcionalidade.

#### 7.5.5 Programas de desenho e de suporte

Para além dos programas de simulação que reproduzem e analisam globalmente o sistema, também existem programas de desenho e de suporte que proporcionam informação sobre sistemas fotovoltaicos com ligação à rede e que suportam o processo de desenho.

O prático programa de desenho **INSOLAR**, é fornecido pela casa editora independente "Technik Verlag" ([www.electropraktiker.de/software](http://www.electropraktiker.de/software)). Infelizmente, este programa não fornece uma simulação da energia produzida. O preço do programa torna-se assim desproporcionado em relação aos seus benefícios, uma vez que a maioria dos programas de simulação oferecem não só a possibilidade de desenhar e simular o sistema, mas permitem também estimar a energia total produzida.

Vários fabricantes de inversores oferecem aos utilizadores outros programas de desenho pela Internet, livres de encargos. O objectivo destes fabricantes é o de fornecer informação clara (para além daquela

que consta do Manual do Produto), sobre o comportamento operacional do dispositivo e sobre qualquer possível configuração da instalação eléctrica. Estes programas são maioritariamente implementados como tabelas do Microsoft EXCEL e têm várias funcionalidades. O programa mais conhecido é o programa oferecido pelo fabricante de inversores **SMA**, sendo fornecido sob a forma de uma tabela Excel GenAu (<http://www.sma.de>).

**GenAu** detém uma base de dados de módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado e de inversores **SMA**. O programa permite que os módulos sejam combinados com os inversores, utilizando várias configurações possíveis de ligação dos geradores. Neste caso, as diferentes combinações gerador-inversor são testadas para garantir que respeitem as principais limitações em termos de compatibilidade. O programa está disponível na língua Alemã, Inglesa, Italiana e Espanhola.

O fabricante de inversores Fronius (<http://www.fronius.at>), oferece o programa **Konfigurator** para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos com os seus próprios produtos. Este programa funciona de um modo similar ao **GenAu**, mas está de algum modo mais desenvolvido em termos de operação. Possui utilitários de gestão de clientes e permite a impressão dos resultados do planeamento.

O programa **SITOP solar select** (<http://www.siemens.de/sitop/solar>), oferecido pelo fabricante de inversores Siemens, é actualmente o mais completo programa que está disponível no mercado. Este programa tem uma série completa de funções que facilitam a escolha da configuração da instalação eléctrica de um sistema fotovoltaico, utilizando inversores Siemens. O programa calcula todas as possibilidades reais de interligação, avaliando-as, e de seguida permite que os sistemas escolhidos sejam analisados em detalhe. À semelhança do software de simulação “on line”, os programas de suporte não substituem, de modo algum, a consulta a um profissional da área.

#### 7.5.6 Programas de simulação baseados na Internet

A Internet continua a desenvolver-se como uma plataforma de simulação. Existe actualmente um conjunto completo de programas baseados na Internet, para simulações fotovoltaicas “on line”. Estes serviços gratuitos são normalmente muito restritos na sua oferta. Estes programas são normalmente utilizados para destacar os serviços de portais ou páginas da Internet específicos. São normalmente bem concebidos do ponto de vista gráfico e fáceis de usar.

No entanto, e em geral, o software de simulação “on line” é muito limitado em termos de funcionalidade e de precisão, sendo principalmente útil para o fornecimento de informação inicial sobre sistemas fotovoltaicos standard e para uma estimativa grosseira da energia produzida. Ainda que aliviem as empresas de energia solar de grande parte do trabalho necessário para obter informação, deve ser ressaltado na respectiva página da Internet que os cálculos não são rigorosos e que estão limitados no seu âmbito. Para o utilizador em geral, deverá ainda ser especificado que não substituem, de modo algum, a consulta a um profissional da área.

A título de exemplo, o programa **PV-Anlagenberechnung**, para o cálculo de sistemas fotovoltaicos, está incluído no portal da Internet “[www.solarenergie.com](http://www.solarenergie.com)”. O programa fornece uma estimativa aproximada da dimensão do sistema e do custo que está associado a um determinado equipamento eléctrico. O **Solaranlagen-Kostenrechner** (calculadora de custo da Energia Solar), calcula a dimensão do sistema, o preço e a área do telhado, em função da quantidade de energia eléctrica que precisa de ser produzida. No website “[www.sunnvsolar.de](http://www.sunnvsolar.de)”, pode ser encontrado um pequeno programa para estimar a dimensão do sistema fotovoltaico em relação ao consumo de energia.

Um programa de algum modo completo, no que respeita ao cálculo da quantidade de energia produzida por um sistema fotovoltaico ligado à rede, é o “**SolarCalc**”. Utilizando este programa, o utilizador pode estimar a produção energética de um sistema fotovoltaico standard.

O programa “**Aeetes**”, determina as relações básicas entre o uso da energia solar e a tecnologia fotovoltaica.

O programa de cálculo e de análise da energia produzida “**Ertragsanalyse**” para sistemas fotovoltaicos com ligação à rede, calcula a dimensão do sistema fotovoltaico, a quantidade de energia anualmente produzida e os custos de produção da energia. Neste caso, tem de ser introduzida a localização, a área útil, a orientação do telhado, o tipo de módulo e a qualidade do sistema.

Tabela 7.1 - Selecção de programas de simulação "on-line"

Nome e Endereço da Internet	Breve Descrição
Solarstromanlagen-Berechnung (Cálculo da potência do sistema solar)	Estimativa grosseira da dimensão necessária do sistema e dos respectivos custos para determinadas necessidades eléctricas
Solaranlagen-Kostenrechner (Calculadora do custo dos sistemas solares)	Calcula a dimensão do sistema, o preço e a área de telhado para determinadas necessidades eléctricas
Sunnysolar	Estima a dimensão do sistema fotovoltaico autónomo em função do consumo de energia
SolarCalc	Simplificado calculo da energia produzida e análise económica de sistemas fotovoltaicos com ligação à rede
Aeetes	Simplificado calculo da energia produzida e análise económica de sistemas fotovoltaicos com ligação à rede
Ertragsanalyse (Análise de energia produzida)	Pequeno programa para estimar a produção energética

## 7.6 Tabelas de resumo dos programas

As seguintes tabelas fornecem um sumário detalhado de cada um dos programas.

Programa	DASTVPS	GOMBIS	greenius	HorizON	Insel	Meteonorm	
Versão actual <sup>1)</sup> Lançamento no Mercado Categoria	5.3 1990 Programa de simulação por passo de tempo	7.0 1998 Programa de simulação por passo de tempo	1.0 2002 Programa de simulação por passo de tempo	2.0 2000 Programa suplementar	6.0 1992 Sistema de simulação	4.1 1995 Programa Suplementar	
Autores	Autores Uni der Bundeswehr Neubiberg, Oliver Mayer	Saadat / Korb / Pauloweit	Kistner / Ortmanns / Quaschnig	Rotec Computers	University of Oldenburg, Department of Energy and Semiconductor Research (EHF)	Remund / Lang / Kunz	
Marketing	Nome da empresa Ingenieurbüro Mayer Contacto Oliver Mayer Endereço Kössenerstr. 6b D-81373 Munich Código Postal, Cidade 089 / 743712-13 Tel. 089 / 743712-14 Fax.	Energie Büro Holger Ruppmann Lahnstraße 10 D-12055 Berlin 030 / 680560-11 030 / 680560-13	greenius s.l. Volker Quaschnig E-04720 Aguadulce 0721 / 151469899	energiebüro Christian Meier Limmatstr. 230 CH-8005 Zurich 0041 1 242 80 60 0041 1 242 80 86	University of Oldenburg, Department of Physics Jürgen Schumacher Abt. EHF D-26111 Oldenburg 0441 / 798-3546 0441 / 798-3326	METEOTEST Jan Remund Fabrikstrasse 14 CH - 3012 Bern 0041 31 307 26 26 0041 31 307 26 10	
Características do Computador	Hardware Compatível com IBM, 2 MB HD Sistema Operativo MS-DOS 3.3 ou superior	486 DX, 66 MHz, 16 MB RAM MS-Win 3.11 ou superior	Pentium, 128 MB RAM, aprox. 20 MB HD Win 98 / NT		486, 16 MB RAM, 6 MB HD MS-Win 3.11 ou superior	Pentium, 32 MB RAM, aprox. 26 MB HD Win 95 / 98 / NT	
Outras	Versão Demo Língua(s) Preço Individual da licença para a versão completa (incluindo IVA e envio) Foco de aplicação	Sim Inglês Versão Básica 250 € Versão estendida 490 € Simulação de sistemas fotovoltaicos para bombagem de água	25 € Alemão A partir de 2045 € Conceitos de fornecimento energético	Sim Inglês Versão Standard 1159 € Versão para Peritos 5799 € Desenvolvimento de grandes projectos baseados em fontes renováveis, análises económicas detalhadas e comparações tecnológicas	Sim Alemão 199 € Determinação do horizonte	sim Inglês 255 € Simulação da envolvente para complexos sistemas eléctricos e baseados em fontes renováveis	"On line" Alemão, Inglês, Francês, Italiano, Espanhol Aprox. 368 € Base de dados de radiação, geração de séries temporais para a radiação e para a temperatura, e para qualquer localização.

<b>Áreas de aplicação</b>	Sistemas com ligação à rede		Sim	sim		Sim	
	Sistemas autónomos					Sim	
	Sistemas híbridos	Sim	Sim			Sim	
	Sistemas fotovoltaicos para bombagem de água						
	Outras tecnologias		ÍCCE, ST	EO, CSTE		EO, CSTE, CC	
	Gerador de radiação solar	Exemplo de uma sequência diária.				Sim	Sim
	Sombras				Sim		Sim
	Viabilidade económica		Sim	Sim			
	Balanço da emissão		sim	sim			
<b>Libreria</b>	Dimensão da Libreria (meteorológica)	Aprox. 600	Ano de referencia do Teste	Aprox. 20	---	Aprox. 2000	955
	Libreria <sup>3)</sup>	M, I, P	M, I	M, I, L	---	M, I, B, P, F	---
<b>Resultados</b>	Documentação dos dados de entrada	Sim	sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Parâmetros de avaliação	Sim		Sim	Sim	Sim	
	Exposição visual	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	
	Impressão / cópia em papel	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Ficheiros (exportação)	sim	Sim	Sim	Sim	Sim	sim
Intervalo mínimo de tempo para os resultados	1 h	1 min.	1 h	Sem detalhes	Qualquer	1 h	

1) Setembro 2002

2) Outras tecnologias – EO =Eólica, CSTE = Centrais Solares Termoelectricas, ST =Sistemas solares térmicos, CC = Células de Combustível, BA = Bombagem de Água, ICCE =Instalação Combinada de Calor e Energia

3) Libreria: M= Módulos, I = Inversores, B= Baterias, C = Controladores de Carga, L = Cargas, P = Bombagem de Agua, F = Células de Combustível, R= Sistemas de montagem.

### Endereços Internet :

DASTPVPS:	<a href="http://www.ibom.de">http://www.ibom.de</a>
GOMBIS:	<a href="http://www.gombis.de">http://www.gombis.de</a>
greenius:	<a href="http://www.greenius.net">http://www.greenius.net</a>
horizon:	<a href="http://www.energiebuero.ch">http://www.energiebuero.ch</a>
INSEL:	<a href="http://www.physik.uni-oldenburg.de/ehf">http://www.physik.uni-oldenburg.de/ehf</a>
Meteonorm:	<a href="http://www.meteotest.ch">http://www.meteotest.ch</a>

Programa	PVcad	PVS	PV*SOL	PVSYST	Solar Studio Suite (PVDesign Pro)	SMILE	
Versão actual <sup>1)</sup>	1.2.1	2.001	2.2	3.2	5.0	1.0.17	
Lançamento no mercado	1998	1993	1998	1995	1998	1997	
Categoria	Programa de simulação por passo de tempo	Programa de simulação por passo de tempo	Programa de simulação por passo de tempo	Programa de simulação por passo de tempo	Programa de simulação por passo de tempo	Sistema de simulação	
<b>Autores</b>	Autores	ISET, Uni Oldenburg, ZSW	FhG ISE / econzept GmbH	Büro Dr. Valentin	André Mermoud	Mike Pelosi	TU Berlin / GMD First
<b>Características do Computador</b>	Hardware	Pentium, 32 MB RAM, 10 MB HD	Pentium, 32 MB RAM, 4 MB HD	Pentium, 32 MB RAM, 10 MB HD	Pentium, 32 MB RAM, 10 MB HD	Pentium, 32 MB RAM	Pentium, 32 MB RAM
	Sistema Operativo	Win 95 / 98 / NT	Windows 95 ou superior	Windows 95 ou superior	Windows 95 ou superior	Windows 95 ou superior	Linux

<b>Outras</b>	Versão Demo  Língua(s) Preço Individual da licença para a versão completa (incluindo IVA e envio) Foco da Aplicação	Gratuita  Alemão Diskette 25 €, Internet gratuita  Sistemas com ligação à rede, análise tridimensional do sombreamento, interfaces CAD (Desenho Assistido por Computador)	CD (10 €), Internet (grátis) Alemão, Inglês Aprox. 450 €  Simulações, desenho e apresentações comerciais de sistemas fotovoltaicos, produção, curvas características e sombras, cálculo de espaçamentos entre fileiras de módulos, formação.	CD, Internet  Alemão, Inglês 584 € e 421 € (exclusivamente ligação à rede)  Simulações, desenho e apresentações comerciais de sistemas fotovoltaicos, produção, curvas características, módulo de temperaturas dinâmicas, perdas e sombreamentos, formação.	CD, Internet  Inglês, Francês 700 CHF (aprox. 480 €) + IVA.  Análise meteorológica compreensiva e detalhada, sombra em 3D, validação, erro por desajuste, dispersão exemplar e curvas características.	Sim  Inglês, Espanhol 159 US\$  Simulação detalhada de sistemas fotovoltaicos e solares térmicos, instrumentos de radiação.	Gratuito 4)  Inglês gratis 3)  Tecnologia Solar, Serviços Engenharia de Edifícios, tecnologia de ar condicionado, sistemas energéticos complexos
<b>Áreas de Aplicação</b>	Sistemas com ligação à rede Sistemas autónomos Sistemas híbridos Sistemas fotovoltaicos para bombagem de água Outras tecnologias 2) Gerador de radiação solar Sombras Viabilidade económica Balanço da emissão	sim     sim  sim	sim  sim  Fotovoltaico + gerador diesel  EO em preparação Sim  Sim Sim  sim	sim  Sim  PV + gerador diesel  EO em preparação  sim Sim  Sim	Sim  Sim  PV + gerador de apoio  Sim  sim Sim  sim	Sim  Sim  PV + gerador de apoio Sim  EO, ST  Sim  Sim Sim	Sim
<b>Libreria</b>	Dimensão da Libreria (meteorológica) Libreria 3)	Aprox. 2000  M, I	Aprox 2000 em todo o mundo  M, I, B, C, L	Aprox. 250 na Europa  M, I, B, C, L	Aprox. 100 na Europa, 22 na Suíça  M, I, B, C	2.132  M, I, B	---
<b>Resultados</b>	Documentação dos dados de entrada Parâmetros de avaliação Exposição visual Impressão / cópia em papel Ficheiros (exportação) Intervalo mínimo de tempo para os resultados	Sim  Sim Sim Sim Sim 1 h	Sim  Sim Sim Sim Sim 1 h	Sim  Sim Sim Sim Sim 1 h	Sim  Sim Sim Sim Sim 1 h	Sim  Sim Sim Sim Sim 1 h	Sim  Sim  Sim  Qualquer

1) Setembro 2002

2) Outras tecnologias: EO =Eólica, CSTE = Centrais Solares Termoeléctricas, ST =Sistemas solares térmicos, CC = Células de Combustível, BA = Bombagem de Água, ICCE =Instalação Combinada de Calor e Energia

3) Libreria: M: Módulos, I: Inversores, B: Baterias, C: Controladores de Carga, L: Cargas, P: Bombagem de água, F: Células de combustível, R: Sistemas de montagem

4) Para uso não comercial

**Endereços de Internet:**

PVcad: <http://www.iset.uni-kassel.de/pvcad>  
 PVS: <http://www.econzept.com>  
 PV\*SOL: <http://www.valentin.de>  
 PVSYST: <http://www.pvsyst.com>  
 Solar Studio Suite: <http://www.mauisolarsoftware.com>  
 SMILE: <http://www.smilenet.de/>

Programa	Solar Path	SOLDIM	SolEm	SolINVEST	SUNDI	TRNSYS
Versão actual 1) Lançamento no mercado Categoria	2.0 1997  Programa suplementar	2.02 1997  Programa de simulação por passo de tempo	2.02 2001  Programa de simulação por passo de tempo	2.0 2000  Programa de simulação por passo de tempo	1.1 1995  Programa suplementar	15 1972  Sistema de simulação
Autores	Autores Ruhr-Uni-Bochum, Baresch / Skiba / Unger	Körner	Lutzenberger / Karl	Ney	Quaschnig	Universidade de Wisconsin
Marketing	Nome da Empresa Contacto Endereço Código Postal, Cidade Tel. Fax.	Shell Solar Deutschland Vertrieb GmbH Papenreye 18 D-22453 Hamburg 040 / 560 610-50 040 / 560 610-99	SOLARIS Christof Körner Paulinus-Fröhlich-Str. 7 D-85283 Wolnzach 08442 / 3058 08442 / 3058	DGS LV Berlin Brandenburg Ralf Haselhuhn EnergieForum Berlin / ISC Stralauer Platz 33 - 34 D-10243 Berlin 030 / 2938 12-60 030 / 2938 12-61	Luxea GbR Martin Ney Volker Quaschnig <a href="http://www.volker-quaschnig.de/software/sundi/">http://www.volker-quaschnig.de/software/sundi/</a>	Transsolar Marion Hiller, Torsten Welfonder Nobelstrasse 15 D - 70569 Stuttgart 0711/ 679 76-0 0711/ 679 76-11
Características do Computador	Hardware Sistema Operativo	486, 16 MB RAM, min. 800x600 pixels, aprox. 1 MB HD Windows 95 ou superior	Pentium, 32 MB RAM, 15 MB HD Windows 95 ou superior	Pentium, 32 MB RAM, 30 MB HD Windows 95 ou superior	Pentium, 32 MB RAM, 80 MB HD Windows 95 ou superior	486. 33 MHz Windows 3.11 ou superior Unix, Win95/98/NT
Outras	Versão Demo Língua(s) Preço Individual da licença para a versão completa (incluindo IVA e envio) Foco da Aplicação	Alemão 49 €  Cálculo da altitude Solar, Análise de sombreamentos	yes Alemão, Inglês 100 €  Planeamento orientado ao Marketing, instrumentos de planeamento para sistemas fotovoltaicos com ligação à rede ou autónomos	yes Alemão 65 €  Simulação e desenho detalhado de sistemas fotovoltaicos com ligação à rede, análises técnico- económicas, análise das condições operacionais, do Programa com uma estrutura aberta e orientada ao utilizador.	Online Alemão, Inglês 45 €  Análise económica de sistemas fotovoltaicos ligados à rede.	Freeware Alemão, Inglês free  Cálculo da altitude Solar, Análise de sombreamentos  yes Ingês Aprox. 4000 € para a investigação, Aprox. 4600 € para a indústria Simulação de simples sistemas de abastecimento de água e de edifícios.
Áreas de aplicação	Sistemas com ligação à rede Sistemas autónomos Sistemas híbridos Sistemas fotovoltaicos para bombagem de água Outras tecnologias 2) Gerador de radiação solar Sombras  Viabilidade económica Balanço da emissão	Sim      Sim	Sim    Exemplo de sequência diária Estimativas próprias Sim  Sim	sim    sim  sim  sim	sim      sim  sim	Sim        ST, CSTE

<b>Libraria</b>	Dimensão da Libraria (meteorológica Libraria 3)	Worldwide 120 ---	Approx 2000 worldwide M, I, C, B, L	Over 100 sites (Ger, Aus, Sw) M, I, P, R	DWD maps (Ger, Aus Sw, Lux, Bel, Ne) not necessary	3	North American sites only ---
<b>Bibliografias</b>	Bibliografia Meteorológica  Bibliografias 3)	120 em todo o mundo ---	Aprox 2000 em todo o mundo M, I, C, B, L	Perto de 100 sites (Ger, Aus, Sw) M, I, P, R	DWD mapas (Alemanha, Austria, Suíça, Luxemburgo, Bélgica, Holanda ) não necessários	3	Só localizações em Norte América. ---
<b>Resultados</b>	Documentação dos dados de entrada Parâmetros de avaliação Exposição visual Impressão / cópia em papel Ficheiros (exportação) Intervalo mín. de tempo para os resultados	Sim Sim Sim Sim Sim Qualquer	Sim Sim Sim Sim Sim 1 h	Sim Sim Sim Sim Sim 1 h	Sim Sim Sim Sim Sim 1 year	Sim Sim Sim Sim Sim Qualquer	Sim Sim Sim Sim Sim Qualquer

- 1) Setembro 2002
- 2) Outras tecnologias: EO =Eólica, CSTE = Centrais Solares Termoeléctricas, ST =Sistemas solares térmicos, CC = Células de Combustível, BA = Bombagem de Água, ICCE =Instalação Combinada de Calor e Energia
- 3) Libraria: M: Módulos, I: Inversores, B: Baterias, C: Controladores de Carga, L: Cargas, P: Bombagem de água, F: Células de Combustível, R= Sistemas de Montagem

**Endereços Internet:**

Solar Path: <http://www.shell.de>  
 SOLDIM: <http://www.soldim.de>  
 SolEm: <http://www.solem.de>  
 SolINVEST: <http://www.solinvest.de>  
 SUNDI: <http://www.volker-quaschning.de/software/sundi>  
 TRSNYS: <http://www.transsolar.de>



## 8 MONTAGEM E INTEGRAÇÃO EM EDIFÍCIOS

### 8.1 Introdução

A maior parte da superfície dos edifícios é adequada à instalação de campos fotovoltaicos, quer nas fachadas quer nos telhados (inclinados ou planos). A este respeito, pode-se estabelecer uma distinção entre soluções aditivas e soluções integrativas.

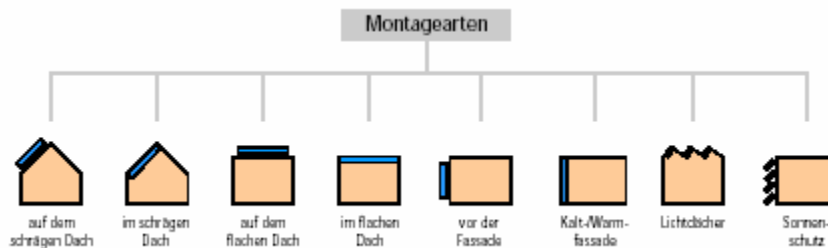


Figura 8.1 - Métodos de montagem

Numa solução aditiva, os módulos fotovoltaicos são fixados no topo do telhado ou na fachada, através de uma estrutura metálica. O sistema fotovoltaico consiste assim num elemento técnico e estruturante, colocado no edifício com a única função de gerar energia.

Numa solução integrativa, os componentes do telhado ou da fachada do edifício, são substituídos por elementos fotovoltaicos. O sistema fotovoltaico passa a fazer parte integrante do envelope do edifício e, para além de gerar energia eléctrica, assegura funções de protecção climatérica, isolamento térmico, isolamento acústico, sombreamento e segurança. Esta capacidade de integração dos módulos fotovoltaicos permite explorar efeitos sinérgicos e implementar soluções de elevado valor estético.

Este capítulo apresenta conceitos básicos relacionados com a instalação de sistemas fotovoltaicos em telhados e fachadas, fazendo uma retrospectiva de instalações aditivas e integrativas em telhados inclinados e planos, fachadas, assim como em coberturas envidraçadas e em dispositivos de sombreamento.



Figura 8.2 - No bairro residencial do estado de New Sloten em Amsterdam, os painéis fotovoltaicos estão integrados nos edifícios de formas diversas

### 8.2 Conceitos gerais

#### 8.2.1 As funções de um telhado

Actualmente, um telhado tem as seguintes funcionalidades:

- Delimitação da cobertura do edifício.
- Suporte das cargas que resultam do revestimento do telhado, do vento, da chuva e da neve.

- Manutenção do conforto interior do edifício.
- Isolamento térmico.
- Isolamento acústico.
- Protecção em caso de incêndio.
- Desenho (forma, cor, material, estrutura da superfície).

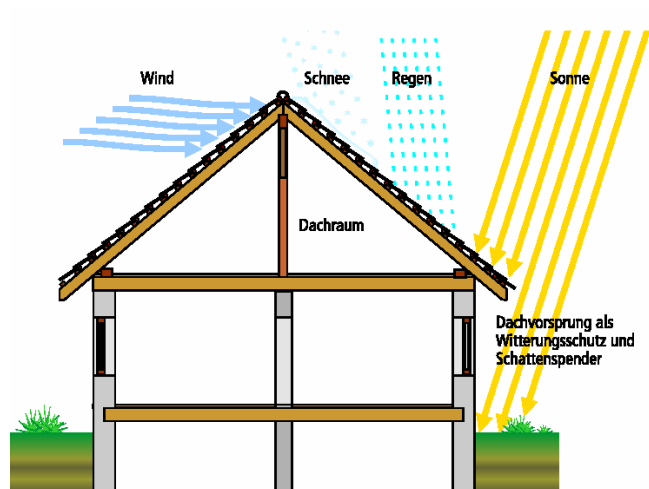


Figura 8.3 - Funções do telhado

No futuro, o telhado incorporará elementos energéticos que convertem a luz solar em potência eléctrica ou em calor. Isto significa que haverá no futuro grandes mudanças no aspecto do telhado (e da fachada), sobretudo no que respeita ao material e respectiva aparência final.

### 8.2.2 Formas do telhado

Os telhados podem ser classificados, em função da sua inclinação, da seguinte forma:

Telhados planos	inclinação inferior a 5°
Telhados ligeiramente inclinados	inclinação de 5° a 22°
Telhados com uma inclinação normal	inclinação de 22° a 45°
Telhados íngremes	inclinação superior a 45°

Do mesmo modo do que as formas de telhado ilustradas na Figura 8.4, existem um número variado de formas para telhados encurvados e formas especiais para telhados inclinados.

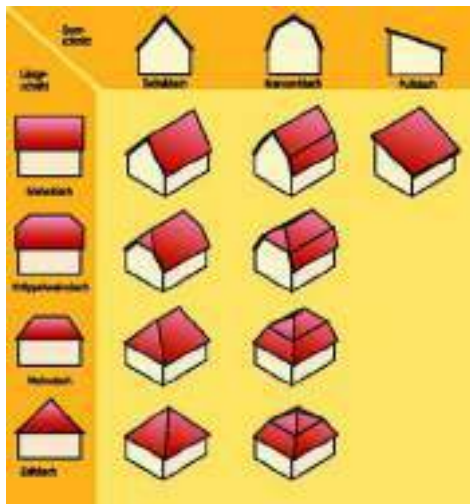


Figura 8.4 - Formas básicas de telhados inclinados

### 8.2.3 Revestimento do telhado

No que diz respeito a este ponto, é necessário distinguir entre conceitos de cobertura do telhado e de selagem do telhado.

#### **Cobertura do telhado (cobertura de drenagem, para telhados com declive)**

A cobertura do telhado tem por base elementos individuais, tais como telhas (cerâmica, barro, pedra, fibrocimento), placas de ardósia ou placas em lâminas. São colocadas por forma a facilitar o escoamento da água da chuva segundo um declive específico mínimo, em função do tipo de cobertura.



**Figura 8.5 - Telhas Planas**

Fotografia: Arbeitsgemeinschaft Ziegeldach e.V



**Figura 8.6 - Telhas planas de madeira**

Fotografia: Arbeitsgemeinschaft Ziegeldach e.V



**Figura 8.7 - Ardósia natural**

Fotografias: Arbeitsgemeinschaft Ziegeldach e.V.



**Figura 8.8 - Placas metálicas**

Fotografia: Ho/99

### Estanquicidade do telhado (capa impermeabilizadora, aplicada em telhados planos)

Trata-se de uma impermeabilização da cobertura, a qual deverá cobrir toda a superfície do telhado. A título de exemplo, temos as mantas de feltro betuminoso, as membranas de plástico e o revestimento de plástico aplicado como um fluído (e endurecido posteriormente). Esta aplicação é absolutamente necessária para coberturas com uma inclinação inferior a 5°. As ligações, os terminais, as aberturas e as juntas, também fazem parte da selagem de um telhado.



**Figura 8.9 - Assentamento da membrana betuminosa**  
Fotografia: A. W. Andernach



**Figura 8.10 - Camada plástica do telhado**  
Fotografia: Saar-Gummiwerk

**Tabela 8.1**

Exemplos	Material	Método de fixação, trabalho	Aspectos a ter em conta
Telhas de dupla ranhura, Telha em S, canudo Telha plana	Barro	Engatada; fixada com grampos; Assentamento numa base de isolamento térmico, com argamassa, material espumoso	Boa ventilação; resistência mecânica alta/média. Aparecimento de musgos e fungos, humidades
Tipo 'Frankfurter Planne'	Betão	Engatada; fixada com grampos; assentamento numa base de isolamento térmico, com argamassa, material espumoso	Elevada resistência mecânica; Aparecimento de fungos, humidades
Ardósia I Ardósia II	Ardósia natural Ardósia de fibrocimento	Pregada	Descoloração; agentes climáticos; baixa resistência mecânica
Telha plana de madeira	Madeira	Pregada	Contração (quando seca), enchimento (com a humidade), os furos devem ter uma maior secção, aparecimento de veios
Telhas de corte curvo	Betume	Pregada, fixada com grampos	"Abaulada" em resultado da variação da humidade; para um telhado com declive < 18°, é preciso preservar quimicamente a madeira
Lâminas trapezoidais Placas de rebordo vertical	Aço, galvanizado Zinco, titânio, cobre, alumínio	Aparafusadas, rebiladas Fixadas com pinças	Extracção da humidade
Rufo, chapas de remate	Chumbo, zinco	Soldadas, pressionadas	Lâminas galvanizadas trapezoidais, nalguns casos com uma capa adicional de plástico; parafusos sempre colocados na parte superior
Lâmina translúcida ondulada Lâmina ondulada de betume	Fibrocimento, Poliéster Betume	Aparafusada Pregada	Problemas de corrosão
Placa plana	Vidro, folhas de plástico, coberturas metálicas, Células solares	Ponto fixo, linearmente ou sobre toda a superfície; colada, pressionada, fixada com grampos, aparafusada, dependendo do sistema envidraçado	Boa ventilação; elevada expansão térmica; fragilidade
Fluidos plásticos	Poliuretanos, acrílicos, resinas	Vertido, espalhado	Penetração da água projectada pelo vento
Revestimento do telhado	Betume EPDM	Colada, soldada Unida com ar quente	Combina muito bem com os módulos fotovoltaicos, uma vez que podem ser usadas as mesmas subestruturas e fixações
Material Vegetal	Caniços Folha metálica, substrato, plantas especiais	Unido/ladado com arame aos ripados Disposto por cima das telas	Observar as normas de engenharia para as construções com vidro (ver secção 5.11.1)
Acabamentos e elementos especiais	Betão, barro Betão, barro Plástico, metal, tijolo Plástico, metal, fibrocimento Metal	Encaixe Fixadas com grampos (novos edifícios), ou com argamassa (telhados antigos) Aparafusados, fixados com grampos ou clips, rebitados, soldados Aparafusados Aparafusada, colada, soldada	Aplicação sujeita às condições climáticas; o substrato deve ser cuidadosamente preparado
			Tempo de vida máximo 20 anos, pode ser inferior à instalação solar. Corrosão do betume na junção com lâminas de zinco.
			Contém plastificantes; friabilidade; ter em atenção a compatibilidade com o betume.
			Ate à data, não se conhecem instalações fotovoltaicas. Uma possibilidade seria, por exemplo, a instalação no telhado sobre as águas furtadas.
			Apenas podem ser montadas em armações inclinadas
			Podem ser removidas
			Impedem a instalação de módulos fotovoltaicos
			Impedem a instalação de módulos fotovoltaicos
			Impedem a instalação de módulos fotovoltaicos
			Impedem a instalação de módulos fotovoltaicos

### 8.2.4 Telhados inclinados

Regra geral, os telhados inclinados são ventilados (telhados frios), sendo a sua estrutura (do exterior para o interior) da seguinte forma:

- Cobertura do telhado (1º nível de drenagem). A água da chuva e humidades são recolhidas no ponto mais baixo e escoadas através de caleiras.
- Ripado.
- Telas ou sub-telhas (2ª camada impermeabilizadora).
- Vigas com placas de isolamento térmico.

No caso do telhado não se encontrar térmicamente isolado, ou do sótão vir a ser usado como espaço de habitação, será necessário isolar o telhado. O isolamento térmico poderá ser executado de três diferentes modos:

- Por baixo das vigas.
- Entre as vigas.
- Sobre as vigas (não é apresentado nos diagramas). Neste caso surgem problemas em termos da segurança dos módulos, dado que não poderão ser utilizados componentes standard.

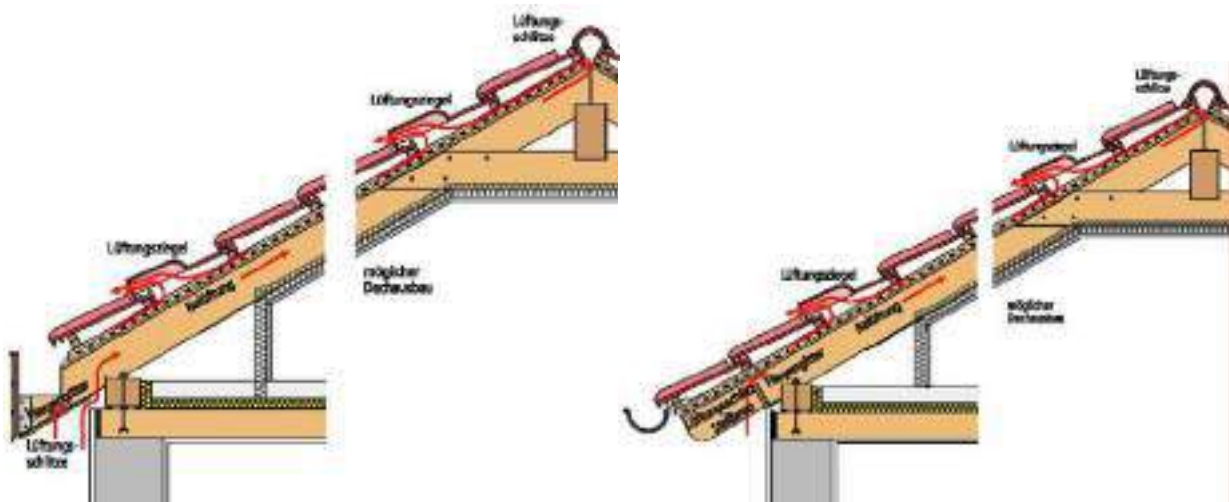


Figura 8.11 - Estruturas de um telhado inclinado

### Instalações no telhado

As clarabóias, janelas de sótão e os terraços no telhado, permitem iluminar e arejar os espaços convertidos de sótãos, proporcionando novos espaços habitáveis. No entanto, estes espaços podem constituir uma séria limitação à instalação de módulos solares, pois limitam a área disponível do telhado e promovem o aparecimento de zonas sombreadas.

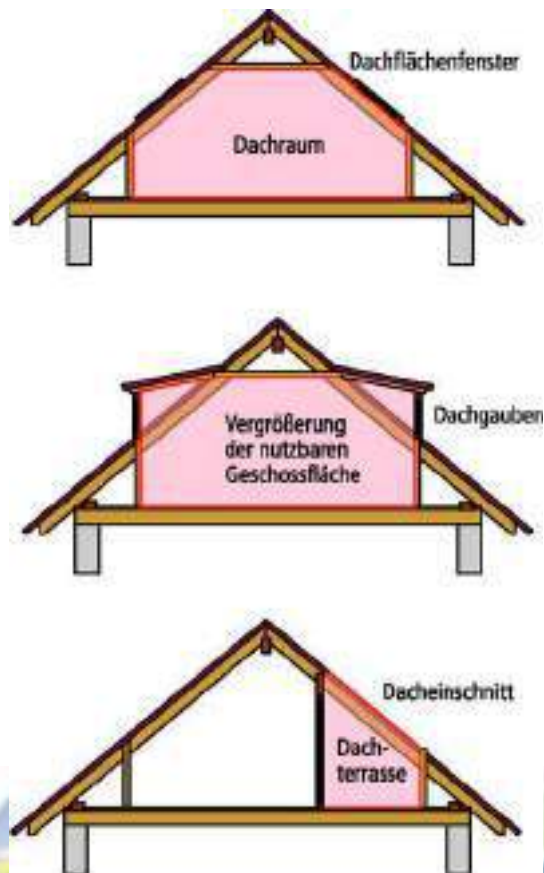


Figura 8.12 - Uso do sótão como espaço habitável

### 8.2.5 Telhado plano



A inclinação que define um telhado plano não é um dado preciso, situando-se normalmente entre **5°** e **11°**. Em termos estruturais, os telhados inclinados possuem coberturas que garantem o escoamento das águas, enquanto que os telhados planos possuem camadas impermeabilizadoras e isolantes. O escoamento das águas do telhado é geralmente resolvido através de um algeroz, que descarrega a água através de um tubo de escoamento.

Conforme a estrutura do telhado, pode-se diferenciar entre o telhado ventilado com duplo revestimento (telhado frio) e o telhado sem ventilação com revestimento simples (telhado quente). O telhado quente é o sistema mais comum nos telhados planos.

#### **O telhado ventilado: telhado frio**

Um telhado ventilado possui uma ventilação constante entre a camada isolante e o revestimento do telhado, por forma a prevenir a formação de orvalho no telhado e, desta forma, evitar eventuais danos causados pela acumulação de humidades. Por outro lado, esta ventilação permite evitar a transferência das deformações térmicas para as camadas interiores da cobertura, em resultado da incidência dos raios solares. A zona de ventilação deve ter, pelo menos, **15 cm** de altura, uma vez que a ventilação, ao contrário do que acontece nos telhados inclinados, não é promovida pelo fluxo térmico ascendente, mas depende unicamente do vento.

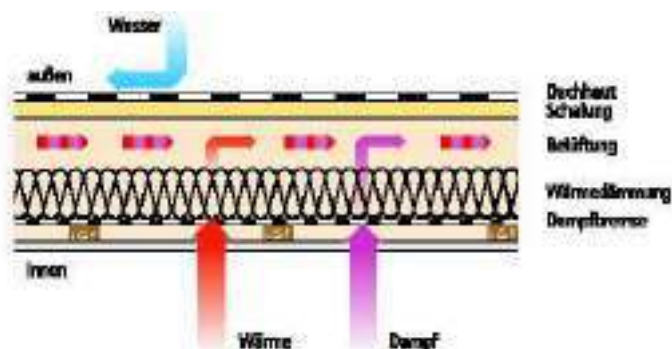


Figura 8.13 - Telhado frio

**O telhado sem ventilação: telhado quente**

Neste caso, a ventilação é omitida a favor de uma estrutura mais simples do telhado e de uma menor altura de construção. O isolamento térmico é localizado directamente entre a estrutura de suporte e o revestimento do telhado. Isto requer a instalação de uma barreira de vapor acima da camada de suporte, de modo a evitar a infiltração de humidades no telhado, em resultado de condensações na área da camada de isolamento.

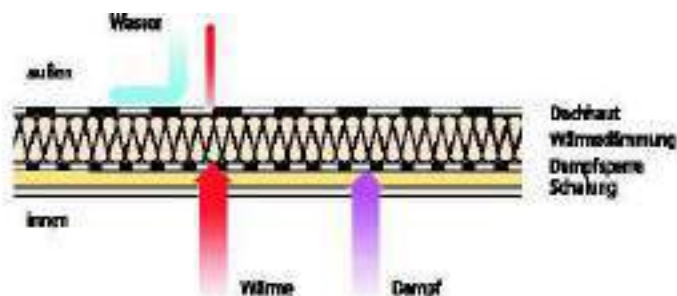


Figura 8.14 - Telhado quente

WWW.PORTAL-ENERGIA.COM

8.3 *Telhados inclinados*

Enquanto que os telhados planos permitem uma certa liberdade ao projectista do sistema fotovoltaico, os telhados inclinados determinam a orientação e a inclinação dos módulos. Por este motivo, devem-se estudar as características do telhado antes de iniciar a fase de projecto (ver capítulo 4).

8.3.1 Sistemas montados no telhado

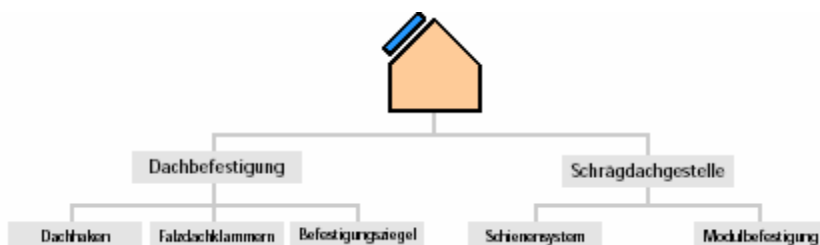


Figura 8.15

Para a montagem de sistemas fotovoltaicos no telhado, os módulos são dispostos sobre a cobertura do telhado, usando para o efeito uma subestrutura metálica. A cobertura do telhado é mantida e continua a desempenhar a função de escoamento das águas. Para a instalação de campos fotovoltaicos em telhados já existentes, esta opção é seguramente a mais indicada, pois tem a melhor relação custo-benefício (os custos de material e de implantação são reduzidos). Contudo tem a desvantagem, para além do seu aspecto estético, de todos os componentes, incluindo os acessórios, as ligações eléctricas e os cabos, ficarem expostos.

A estrutura metálica deve ser capaz de suportar as forças que ocorrem nos módulos e transferi-las à estrutura do telhado. Para além da elevada carga térmica na altura do verão, os módulos estão expostos a grandes tensões mecânicas.

São exercidas forças de pressão e de tracção nos módulos. As primeiras resultam em grande parte do peso da neve e da geada, da pressão do vento em função da altura do prédio e do próprio peso dos módulos e da subestrutura. As forças de tracção resultam essencialmente do efeito de tracção do vento. Os factores de tracção do vento dependem da inclinação do telhado, sendo maiores nas esquinas do telhado e diminuem gradualmente dos extremos para o centro (DIN 1055, capítulo 4). Para os telhados com uma inclinação superior a **35°**, a carga de tracção pode ser considerada constante para todo o telhado. Estes efeitos devem ser observados na fase de desenho da estrutura fotovoltaica.

Com o intuito de minimizar as forças exercidas no gerador, deverão ser tomados em consideração os seguintes aspectos na fase de planeamento:

- O espaço entre a superfície do módulo e a cobertura do telhado não deve ser muito grande. No entanto, deve ser suficiente para permitir a eficaz ventilação do telhado e evitar que as folhas fiquem presas, podendo dessa forma obstruir o escoamento da chuva.
- As linhas verticais e horizontais do prédio (cumeeira, beiral, empena), não devem ser ultrapassadas. A distância entre o limite do campo fotovoltaico e os extremos do telhado deve ser, no mínimo, cinco vezes superior à altura do campo fotovoltaico.
- A superfície do gerador deve ter a mesma inclinação do que o telhado.
- Deve-se deixar um pequeno espaço entre os módulos, por forma a compensar a pressão do vento.

As forças exercidas no sistema determinam o número de pontos de fixação no telhado. O espaçamento máximo entre os pontos de fixação, deverá ser seguido em conformidade com as especificações do fabricante. Deve-se também verificar se a estrutura do telhado suporta as cargas adicionais. Dado que a estrutura do telhado é normalmente concebida para suportar o peso da neve, a pressão do vento e o próprio peso da cobertura do telhado, o peso do sistema gerador fotovoltaico é, com frequência, de menor importância.

Dado que os sistemas fotovoltaicos podem operar durante períodos superiores a vinte anos, e que, sobretudo no caso das estruturas perfiladas de suporte, todos os acessórios mecânicos estão expostos às condições climáticas, deve-se usar apenas um tipo de metal nos pontos de fixação. As combinações de diversos metais, só poderão ser usadas se não houver qualquer risco de reacções electroquímicas. Se for necessário, estes pontos de fixação deverão ser protegidos da humidade. No entanto, é recomendado o isolamento entre metais com elevadas diferenças de potencial.

Outros componentes (como por exemplo sarjetas, cobertura de maçonaria, etc.), também devem ser tomados em linha de conta, por forma a eliminar possibilidade de corrosão electrolítica. Se a estrutura de suporte for construída no próprio local da instalação, deve ser garantida uma eficaz protecção contra a corrosão. O material galvanizado por imersão a quente não poderá ser furado ou recortado, uma vez que, a galvanização a frio, subsequentemente aplicada nos locais não-galvanizados, não é tão duradoura como a galvanização por imersão a quente.

No sentido de integrar de forma harmoniosa o sistema na envolvente do edifício, os módulos devem ser dispostos de modo a que, na medida do possível, seja criada uma única superfície linear para o gerador. A distribuição espacial pelo telhado ou uma disposição em degrau, dão uma impressão descuidada. Assim, para telhados com formas complexas ou no caso de existirem sombreamentos parciais, deverão ser escolhidos arranjos fotovoltaicos contíguos ou de uma forma semelhante à superfície do telhado.

A estrutura metálica do sistema gerador fotovoltaico divide-se em duas partes: a estrutura de fixação ao telhado e a armação de base do telhado inclinado.



**Figura 8.16 - Sistema fotovoltaico montado na Sede do Partido Federal Alemão dos Verdes, Berlim**

### Fixação ao telhado

Devem ser criados na superfície do telhado, pontos de fixação que recebam os módulos. A escolha do sistema de montagem depende do tipo de cobertura. Existem soluções dependentes das vigas de suporte e outras independentes. As soluções independentes oferecem um maior leque de soluções em termos da colocação no telhado, mas estruturalmente não suportam cargas tão grandes quanto as soluções dependentes.

### Ganchos

Estes dispositivos de fixação para telhados têm a forma de um gancho, ultrapassam a cobertura do telhado e são fortemente aparafusados às vigas ou aos ripados (1, 2). Os ganchos de telhado são adequados para todas as coberturas com telhas, telhas betuminosas, ardósias ou telhas planas. O gancho não deve ser pressionado contra a telha. Se for necessário, a cavilha da viga deverá ser calçada com madeira (3). Deve ser efectuada uma recessão na telha que cobre o gancho, no ponto em que este sobressai da cobertura, usando para o efeito uma rebarbadora (4).



**Figura 8.17 - Ganchos para diversas coberturas**



**Figura 8.18 - Jogo de ganchos para telha plana com placa de aço inoxidável**  
Fotografia: Phönix Sonnenstrom AG

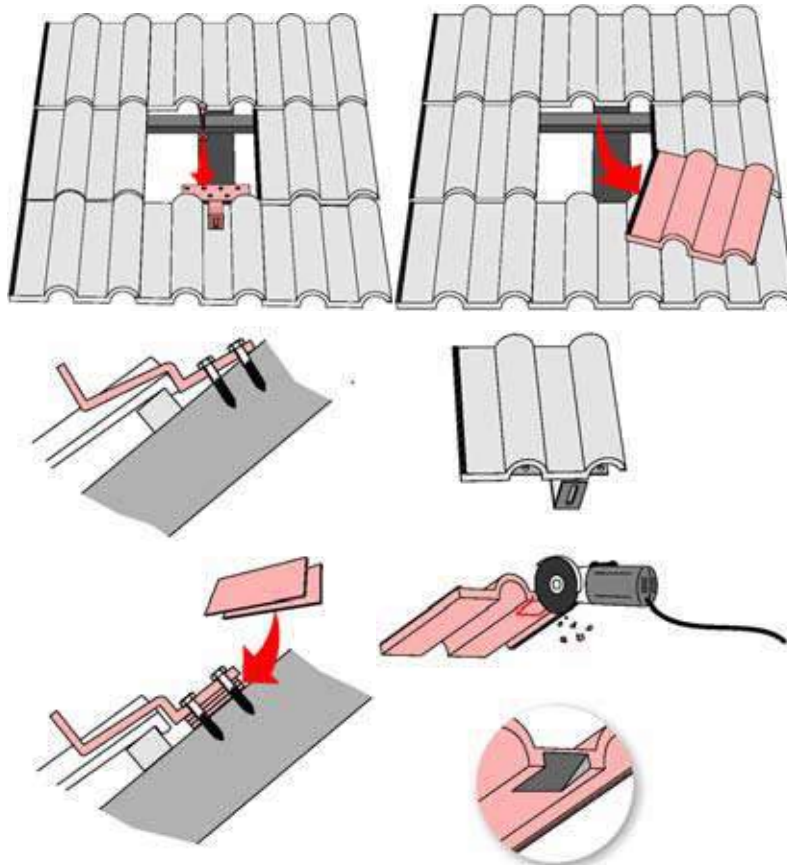


Figura 8.19 - Colocação de um gancho de telhado

### Clips de telhados de rebordo

Nos telhados ondulados usam-se umas pinças especiais, que se fixam firmemente nos rebordos das chapas. Este tipo de montagem de telhado não pode levar grandes pesos estruturais.



Figura 8.20 - Grampo de rebordo vertical

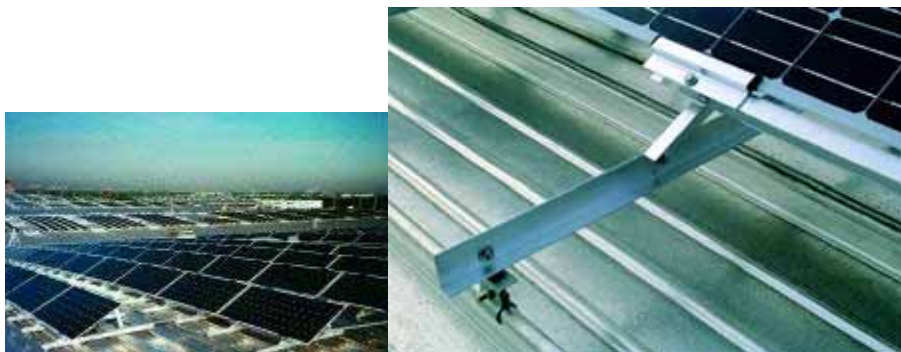


Figura 8.21 - Grampos de cabeça arredondada para placas de rebordo KalZip, Trade Fair Centre em New Munich

Fotografias: Corus Bausysteme e Shell Solar

### Suporte de montagem com abertura metálica do telhado

Se por razões estruturais for necessário fixar o gerador à estrutura de suporte de telhados metálicos, os pontos de penetração deverão ser selados nas placas das coberturas.



Figura 8.22 - Suporte de montagem com abertura metálica

### Parafusos para placas onduladas de fibrocimento

Esta fixação ao telhado especialmente desenvolvida para lâminas onduladas ou trapezoidais de aço inoxidável, é apropriada para vários tipos de telhados perfilados.



Figura 8.23 - Parafuso de fixação de placas onduladas de fibrocimento

Fotografia: Phönix Sonnenstrom AG

[WWW.PORTAL-ENERGIA.COM](http://WWW.PORTAL-ENERGIA.COM)

### Telhas de fixação

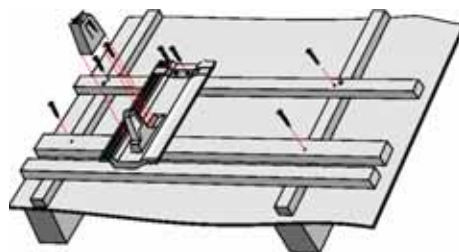


Figura 8.24 - Colocação de uma telha de fixação

Existem vários fabricantes que oferecem telhas especiais para a fixação dos módulos fotovoltaicos. Estas telhas são feitas de plástico ou de alumínio, tendo sido originalmente criadas para suportar grelhas, para a retenção da neve ou para servirem de degraus. São instaladas na cobertura do telhado, independentemente das vigas, sendo aparafusadas adicionalmente aos ripados. As telhas de fixação são apenas adequadas para coberturas com telhas.



Figura 8.25 - Telha de fixação de plástico [Klöber]



Figura 8.26 - Telha de fixação de alumínio

#### Armações de base para telhados inclinados

As calhas são montadas nos pontos mais seguros do telhado e recebem directamente os módulos solares, no caso da montagem individual. Na montagem em painéis, que é ocasionalmente usada, vários módulos solares são pré-montados e fixados às calhas. Este trabalho pode ser executado no solo. O painel de módulos pode então ser elevado até ao telhado com a ajuda de uma grua ou de um guindaste inclinado, para aí ser então montado. Os painéis são construídos com módulos standard de **100 Wp** de potência máxima. Em princípio envolve uma maior despesa de material.

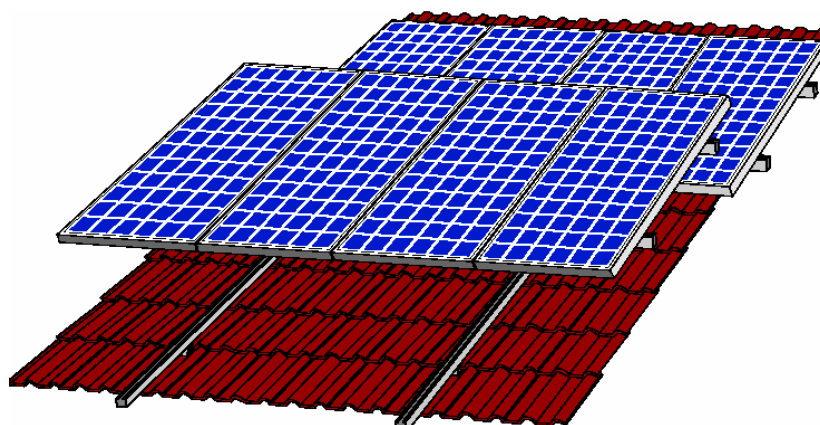
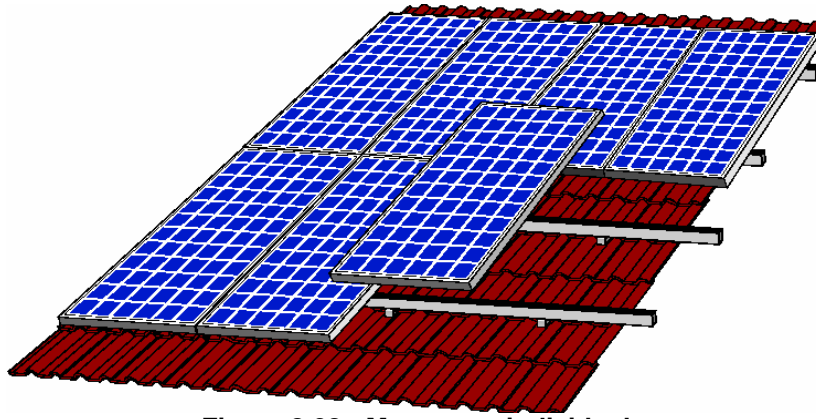


Figura 8.27 - Montagem de painéis



**Figura 8.28 - Montagem individual**

Por forma a obter uma superfície plana para o gerador, a armação de base do telhado inclinado deve compensar qualquer desnível existente na superfície do telhado. Por este motivo, este factor deve ser verificado, antes da colocação de qualquer elemento de ajuste da altura do telhado. Isto pode ser conseguido através de ganchos de telhado ajustáveis ou calçando-os com separadores ou anilhas (dependendo do sistema de montagem). A armação do telhado inclinado deve permitir a fácil remoção dos módulos individuais, uma vez que pode ser necessária a reparação do telhado por baixo do módulo ou a substituição de um módulo defeituoso.

Existem vários tipos de armações para telhados inclinados disponíveis. Secções simples em forma de **U**, **C** e **L**. As calhas Halfen são frequentemente usadas como calhas de montagem horizontal e vertical. Os restantes acessórios, tais como os parafusos, as pinças de suporte, os grampos, os ganchos e os clips que seguram os módulos, são fornecidos prontos para serem usados. Os sistemas variáveis podem ser usados universalmente e podem receber diferentes módulos (tipos e dimensões). Os materiais standard são o alumínio e o aço inoxidável, ou o aço galvanizado por imersão a quente. Devido ao risco de corrosão nos contactos directos com a armação de alumínio, não é recomendado o uso de aço em ambientes agressivos (nos ambientes industriais ou perto do mar), mesmo sendo galvanizado. Se as instalações nos telhados envolviam geralmente muito tempo e trabalho, os novos sistemas de montagem vieram simplificar esta tarefa, poupando tempo e materiais.

Para a montagem no telhado são usados módulos vidro-película (laminados) com e sem armação, ou módulos vidro-vidro. Normalmente são colocados lado-a-lado, mas existem sistemas nos quais os módulos são sobrepostos à semelhança das telhas. A possibilidade de circular por cima dos módulos, para efeitos de manutenção e reparação, depende do tipo de módulos que for usado (ver as especificações do fabricante). No entanto, deve-se sempre verificar se não existem pedras ou fragmentos de metal presos nas solas dos sapatos, por forma a evitar riscar a superfície do módulo. A título ilustrativo, são de seguida descritas sete armações de base de telhados inclinados, com vários sistemas de fixação dos módulos. Neste caso, e de acordo com as definições fornecidas no capítulo 3, o termo "laminado" refere-se aos módulos vidro-película, independentemente do módulo ser armado ou não.

**Fabricantes de sistemas de montagem em telhados:** Alfasolar, Altec Solartechnik, Biohaus, Braas, Conergy Systems, Creaton, Deger Energie, Donauer, Ecosolar, Energiebiss, EWS, HaWi Energietechnik, IBC, Krauss, Laumans, MHH, Modersohn, NAPS, Natürlich Zenkel & Lauterbach, Nelskamp, Osmer, Ralos, Phönix Sonnenstrom, Schletter, Schüco, Solara, SolarMarkt, Solarworld, Solon, Ricom, Soltech, Sotec, Wagner & Co, SE-Consulting, Temtec, Total Energie.

### Sistema de montagem rápida Energiebiss Solartechnik, Alemanha

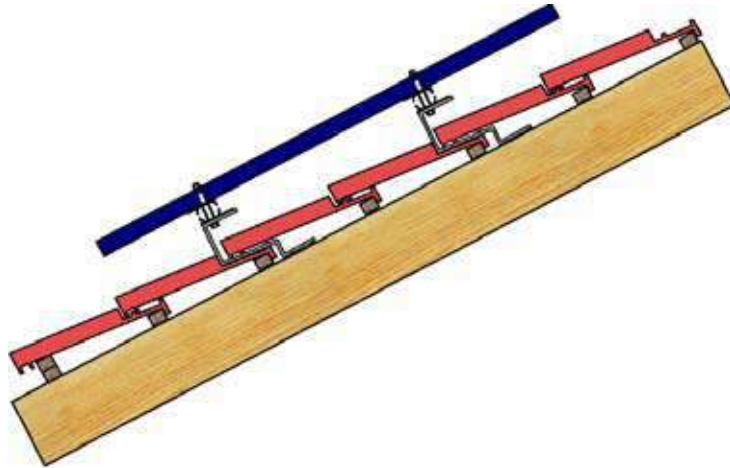


Figura 8.29 - Secção de corte longitudinal

As calhas da Energiebiss são adequadas para a montagem de módulos com e sem armação (módulos vidro-película) para todos os tamanhos standard. São aparafusadas horizontalmente nos pontos de fixação do telhado. Duas calhas paralelas fixam uma fileira de módulos. No caso dos módulos com armação, a armação é fixa às calhas, sendo os módulos presos nas extremidades através de fixações de alumínio. São usados grampos especiais com protecções de borracha para montar os módulos sem armação. Os cabos são encaminhados através das condutas integradas nas calhas.



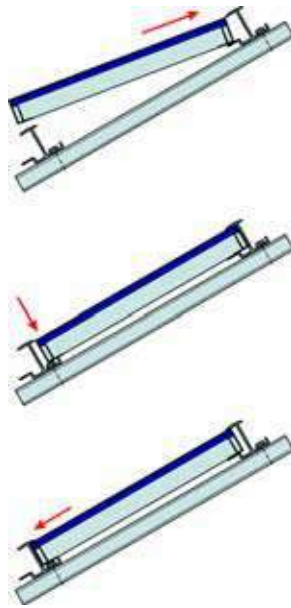
Figura 8.30 - Fixação lateral de um módulo com armação



Figura 8.31 - Grampo entre dois módulos com armação

### Sistema de montagem AluTec SolarMarkt GmbH, Alemanha

A armação AluTec para telhados inclinados é apropriada para segurar os laminados com armação. Neste caso, as secções verticais AluVer são inicialmente aparafusadas aos pontos de fixação do telhado (espaçamento de 1,2 a 1,4 m), sendo então fixadas as secções horizontais AluTec. Estas últimas são secções especiais nas quais os módulos são simplesmente inseridos. Não são sequer necessárias ferramentas nesta etapa. Os módulos mantêm-se no seu lugar, apenas devido ao seu peso. Nas partes laterais das secções AluTec, são ajustados pequenos suportes para que os módulos não deslizem das suas secções. Os cabos verticais são encaminhados nas secções AluVer, enquanto que os cabos horizontais precisam de ser fixados aos perfis AluTec através de clips. A substituição dos módulos individuais é feita de forma simples. As secções AluTec precisam de ser ajustadas à espessura dos módulos usados e, por este motivo, são fornecidos com vários tamanhos.



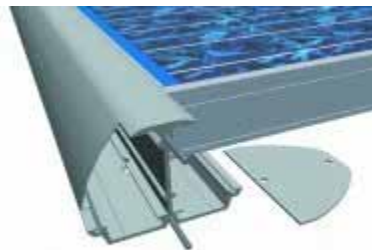
**Figura 8.32 - Encaixe da secção horizontal AluTec**  
Fotografia: SolarMarkt



**Figura 8.33 - Inserção dum módulo na secção horizontal AluTec**

**Sistema de Secções Sol-50**  
Osmer Elektrotechnik, Alemanha

A armação de sistema Sol-50 segue o mesmo princípio de desenho do sistema AluTec. Contudo, este sistema pode receber módulos com armações de diferentes alturas, até ao limite de **50mm**. As secções horizontais são ajustadas à altura global da armação, através da inserção nas calhas de montagem de dois calços por cada módulo, no topo e na base. Os módulos são fixados nas partes laterais através de barras aparafusadas às secções, sendo as secções inferiores e superiores fechadas através da inserção de lâminas.



**Figura 8.34 - Calha de encaixe e placa terminal para as secções Sol-50**  
Fotografia: Osmer

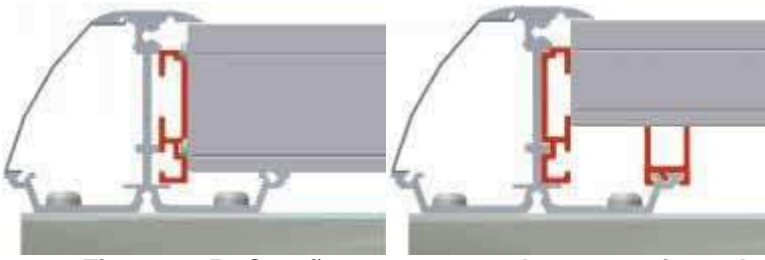


Figura 8.35 - Secção com e sem calços para ajuste da altura da armação dos módulos  
Fotografia: Osmer

### Sistema de montagem SunStick Conergy Systems, Alemanha

SunStick é um sistema universal de fixação no telhado, que compreende pequenas peças que evitam o corte das calhas de montagem. É um sistema modular composto por componentes pré-fabricados, que podem ser armazenados em grandes quantidades, facilitando o seu transporte. É adequado para a maioria dos módulos solares com armação e com dimensões máximas de **1,80 m x 1,40 m**. Consiste basicamente em duas calhas de base (2) por cada fileira vertical de módulos, a partir das quais é possível construir qualquer expansão. Os parafusos de ajuste dos ganchos do telhado (5) permitem ajustar a altura das calhas, por forma a nivelar eventuais irregularidades do telhado e evitar cargas sobre as telhas. O sistema de expansão (3) permite através de um pino de segurança unir as secções, onde são colocados os módulos (1). Estes são presos às calhas através de fixadores (4), ou no caso de fixações no topo e na base do módulo, através de suportes terminais de módulos. Os únicos utensílios necessários para a montagem dos módulos são uma chave Allen e uma chave-inglesa.

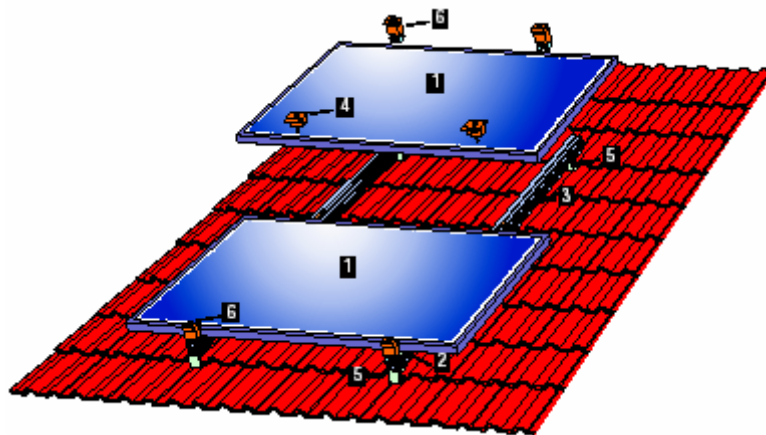


Figura 8.36 - Instalação e encaixe

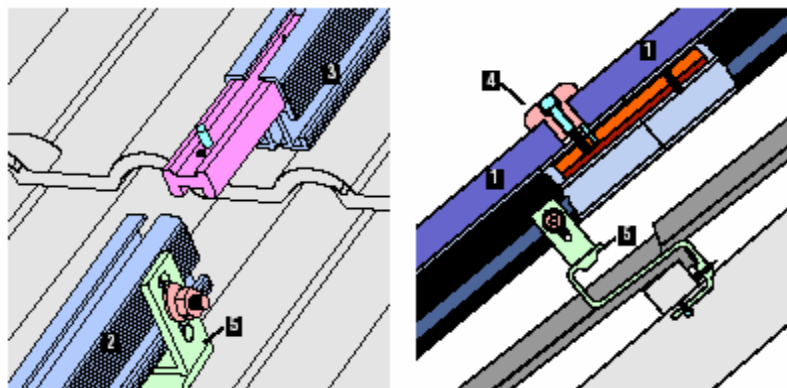
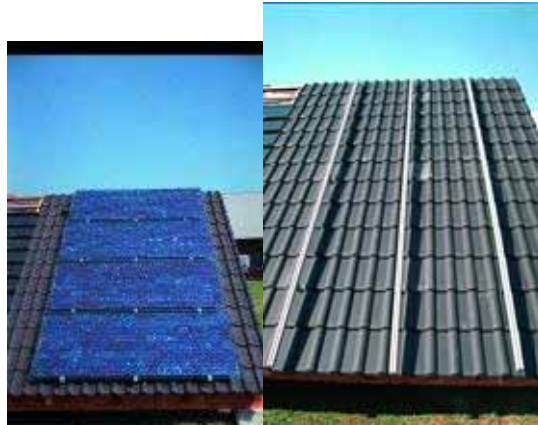


Figura 8.37 - Sistema de montagem SunStick

### Sistema de montagem para módulos vidro-vidro Abakus Energiesysteme, Alemanha



**Figura 8.38 - Estrutura de fixação para telhados inclinados (com e sem módulos)**  
Fotografias: Abakus

Nesta estrutura de montagem para telhados inclinados e para módulos vidro-vidro, as calhas do sistema são fixadas verticalmente aos suportes de montagem. Três calhas paralelas suportam, respectivamente, uma fileira de módulos. Devido ao pequeno espaço entre os eixos dos suportes de montagem, estes são fixados às ripas horizontais em vez das vigas. Os módulos são colocados de baixo para cima. Assentam em secções de borracha (1) e são fixados às calhas de montagem, usando grampos de aço inoxidável através de adaptadores de silício adequados (2, 3). Os grampos terminais no extremo inferior dos módulos são presos à extremidade inferior das calhas através de longos parafusos e porcas especiais para evitar o deslizamento dos módulos (4).



**Figura 8.39 - Sequência da montagem**  
Fotografias: Abakus

**Sistema Solar Universal**  
**Dachziegelwerke Gebrüder Laumans, Alemanha**



**Figura 8.40 - Sistema de montagem fotovoltaico PV 1600 - sequência da montagem**  
 Fotografias: Lafarge Dachsysteme

O sistema Solar Universal consiste num kit completo que é apropriado para praticamente todos os materiais de cobertura de telhados. Este kit compreende telhas de fixação onduladas, calhas metálicas, acessórios e cabos, bem como laminados de **100 watts** sem armação e inversores. Não é possível substituir os componentes individuais por componentes de outros fabricantes. As telhas solares são instaladas nos necessários ripados adicionais e suportam as calhas de suporte verticais. Os grampos retentores, onde são encaixados os módulos, são fixados a estas calhas. São necessárias duas calhas para cada fileira vertical de módulos. Neste caso, os grampos de retenção dos módulos são montados por cima do módulo inferior, sendo então colocado o módulo superior.



**Figura 8.41 - Sistema Solar Universal Telha de fixação (em função do telhado) e montagem dos módulos da base para o topo**  
 Fotografias: Laumans

## Montagem dos módulos nas telhas do telhado

### Sistema de montagem Solo Solon GmbH, Alemanha



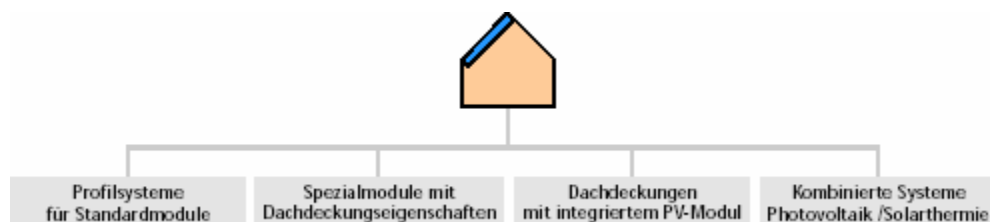
**Figura 8.42 - Montagem dos grampos de retenção de aço inoxidável e módulos**

O sistema de montagem Solo é único entre os sistemas de montagem nos telhados. Neste caso, os laminados de **40 Wp** são montados individualmente sobre as telhas do telhado, usando grampos de retenção de aço inoxidável. O formato do laminado, com as dimensões de **99 cm x 33 cm**, permite que a quase totalidade das telhas de barro (à excepção das telhas planas) e das telhas de cimento, possam ser ajustadas aos laminados através de clips apropriados. A principal vantagem deste sistema reside na simplicidade da montagem (dado que não é necessário qualquer intervenção na cobertura do telhado), na facilidade de substituição dos módulos e na possibilidade de expansão do sistema. Não há qualquer risco de corrosão, uma vez que os grampos de retenção são fabricados exclusivamente em aço inoxidável.



**Figura 8.43 - Sistema de montagem Solo**  
Fotografia: Solon

### 8.3.2 Sistemas integrados no telhado



**Figura 8.44**

Nos sistemas integrados no telhado, os módulos apoiam-se na base do telhado e substituem a cobertura convencional do mesmo. A totalidade da superfície do telhado ou então apenas parte do telhado, podem ser cobertas com módulos. O gerador tem uma dupla função: a de gerar energia eléctrica e a de proteger o edifício contra os elementos climáticos. Por este motivo, o sistema de montagem deve impedir a entrada da água da chuva entre os módulos e nas margens do campo gerador. À semelhança do que acontece nos telhados frios convencionais, será necessária uma estrutura de ripados. Se o declive for

inferior ao valor mínimo, esta construção já não poderá por si só proteger contra a penetração de águas e infiltração de humidades, pelo que será necessário uma sub-cobertura impermeável. No intuito de evitar danos provocados pela retenção das humidades, provenientes da condensação que se forma na parte posterior dos módulos, deve-se garantir a circulação de ar na parte posterior dos mesmos.



**Figura 8.45 - 1 MW Residência estatal de “Nieuwland” em Amersfoort, Holanda**  
Fotografia: REMU

### Sistema de secções para módulos standard

Os sistemas de secções, para laminados com armação e sem armação, consistem numa estrutura que não é auto-sustentada e que está fixada à subestrutura existente do telhado. Os módulos são dispostos nesta armação e fixados linearmente ou pontualmente. A protecção climatérica é conseguida através da sobreposição dos laminados, pelo uso de selos de borracha entre os laminados ou através de canais de drenagem nas secções inferiores dos laminados. Os módulos são ventilados do mesmo modo que as coberturas convencionais no plano da subestrutura do telhado. Para geradores com grandes superfícies de captação, deve-se assegurar um espaço suficientemente grande, para que a circulação do ar se possa fazer naturalmente.

### Sistema de secções Zetter Zetter Solar AG, Suíça



**Desenho:** O sistema de secção Zetter tem um desenho semelhante ao sistema Solardach III. A diferença reside na maior área de sobreposição do módulo no sistema Zetter (sobreposição de 15 cm). Os módulos são normalmente suspensos numa construção composta por ganchos. Dado que na secção Zetter estes elementos são presos às ripas horizontais do telhado, a posição das ripas terá de ser modificada por forma a ajustar-se à altura do módulo.

**Protecção climatérica:** A sobreposição de 15 cm permite o selagem da junção horizontal. A drenagem da água de chuva, tal como para o sistema Solardach III, é assegurada por canais situados por baixo do plano dos módulos.

**Inclinação mínima do telhado:** 20°

**Módulos:** Devido à considerável área de sobreposição, não podem ser utilizados módulos standard. Os laminados sem armação devem ser construídos por medida, uma vez que é necessário manter um espaço entre as células e o bordo da área superior do módulo.

**Manutenção:** A disposição dos módulos favorece a sua auto-limpeza. Os módulos podem ser individualmente substituídos.

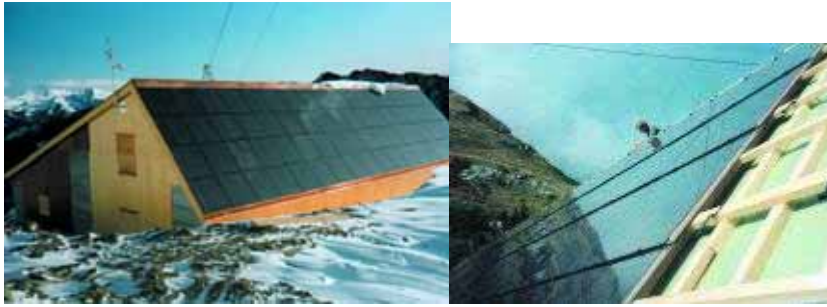


Figura 8.46 - Sistema de secção Zetter

**Sistema de secções Solardach III  
Conergy Systems, Alemanha**



Figura 8.47 - Vista final e secção de corte longitudinal

**Desenho:** Neste sistema de montagem da Conergy Systems, os suportes verticais dos módulos são cortados segundo o comprimento do módulo, e fixados às ripas horizontais do telhado no ponto central inferior dos módulos. Os módulos são então postos sobre as calhas de montagem, deixando uma margem lateral de **3 mm**, sendo suspensos numa estrutura em gancho. Os módulos são colocados de baixo para cima, sendo o limite inferior de cada módulo apoiado sobre o limite superior do módulo anterior. O completo kit é pré-fabricado em função do módulo que deverá ser instalado.

**Protecção climática:** As juntas horizontais são seladas pela sobreposição dos módulos. A protecção contra a projecção de água é conseguida através de uma faixa expandida colada sobre o extremo superior do módulo. A drenagem lateral da água faz-se pelos canais de drenagem das calhas de montagem, situadas por baixo do plano dos módulos.

**Inclinação mínima do telhado:** 23°

**Módulos:** Não existem limitações para os laminados com armação e para a maioria dos laminados sem armação. No entanto, os módulos vidro-vidro deverão ter um comprimento máximo de **80 cm** e uma espessura de **10 mm** (módulos maiores apenas por encomenda). Os módulos podem ser colocados quer na posição vertical quer na posição horizontal.

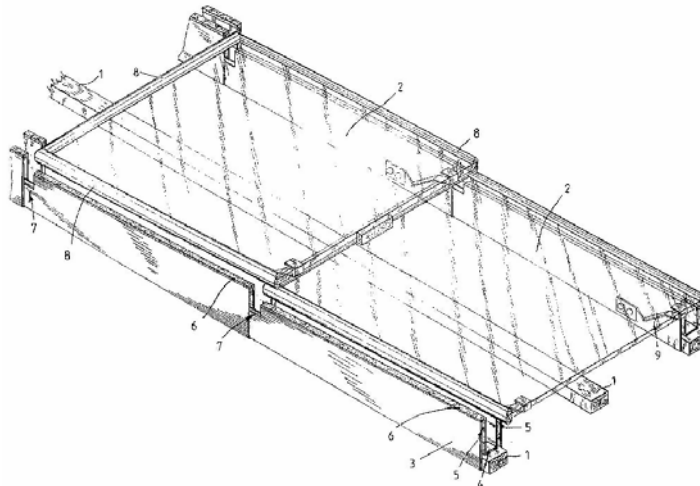
**Manutenção:** A disposição dos módulos favorece a sua auto-limpeza. Os módulos podem ser substituídos individualmente.



Figura 8.48 - Sistema de secções Solardach III

Fotografias: Conergy Systems

## Sistema de Secções IPVH Heisterkamp, Alemanha



**Figura 8.49 - Sistema fotovoltaico integrado com subestrutura de madeira**  
Esquema: Heisterkamp

**Desenho:** As secções de suporte do módulo (3) e os ganchos de montagem que recebem os módulos (2) assentam nas ripas de madeira vertical, que juntamente com as ripas horizontais formam a subestrutura do telhado (1). As secções de suporte com o formato de um M ajustam-se perfeitamente às ripas, sendo afunilados. Isto permite a sobreposição e encaixe das secções superiores, criando ao mesmo tempo uma diferença de altura entre os vários níveis.

**Protecção climática:** A selagem do telhado é garantida pelas juntas horizontais formadas pela sobreposição em escada dos módulos. Nas partes laterais, as secções de suporte sobrepostas funcionam como canais de drenagem (4). A faixa selante e adesiva (6) que é intercalada no espaço entre o módulo e a secção de suporte, permite evitar a entrada de água da chuva e do vento. Para fazer face à eventual acumulação de águas, é aplicada uma borda de protecção (8) no topo dos módulos. Se a cobertura fotovoltaica apenas cobrir parte do telhado, são aplicados revestimentos em chapa que selam a transição para a cobertura adjacente do telhado. Uma grelha perfurada situada nos limites inferiores do campo do módulo facilita a ventilação.

**Módulos:** Este sistema é apropriado para qualquer módulo sem armação e para a maioria dos módulos com armação, dado que as secções de aço inoxidável são individualmente cortadas à medida das dimensões de cada módulo. Para os módulos com armação, são utilizadas secções de suporte com recessos (7) nas barras de suporte (5). Estas barras suportam a armação dos módulos, existindo desta forma um contacto contínuo entre os módulos e as secções de suporte. Os módulos podem ser colocados quer na posição vertical quer na posição horizontal.

**Manutenção:** A disposição dos módulos favorece a sua auto-limpeza. Os ganchos de aço inoxidável são maleáveis e, por este motivo, permitem libertar facilmente os módulos individuais.



**Figura 8.50 - Sistema de secções IPVH**  
Fotografias: Heisterkamp

### Sistema de secções Solrif Enecolo & Ernst Schweizer Metallbau, Suíça

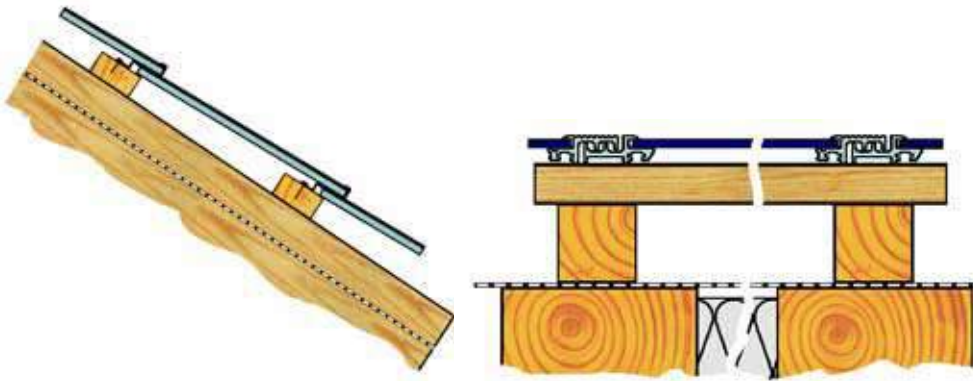


Figura 8.51 - Secções de corte transversal e longitudinal

**Desenho:** Neste sistema de montagem, os módulos são entregues no local da instalação já colados à armação, que é constituída por quatro secções de alumínio perfilado. As ripas horizontais do telhado devem ser adaptadas à largura do módulo. Os módulos são introduzidos em ganchos, que por sua vez estão fixados às ripas horizontais. Os módulos são sobrepostos entre si na direcção vertical, isto é, o extremo inferior do módulo é colocado por cima do extremo superior do módulo anterior.

**Protecção climática:** A selagem do telhado é garantida pela sobreposição das secções horizontal e vertical (à semelhança das telhas), e pelos canais de drenagem que são integrados nestes. Se a cobertura fotovoltaica for parcial, então são colocados revestimentos em chapa que selam a transição para a cobertura adjacente do telhado.

**Inclinação mínima do telhado:** 15°

**Módulos:** Este sistema é adequado para laminados sem armação de qualquer tamanho, uma vez que as secções de alumínio são cortadas à medida do módulo. O módulo é habitualmente colocado na posição horizontal, mas também é possível colocar o módulo na posição vertical. A companhia Biohaus fornece um módulo de **150 W** do fabricante espanhol Isofoton, que em conjunto com a armação Solrif, formam uma telha solar com dimensões de **131 cm x 100,2 cm x 1,6 cm**, que é adequada ao sistema de montagem Biosol Indach. Dispõe de uma versão semitransparente, que pode ser aplicada, por exemplo, em estufas.

**Manutenção:** A sobreposição dos módulos favorece a sua auto-limpeza. As secções podem deslizar na direcção vertical, sendo assim individualmente retiradas sem grandes dificuldades.



Figura 8.52 - Biosol Indach com secções Solrif



Figura 8.53 - Sequência de montagem das secções Solrif  
Fotografias: Enecolo

**Sistema de Secção Boal**  
R&S Renewable Energy Systems, Holanda

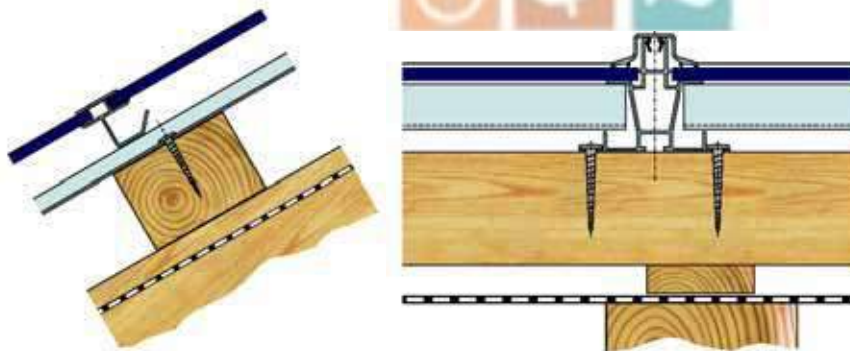


Figura 8.54 - Secções de corte transversal e longitudinal

**Desenho:** O primeiro passo consiste em aparafusar as secções verticais de alumínio às ripas do telhado, nos mesmos intervalos do que os módulos. O comprimento das secções é igual à altura do módulo. As secções horizontais são fornecidas já cortadas (à medida da largura do módulo) e coladas aos módulos, pelo que o trabalho no telhado consiste em acoplar os módulos às secções verticais. No final são encaixadas secções de plástico contínuo sobre os suportes verticais. Estas secções tem por função segurar os módulos, para prevenir que fiquem soltos, sendo disponibilizadas em várias cores.

**Protecção climatérica:** A selagem do telhado é assegurada pelas secções de plástico ajustadas verticalmente e pelas inserções de borracha nas secções horizontais. Por sua vez, os canais de drenagem das secções horizontais e verticais conduzem a qualquer infiltração na direcção do solo.

**Inclinação mínima do telhado:** 30°

**Módulos:** Este sistema permite usar laminados sem armação de qualquer tamanho com uma espessura máxima de 5mm. Os módulos podem ser colocados na posição vertical ou horizontal.

**Manutenção:** O perfil plano do gerador promove a sua auto-limpeza. Para soltar os módulos individualmente, a faixa protectora de plástico tem de ser removida.



Figura 8.55 - Sistema de secções Boal

**Sistema de Secções Energiedach**  
Solar World AG, Alemanha

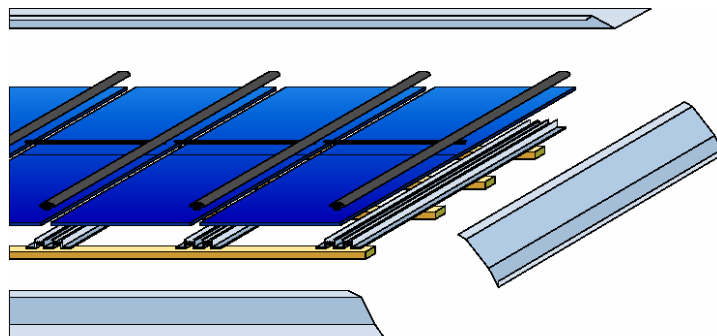


Figura 8.56 - Isometria

**Desenho:** À semelhança do sistema Boal, o primeiro passo consiste em prender as secções contínuas de suporte às ripas horizontais do telhado, com o mesmo espaçamento do que os módulos. Os módulos são então assentes sobre estes, sendo deixada uma margem lateral mínima. Na junta horizontal, no intervalo entre dois módulos sobrepostos, é inserida uma faixa de borracha de dupla face em forma de U. Da mesma forma são extendidas faixas de borracha contínuas nas junções verticais, evitando desta forma que os módulos fiquem soltos.

**Protecção climatérica:** As juntas verticais e horizontais são seladas por faixas de borracha. As infiltrações de águas são escoadas através dos canais de drenagem das secções de suporte.

**Inclinação mínima do telhado:** 15°

**Módulos:** Podem ser usados laminados sem armação com uma espessura de **3,5 a 7mm**, dispostos na posição vertical.

**Manutenção:** O perfil plano do gerador promove a sua auto-limpeza. Para retirar os módulos individuais, têm de ser removidas as faixas verticais de borracha.



Figura 8.57 - Secção de suporte com faixas de selagem



Figura 8.58 - Sistema de secções Energiedach  
Fotografias: Solarworld

**Placas perfiladas Intersole  
Econergy Int.**

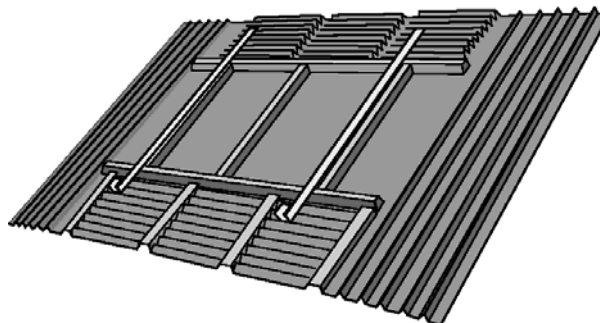


Figura 8.59 - Placa de plástico

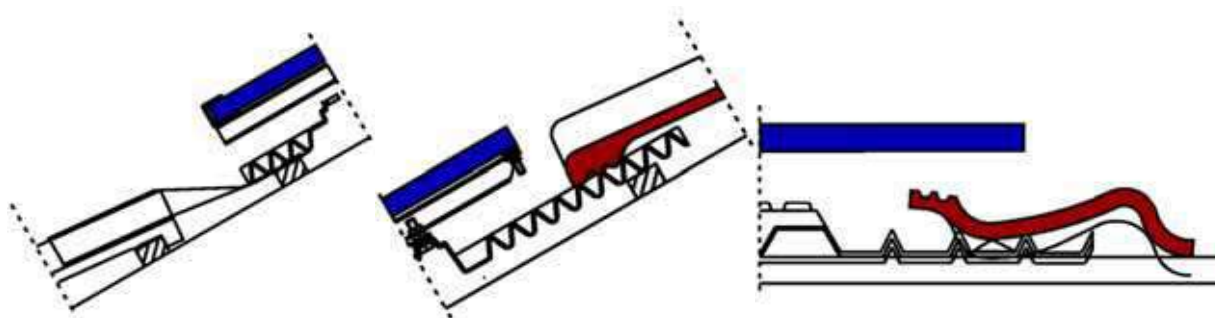


Figura 8.60 - Parte superior, inferior e juntas laterais nas telhas com cobertura parcial

**Desenho:** O sistema combinado de montagem Intersole Interflex, baseia-se em placas perfiladas da Intersol de **1,60m x 1m**, feitas de plástico reciclado resistente aos raios UV, sendo presas às ripas do telhado e sobrepostas em ambas as direcções, horizontal e vertical. Este sistema pode ser aplicado para qualquer tipo de telha comum. As secções de alumínio Interflex são fixadas verticalmente à parte rígida e central da matriz Intersole, sendo então fixados os módulos através de grampos. Neste sistema de montagem, a ventilação tem lugar no plano das secções de alumínio.

**Protecção climatérica:** Dado que as placas de plástico são colocadas em sobreposição, elas asseguram a protecção do telhado contra os agentes climatéricos. Os módulos são colocados lado a lado, deixando espaços abertos entre eles. As infiltrações são escoadas através da superfície plástica, que se encontra por baixo dos módulos.

**Inclinação mínima do telhado:** 15°

**Módulos:** Podem ser usados todos os tipos de módulo com armação. As placas possuem folgas que permitem que a sobreposição seja ajustada para os diferentes tamanhos de módulos. Os módulos são montados preferencialmente na posição horizontal. Na posição vertical, as faixas Interflex são instaladas horizontalmente, o que prejudica a ventilação na parte posterior.

**Manutenção:** Para além das armações do módulo, não há elementos estruturais sobre o plano do gerador que prejudiquem a sua auto-limpeza. Os módulos podem ser separados individualmente do conjunto.



Figura 8.61 - Secções Intersole

Colagem numa placa trapezoidal

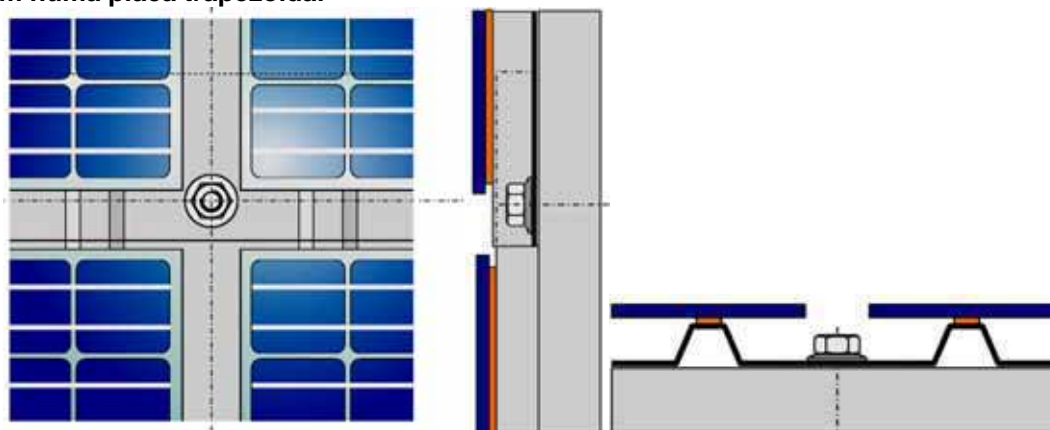


Figura 8.62 - Plano superior e secções de corte transversal e longitudinal

**Desenho:** As placas trapezoidais têm características adequadas para receber módulos solares. Os módulos são colados às placas nos locais de montagem e o conjunto, com os módulos já montados, são sobrepostos no telhado e aparafusados às ripas, do mesmo modo que as placas onduladas convencionais. Entre os módulos, podem ser montadas calhas como medida adicional de segurança. Os módulos são ventilados através dos correntes de ar que circulam entre as ondas da placa. A ventilação depende da altura e da largura da secção. As placas trapezoidais estão disponíveis em diferentes formatos e cores. Deve ser dada uma especial atenção aos ligadores posteriores na selecção dos módulos, pois estes não devem ultrapassar a profundidade da secção da placa. A densidade de montagem dos módulos determina o limite do espaço visível da placa trapezoidal.

**Protecção climatérica:** As camadas trapezoidais em sobreposição garantem a protecção contra os agentes climatéricos de forma semelhante às restantes coberturas. A água da chuva é escoada pelos canais da placa.

**Inclinação mínima do telhado:** A inclinação mínima do telhado depende da altura do perfil, do comprimento da placa, das juntas laterais e do tipo e local das aberturas sobre a placa.

**Módulos:** São usados laminados sem armação, que podem ser montados na posição horizontal ou vertical.

**Manutenção:** A ausência da armação favorece a auto limpeza do gerador. Os módulos individuais podem ser removidos através de um fino cabo de aço que é puxado através da camada de cola, por forma a separar o módulo. Esta tarefa será mais fácil de executar se o cabo for previamente aquecido.



**Figura 8.63: Módulos colados em placas trapezoidais**  
Fotografia: PMS Energie AG

**Fabricantes de outros sistemas de secção no telhado:** HaWi Energietechnik, IBC, Osmer Elektrotechnik, Soltech

### Módulos especiais para a cobertura de telhados

Estes módulos são modificados na sua forma e função, por forma a adquirirem as características próprias das coberturas convencionais. Uma telha convencional sobrepõe-se à telha inferior e à telha lateral, por forma a que a água da chuva possa fluir na sua superfície. A forma da sobreposição (encaixe), garante que a neve e a água da chuva não penetrem por baixo da cobertura do telhado, e que os fluxos de água não se infiltrem por baixo das telhas. Ao modificar os módulos solares, os fabricantes procuraram introduzir este princípio, tendo desenvolvido armações especiais para a sobreposição. Estas podem ser ajustadas directamente às ripas existentes. Contrariamente às telhas convencionais, em que o respectivo peso oferece suficiente segurança em caso de tempestades, o reduzido peso dos módulos solares faz com que seja obrigatória a sua fixação mecânica. A eliminação dos trabalhos relativos à instalação das estruturas de suporte e a reduzida dimensão dos módulos, simplificam a montagem no telhado.

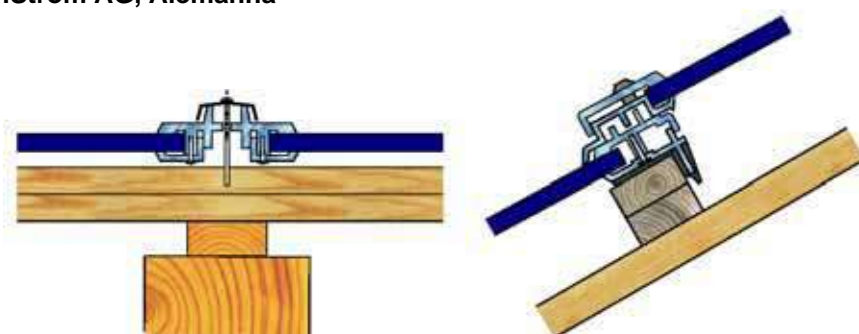
A ventilação do módulo ocorre no plano da subestrutura do telhado. Contudo, o desenho das estruturas da armação, que nalguns casos são compactas, requer frequentemente canais de ventilação adicionais, por forma a permitir o arrefecimento das células solares. Se os módulos apenas cobrirem uma parte do telhado, deve-se ter em atenção de que nem todos os sistemas podem ser combinados com os vários tipos de cobertura e declives dos telhados.



**Figura 8.63 - 1 MW Residência Estatal 'Nieuwland', perto de Amersfoort, na Holanda, em primeiro plano, sistema Braas PV 700**

Fotografia: Remu

**Telhas solares Newtec**  
Phönix SonnenStrom AG, Alemanha



**Figura 8.64 - Secções de corte transversal e longitudinal**

**Desenho:** O sistema de telhas solares da Phönix, pode ser integrado na maioria das coberturas. Consiste numa armação de plástico com a dimensão de **76,1 cm x 50,5 cm**, que recebe um laminado de vidro especial endurecido. Consequentemente, as dimensões da telha solar são ajustadas às dimensões standard das telhas normais. É no entanto mais estreita do que as telhas convencionais. Por este motivo, é necessário instalar outra linha de ripas no sistema de suporte horizontal existente. Os módulos são sobrepostos na direcção vertical e encaixados entre si através de ranhuras alinhadas entre si. Os módulos são finalmente presos em cada lado com perfis de acabamento feitos de alumínio anodizado, aparafusados às ripas. Estas secções têm o mesmo comprimento que o módulo. Se a cobertura fotovoltaica apenas cobrir uma parte do telhado, são aplicadas placas cuneiformes de remate, sendo então a cobertura convencional do telhado aplicada ao mesmo nível do campo fotovoltaico. Na linha da cumeeira e do beiral, a integração é conseguida através da sobreposição da cobertura do telhado.

**Ventilação:** A simples estrutura do módulo (laminado) e a armação plana de plástico da parte posterior, permitem a ventilação no plano da subestrutura do telhado.

**Protecção climática:** A sobreposição dos módulos, as secções de cobertura vertical e os canais de água incorporados na armação, garantem a protecção do telhado contra as infiltrações da água da chuva.

**Inclinação mínima do telhado:** 15°

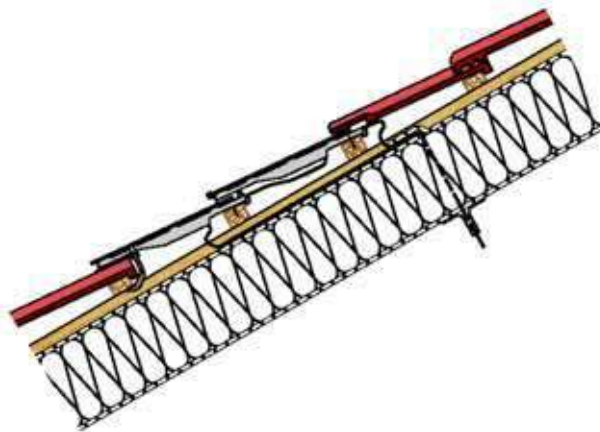
**Potência eléctrica:** 38 W<sub>p</sub> por módulo.

**Manutenção:** As secções horizontais planas promovem a auto-limpeza do gerador. Os módulos individuais podem ser retirados libertando as duas secções laterais de acabamento. Pode-se caminhar por cima dos módulos, desde que se tenha alguma precaução.



**Figura 8.65 - Telhas solares Newtec**  
Fotografias: Phönix Sonnenstrom AG

**Sistema PV 700**  
**Braas Dachsysteme, Alemanha**



**Figura 8.66 - Secção de corte longitudinal com abertura de telhado correctamente executada**

**Desenho:** Este sistema, para os telhados da Braas, é um sistema completo que foi desenvolvido especialmente para as seguintes telhas: Frankfurter Pfanne, Doppel-S, Taunus Pfanne, Harzer Pfanne e Tegalit. Para além disto, pode ser combinada com a telha “Topas Reformpfanne” da RuppKeramik. Um laminado sem armação da Shell Solar é montado sobre as ripas do telhado, usando cassetes especiais de fixação. O módulo, com as dimensões de **38cm x 119,4cm**, é colocado transversalmente. Cada módulo substitui quatro telhas de uma fila e é preso mecanicamente às restantes telhas.

**Ventilação:** O uso de cassetes de fixação implica que a ventilação natural dos módulos não é possível; sendo a ventilação conseguida através dos canais de ventilação integrados no interior das cassetes de fixação.

**Protecção climática:** A sobreposição das cassetes de fixação, à semelhança das telhas convencionais, permite proteger o telhado contra a infiltração das águas da chuva.

**Inclinação mínima do telhado:** 15°

**Potência:** 35 W<sub>p</sub> por módulo.

**Manutenção:** Os módulos sem armação e o sistema de grampo de ponto-fixa, favorecem a auto-limpeza do gerador. É possível retirar os módulos individuais, mas não é permitido andar por cima deles.



Figura 8.67 - PV 700 com telhas Tegalit  
Fotografia: Remu

**Terra Piatta Solar**  
Dachziegelwerke Pfleiderer, Alemanha

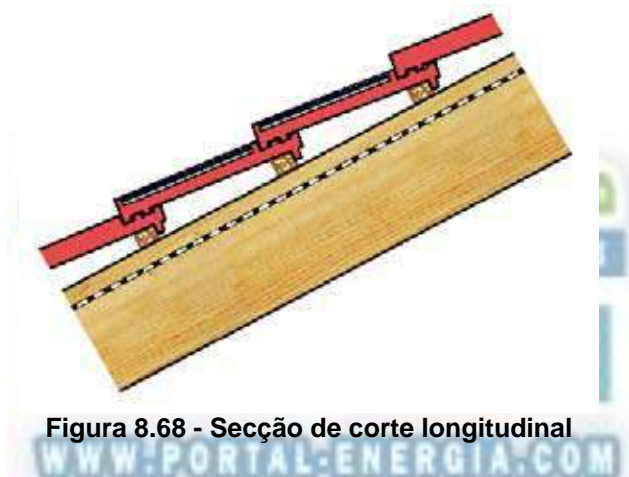


Figura 8.68 - Secção de corte longitudinal

**Desenho:** Este sistema de telhas solares do fabricante Pfliedere, foi desenvolvido especialmente para a telha plana de barro “terra Piatta”. A “Terra Piatta Solar” consiste num laminado colado numa armação de plástico. Tem **45cm** de altura e **142,3 cm** de largura e, de modo semelhante, ao do sistema Braas, substituindo seis telhas de barro. Contudo, ao contrário do sistema PV 700, a Terra Piatta Solar consiste num único componente e é colocado sobre as ripas do telhado como se tratasse de uma telha. Para fazer face às tempestades, a telha solar é adicionalmente presa às ripas.

**Ventilação:** A armação de plástico é aberta no lado posterior, o que permite a ventilação do laminado no plano da subestrutura do telhado.

**Protecção climática:** A armação de plástico tem os mesmos encaixes do que a telha Terra Piatta. Consequentemente, a protecção climática é semelhante à de uma telha convencional.

**Inclinação mínima do telhado:** 15°

**Potência eléctrica:** 50  $W_p$  por módulo com células policristalinas (ver abaixo), 56  $W_p$  por módulo com células monocristalinas.

**Manutenção:** A ausência de elementos estruturais sobre o plano do gerador, favorece a sua auto-limpeza. Os módulos individuais podem ser retirados, desapertando o parafuso de fixação. É possível andar sobre os módulos desde que se tenha cuidado.



Figura 8.69

**Sesol Quick D4-F**  
**Sesol Gesellschaft für solare Systeme, Alemanha**

**Desenho:** O sistema solar Sesol foi desenvolvido para telhas onduladas do tipo Frankfurter Pfanne, independentemente do fabricante. Cada elemento solar compreende um laminado sem armação de 33cm de comprimento e 108cm de largura, que é colado num suporte especial feito de mineral fundido. Substitui quatro telhas convencionais e é colocado exactamente do mesmo modo. A telha solar não requer qualquer elemento de segurança adicional, uma vez que o seu peso é similar ao das telhas normais.

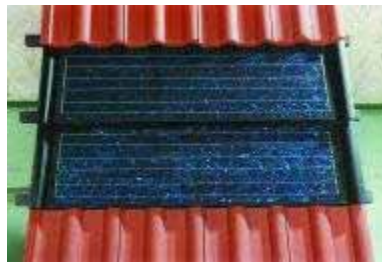
**Ventilação:** O suporte metálico é ventilado no plano da subestrutura do telhado e funciona como dissipador térmico do laminado.

**Protecção climatérica:** A protecção climatérica é semelhante à de uma cobertura convencional, dado que o encaixe é feito tal como para a telha Frankfurter Pfanne.

**Inclinação mínima do telhado:** Semelhante à cobertura original.

**Potência eléctrica:** 45,5 W<sub>p</sub> por módulo policristalino SolarWatt, 47 W<sub>p</sub> para um módulo monocristalino Alfasolar.

**Manutenção:** A ausência de elementos estruturais sobre o plano do gerador favorece a auto-limpeza do mesmo. É possível retirar os módulos individuais sem grandes dificuldades. É possível andar sobre os módulos se forem tomados alguns cuidados.



**Figura 8.70 - Sesol Quick D4-F**  
 Fotografia: Sesol

**SolarSklent**  
**Rathscheck slates and roof systems, Alemanha**

**Desenho:** Este sistema solar feito pela Rathscheck, foi desenvolvido especialmente para telhados com ardósias de corte curvo. Uma armação de plástico em forma de losango com dimensões de 92,1cm x 92cm, prende um laminado de vidro especial endurecido. Com uma dimensão equivalente a quatro vezes quatro ardósias, o componente Solar Sklent é instalado em sobreposição na superfície do telhado, como se tratasse de uma ardósia sobredimensionada. Não é necessário intervir nas ardósias adjacentes. Cada elemento SolarSklent possui uma caixa de ligações, que necessita de ser oculta na placa.

**Ventilação:** O assentamento directo na placa significa que não é possível ventilar o módulo.

**Protecção climática:** Em resultado do seu formato, a SolarSklent garante o eficaz escoamento das águas e, por isso, a protecção do telhado contra as infiltrações.

**Inclinação mínima do telhado:** 30°

**Potência eléctrica:** 50 W<sub>p</sub> por módulo.

**Manutenção:** A ausência de elementos estruturais sobre o plano do gerador, favorece a sua auto-limpeza. Para substituir um SolarSklent é preciso remover as ardósias adjacentes. É possível andar sobre o SolarSklent, mas com algum cuidado.



Figura 8.71 - Colocação e vista final das telhas SolarSklent

**Telhas planas fotovoltaicas SHR**  
Uni-Solar / Bess Europe, Bélgica

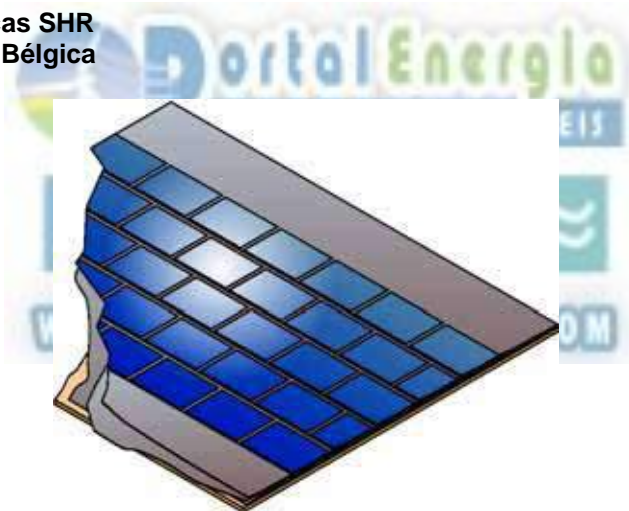


Figura 8.72 - Assentamento das telhas planas SHR

**Desenho:** Estas telhas planas (*shingle*) constituem elementos flexíveis de plástico, de dimensões 2,20m por 0,31m, sobre as quais são vulcanizados laminados num processo de junção a quente. As telas fotovoltaicas são colocadas horizontalmente em sobreposição, têm um formato de um rolo de 2,20m x 30,5 cm, composto por fileiras de células de tripla junção, de silício amorfo, com as dimensões 12,7 cm x 17,8 cm. Estas células são fixadas à placa através de pregos convencionais.

**Ventilação:** A fixação à placa implica que não é possível efectuar a ventilação do módulo. No entanto, as células amorfas de película-fina são menos sensíveis às altas temperaturas.

**Protecção climática:** A selagem é assegurada pelo próprio formato da telha e, nalguns casos, pela tripla sobreposição dos elementos.

**Inclinação mínima do telhado:** 15°

**Potência eléctrica:** 17 W<sub>p</sub> por módulo

**Manutenção:** A ausência de elementos com relevos favorece a auto-limpeza do gerador. É possível andar por cima dos módulos.



**Figura 8.73 - Telha fotovoltaica SHR**  
Fotografias: Bekaert ECD Solar Systems Europe

**Fabricantes de outros módulos especiais:** Eternit AG, Suíça; 3S Swiss Sustainable Systems AG, Suíça.

### Coberturas de telhado com módulos fotovoltaicos integrados

Estes são elementos para a cobertura de telhados que, de modo adicional, incluem as propriedades de um módulo solar. O material do telhado é usado como um suporte mecânico para o módulo fotovoltaico e desempenha funções ao nível da protecção climática. Por esse motivo, a sua impermeabilidade é comparável à de uma cobertura convencional. Os módulos são presos aos elementos da cobertura do telhado na sua parte posterior, na maior parte dos casos através de colagem. A ausência de elementos estruturais no plano do gerador, favorece a auto-limpeza dos módulos. É possível retirar elementos individuais de acordo com o tipo de cobertura do telhado. A reduzida dimensão de alguns dos módulos tem como vantagem poderem ser ajustados, mesmo em menores áreas do telhado, mas isto representa um maior custo em termos de cablagem e agrava as necessidades em termos de área de captação.

### Telha solar Laumans Dachziegelwerke Laumans, Alemanha

**Desenho:** Este sistema solar da Laumans foi especialmente desenvolvido para as telhas de barro "Rheinland" e "Tiefal". As telhas solares são telhas de barro normais com uma ligeira modificação no seu topo, onde são introduzidas as ranhuras. Os módulos usados neste sistema compreendem três células vedadas com teflon (monocristalino ou policristalino), assentes num substrato de vidro endurecido. São ligadas em cadeias durante a produção e empacotadas em conjunto. No telhado, as cadeias são colocadas de cima para baixo e encaixadas nas ranhuras das telhas, usando o patenteado sistema de engate de aço inoxidável. As telhas solares podem ser colocadas de modo convencional com ou sem módulos solares, proporcionando uma superfície geradora que pode posteriormente ser expandida.

**Ventilação:** O espaço livre de aproximadamente 1 cm entre a telha e o módulo, permite a ventilação deste último.

**Potência eléctrica:** 3,7  $W_p$  por módulo (policristalino) ou 4,55  $W_p$  por módulo (monocristalino).

**Manutenção:** Os módulos têm uma superfície que repele a sujidade. Não é possível andar sobre eles.



**Figura 8.74 - Telha solar Laumans**  
Fotografias: Laumans

### Telha Sunny Star Unity, Suíça

A Star Unity é uma empresa suíça, que oferece um produto similar à telha solar Laumans. A telha Sunny é uma telha de dupla ranhura feita de plástico acrílico, que pode ser combinada com células monocristalinas (6,5 Wp por telha) ou com células amorfas (2 Wp por telha). A telha é fornecida pela Klöber e é originalmente transparente, sendo só depois tingida e adaptada como uma telha solar. Para um sistema fotovoltaico até **3 kWp**, a telha Sunny é fornecida na cor castanha ou em versão transparente. Para potências superiores a **3 kWp**, pode ser escolhida qualquer cor.



**Figura 8.75 - Telha Sunny**  
Fotografias: Star Unity

### Telha solar de barro Müritz Tonindustrie Heisterholz, Alemanha

**Desenho:** Este sistema solar da Heisterholz foi desenvolvido especialmente para o formato da telha "Müritz", fabricada pela Heisterholz. Neste sistema, são ligadas entre si três telhas "Müritz", que suportam um módulo solar colado e fixado por um parafuso. O módulo é constituído por células monocristalinas e tem uma placa frontal feita de vidro solar não reflectivo.

**Ventilação:** A ventilação é realizada no espaço que medeia a telha e o módulo.

**Protecção climática:** Semelhante à telha original.

**Inclinação mínima do telhado:** Semelhante à telha original.

**Potência eléctrica:** 30 W<sub>p</sub> por módulo.

**Manutenção:** A ausência de elementos estruturais sobre o gerador, favorece a sua auto-limpeza. É possível andar sobre a telha solar de barro Müritz desde que com precaução.



**Figura 8.76 - Telha solar de barro Müritz**  
Fotografias: Heisterholz

### Telha Solar Sunslates SES Société d'Energie Solaire, Suíça

**Desenho:** Esta telha solar da SES, foi concebida especificadamente para a "linha XL" de telhas Eternit. É também adequada para a integração em fachadas. A Sunslate baseia-se numa placa de fibrocimento com dimensões de 72cm x 40cm, sobre a qual é colado um módulo com seis células solares de 30 cm x 40 cm. O módulo é um laminado constituído por células monocristalinas ou policristalinas, por uma placa de vidro endurecido e por uma lâmina posterior de alumínio. Em termos da subestrutura e montagem, as Sunslates são colocadas de modo idêntico às telhas convencionais, sendo pregadas ao ripado do

telhado. São fornecidas telhas naturais da fábrica de ardósias Magog para uma dupla cobertura com módulos Sunslates de 27 cm x 29 cm, compostos por quatro células monocristalinas. Cada ardósia mede 62 cm x 27 cm.

**Ventilação:** Os ripados permitem que se efectue a ventilação das Sunslates. Contudo, dado que os módulos são colados às ardósias e que existe uma dupla sobreposição, a ventilação posterior dos módulos é algo limitada.

**Protecção climatérica:** Semelhante às telhas originais.

**Inclinação mínima do telhado:** 18°, dupla cobertura: 40°.

**Potência eléctrica:** 12  $W_p$  por módulo (SES) ou 7,9  $W_p$  por módulo (Magog).

**Manutenção:** A ausência de elementos estruturais sobre o gerador favorece a sua auto-limpeza. É possível andar sobre as Sunslates.



Figura 8.77 - Telha solar em base de ardósia natural  
Fotografia: Magog



Figura 8.78 - Telha solar em base de fibrocimento  
Fotografias: Formerly Atlantis

### Telha solar Solardachstein Solara, Alemanha / SED, Austria

**Desenho:** A telha solar Solardachstein é oferecida pela SED e pela Solara, e foi concebida para telhas convencionais. Trata-se de uma telha de 63cm x 42cm, de plástico reciclado, sobre a qual é colado um módulo vidro-vidro composto por oito células solares policristalinas da Photowatt. O módulo vidro-vidro é constituído por um vidro de segurança não reflectivo nas suas duas faces. A telha solar é colocada tal como a telha original do telhado e, devido ao seu peso (dois terços do peso original), não requer outro sistema mecânico de fixação, o que faz com que a sua colocação seja muito mais simples. É fornecida nos formatos mais populares de telhas e com várias cores.

**Ventilação:** A telha solar é aberta na sua parte interior, o que permite a ventilação do módulo no plano da subestrutura do telhado.

**Inclinação mínima do telhado:** Semelhante à telha original.

**Potência:** Módulo de 10,5 W<sub>p</sub>.

**Manutenção:** A ausência de elementos estruturais sobre o gerador favorece a sua auto-limpeza. A área da superfície do gerador é transitável.

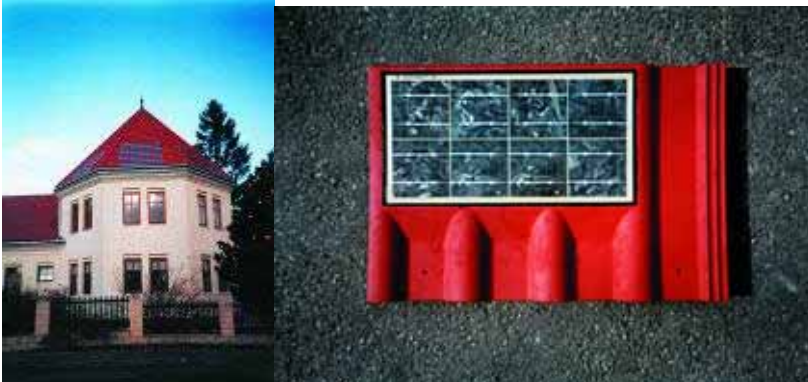


Figura 8.79 - Telha solar Solardachstein Esquerda: Infantário Beitenfurth, Austria Direita: Tipo 'Heidelberger'  
Fotografias: SED

#### Telhas de ardósia Electra Grupo Intersolar, Reino Unido

O sistema solar Electra Slate, foi desenvolvido pelo fabricante de células solares Intersolar, juntamente com o construtor de casas pré-fabricadas Alfred McAlpine, e consiste em células de película fina integradas em telhas naturais de ardósia. Os laminados vidro-vidro têm **5,5 mm** de espessura, **30 cm** de largura e **50 cm** de altura. As células solares de silício amorfo são integradas na parte inferior da telha (nos últimos 19 cm), enquanto que o resto da superfície é sobreposta pelos elementos circundantes. À semelhança das ardósias originais, as Elektra Slates são pregadas directamente ao ripado do telhado.



Figura 8.80 - Telha Electra com células de silício amorfo  
Fotografia: Intersolar

#### Telha Solar Solarwatt, Alemanha

**Desenho:** Este sistema solar da Solarwatt, foi desenvolvido especialmente para as telhas planas de plástico da Halbauer. A telha solar consiste numa unidade de seis telhas individuais, que formam uma área de 107 cm x 30 cm. O material plástico da telha plana recebe um módulo vidro-vidro, com células solares monocristalinas, policristalinas ou EFG, que são coladas à telha. Para a sua montagem é necessário mais uma secção horizontal. A telha solar é ligada às restantes telhas planas adjacentes através de um gancho, não requerendo nenhuma fixação mecânica adicional.

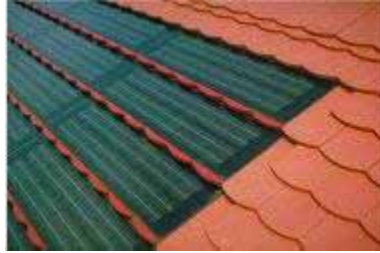
**Ventilação:** A armação de plástico é aberta na face interior, sendo a ventilação do módulo feita no plano da subestrutura do telhado. No entanto, o suporte estrutural da estrutura e a adicional secção do telhado, restringem de alguma forma a ventilação do módulo.

**Protecção climatérica:** Semelhante à telha original.

**Inclinação mínima do telhado:** Semelhante à telha original.

**Potência:** Dependendo do tipo de célula, 27, 28 ou 35 Wp por módulo.

**Manutenção:** A ausência de elementos estruturais sobre o gerador, favorece a sua auto-limpeza. É possível andar sobre a telha solar desde que se tenha algum cuidado.

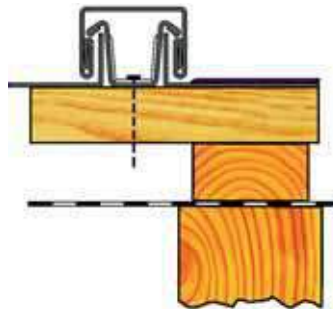


**Figura 8.81 - Telhas solares Solarwatt**  
Fotografia: Solarwatt

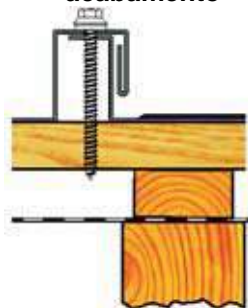
**Secções de aço Solartec**  
Thyssen Bausysteme, Alemanha



**Figura 8.82 - Solartec "Style":** Fixação invisível através de secções de retenção, que são aparafusadas aos ripados



**Figura 8.83 - Solartec "Design":** Secções de fixação com retentores aparafusados e perfil de acabamento



**Figura 8.84 -** Fixação visível usando parafusos de aço inoxidável e anilhas, e selagem EPDM

**Desenho:** O Thyssen Solartec é um sistema usado na construção de telhados e fachadas, em edifícios industriais e residenciais. Compreende elementos de aço que são revestidos com células solares amorfas de tripla junção Uni-Solar. São normalmente usadas folhas de aço galvanizado ou recobertas por uma capa plástica. À semelhança de um telhado metálico convencional, os elementos Solartec são montados directamente na subestrutura do telhado ou da fachada. Existem quatro tipos diferentes. O Solartec “Style” é colocado na posição horizontal de margem para margem. A colocação do painel é feita tal como num telhado inclinado, sendo os diferentes elementos engatados de baixo para cima. Os painéis têm uma largura de 42 cm e, opcionalmente, 3,05m ou 5,80 m de comprimento.

Os sistemas “Design”, “Trend” e “Classic”, são colocados na vertical, desde a cumeeira até ao beiral do telhado. O tipo “Classic” é baseado numa secção trapezoidal, enquanto que os sistemas “Design” e “Trend” usam um desenho vertical rebatido. Os elementos do sistema “Design” possuem rebordos laterais com 3 cm de altura. São colocados no telhado com um espaçamento de 4,5 cm e fixados através de grampos. A largura total é de 45 cm (Design), 45,5 cm (Trend) e 47,4 cm (Classic). Existem elementos de 3,05 m ou 5,08 m de comprimento para cada tipo.

Todos os tipos estão disponíveis com e sem a película fotovoltaica. Isto significa que se pode optar por revestir a totalidade da superfície do telhado ou apenas áreas parcelares. Podem ser fornecidas secções especiais para as juntas do algeroz e da cumeeira do telhado.

**Ventilação:** A ventilação tem lugar no plano da estrutura do telhado. É restringida pela colagem do módulo ao elemento de aço. Contudo, as elevadas temperaturas não afectam o desempenho das células amorfas de película fina.

**Protecção climatérica:** Semelhante à do telhado original com rebordo.

**Inclinação mínima do telhado:** 5°

**Potência:** 64 ou 128 Wp em função do comprimento do elemento.

**Manutenção:** A ausência total de elementos estruturais sobre o gerador, favorece a sua auto-limpeza. É possível andar sobre os módulos desde que se tenha cuidado.

*Assentamento das secções de aço Solartec*



Figura 8.85



Figura 8.86 - 1,7 kWp Solartec “Style” em aço inoxidável, no Nautineum Dänholm Stralsund, uma divisão do Museu Oceanográfico Alemão

Fotografia: Rolf Reinicke, Museu Oceanográfico Alemão



**Figura 8.87 - 50 kW<sub>p</sub> Solartec sobre estrutura ondulada na fachada industrial no ThyssenKrupp Stahl em Duisburg-Beeckerwerth, na Alemanha**

**Perspectiva:** Uma versão mais avançada com isolamento térmico integrado, chamada Thermodach Solartec, surgiu recentemente, mas por enquanto apenas como um protótipo. Este elemento, de construção muito ligeira, é constituído por duas folhas de aço revestidas com espuma de poliuretano, com uma espessura máxima de 130 mm. Tal com para o sistema convencional Solartec, os laminados amorfos de tripla junção são colados sobre os elementos sobrepostos.



**Figura 8.88 - Thermodach Solartec**  
Fotografias: Thyssen Bausysteme

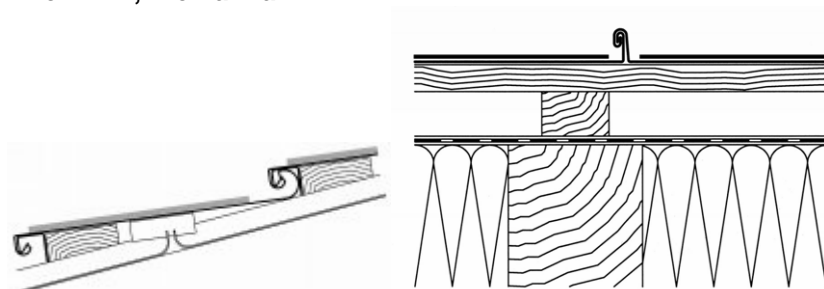
#### **Telhado fotovoltaico de rebordo vertical SSR Uni-Solar / Bess Europe, Bélgica**

O elemento Uni-Solar SSR para telhados fotovoltaicos, é feito de aço, revestido por uma liga de zinco e alumínio, sendo também colocado segundo o método do rebordo vertical. Tal como os restantes telhados convencionais de rebordo vertical, os elementos SSR são fixados à subestrutura, usando grampos de retenção. São recobertos com os mesmos laminados Uni-Solar do sistema Solartec. A largura standard é de **42 cm** e o comprimento da faixa de **2,94 m** para módulos de **64 Wp** e de **5,56 m** para módulos de **128 Wp**. Sob encomenda, é possível obter maiores tamanhos com larguras e comprimentos máximos de **40,5 cm e 12 m**, respectivamente. Os elementos podem ser usados em superfícies curvas com um raio mínimo de **1,2 m**. Todas as restantes características são iguais às das secções Solartec.



**Figura 8.89 - Telhado de rebordo vertical SSR PV**  
Fotografias: Bekaert ECD Solar Systems Europe

## Secções de zinco com rebordos verticais e sistema solar Quick Step Rheinzink, Alemanha



**Figura 8.90 - Esquerda: Secção de corte longitudinal do Quick Step Solar PV e Direita: Secção de corte transversal da secção de rebordo vertical Solar PV**

**Desenho:** O construtor de telhados metálicos Rheinzink desenvolveu dois produtos similares para telhados de zinco. O sistema solar de rebordo vertical da Rheinzink, consiste numa cobertura que usa o método clássico de rebordo. A totalidade da superfície dos laminados Uni-Solar de células amorfas de tripla junção, é colada sobre as secções individuais. À semelhança da cobertura de rebordo vertical normal, os elementos de 43 cm de largura e 3 m de comprimento são dispostos na vertical e fixados no rebordo através de grampos de retenção, em oposição à força de sucção do vento e de eventuais deslizamentos.

O sistema Quick Step Solar PV consiste num telhado em degrau, feito com painéis colocados na horizontal, sobre os quais são colados módulos solares vidro-vidro (usando para o efeito um adesivo transparente). Para atenuar a discrepância visual com a superfície de zinco, são usadas células de silício monocristalino cinzentas. Os painéis medem 36,5 cm x 2 m. As secções do Quick Step são colocadas em paralelo segundo a linha do beiral e ligadas indirectamente à estrutura de suporte, usando uma subestrutura especialmente desenvolvida para este efeito. As secções de zinco são inseridas na estrutura de retenção.

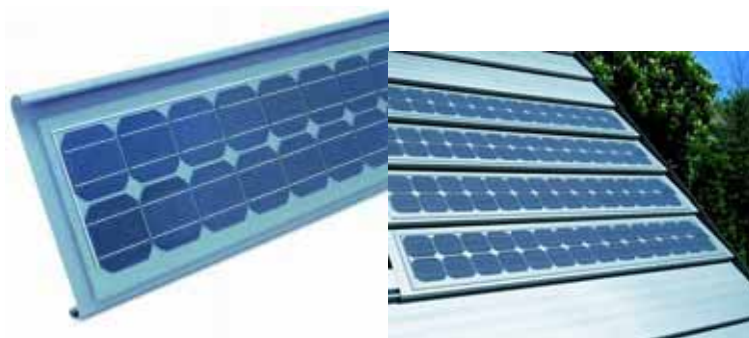
**Ventilação:** As secções são ventiladas no plano da subestrutura do telhado. A união dos módulos com a chapa de zinco afecta a ventilação, mas isto apenas tem relevância no caso das células cristalinas.

**Protecção climática:** Semelhante ao telhado original de zinco.

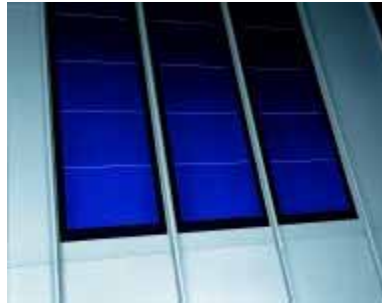
**Inclinação mínima do telhado:** 10°

**Potência eléctrica:** 64 Wp por cada elemento de rebordo vertical, 63 Wp por cada elemento Quick Step.

**Manutenção:** A ausência de elementos estruturais sobre o gerador favorece a sua auto-limpeza. É possível andar em segurança sobre os módulos de rebordo vertical. No caso dos módulos Quick Step será sempre preciso algum cuidado. O mecanismo "Click" de fixação facilita a remoção dos elementos Quick Step.



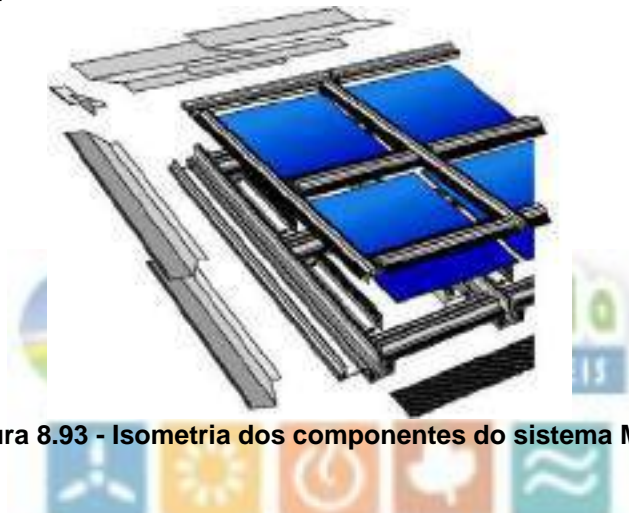
**Figura 8.91 - Quick Step Solar PV**



**Figura 8.92 - Solar PV de rebordo vertical**  
Fotografias: Rheinzink

**Sistemas solares combinados: fotovoltaicos e térmicos**

**Sistema MGI de montagem no telhado**  
Wagner & Co., Alemanha



**Figura 8.93 - Isometria dos componentes do sistema MGI**

**Desenho:** As contínuas secções verticais de montagem são presas aos elementos suplementares de montagem longitudinais, no intervalo entre os módulos. As secções de montagem horizontal são aparafusadas a estas secções, sendo então engatadas as secções de suporte vertical. Os colectores são pousados sobre estas, sendo finalmente presos por calhas contínuas verticais e horizontais.

**Protecção climatérica:** As juntas são impermeabilizadas pelas secções metálicas que fecham a estrutura. As chapas laterais de metal são sobrepostas por estas secções. Na junção inferior é inserida uma fita vedante de borracha, por forma a impedir a penetração de água.

**Ventilação:** A ventilação ocorre ao nível da subestrutura do telhado.

**Inclinação mínima do telhado:** 25°

**Potência eléctrica:** 160 Wp por módulo

**Manutenção:** A secção plana horizontal da cobertura promove a auto-limpeza do gerador. As secções da cobertura devem ser desaparafusadas para que se possam retirar os módulos individuais.



Figura 8.94 - Integração combinada de módulos fotovoltaicos e colectores solares térmicos

#### Sistema ECO para telhados solares Buschbeck Solartechnik, Alemanha

**Desenho:** No sistema ECO, os módulos fotovoltaicos e colectores térmicos possuem molduras uniformes com grelhas de 1m por 1m, com o mesmo sistema de fixação e de impermeabilização. Isto permite integrar os módulos e colectores segundo qualquer combinação. As molduras são directamente assentes no ripado do telhado e aparafusadas.

**Protecção climatérica:** Os laminados sem armação e as coberturas de vidro para os colectores, são fixadas com calhas de alumínio verticais e horizontais. A impermeabilização das junções entre o vidro solar e as calhas, é feita através de juntas cuneiformes de borracha.

**Ventilação:** As armações estão abertas na parte interior e permitem a ventilação ao nível da subestrutura do telhado.

**Potência eléctrica:** 110,115 ou 120 Wp por módulo.

**Manutenção:** A superfície colectora térmica e fotovoltaica é transitável, sendo a auto-limpeza destes elementos eficaz. O sistema modular permite que os componentes individuais possam ser substituídos, se desejado.



Figura 8.95 - Sistema solar ECO  
Fotografia: IGT Solar

#### Sistema gerador Erlus Erlus Baustoffwerke, Alemanha

**Desenho:** Este sistema consiste em tabuleiros de aço inoxidável que são montados na estrutura do telhado, nos quais é feita a instalação de módulos fotovoltaicos ou de colectores térmicos. Os módulos vidro-vidro possuem armações castanhas de alumínio anodizado.

**Protecção climatérica:** Os tabuleiros de aço inoxidável garantem a estanquicidade do telhado.

**Ventilação:** Dado que os tabuleiros de aço inoxidável estão fechados, não é possível realizar a ventilação posterior dos módulos.

**Inclinação mínima do telhado:** 20°

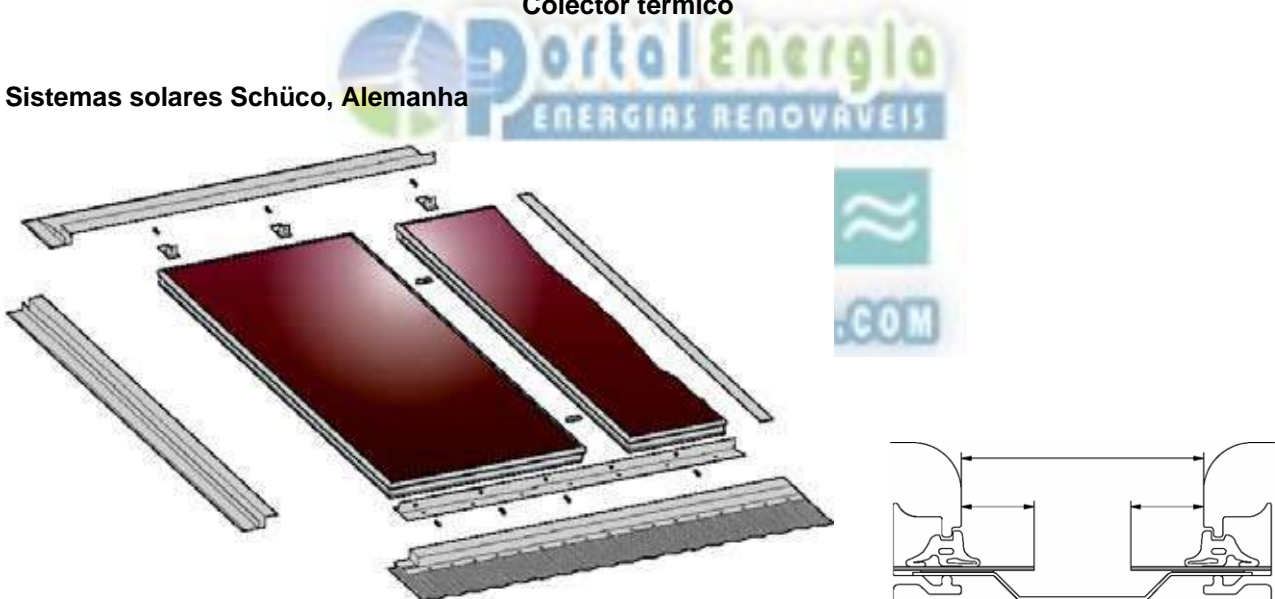
**Potência eléctrica:** 300 W<sub>p</sub> por módulo.

**Manutenção:** Para além das armações do módulo, não existem outros elementos estruturais sobre o plano do gerador que impeça a sua auto-limpeza. É possível circular por cima dos módulos.



**Figura 8.96 - Esquerda: Tabuleiro de aço inoxidável, Centro: Módulo fotovoltaico e Direita: Colector térmico**

Sistemas solares Schüco, Alemanha



**Figura 8.97 - Esquerda: Isometria dos componentes do sistema Schüco e Direita: A secção de corte mostra a fixação e selagem com uma lâmina metálica intermédia e juntas cuneiformes**

**Desenho:** Os módulos fotovoltaico e os colectores térmicos possuem armações uniformes com a dimensão de 2,125 mm x 1,252 mm. Partilham do mesmo sistema de fixação e de selagem e, conseqüentemente, podem ser combinadas entre si conforme desejado. As armações são directamente assentes na construção do telhado e aparafusadas entre si e às calhas de montagem.

**Protecção climática:** As armações têm uma ranhura em todo o seu redor, onde se encaixam os diferentes elementos e na qual são inseridas as lâminas laterais ao longo dos bordos do campo gerador.

**Ventilação:** As armações são abertas na face interior, permitindo a ventilação ao nível da subestrutura do telhado. Contudo, esta ventilação é de algum modo limitada pela profundidade dos perfis.

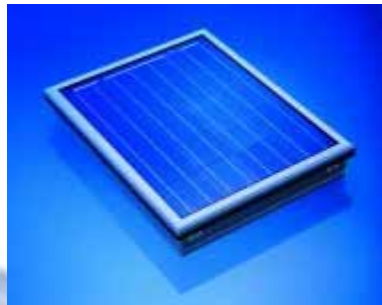
**Inclinação mínima do telhado:** 15°

**Potência eléctrica:** 300, 325 ou 340 W<sub>p</sub> por módulo.

**Manutenção:** Cada elemento individual só pode ser removido se forem retiradas as juntas cuneiformes contínuas e as secções de montagem desapertadas. Os laminados não são transitáveis. As armações planas dos módulos promovem a auto-limpeza do sistema.



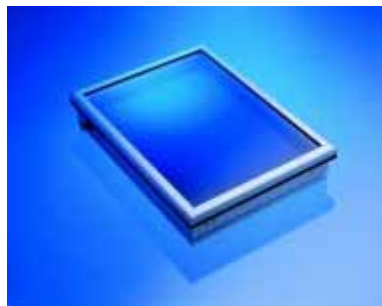
**Figura 8.98 - Integração combinada de módulos fotovoltaicos, colectores solares e janelas de sótão**



**Figura 8.99 - Colector térmico**



**Figura 8.100 - Janela de sótão**



**Figura 8.101 - Módulo fotovoltaico**  
Fotografias: Schüco

**Sistemas solares Roto / Voltaik e Roto / Thermie  
Roto Frank Bauelemente, Alemanha**



**Figura 8.102 - Estrutura de montagem do sistema solar Roto**

**Desenho:** Este sistema também se baseia em perfis metálicos leves, em que os módulos fotovoltaicos e os colectores térmicos são combinados num único sistema modular, que pode ser posteriormente expandido. Os módulos fotovoltaicos com dimensões de 1,960 mm x 1,400 mm, são dispostos na estrutura de montagem do telhado e aparafusados através das armações da moldura.

**Protecção climatérica:** As armações metálicas são totalmente vedadas e escoam a água para o nível das telhas.

**Ventilação:** As armações estão abertas na parte interior e permitem a ventilação ao nível da subestrutura do telhado. Para garantir que a ventilação não seja prejudicada pela profundidade da armação, são incorporados furos contínuos que permitem a passagem do ar.

**Inclinação mínima do telhado:** 22°. Para menores declives é preciso tomar precauções especiais ao longo das armações de remate.

**Potência eléctrica:** 270 W<sub>p</sub> por módulo.

**Manutenção:** As secções posteriores têm de ser abertas por forma a ser possível retirar os elementos individuais. É possível circular sobre os módulos. As armações planas dos módulos permitem a auto-limpeza do gerador.



**Figura 8.103 - Integração no telhado de módulos fotovoltaicos, colectores térmicos e janela de sótão**



**Figura 8.104 - Secções Roto**

Fotografias: Roto

### Telhado solar prefabricado Doma and Stromaufwärts, Áustria

O fabricante de colectores Doma desenvolveu, em conjunto com a empresa Stromaufwärts, um sistema no qual os colectores térmicos e os módulos fotovoltaicos podem ser fixados à mesma altura sobre a subestrutura do telhado. As secções prefabricadas podem ser fornecidas com áreas que podem ir até 30m<sup>2</sup>.



Figura 8.105 - Os módulos préfabricados são elevados num guindaste até a altura do telhado através de uma grua

### Elemento articulado dos telhados Energy w + d Holzsystem Schuh and Corona Solar, Alemanha

O telhado articulado Energy, desenvolvido pela companhia de construção de vigas de madeira Schuh, fornece uns préfabricados ainda maiores do que os anteriores. Os elementos articulados têm uma largura de 2,5 m e um comprimento máximo de 16,0 m. São unidos com dobradiças e são baseados em vigas de madeira especiais com cores metálicas. Estas unidades são completamente prefabricadas, incluindo vigas para a cobertura do telhado, celulose injectada para efeitos de isolamento e moldes de gesso como revestimento interno. Neste caso, os suportes articulados substituem o convencional ripado de madeira usado nos telhados. O processo de assemblagem é feito na fábrica, em colaboração com a empresa associada Corona. Podem ser integrados nestes elementos clarabóias ou aberturas para chaminés, os módulos fotovoltaicos Stromaufwärts ou os colectores solares de larga dimensão Doma.



Figura 8.106 - Telhado prefabricado Energy Hinged com módulos fotovoltaicos integrados na fábrica

### Sistema Casatop b+f, Beton- und Fertigteilwerk Dorsten GmbH, Alemanha

**Desenho:** Tratam-se de telhados préfabricados, produzidos em massa, feitos a partir de betão reforçado, sendo construídos com várias camadas sobrepostas (estrutura de suporte, isolamento térmico e capa de revestimento). A capa externa de betão é aplicada na fábrica, sendo possível usar vários materiais de acabamento: telhas de betão ou de ardósia, elementos de vidro, colectores térmicos ou

elementos fotovoltaicos. Cada unidade acabada é entregue no local da construção e montada. Os módulos de vidro aqui utilizados são feitos por medida.

**Ventilação:** A sobreposição em camadas não permite que se efectue a ventilação dos módulos.

**Protecção climatérica:** Corresponde à dos telhados pré-fabricados convencionais de betão reforçado.

**Inclinação mínima do telhado:** Corresponde à dos telhados pré-fabricados convencionais de betão reforçado.

**Manutenção:** A ausência de elementos de construção sobre o gerador beneficia a acção de auto-limpeza. É possível andar sobre os módulos. Contudo, os módulos individuais não podem ser facilmente removidos.



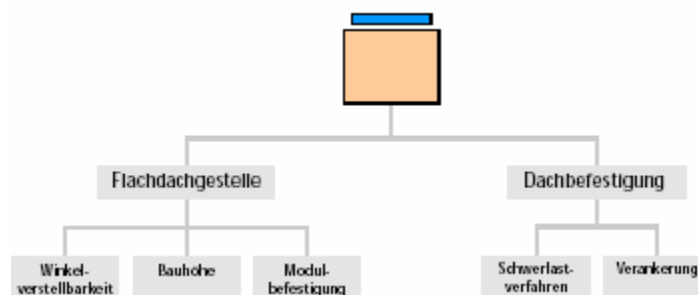
**Figura 8.107 - Sistema Casatop**  
Fotografias: b+f

**Outros fabricantes que produzem sistemas combinados:** Sesol (integração no telhado); Viessmann (montado no telhado); Flumroc, Suíça (integração em telhados metálicos de rebordo vertical).

#### 8.4 Telhados planos

Os telhados planos oferecem um enorme potencial em termos de áreas utilizáveis, sendo estas áreas muito adequadas para a instalação de sistemas solares. Para além disso, permitem uma certa liberdade no desenho dos geradores: frequentemente é possível orientá-los na direcção sul e escolher o ângulo de inclinação óptimo. Contudo, o trabalho nos telhados planos deve ser levado a cabo com um extremo cuidado, uma vez que as membranas do telhado podem ser facilmente danificadas, do que pode resultar em infiltrações com consequências pouco agradáveis. Por exemplo, objectos com pontas afiadas, como são os pregos e as arestas das chapas metálicas, podem penetrar a superfície com relativa facilidade. No Verão, o betume fica mais amolecido e os cantos e bordos dos módulos podem deixar profundos vincos na cobertura.

##### 8.4.1 Sistemas montados no telhado



**Figura 8.108 - Sistemas montados no telhado**

À semelhança dos sistemas montados em telhados inclinados, os módulos são montados numa estrutura metálica sobre a superfície do telhado, o que restringe o acesso ao telhado. Consequentemente deverá ser garantido, antes da instalação do sistema fotovoltaico, que a funcionalidade do mesmo seja mantida durante o tempo de vida útil do gerador. Uma vantagem do sistema solar é que produz sombras que reduzem a carga térmica do telhado, prolongando desta forma

a sua capacidade funcional. No que respeita aos componentes metálicos, deve ser garantida a mesma protecção contra corrosões. Nas regiões mais frias, onde existe o risco de cair neve, os módulos deverão manter intervalos suficientes entre os seus limites inferiores e a superfície do telhado, de acordo com a camada de neve no período de Inverno. Isto permite que a neve deslize e caia sem que se venham a criar sombras nos módulos.

### Estruturas de suporte para telhados planos

Existem no mercado numerosas estruturas de montagem para telhados planos. Frequentemente, as calhas de montagem usadas nos telhados inclinados, podem ser aplicadas com sistemas de suporte adaptados. Existem estruturas para telhados planos de baixo relevo que apenas suportam a colocação de módulos deitados, e outras com uma maior elevação que permitem inclinar os módulos ou suportar várias filas contínuas de módulos em altura. Os suportes de baixa elevação requerem uma área maior, mas têm a vantagem de que a distribuição das cargas estruturais pelo telhado é mais equilibrada. Outra vantagem é que o gerador não pode ser visto da rua, no caso de tal ser desejado. A separação entre as filas do telhado é escolhida em função da altura da construção, de modo a prevenir o aparecimento de sombreamentos entre as filas de módulos (capítulo 4).

Também é possível fazer uma distinção entre os suportes fixos de um telhado plano e aqueles que podem seguir a altura do Sol conforme a estação.

**Fabricantes de suportes de telhado plano:** Altec, Biohaus, Conergy Systems, Deger Energie, Donauer, HaWi Energietechnik, Energiebiss, EWS, IBC, MHH, naturalmente Zenkel & Lauterbach, Osmer Elektrotechnik, Phönix Sonnenstrom AG, Schüco, Schletter, SE-Consulting, Solar-Trak, Solara, SolarMarkt, Solarnova, SolarWorld, Soltech e Wagner & Co.

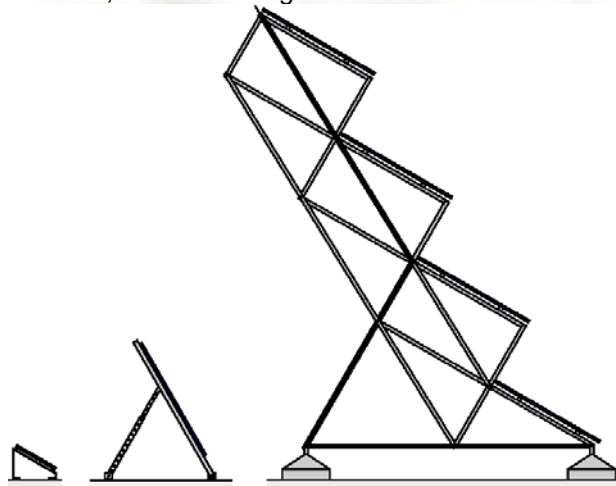


Figura 8.109 - Sistema de montagem em telhados planos com várias alturas de construção

### Fixação ao telhado

O método de fixação das estruturas de montagem nos telhados planos é de considerável importância. Uma vez que os geradores possuem grandes áreas de exposição, deve ser dada uma especial atenção às forças do vento no projecto dos sistemas de fixação dos geradores. A escolha do método de fixação irá depender da estrutura do telhado. A questão relativa ao peso máximo que o telhado pode aceitar, determina se o campo fotovoltaico deve ser instalado sem fixação ou se deve ser firmemente preso ao telhado.

Em termos da construção do prédio, os telhados levemente inclinados que possuem camadas metálicas de revestimento, não são considerados telhados planos, pelo que a correspondente instalação no telhado com clips de fixação de rebordo vertical já foi descrita anteriormente para os telhados inclinados. Contudo, devido à sua ligeira inclinação, são usadas estruturas de suporte planas.

### Sistemas de lastragem

Nos sistemas montados com lastros, as estruturas de montagem são instaladas sem ser necessário perfurar o telhado plano. São pousados blocos de betão sobre o telhado plano sem nenhuma outra fixação, sendo as armações de suporte fixas a estes com parafusos. As bases de betão são tão pesadas

que a instalação permanece firmemente presa, mesmo para a máxima força do vento. O peso necessário depende da altura do edifício, da sua localização e da natureza da subestrutura (revestimento do telhado). É provável que o peso necessário (aproximadamente 100 kg por m<sup>2</sup>) supere a capacidade estrutural de compressão do telhado. Esta pode ser determinada a partir dos planos de construção da estrutura do telhado. Neste caso é absolutamente necessário obter um certificado de estabilidade. É possível adquirir blocos com a forma de um L nos fornecedores de materiais de construção, juntamente com adequados fixadores angulares e calhas. Se necessário, deverá ser colocada na cobertura uma camada intermédia para proteger o telhado de extremos cortantes.



**Figura 8.110 - Montagem num plinto de betão**  
Montagem: (esquerda) Energiebiss



**Figura 8.111 - Montagem sobre placas de betão**  
Montagem: Stromaufwärts



**Figura 8.112 - Tabuleiros de metal fixados em lastros de betão**  
Montagem: Stromaufwärts



**Figura 8.113 – Esquerda: Lastragem com lajes de betão inseridas em secções metálicas e Direita: Armação de metal fixada em lastros de betão**  
Montagem: Donauer Solartechnik



**Figura 8.114 – Esquerda: Sistema de fixação em pedra, em L e Direita: Suporte ajustável, para as posições do Inverno e do Verão**  
 Montagens: Phönix Sonnenstrom e Schletter

O método de lastragem também pode ser usado sem uma armação de base, fixando os módulos directamente aos plintos de concreto ou aos sistemas de tabuleiros de lastro.

Quando se fixam directamente aos plintos de betão, cada módulo é preso a dois suportes de betão com suportes angulares especiais. Foi concebido um plinto de betão para os módulos fotovoltaicos, com fixadores especiais feitos de aço inoxidável. Os módulos são montados longitudinalmente, resultando numa menor elevação da instalação.



**Figura 8.115 – Esquerda: Sistema de plintos de betão, com um par de plintos e de grampos de aço inoxidável por módulo e Direita: Plinto de betão Sofrel**

**Sistema Enecolo/Solostis, Suíça**



**Figura 8.116 - Montagem de um módulo**

Uma outra forma de montagem com lastros são os sistemas de tabuleiro, nos quais os tabuleiros feitos de plástico resistente aos raios UV ou de fibrocimento são colocados num telhado, sendo repletos com gravilha ou placas de pavimento para atingirem o peso necessário. Estes sistemas podem também ser usados sem nenhuma estrutura adicional de suporte. Os módulos ou são fixados directamente a estes elementos ou por meio de fixadores de aço inoxidável. A vantagem destes sistemas reside na sua facilidade de transporte e na possibilidade de utilização de material disponível no telhado.



**Figura 8.117 - Sistema de tabuleiros Solbac de fibrocimento (sem amianto)**

Os grampos de aço inoxidável fixam a armação dos módulos à base do tabuleiro  
Os laminados sem armação são colados

**Sistema Solstis, Suíça****Figura 8.118 - Montagem de um laminado sem armação**

O sistema ConSole da Eenergy consiste em tabuleiros feitos de plástico e é adequado para módulos com armação e com potências de **70 a 180 Wp**. As armações dos módulos são directamente aparafusadas em quatro pontos aos tubos de plástico.

**Figura 8.119 - Sistema de tabuleiros plásticos ConSole****Sistema Eenergy Int.**

O sistema de tabuleiro Solmax da companhia Solstis também consiste em plástico reciclado, mas distingue-se dos restantes sistemas de tabuleiro pela sua flexibilidade. A flexibilidade deste material permite que sejam fixados módulos com potências situadas entre **70 e 300 Wp**. As armações dos módulos são fixadas com rebites ao cano de alumínio do sistema de tabuleiro.

**Figura 8.120 - Sistema de tabuleiros plásticos Solmax****Sistema Solstis, Suíça**

O sistema de tabuleiro Solgreen da Solstis, foi desenvolvido especialmente para os telhados com jardins. Neste caso, o substrato do telhado actua como lastro para a estrutura de suporte. Consiste num tabuleiro de plástico que assenta directamente na camada de protecção do telhado. É então coberta pela camada de vegetação, sendo conseqüentemente seguro à terra. Os perfis de aço inoxidável são então fixados aos tabuleiros. Estes perfis suportam módulos com ou sem armação. Nestes telhados, só poderão ser usadas plantas rasteiras, que não cresçam mais do que o limite inferior dos módulos.



**Figura 8.121 - Sistema de tabuleiros Solgreen para telhados jardins**

### Sistemas fixos

Se não for possível usar sistemas de montagem em lastros por razões estruturais, o gerador deve ser rigidamente preso à construção do telhado. Neste caso, as armações de suporte são montadas em vigas cruzadas que são presas quer ao próprio telhado quer ao parapeito. Quando se penetra a parte impermeável do telhado, os pontos de fixação devem ser cuidadosamente vedados. O número de furos deverá ser o mínimo possível.



**Figura 8.122 - Fixação de sistemas fotovoltaicos no telhado do Edifício do gabinete da presidência alemã, em Berlim**

Desenho especial concebido pelo arquitecto Laminados Solon

O gerador fotovoltaico instalado no Gabinete do Presidente da Alemanha Federal, foi inicialmente desenhado de modo a ficar embutido no parapeito. O sistema de vigas cruzadas concebido pelos arquitectos, com base em critérios estéticos, conduziram ao sombreamento dos módulos adjacentes. Contudo, através da optimização do layout dos módulos, foi possível reduzir as perdas de energia para menos de **10%**.



**Figura 8.123 - Banco de Berlim**

Desenho concebido pela Energiebiss  
Laminados com armação Siemens e BP-Solar

O gerador do Banco de Berlim assenta em suportes que estão aparafusados ao telhado de betão, que suportam uma estrutura de secções de aço standard. A área de telhado situada por baixo dos módulos é intensamente relevada.

Apesar da superfície ser ligeiramente inclinada, o gerador do campo de golfe em Berlin Wannsee foi desenhado para ser facilmente visto em toda a sua extensão. O aumento da altura do gerador, obrigou à transferência da correspondente maior carga (devido à acção do vento) para a estrutura de aço situada por baixo da superfície do telhado.



**Figura 8.124 - Campo de Golfe Wandsee, em Berlim**

Desenho concebido pela Poburski Solartechnik  
Laminados BP Solar  
Fotografia: Poburski

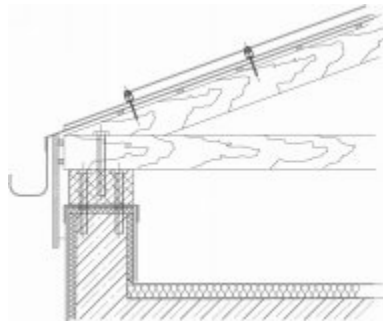
A superfície do telhado da Universidade Lübeck de Ciências Aplicadas, não permite a transferência homogénea de cargas por razões estruturais. Por este motivo, as cargas do gerador foram directamente transferidas a um número reduzido de pontos, nas vigas existentes por baixo do telhado do edifício. As necessárias perfurações do telhado são seladas elasticamente ao revestimento da cobertura.



**Figura 8.125 - Universidade de Ciência e de Tecnologia Lübeck**

Desenho concebido pela Poburski Solartechnik  
Laminados: BP Solar  
Fotografia: Poburski

### Telhado gerador BP Solar



**Figura 8.126 - Pormenor da ligação do sistema de suporte do telhado ao parapeito do edifício**

O Telhado da BP é único entre os sistemas de montagem para telhados planos. Foi especialmente desenvolvido para a restauração de telhados planos em edifícios industriais. Neste caso, uma construção baseada numa estrutura em madeira com uma inclinação de  $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  e com um vão máximo de **30 m**, é assente como um completo telhado inclinado sobre os muros de apoio, sem danificar a membrana existente do telhado. A superfície do telhado que está orientada a sul é recoberta com

laminados sem armação. As restantes superfícies (beiral e margens laterais) são revestidas com uma folha de metal trapezoidal. Os módulos são aparafusados com um sistema de clips à chapa de metal galvanizada, sendo esta por seu turno aparafusada às vigas do telhado. O escoamento das águas pluviais é feito como se tratasse de um telhado convencional, nomeadamente através de um sistema de canos. A qualidade da protecção contra a penetração de águas e as infiltrações de humidades, permitem evitar grandes reparações do telhado nos próximos 20 anos.

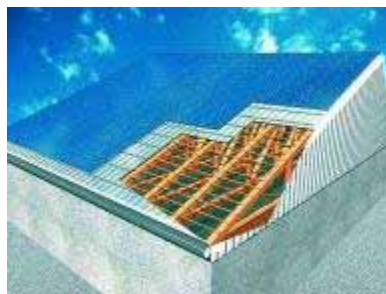


Figura 8.127 - Telhado gerador da BP

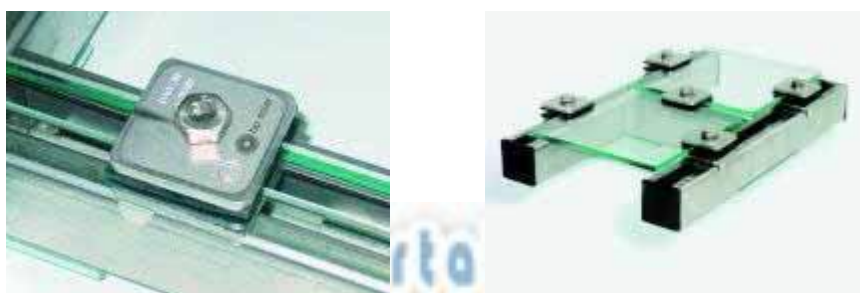


Figura 8.128 – Esquerda: Modelo de um clip de montagem e Direita: Fixação do módulo em dois ou quatro lados  
Fotografias: BP Solar

#### 8.4.2 Sistemas integrados no telhado

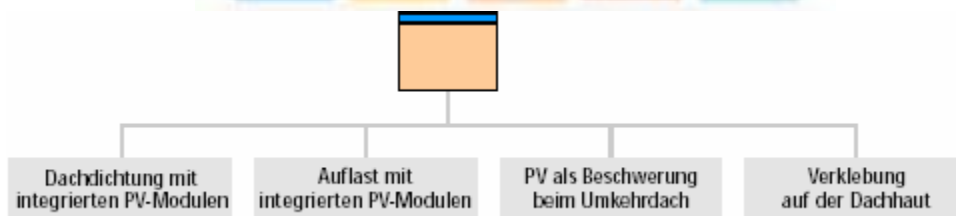


Figura 8.129 - Sistemas integrados no telhado

Em consequência da integração do sistema gerador num telhado plano, os módulos fotovoltaicos têm normalmente um reduzido ângulo de inclinação e estão sujeitos a elevadas temperaturas. Isto implica uma menor incidência da radiação solar em relação à inclinação e orientação óptima. Para além disso, a menor capacidade de auto-limpeza provoca a acumulação da sujidade sobre os módulos, pelo que será necessário limpá-los regularmente. As células de película fina poderão ter um melhor desempenho perante estas condições (ver capítulo 3). Existe também um melhor aproveitamento da superfície do telhado: a montagem na posição horizontal permite que seja alcançada uma maior potência em **Wp por m<sup>2</sup>** de área de telhado, podendo os módulos ser colocados em paralelo com os limites do telhado, independentemente da orientação do edifício. Uma vez que não é necessário utilizar estruturas de suporte (com a excepção do sistema Sofrel), os custos da estrutura de montagem acabam por ser reduzidos.

#### Tela plástica solar Evalon

##### Sistema Alwitra para telhados planos, Alemanha

O produtor de telhados planos Alwitra, laminou células solares de tripla junção, da empresa Uni Solar, numa tela Evalon usada na cobertura de telhados. A tela solar pode ser colocada como se fosse uma membrana impermeável normal, sendo adequada para qualquer telhado plano convencional. O técnico pode trabalhar com uma máquina de soldar ao longo dos extremos da tela, sem ocasionar qualquer dano

no telhado. Em relação à canalização eléctrica, as condutas dos cabos correm por baixo das superfícies impermeabilizadas, evitando qualquer perfuração adicional. A tela Evalon-Solar pode ser adaptada para qualquer tipo de telhado. A extrema leveza deste sistema permite a instalação de um gerador solar nos telhados em que existe limitações em termos de carga.



Figura 8.130 - Ligação dos cabos através da camada de isolamento térmico



Figura 8.131 - Assentamento da tela



Figura 8.132 - Sistema Evalon-Solar  
Fotografia: Alwitra

**Blocos de betão Sofrel  
Solstis, Suíça**

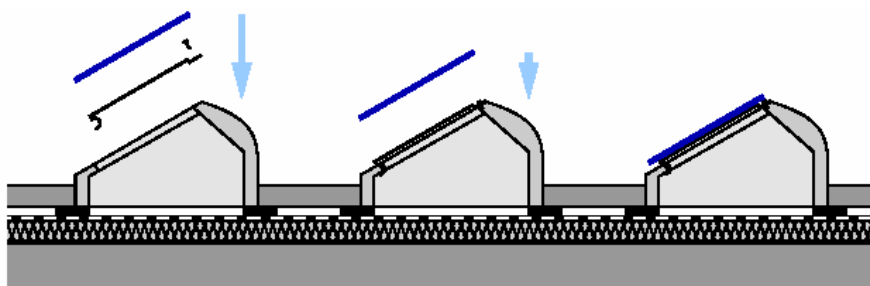


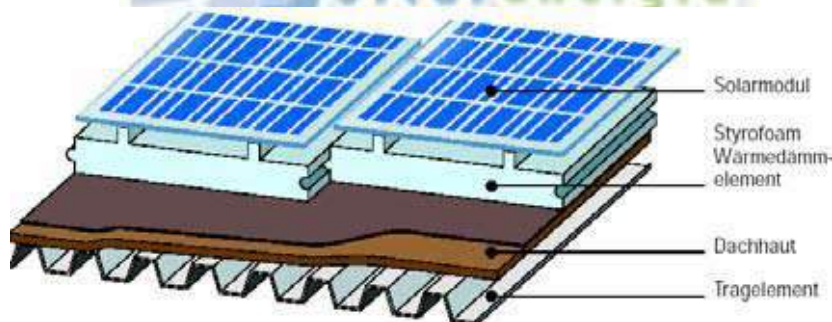
Figura 8.133 - Secção de corte longitudinal

O sistema de montagem para telhados da empresa Solstis (Suíça), é o protótipo do actual sistema de montagem com o mesmo nome. Em contraste, a variante do velho Sofrel, que só terá sido usado no colégio em Wattwill, é um sistema integrado no telhado. Os apoios de betão servem simultaneamente como armação do módulo e como lastros. Estes blocos de betão assentam sobre uma camada de material almofadada, sobreposta à camada impermeabilizadora. São presos grampos de aço inoxidável aos blocos de betão, aos quais são fixados os módulos.



**Figura 8.134 - Blocos de betão Sofrel**  
 União de laminados sem armação aos grampos de aço inox.  
 Fotografia: Solstis

**Telhado invertido Powerguard**  
**Powerlight Corporation, USA / Powerlight GmbH, Alemanha**



**Figura 8.135 - Componentes dos elementos Powerguard**

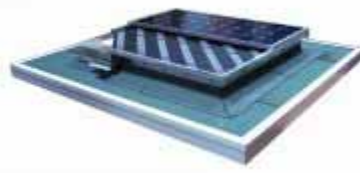
No sistema PowerGuard (desenvolvido nos EUA), as telhas isoladas com espuma de polistireno são ancoradas face ao vento pelos módulos fotovoltaicos, em vez dos lastros de betão. Na restauração de telhados planos, este sistema proporciona um isolamento térmico adicional, protegendo a membrana do telhado das radiações UV e das intensas variações da temperatura. É adequado para telhados planos com declives máximos de **10º** e para todos os módulos standard, sendo no entanto preferível módulos de grande dimensão.

Os elementos PowerGuard são fornecidos por medida em função dos módulos escolhidos, sendo assentes na camada superior do telhado. Os engates fêmea e macho dispostos em cada um dos lados do elemento, permitem o seu encaixe com outras unidades, conseguindo-se uma maior estabilização. Na Alemanha, não são necessárias fixações adicionais para edifícios com menos de **20 m** de altura. Caso se pretenda cobrir a totalidade da superfície do telhado, são colocadas telhas desprovidas de elementos solares, com **1,30 m** de largura, entre o perímetro da instalação e o limite do telhado. Estas unidades precisam de ser protegidas nas margens do telhado por remates, que deverão ser realizados por um profissional. Nas coberturas parciais, o perímetro do gerador é protegido por chapas de metal e placas de betão, por forma a evitar o levantamento da estrutura pelo vento. Devido à existência de canais de ventilação nas telhas, apenas se assiste a um ligeiro aumento da temperatura dos módulos.



**Figura 8.136 - Telhado plano Powerguard**  
Fotografias: Powerlight GmbH

### **Sistema Sun Top Lite** **Sunset Energietechnik, Alemanha**



**Figura 8.137 - Sistema SunTop Lite**  
Fotografia: Sunset

À semelhança do sistema PowerGuard, os elementos Sun Top Lite não têm de ser fixados à estrutura do telhado ou incorporados em lastros. Em vez disso, os elementos são montados e selados à membrana do telhado. Os módulos fotovoltaicos podem ter um comprimento de **1,24m a 1,8 m** e uma largura de **0,6 m a 0,75m**, e encimam uma subestrutura de polistireno. O sistema de montagem é também apropriado para telhados inclinados e para todo o tipo de coberturas, como as telhas, placas metálicas trapezoidais e onduladas. Uma vez que os elementos Sun Top Lite não podem cobrir a totalidade do telhado, mas apenas uma área bem definida, o isolamento térmico adicional que é proporcionado pelas camadas de polistireno, acaba por ter uma funcionalidade algo limitada.



**Figura 8.138 - Secção de corte através da subestrutura**

## **8.5 Noções básicas sobre fachadas**

Enquanto face frontal do edifício, a fachada constitui a primeira impressão do edifício. Por este facto, é prestada uma especial atenção à aparência externa da fachada, segundo o estilo e filosofia dos arquitectos e construtores. Os gostos actuais, os estilos regionais e as novas tecnologias, são também reflectidas no desenho final. Neste contexto, os módulos fotovoltaicos podem enriquecer o repertório de soluções arquitectónicas, quando tratados como elementos de construção. Nos edifícios modernos, as fachadas de vidro proporcionam uma ligação para o mundo exterior. As inovadoras células solares podem ser integradas nos painéis de vidro utilizados, transformando-os assim em dispositivos solares.

### **8.5.1 Estruturas exteriores das paredes**

A fachada não é uma componente separada do edifício. As modernas paredes exteriores são constituídas por diversas camadas individuais combinadas entre si, onde cada camada cumpre as suas funções individuais.

A fachada tem as seguintes funções:

- Capa externa do edifício, protecção visual;
- Separação entre o meio externo e interno do edifício (calor, humidade, protecção acústica e contra incêndios, escudo electromagnético);
- Aproveitamento da luz do dia e protecção solar;
- Definição da aparência do edifício e do seu impacto na envolvente urbana.

A fachada apenas se suporta a si própria e às forças do vento. As estruturas de suporte sustentam a totalidade das cargas do prédio (telhado, pavimentos, ...).

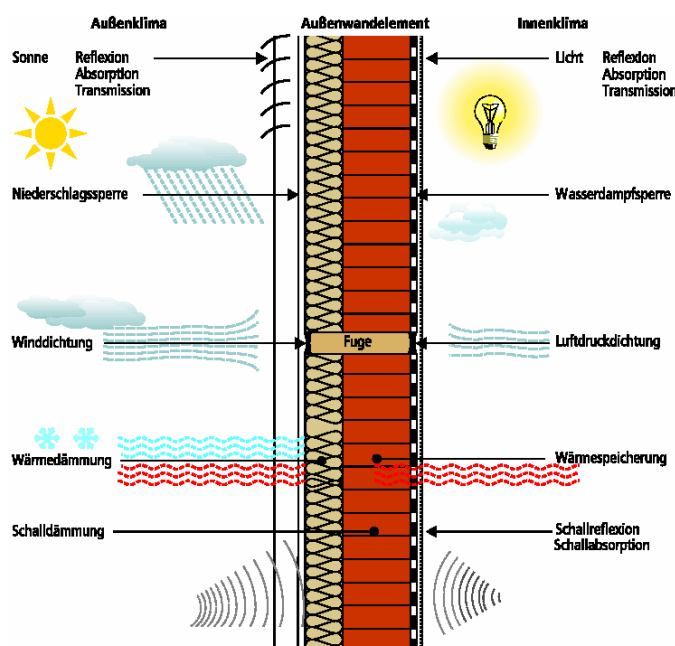


Figura 8.139 - Funções das camadas individuais de uma parede

Ao longo do tempo, as estruturas foram evoluindo de paredes tradicionais de alvenaria (simples construções sem ventilação), para construções multicamadas (construções ventiladas com várias camadas). Enquanto que nas primeiras o material de construção desempenhava várias funções, nas construções multicamadas cada uma das funções é assegurada por uma camada específica.

### Construção de paredes de alvenaria estrutural

Tradicionalmente, os muros são construídos com alvenaria estrutural, primeiro com recurso à pedra e depois ao tijolo, sendo a união e a selagem dos elementos de construção feita com argamassa. Para proteger as junções de argamassa contra a chuva, é com frequência aplicada uma camada de reboco na parede. Para além da alvenaria tradicional, hoje em dia as paredes estruturais são também fabricadas em betão.

Particularmente nos climas húmidos, devido à deterioração das paredes exteriores expostas à chuva, foram gradualmente introduzidas novas técnicas de construção de paredes. A infiltração de humidades pode ser interrompida por uma caixa de ar, situada entre as camadas interna e externa da parede. Este espaço permite a ventilação da parede, facilitando a sua secagem, com a vantagem que já não torna necessária a aplicação do reboco no exterior. Ainda que a complexidade da construção aumente, esta solução, para além da protecção contra infiltrações, proporciona ainda uma boa prestação térmica e acústica. A colocação de um material isolante adicional na caixa de ar, melhora ainda mais a qualidade da construção.

Pode-se obter o mesmo efeito com diferentes tipos de revestimentos exteriores. No passado usavam-se revestimentos de ardósia, telhas e madeira. Nos dias de hoje usam-se revestimentos de pedra, de plástico, de metal ou de vidro. Isto permite reduzir a profundidade da parede, quando em comparação com as construções maciças. Para além disso, estes revestimentos podem ser facilmente substituídos.

Em termos construtivos, trata-se de uma parede sólida com uma cortina ventilada, que toma a designação de fachada cortina.

### Sistemas estruturais independentes

O uso de armações é uma prática usada desde longa data em construções com suportes de madeira. Em vez de paredes sólidas, as estruturas de suporte consistem num esqueleto de aço, betão reforçado ou madeira para suportar as cargas do edifício. A estrutura consiste em colunas, vigas, treliças e elementos do telhado. Por outro lado, o revestimento do edifício é conseguido através de elementos que apenas suportam o seu próprio peso e a força do vento. Estes materiais leves integram ou preenchem as tramas estruturais, protegendo o edifício contra o clima e outras acções externas. Quando comparada com as construções maciças, esta técnica permite reduzir a espessura e o peso da parede, mantendo a mesma protecção térmica e capacidade estrutural. É esta capacidade estrutural, de materiais como o aço e o betão, que torna possível a construção de arranha-céus.

O considerável grau de pré-fabricação, proporciona vantagens numerosas. Permite que a armação seja construída de forma económica, precisa e independente das condições climatéricas, oferecendo em simultâneo diversas possibilidades de desenho. O princípio de construção modular permite que diferentes elementos da construção sejam combinados uns com os outros.

Com a gradual industrialização do sector da construção, o número de edifícios pré-fabricados tem vindo a aumentar substancialmente na Europa. Os projectos de construção fazem um largo uso destes tipo de sistemas de construção, com grandes painéis de revestimento e com paredes e tectos auto-sustentados. Os prédios de maior altura são também construídos usando estruturas deste tipo, bem como os edifícios comerciais e industriais.

### Revestimentos

Como protecção climatérica e como elemento de desenho, o revestimento da fachada funciona como uma pele exterior de uma fachada fria e está, na maioria dos casos, segura por uma estrutura de suporte à parede estrutural do edifício. O espaço contínuo providenciado pela estrutura de suporte, cria ao mesmo tempo o isolamento térmico e um espaço de ventilação.

Nos revestimentos, deve-se fazer uma distinção entre os pequenos e grandes painéis de revestimento. Os pequenos painéis de revestimento de ardósia, de fibrocimento ou de madeira, são colocados de modo semelhante às coberturas do telhado, sendo fixadas com pregos, parafusos ou pinças. Os módulos fotovoltaicos devem ser tratados como grandes painéis de revestimento. Este tipo de painéis estão disponíveis em várias formas e podem ser feitos de vários materiais, como o fibrocimento, cerâmica, vidro, madeira, metal, plástico ou pedra. Conforme sejam elementos planos, curvos ou perfilados, poderão ser presos com juntas abertas, fechadas ou sobrepostas.



**Figura 8.140 - Edifício da companhia de transporte Üstra em Hanover-Leinhausen, Alemanha**  
 Revestimento: módulos solares monocristalinos, telhas cerâmicas e placas onduladas de alumínio  
 Fotografia: Solon AG, Gerhard Zwickert

## 8.5.2 Tipos de fachadas

### Fachadas frias

As fachadas frias possuem cavidades por onde se verifica a circulação de ar. A capa exterior, que consiste num revestimento ou alvenaria, protege o edifício contra os agentes climatéricos e será a responsável pela aparência arquitectónica final. Por sua vez, a parede interna proporciona o suporte estrutural e o isolamento térmico. Todas as partes que constituem a fachada são construídas sem isolamento térmico, dado que não existe qualquer ligação às áreas quentes do edifício.

A presença de um sistema de ventilação implica que este tipo de construção é perfeito para a integração de elementos fotovoltaicos. Neste caso, são usados laminados ou módulos vidro-vidro com vidros de segurança endurecido. Os módulos estão equipados com caixas de junção nas suas partes posteriores. A cablagem é encaminhada através de condutas fixadas aos elementos estruturais da construção, na proximidade da camada de isolamento térmico.

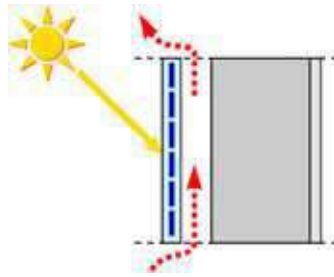


Figura 8.141 - Fachada fria

### Fachadas quentes

As fachadas quentes são fachadas que constituem o envelope do edifício, assumindo funções de protecção climatérica, acústica e de isolamento térmico. Por vezes, também proporcionam suporte estrutural. As fachadas quentes não estão ventiladas. Neste caso, são usadas secções com painéis de isolamento térmico. Os elementos da fachada devem ter reduzidos coeficientes  $U$ . Podem ser painéis isolantes opacos ou vidros térmicos transparentes ou semitransparentes.

Nas fachadas quentes, é possível substituir o vidro isolante convencional das áreas transparentes ou semitransparentes, por módulos fotovoltaicos. Por outro lado, os laminados ou módulos vidro-vidro poderão ser usados em paramentos ou revestimentos, em vez de vidros opacos. No entanto, no caso dos módulos vidro-vidro, a lâmina posterior deverá ser opaca, ou então o espaçamento entre as células deverá ser suficientemente reduzido para evitar a visualização do isolamento térmico posterior.

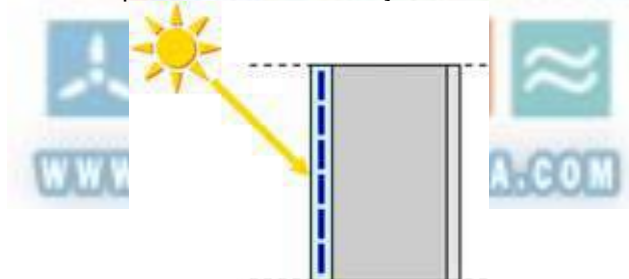


Figura 8.142 - Fachada quente, opaca

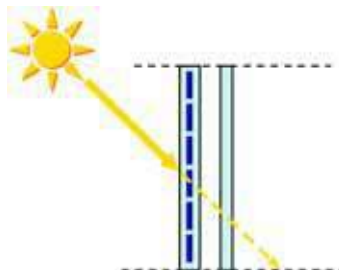


Figura 8.143 - Fachada quente, transparente

Em geral, os cabos eléctricos não são encaminhados através de uma caixa de junção posterior convencional, mas sim lateralmente (por vezes protegidos por uma conduta). No intuito de acomodar os díodos de derivação, que são particularmente importantes nas áreas de fachadas, pode ser montada, no perfil da fachada, uma pequena caixa de junção da mesma espessura dos módulos. Contudo, isto apenas é possível para uma limitada potência ou para um número limitado de díodos. Em alternativa, para um custo ligeiramente superior, é possível aplicar uma caixa de junção externa em cada módulo (facilmente acessível), ou instalar os díodos de derivação na caixa de junção do gerador.

Nas fachadas quentes, os cabos são incorporados nos perfis das estruturas de suporte. Devido aos furos que têm de ser realizados nas secções perfiladas, deve-se ter uma particular atenção para garantir que a

diferença de pressão entre o interior e o exterior do revestimento esteja regularizada, por forma a evitar a formação de condensações intersticiais na fachada.

### Fachadas de duplo revestimento

Neste tipo de fachadas é construído, na face da fachada já existente, um envelope adicional de vidro transparente (ecrã), que melhora o ambiente e o isolamento acústico do prédio. Entre a cortina exterior e a fachada interior isolada existe uma zona tampão, que pode ser ventilada (se necessário) e incorporar dispositivos de sombreamento solares. As fachadas de duplo revestimento são desenhadas para se adaptar às condições ambientais e para atenuar as flutuações climatéricas nas diferentes estações. Assim, o calor, o frio, a luz e o vento, são regulados para atingir um nível de conforto máximo, sem recorrer a qualquer complexa tecnologia. Esta fachada exterior é extremamente adequada para integrar módulos fotovoltaicos, uma vez que consiste num envidraçado único, em que os módulos podem ainda proporcionar sombreamento.



**Figura 8.144 - Fachada de duplo revestimento folha: Sparkass 2000 em Pforzheim, Alemanha.**  
Fotografia: Werkfoto Gartner

As colunas de aço da armação estrutural são dispostas na cavidade da fachada e são cobertas com painéis de protecção contra o fogo

Fachada interna:

Elementos da construção com janelas de batente, revestimento de pedra e lâminas de alumínio

Fachada externa:

Envidraçado simples

Sombra solar:

Estores de alumínio na cavidade da fachada

Sistema fotovoltaico:

Sistema de sombreamento solar externo

### 8.5.3 Fachadas envidraçadas de estrutura leve

Para se conseguir fachadas com a maior transparência possível, estão actualmente a ser desenvolvidas estruturas leves para envidraçados, onde a distribuição das cargas permite que a estrutura de suporte seja reduzida ao mínimo.

Os primeiros passos foram dados com envidraçados suspensos, usados pela primeira vez nos anos **60**. Estes sistemas permitem que as fachadas completas de vidro sejam construídas sem perfis horizontais e verticais de suporte. Neste caso, as grandes placas de vidro são suspensas por ganchos de fixação e as juntas verticais são seladas com silicone.

Isto permite que sejam suportadas grandes áreas de envidraçados, com alturas superiores a **10 m**. Também é possível suspender várias placas umas em cima das outras, com grampos.

Os sistemas de envidraçados suspensos são fixados internamente e restringidos com estabilizadores verticais. Neste caso, as lâminas são ligadas umas às outras através de pontos fixos embutidos e fortalecidos com uma rede de cabos de tensão (tirantes) e hastes.

As paredes envidraçadas com redes de cabos, requerem ainda menos componentes de metal. Neste caso, as placas são fixadas pontualmente nos quatro cantos através de agrafos. As altas forças de tensão dos cabos horizontais são absorvidas pelos muros adjacentes do prédio.

Estas fachadas construídas com estruturas leves, ainda não têm sido usadas para a integração de células solares. No entanto, estas grandes superfícies de vidro não sombreadas e de elevada transparência, apresentam um elevado potencial no que respeita a integração de módulos fotovoltaicos.



**Figura 8.145 - Átrio do edifício “Stadttor” de Dusseldorf, Alemanha**  
 Envidraçado suspenso com sistema de fixações pontuais  
 Estrutura: Ove Arup e Partners/Lavis Stahlbau Offenbach  
 Fotografias: Werkfoto Gartner



**Figura 8.146 - Átrio do Gabinete Extranjeiro Federal em Berlim**  
 Parece envidraçada com rede de cabos  
 Engenheiros: Schlaich Bergemann and Partners  
 Fotografia: Müller Reimann Architekten

## 8.6 Fachadas Fotovoltaicas

Os módulos fotovoltaicos podem ser integrados ou dispostos na face das fachadas. Ainda que, em termos comparativos, a respectiva radiação incidente e logo a produção de energia sejam inferiores, as fachadas oferecem outras vantagens. Se forem substituídos os elementos caros das fachadas, como é o caso das placas de pedra ou de aço inoxidável, por elementos fotovoltaicos, resultam custos evitados que tornam o sistema fotovoltaico muito interessante sob o ponto de vista económico. Também não será de negligenciar o prestígio acrescido que os elementos fotovoltaicos oferecem ao edifício.

Os módulos proporcionam enormes possibilidades de desenho. Podem ser fabricados em qualquer forma e tamanho, e serem fornecidos com todos os atributos visuais e funcionais dos envidraçados convencionais. Para além disso, a fixação dos módulos não coloca nenhuma consideração especial, visto ser em tudo semelhante à dos envidraçados convencionais. Não só é possível um suporte único ou multilateral, mas também é possível uma união de ponto fixo ou adesiva. Deve-se no entanto ter em atenção que os cabos, as ligações eléctricas e os díodos de derivação, devem ser facilmente acessíveis para que, na eventualidade de uma falha, possam ser substituídos.



**Figura 8.147 - Torre solar na estação principal de comboios de Freiburg, Alemanha**

### 8.6.1 Ecrãs fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos podem ser facilmente fixados às fachadas já existentes. As paredes nuas de fábricas e armazéns, apresentam um elevado potencial de aplicação. Se não houver nenhuma especificação especial em relação ao formato e tamanho dos módulos, será sempre possível usar módulos disponíveis no mercado. Uma vez que os módulos não têm de desempenhar funções de protecção climatérica, podem ser livremente combinados, formando padrões tais como logotipos com intenções publicitárias, entre outros objectivos.



**Figura 8.148 - Esquerda: Centro do Futuro e da Tecnologia em Herten, Alemanha e Direita: Companhia Hirschmann em Rankwel, Suíça**

Esquerda: Módulos vidro-vidro: Photowatt  
 Sistema de fixação: Aluhit  
 Fotografia: Kramm und Strigl Architekten  
 Direita: Laminados com armação Kyocera  
 Desenho: Stromaufwärts



**Figura 8.149 - Fábrica Shell Solarcell em Gesenkirchen, Alemanha**

Laminados com armação Flabeg  
 Sistema de fixação Conergy Systems



**Figura 8.150 – Esquerda: Igreja Sta. Gertrud na Colonha e Direita: Empresa Meyer& Meyer em Osnabrück, Alemanha**

Esquerda: Prof. Jürgen Claus, Projeto Biomode  
Módulos vidro-vidro, triangulares com células coloridas BP Solar  
Direita: Laminados com armação BP Solar  
Sistema de fixação Schüco  
Fotografia: Meyer & Meyer

### 8.6.2 Integração em fachadas

Na integração em fachadas, os módulos substituem o revestimento externo e tomam as suas funções, sejam elas fachadas frias ou quentes. Os módulos podem cobrir apenas algumas secções da fachada ou áreas inteiras. O gerador cumpre três funções: produção de energia eléctrica, envolvente externa (protecção climatérica, isolamento térmico, etc.) e instrumento de marketing. Os módulos fotovoltaicos, tal como os elementos convencionais das fachadas, devem cumprir os mesmos regulamentos estruturais e legislativos de construção. Estruturalmente, as fachadas têm de suportar o seu próprio peso e as cargas do vento. O desenho das fachadas deve ter em conta as deformações da estrutura e as tensões e deflexões máximas admitidas para os componentes que a constituem.

As fachadas fotovoltaicas quentes ou frias são classificadas de acordo com os sistemas de fixação usados na construções de paredes envidraçadas, nomeadamente entornos de alvenaria e caixilharias, juntas estruturantes, fixações lineares bilaterais e fixações pontuais.

#### Entornos de alvenaria e caixilharias

As construções mais comuns de janelas, baseiam-se em caixilhos inseridos em caixas de alvenaria construídos para esse efeito. O peso das placas de vidro é transferido através dos blocos de suporte. As golas de montagem dos vidros proporcionam a fixação mecânica e a selagem. Se forem usados elementos fotovoltaicos em vez de vidro normal ou isolante, deve-se primeiro furar a armação por forma a permitir a passagem dos cabos.



**Figura 8.151 - Casa Karl Philipp Moritz, em Berlim**

Fachada quente, transparente  
Módulos de vidro isolante Solarwatt  
Sistema de secções das janelas Hübner

## Juntas estruturais

Nas fachadas envidraçadas com juntas estruturais, os elementos de vidro aderem directamente a uma armação. Estas armações de aço ou de alumínio encontram-se fixadas à estrutura principal de suporte. Isto cria superfícies de fachada que, a partir do exterior, aparentam não ter qualquer apoio. O processo de colagem é normalmente levada a cabo numa fábrica. As armações portadoras e o vidro são fabricados como elementos individuais e instalados no local do edifício, na estrutura de suporte principal. O adesivo químico suporta a carga dos elementos da cortina e a forças do vento, garantindo simultaneamente a estanquicidade do conjunto. Este tipo de estruturas são apropriadas para as fachadas frias ou quentes.

Uma vez que não existem armações externas que possam provocar sombreamentos nos limites dos módulos, este tipo de sistemas são extremamente apropriados para a montagem de geradores fotovoltaicos. Se forem pré-fabricados, facilitam a passagem dos módulos e reduzem o risco de danificar os módulos no local da construção. Quando se usam laminados, as arestas da folha posterior de Tedlar devem ser polidas, depois do processo de laminação, por forma a garantir uma união segura com a armação de alumínio.



**Figura 8.152 - Academia de Educação Superior Mont-Cenis do Ministério NRW do Interior em Herne, Alemanha**

Fachada fria, módulos transparentes de vidro-vidro Flabeg  
Sistema Wicona



**Figura 8.153 - Bayerische Landesbank em Munich**

Fachada quente, opaca  
Módulos vidro-vidro Saint Gobain  
Sistema Schüco



**Figura 8.154 - Fabricante de lâmpadas Tobias Grau em Hamburgo**

Fachada quente, módulo de vidro transparente isolante Saint Gobain  
Sistema Schüco

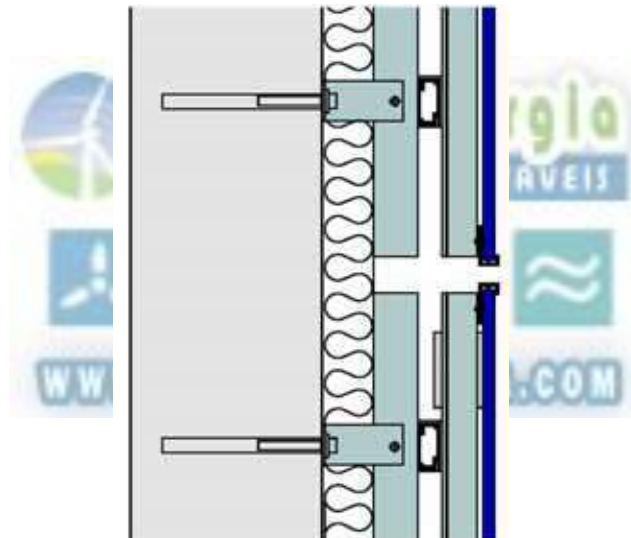
Fotografias: Tobias Grau



**Figura 8.155 - Fábrica Lamy em Heidelberg**  
 Fachada quente, opaca  
 Laminados Siemens  
 Sistema Rinaldi  
 Fotografia: BFK Architekten, Stuttgart

### Fixações de suporte linear bilateral

Nas fixações de suporte linear bilaterais, os laminados sem armação ou os módulos vidro-vidro, são suportados nos extremos superiores e inferiores por secções perfiladas. Os módulos são aparafusadas às secções que, por seu turno, são suportadas linearmente ou fixadas a um ponto da estrutura principal da edificação. Os extremos livres, sem suportes, podem ser unidos por juntas de silicone.



**Figura 8.156 - Secção longitudinal da estrutura fotovoltaica de suporte e fixação do prédio de Helene-Weigel-Platz, em Berlim**



**Figura 8.157 - Edifício residencial de Helene-Weigel-Platz, em Berlim**  
 Fachada fria  
 Módulos vidro-vidro Saint Gobain  
 Desenho Ikarus



Figura 8.158 - Estrutura de suporte da fachada e fixação dos módulos

### Fixações pontuais

De acordo com a norma **DIN 18516-4**, nas fixações pontuais de placas de vidro, a superfície do agrafo que cobre o vidro deve ter uma área de, no mínimo, **1.000 mm<sup>2</sup>**, e a espessura da cobertura de vidro deve ser de, no mínimo, **25 mm**. Se as fixações forem feitas nos cantos das placas, são necessárias áreas assimétricas de fixação.

### Sistema de fachada Aluhit Wiss AG, Suíça

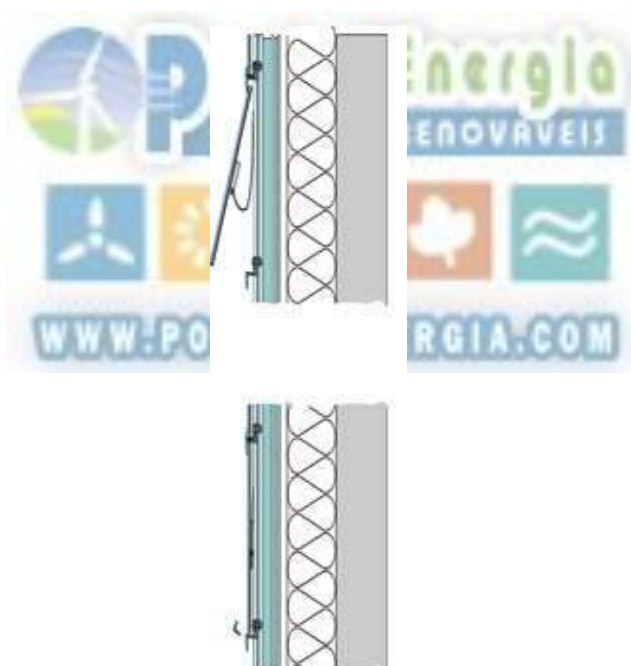


Figura 8.159 - Secção de corte transversal Aluhi system

Nestes sistemas de fixação standard para fachadas ventiladas, os pontos de apoio estão ancorados aos suportes da parede do edifício, através de uma camada isolante que elimina o efeito das pontes térmicas entre as paredes internas e externas. Os perfis verticais de alumínio que constituem a estrutura de suporte, são aparafusados a estes. Por sua vez, os painéis de revestimento de média a grande dimensão, são suportados por estes perfis por meio de agraços. Neste caso, são usados laminados sem armação. Podem ser facilmente combinados com outros painéis e substituídos em qualquer momento.



**Figura 8.160 - Torre da igreja de Steckborn**  
Fachada quente  
Módulos SunTechnics

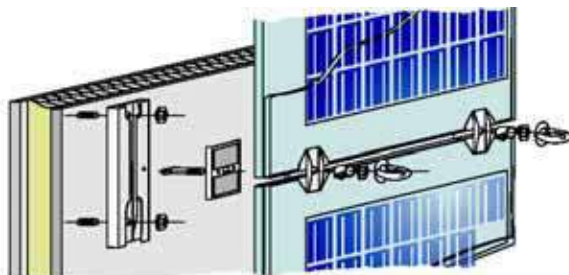


**Figura 8.161 - Migros em Winterthur**  
Fachada fria  
Módulos Atlantis



**Figura 8.162 - Oficinas de EnergieNed em Arnheim, Países baixos**  
Fachada fria  
Módulo Creaglas

**Sistema de fachada SJ**  
SJ Planungsgesellschaft, Alemanha



**Figura 8.163 - Fixações pontuais para módulos vidro-vidro**  
Sistema SJ

Quando se usam módulos vidro-vidro, as duas lâminas devem ser mantidas em separado. O sistema de fachada **SJ** consegue este objectivo, usando rebites de aço inoxidável em forma de estrela, com uma junta elástica em **EPDM**. Cada placa é suportada, no mínimo, em quatro pontos pelas “estrelas” e está por sua vez fixada a uma estrutura de suporte normal. Este sistema de fachadas sem armação, é adequado como cortina de protecção contra a chuva e o vento, podendo usar vidro normal, placas de metal ou de pedra e módulos fotovoltaicos. As paredes externas do edifício ficam a uma distância de cerca de **2 cm** desta superfície.

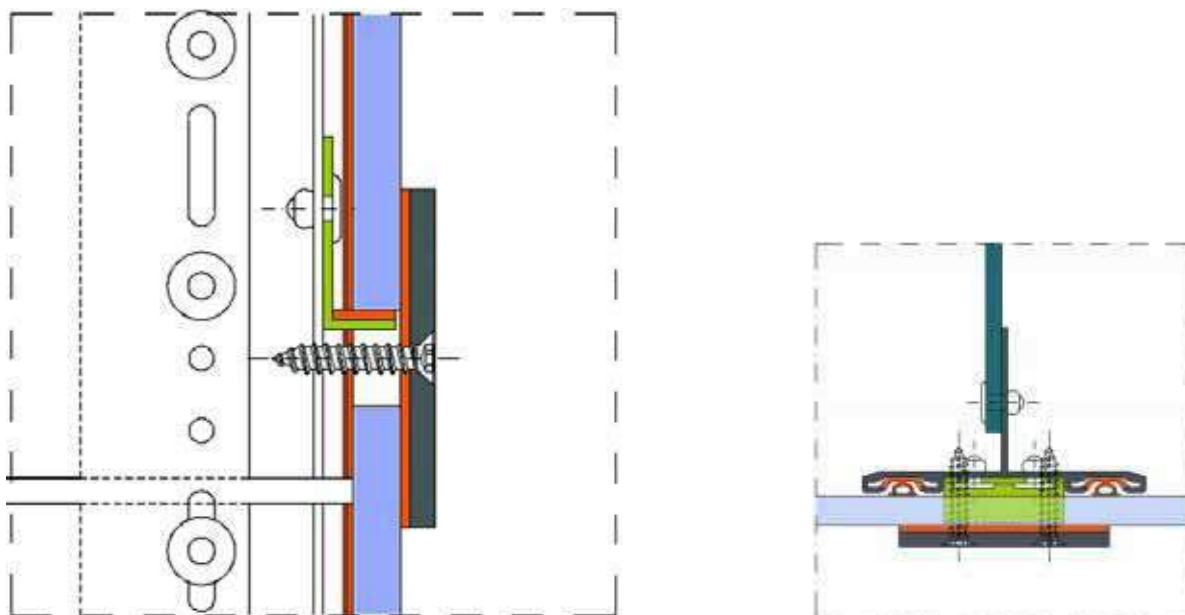


**Figura 8.164 - Oficinas Ökotec em Berlim**  
 Fachada fria  
 Módulos vidro-vidro Flabeg



**Figura 8.165 - Empresa Pining em Gelsenkirchen, Alemanha**  
 Fachada fria  
 Módulos vidro-vidro: Flabeg

**Fachada fria fotovoltaica com clips de fixação**  
 Fassadentechnik Schmidt / Solar-Fabrik, Alemanha



**Figura 8.166 - Secções de corte longitudinal e transversal**  
 Fotografias: Solar-Fabrik

Esta cortina de protecção ventilada consiste num revestimento para fachadas, composto por uma estrutura de suporte de alumínio e por módulos fotovoltaicos. Os módulos fotovoltaicos da Solar-Fabrik consistem em laminados de vidro de segurança sem armação, cuja temperatura, em operação, não ultrapassa a temperatura máxima admitida de **80°C**. Isto é conseguido pela estrutura de suporte que permite aumentar o intervalo entre as duas camadas para além dos valores mínimos estabelecidos (o recomendado é de 10 cm). A estrutura de suporte da firma Fassadentechnik Schmidt é constituída por barras e suportes especiais, e pode estender-se até **100 m**. Três secções de suporte por cada módulo são fixadas aos pontos de apoio da parede, com um intervalo máximo de **85 cm**. A distância até aos extremos do módulo é de **10 cm** para a direita e para a esquerda. Dois módulos contínuos em altura são presos às secções através de clips feitos de aço inoxidável ou de alumínio.



**Figura 8.167 - Fachada recuperada de uma torre residencial em Freiburg, Alemanha**  
Fachada fria

Fotografias: Solar-Fabrik

#### Fachadas com módulos fotovoltaicos convencionais (com armação)

No caso dos laminados com armação, estes são inicialmente pré-montados em estruturas perfiladas, formando elementos de grande dimensão, sendo depois fixados à estrutura principal de suporte da fachada.



**Figura 8.168 - Esquerda: Edifício residencial em Sonnenpark Dornbirn, Áustria e Direita: Empresa Metzler em Feldkirch, Áustria**

Esquerda: Fachada fria  
Laminados com armação Kyocera  
Desenho Stromaufwärts  
Direita: Fachada fria  
Laminados com armação Kyocera  
Desenho Stromaufwärts



**Figura 8.169 - Estação eléctrica Rieden no Lago Constância, Áustria**  
 Fachada fria  
 Laminados com armação Kyocera  
 Desenho Stromaufwärts



**Figura 8.170 - Sede de Doma em Satteins, na Áustria**  
 Fachada com sistema combinado solar térmico  
 (fachada quente) e fotovoltaico (fachada fria)

### 8.7 Coberturas de vidro

As coberturas de vidro são usadas nas áreas de construção que devem receber iluminação natural. Nestes casos, podem ser usados os mesmos materiais e armações das fachadas de vidro. Contudo, é necessário tomar medidas estruturais especiais devido às elevadas cargas térmicas e às diferentes tensões mecânicas a que a estrutura está sujeita. O sistema de drenagem também tem de ser adaptado à inclinação. As faixas horizontais da cobertura são elevadas para melhorar a descarga da precipitação. Como alternativa, é possível usar estruturas leves no telhado (ver Figura 8.235, Estação de comboios de Berlim Lehrter Stadtbahnhof).

As coberturas de vidro estão frequentemente equipadas com dispositivos de protecção solar, que evitam o sobreaquecimento ou o ofuscamento dos espaços que cobre. Neste caso, é possível usar elementos fotovoltaicos para proporcionar sombra e protecção anti-brilho. Os telhados translúcidos sobre as áreas sem aquecimento (escadas, átrios, etc) e sobre os espaços abertos (plataformas de caminhos-de-ferro, garagens, etc.) são particularmente adequados, uma vez que a eficiência dos módulos é maior para baixas temperaturas.

As imagens a seguir mostram exemplos de coberturas envidraçadas sobre espaços aquecidos (tectos quentes que usam construções de vidro isolante) e espaços frios e abertos.

## Coberturas envidraçadas sobre espaços aquecidos



**Figura 8.171 - Empresa de serviços municipais Halle**  
Telhado quente  
Módulos de vidro isolante Flabeg  
Sistema montante-travessa Schüco



**Figura 8.172 - Lar de terceira idade em Strassen, Luxemburgo**  
Telhado quente  
Módulos de vidro isolante Saint Gobain  
Sistema montante/travessa Schüco



**Figura 8.173 - Empresa Pressevertrieb IPS em Meckenheim, Alemanha**  
Telhado quente  
Módulos de vidro isolante: Saint Gobain  
Sistema montante-travessa Schüco

## Coberturas envidraçadas sobre espaços não aquecidos



**Figura 8.174 - Telhado quente**  
Módulos de vidro isolante Saint Gobain  
Estrutura de madeira com suportes em aço e pinças em alumínio Schüco



**Figura 8.175 - Academia de educação superior Mont-Cenis do Ministério NRW do Interior em Herne, na Alemanha**

Telhado frio  
Módulo vidro-vidro Flabeg  
Estrutura de telhado em dente de serra Wicona



**Figura 8.176 - Centro de informação de edifícios ecológicos em Boxtel, na Holanda**

Telhado frio  
Módulos vidro-vidro GSS



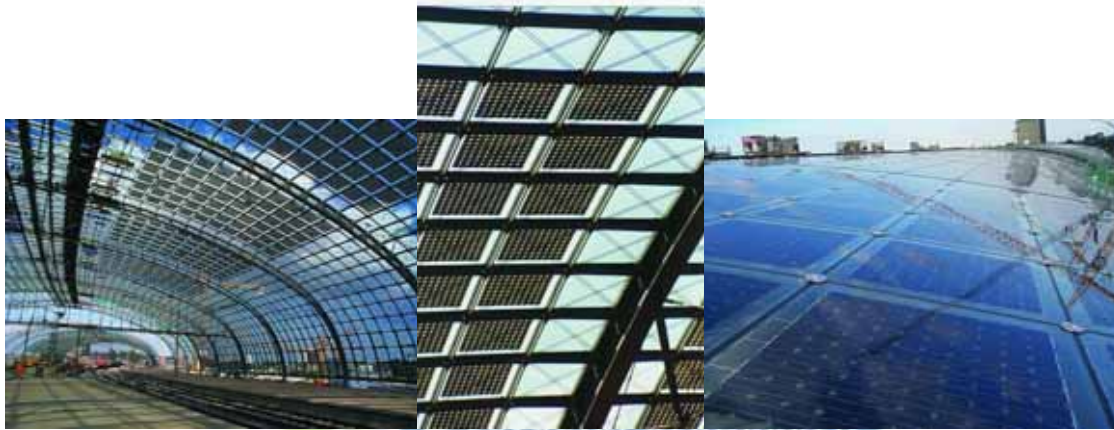
**Figura 8.177 - Bayerische Landesbank em Munich**

Telhado frio  
Módulos vidro-vidro Saint Gobain  
Sistema montante.travessa Schüco

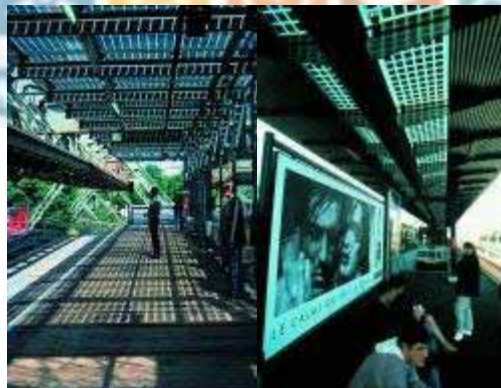


**Figura 8.178 - Casa em Kassel, Alemanha**  
Telhado frio  
Módulos vidro-vidro Flabeg  
Fotografia: Hegger/Architekten

### Coberturas envidraçadas sobre espaços abertos



**Figura 8.179 - Estação central de comboios Lehrter Bahnhof em Berlim**  
Módulos vidro-vidro Flabeg  
Construção aço-vidro



**Figura 8.180 - Telhado da plataforma da Estação Adlgestell em Wuppertal, na Alemanha**  
Módulos vidro-vidro Flabeg  
Sistema SSG



**Figura 8.181 - Telhado da cobertura de um parque de estacionamento do Jardim Zoológico Kochi, no Japão**  
Fotografia: NEDO



**Figura 8.182 - Cobertura para carro**  
Fotografia: NEDO



**Figura 8.183 - Módulos de plástico acrílico Sunovation**



**Figura 8.184 - Entrada de um casa**  
Módulos de plástico acrílico Sunovation



**Figura 8.185 - Cume da igreja de Kirchsteigfeld em Potsdam, Alemanha**  
Laminados vidro-vidro GSS



**Figura 8.186 - Vista interna**  
Fotografias: Akut, Berlin



**Figura 8.187 - Telhado sobre o passadiço de acesso de bloco residencial em Vauban, Freiburg, Alemanha**  
Módulos vidro-vidro Saint Gobain

## Clarabóias



**Figura 8.188 - Arena em Berlim**  
Telhado quente  
Módulos de vidro isolante Saint Gobain



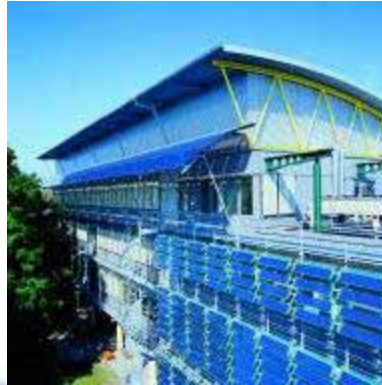
**Figura 8.189 - Armazém da SBB em Berna, na Suíça**  
Telhado frio  
Laminados Atlantis  
Sistema montante-travessa Eberspächer

## 8.8 Dispositivos solares de sombreamento

O uso de envidraçados nas fachadas e nos telhados dos edifícios modernos, têm um efeito considerável no ambiente interior do edifício. No entanto, enquanto que a radiação solar que incide no Inverno é vista como benéfica, uma vez que proporciona um ganho passivo de calor, os ganhos solares dos envidraçados orientados a sul não são desejados no Verão. Para evitar elevados consumos de energia na climatização do edifício, em resultado das grandes áreas de envidraçados, é necessário integrar um conceito de protecção solar. Os dispositivos de sombreamento externos são geralmente mais efectivos do que os elementos de protecção solar internos ao vidro (estores interiores), uma vez que os primeiros não permitem que a radiação solar entre no edifício, onde seria convertida em calor.

Enquanto que os comuns dispositivos de sombreamento proporcionam protecção contra a radiação solar, os sistemas fotovoltaicos precisam do sol. Uma vez que ambos precisam de ter uma orientação solar óptima, estas funções, aparentemente conflituosas, podem ser perfeitamente combinadas. Esta combinação é particularmente interessante, sobretudo se tivermos em conta os elevados custos destes elementos e dos sistemas de rastreio que os equipam. Com a substituição dos elementos de vidro ou de metal por elementos fotovoltaicos, os custos finais não seriam substancialmente superiores. Para além disso, o optimizado ângulo de inclinação e a boa ventilação, permitem elevados níveis de produção. Por este motivo, estes tipo de aplicações podem ser muito interessantes do ponto de vista económico.

No caso de serem projectados para a rua, estes dispositivos solares deverão cumprir com os requisitos de segurança para coberturas de vidro. Neste caso, são usados módulos vidro-vidro e laminados de vidro endurecido a quente (duas folhas) ou vidro laminado de segurança (três folhas).



**Figura 8.190 - Centro de investigação de biologia molecular na Universidade de Friedrich-Alexander em Erlangen-Nuremberg, na Alemanha. Dispositivos de sombreamento fixos com rastreio solar de um eixo**

Fotografia: Solon AG, Wolfram Murr

#### 8.8.1 Sombreamento fixo

Embora os elementos sombreadores fixos sejam os dispositivos de sombreamento solar mais simples, podem ser bastante efectivos se forem posicionados cuidadosamente. Com uma correcta dimensão e distância até a área a ser sombreada, estes dispositivos podem bloquear os intensos raios solares na época do Verão, quando o Sol está mais alto, enquanto que no inverno permitem que a radiação solar entre no interior do edifício.



**Figura 8.191 - Bayerische Landesbank em Munich**  
Fixação pontual Xchüco  
Módulos vidro-vidro Saint Gobain



**Figura 8.192 - Colégio Rembrandt em Veenendaal / Holanda**  
Módulos vidro-vidro: Flabeg  
Estrutura de suporte Schüco



**Figura 8.193 - Monthey Town Hall**  
Módulos vidro-vidro Flabeg



**Figura 8.194 - Universidade de Ciência Aplicada St. Augustin, Alemanha**  
Estrutura de fixação Schüco  
Módulos vidro-vidro Saint Gobain



**Figura 8.195 - Centro de investigação de biologia molecular na Universidade de Friedrich-Alexander em Erlangen-Nuremberg, na Alemanha**  
Fixação pontual Manet, Áustria  
Fotografias: Solon AG, Wolfram Murr

### 8.8.2 Outros dispositivos solares de sombreamento

As superfícies do telhado também podem estar protegidas por dispositivos fixos de sombreamento. Embora os elementos de sombra se encontrem normalmente numa disposição horizontal, também podem ser aplicados verticalmente. Contudo, o sombreamento solar resultante, apenas pode ser previsto de forma aproximada, pois a luz solar incidente só pode ser controlada pelo grau de transparência dos elementos e pela altura do sol (ver capítulo 3).



**Figura 8.196 - Edifício de apartamentos em Probstiggasse na Colonha**  
 Módulos vidro-vidro: Flabeg  
 Fotografia: Architect Ulrich Bötger, Cologne



**Figura 8.197 - Empresa de serviços municipais Constance, na Alemanha**  
 Módulos vidro-vidro: Flabeg



**Figura 8.198 - Casa com terraço em Colonha**  
 Fotografia: Architect Wilhelm Schulte, Cologne



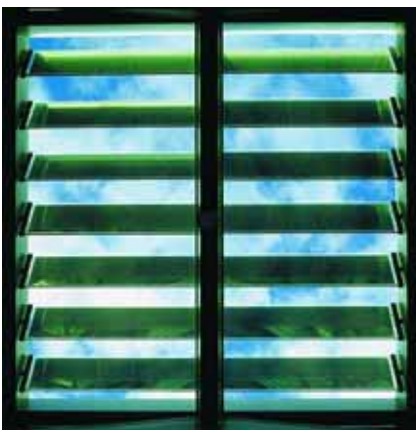
**Figura 8.199 - Centro Tecnológico do Meio Ambiente em Berlim-Adlershof, na Alemanha**  
Laminados vidro-vidro Solon  
Fotografia: Solon AG

### 8.8.3 Sistemas de sombreamento móveis

Os elementos de sombreamento móveis podem ser ajustados verticalmente ou horizontalmente, e permitem que a quantidade de irradiância solar incidente seja otimizada em função das condições diárias de energia radiante. Geralmente são orientados segundo um único eixo: segundo o eixo vertical em função da trajetória solar, ou segundo o eixo horizontal em função da altura solar.



**Figura 8.200 - Museu Audi em Ingolstadt, na Alemanha**  
Módulos vidro-vidro Solon  
Fotografia: Solon AG



**Figura 8.201 - Parlamento Paul-Löbe em Berlim**  
Estores solares  
Estrutura de suporte Solon  
Fotografias: Solon AG, Wolfgang Reithebuch



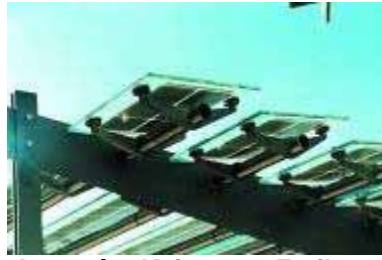
**Figura 8.202 - Torre Tecnológica Werta em Ohrberga na Hameln-Emmerthal, na Alemanha**  
Estores horizontais  
Laminados GSS  
Sistema fotovoltaico Colt



**Figura 8.203 - fixações pontuais**  
Laminados vidro-vidro Sólón; sistema Ado Solar  
Fotografia: Solon AG, Wolfram Murr



**Figura 8.204**



**Figura 8.205 - Armazém Kaiser em Freiburg, na Alemanha**

Estores horizontais  
Fixações pontuais  
Laminados vidro-vidro Solon  
Sistema Ado Solar



## 9 INSTALAÇÃO, ARRANQUE E OPERAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### 9.1 Introdução

O crescente desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica significa que, nos dias de hoje, o projectista do sistema tem ao seu dispor uma grande variedade de módulos e de sistemas de montagem. Existem diferentes opções de instalação, dependendo da dimensão do sistema, do conceito e das condições do local (em termos de transporte e de montagem).

A instalação de um sistema fotovoltaico requer um extenso conhecimento profissional e, em alguns dos casos, o envolvimento de profissionais de várias áreas (carpinteiros, electricistas, empreiteiros, etc.). Infelizmente, com alguma frequência, os documentos técnicos fornecidos pelos fabricantes e as instruções de montagem são muito insuficientes.

Ao trabalharem num telhado, os electricistas encontram-se frequentemente num território totalmente desconhecido. A entrada num telhado requer o apoio técnico de profissionais da área, dado que os trabalhos no telhado não podem, de forma alguma, comprometer a impermeabilização deste. Para além do tipo de material usado, a inclinação do telhado é outro factor decisivo. De notar ainda que deve ser assegurada a estabilidade estrutural do telhado, bem como de todos os elementos que suportam o gerador fotovoltaico. Os ganchos do telhado têm um efeito marginal na impermeabilização do telhado.

Os sistemas montados em telhados apenas têm contacto com o revestimento do telhado em determinados pontos. Os electricistas devem ter um especial cuidado para não perfurarem telhados planos cobertos por membranas plásticas. Deve-se tomar em atenção que as garantias mantêm-se em vigor mesmo após a conclusão dos trabalhos.

#### Alguns princípios gerais a ter em conta na instalação de sistemas fotovoltaicos

- 1) Os construtores podem instalar sistemas no telhado, desde que seja do lado DC do gerador e que este tenha sido concebido para tensões reduzidas de **segurança ou** com sistemas de ligação com tomadas-fichas;
- 2) Os técnicos que não possuírem formação em electricidade podem levar a cabo a instalação eléctrica no lado DC, se forem instruídos por um electricista.
- 3) Os electricistas podem montar sistemas no telhado depois de terem sido instruídos nos requisitos de segurança para trabalhos executados em telhados.
- 4) As aberturas de furos em telhados planos e telhados com sistemas fotovoltaicos integrados, devem ser realizados pelos construtores.
- 5) A ligação do inversor, a instalação eléctrica AC e o teste e arranque do sistema fotovoltaico, devem ser sempre executados por um electricista qualificado.
- 6) O electricista qualificado é responsável por toda a instalação eléctrica do sistema fotovoltaico. Ele garante o cumprimento das medidas e dos regulamentos técnicos que foram estabelecidos no caderno de encargos.

Se a instalação do sistema fotovoltaico ocorrer dentro de um plano de trabalhos de construção extensivo a outras áreas, a integração dos profissionais e o período de duração do trabalho, deverá ser estabelecido e acordado entre as diferentes partes em reuniões de trabalho. Neste caso, deve-se tomar em atenção que os trabalhos de construção associados ao sistema fotovoltaico, ainda não são uma prática comum para os profissionais e supervisores da obra. Se for necessário utilizar recursos adicionais (como por exemplo guias, elevadores, guindastes, etc.), o seu uso deverá ser acordado com os restantes profissionais, para efeitos de partilha dos meios e dos custos. Mais ainda, deve-se ter um especial cuidado para assegurar que os fornecedores, por exemplo dos módulos fotovoltaicos, recebem antecipadamente a ordem de encomenda, uma vez que os respectivos prazos de entrega são normalmente mais alargados do que os restantes materiais de construção.

## 9.2 Notas gerais de instalação

Uma vez que os geradores fotovoltaicos são montados no exterior, devem ser respeitadas as especificações (UV, resistência às intempéries, ....) relativas à montagem exterior dos componentes do sistema (caixas de junção de módulos, caixas de junção do gerador e, se necessário, inversores). Estes são considerados com maior detalhe nos capítulos 3 e 5. Para além disso, devem ser mantidas os requisitos de segurança para as instalações eléctricas.

Em contraste com as fontes normais de tensão (rede eléctrica pública), os geradores fotovoltaicos têm um comportamento operacional claramente diferente. A montagem, conforme as prática usuais para instalações AC, pode conduzir a uma incorrecta instalação DC. Consequentemente, deve-se tomar particular atenção às diferenças entre as instalações DC e AC.

### Notas sobre as instalações DC

- Os módulos estão activos ao serem instalados, não podendo ser desligados. Durante o dia, o gerador fotovoltaico fornece a tensão nominal total.
- O nível de corrente DC é proporcional ao nível da irradiância. A tensão nominal, por outro lado, é atingida mesmo para baixos níveis de radiação (ver capítulo 3).
- Os geradores fotovoltaicos são fontes de corrente, cuja corrente de curto-circuito encontra-se apenas 20% acima da corrente nominal. Este factor deve ser tomado em consideração quando se projecta o sistema de protecção eléctrica (fusíveis, disjuntores, etc.).
- A corrente fotovoltaica é uma corrente DC, pelo que se houver uma falha de isolamento, pode surgir um arco permanente. Por este motivo, a instalação (exceptuando para tensões <50V) deve estar protegida contra falhas de isolamento e curto-circuitos, e as ligações dos cabos têm de ser cuidadosamente executadas. Apenas podem ser usados disjuntores que possuem poder de corte para correntes DC.
- Ao ligar o cabo principal DC, a caixa de junção do gerador deve estar isolada. Isto é conseguido pela abertura dos terminais de isolamento na caixa de junção do gerador. De outro modo, existe o claro risco do estabelecimento de um arco, dado que os cabos do gerador fotovoltaico estão sob tensão.
- Dado que não existem caixas de junção nos geradores que possuem inversores de fileira, o isolamento é conseguido através do isolamento do cabo da fileira. As tomadas-fichas dos módulos não devem interromper a corrente nos cabos das fileiras, dado o perigo de se formar um arco eléctrico.
- Quando se ligam os aparelhos de corte, é preciso ter um especial cuidado com a polaridade dos dispositivos e a direcção do fluxo da energia.

### Notas sobre a interligação dos módulos

- Recomenda-se que os módulos de maior tolerância, em termos de potência, sejam medidos individualmente antes da instalação. Desta forma garante-se que a interligação numa mesma fileira é feita com módulos de potências semelhantes, evitando maiores perdas por desajuste.

### Notas sobre a canalização eléctrica

- Cabos isolados contra falhas de terra e curtos-circuitos.
- Separação entre os condutores positivo e negativo, com duplo isolamento.
- Enlaçamento dos cabos antes do ponto de entrada na caixa de junção do módulo.
- Não colocar cabos sobre a cobertura do telhado, mas fixá-los na armação de suporte.
- Os escoamentos de água da chuva não devem ser obstruídos.
- Se possível, os cabos devem ser colocados em áreas protegidas do Sol.
- Os ligadores de cabos devem possuir protecção contra humidades.
- Evitar extensivos circuitos em laço (ver capítulo 5 "Protecção contra os relâmpagos e a

sobrevoltagem”).

- Os cabos devem ser colocados tão longe quanto possível do sistema de protecção contra descargas atmosféricas (evitar cruzamentos), sobretudo dos condutores de descarga.
- Evitar instalar materiais de arestas cortantes e situações que possam resultar em danos mecânicos.
- Minimizar o comprimento total da canalização eléctrica.
- Ter em atenção a polaridade dos condutores ao estabelecer a ligação entre eles.
- Não usar cabos de cor verde-amarela como condutores activos.
- Os cabos DC não podem ser encaminhados em espaços nos quais estejam armazenados materiais altamente inflamáveis ou nos quais existe perigo de explosão.
- Marcar os cabos DC ao juntar cabos com diferentes sinais de tensão (DC, AC).

### 9.3 Requisitos de segurança para trabalhos efectuados em telhados

Qualquer trabalho efectuado num telhado deve ser executado profissionalmente, devendo ser asseguradas todas as condições de segurança. Isto aplica-se quando se instalam ganchos no telhado, na montagem da armação de suporte do gerador e na colocação dos cabos através do telhado. Por este motivo, é sempre preferível que os construtores civis e as empresas de instalações eléctricas trabalhem em estreita colaboração na implantação dos sistemas fotovoltaicos. Se o sistema fotovoltaico for instalado exclusivamente por uma empresa de instalações eléctricas, o instalador deverá estar familiarizado com as medidas de segurança a ter nos trabalhos em telhados, e ter suficiente destreza para efectuar o trabalho.

Sempre que haja risco de quedas em altura, devem ser tomadas medidas de protecção colectiva adequadas e eficazes ou, na impossibilidade destas, de protecção individual, de acordo com a legislação aplicável, nomeadamente o Regulamento de Segurança no Trabalho da Construção Civil.

O tipo de protecção depende da inclinação, natureza ou estado da superfície do telhado, das condições atmosféricas e do tipo de trabalho a ser executado. Devem ser usados meios e/ou equipamentos especiais de segurança, tais como andaimes, resguardos e guarda-corpos, redes de captação, ou outros dispositivos de segurança susceptíveis de fixação.

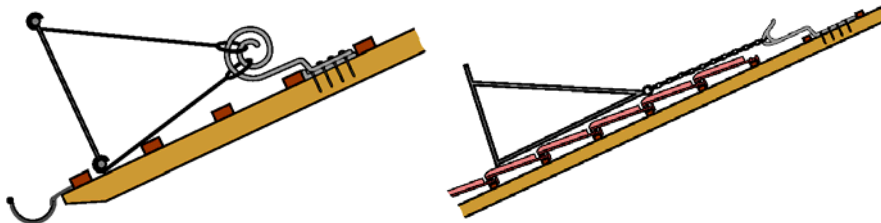


Figura 9.1 - Barreiras de protecção

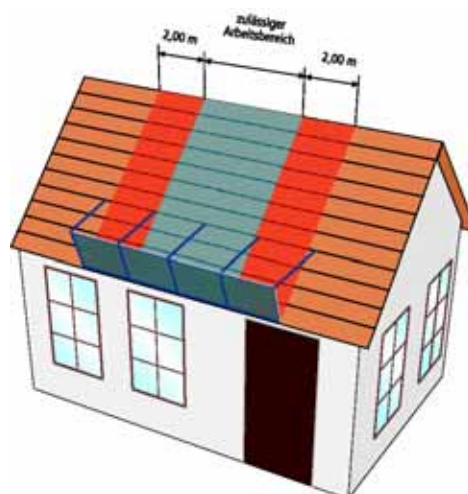


Figura 9.2 – Instalação de um gerador fotovoltaico usando um cinto de segurança

Para além disso, o empreiteiro deve colocar à disposição dos trabalhadores equipamento individual de protecção, nomeadamente cintos de segurança, capacetes, fatos especiais, máscaras, luvas e calçado, entre outros equipamentos apropriado. O equipamento de protecção deverá ser mantido em bom estado de conservação.

Sempre que existir o perigo de queda livre, deverão ser usados cintos de segurança suficientemente resistentes, assim como cabos de suspensão, elementos de fixação devidamente ancorados a um ponto resistente da construção e acessórios, de forma a garantir suficiente segurança.

O comprimento do cabo de suspensão do cinto de segurança deve ser regulado segundo o trabalho a executar. No entanto, não deverá permitir uma queda livre superior a **1 m**, a menos que existam outros dispositivos de protecção que atenuem uma queda de maior altura (por exemplo barreiras de protecção, rede de protecção, .....).

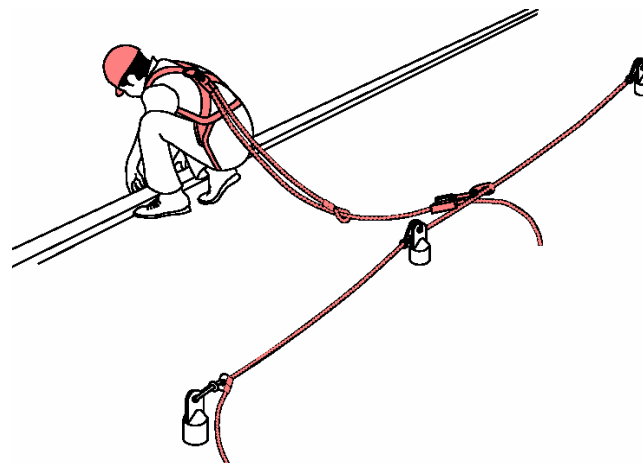
Sempre que a protecção contra quedas em altura seja apenas assegurada por meio de cinto de segurança, o trabalhador deverá estar acompanhado durante a execução do trabalho.



**Figura 9.3 – Equipamento individual de protecção**



**Figura 9.4 – Equipamento individual de protecção, Esquerda: Bloco de inércia, Centro: Cinto de segurança e Direita: Ancoragem dos cabos de suspensão**



**Figura 9.5 – Equipamento individual de protecção num telhado plano onde não existe nenhuma barreira fixa numa distância de pelo menos 2 m do limiar do telhado**

## Equipamento de Trabalho

Para além de protecções contra a queda em altura, nos telhados com uma forte inclinação, será necessário criar meios ou equipamentos de trabalho, tais como:

- Ganchos de telhado, escadas de telhador.
- Plataformas de trabalho.
- Escadas.

### Escadas de telhador com ganchos de telhado

Estas escadas de madeira leve são penduradas nos ganchos do telhado (por razões de segurança a partir do segundo degrau) e assentam sobre a superfície do telhado.

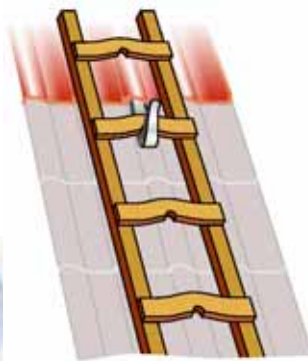


Figura 9.6 – Escada de telhador

### Plataformas de trabalho

As plataformas de trabalho devem estar suportadas com toda a segurança. Por sua vez, as pranchas de apoio não devem ter a largura inferior a **40 cm** e não devem suportar uma carga superior a **150 Kg**.



Figura 9.7 – Plataforma de trabalho

### Escadas de mão (alumínio, madeira)

O ângulo correcto de apoio nos prédios situa-se entre **65°** e **75°**. Devem projectar-se pelo menos **1 m** acima do ponto sobre o qual se apoiam. Devem ter medidas de segurança para evitar deslizamentos, quedas ou afundamentos no chão onde assentam. Estas medidas incluem maiores pés, travões de borracha ou ganchos fixados no topo (ou ter alguém que as segure firmemente).

## Meios de elevação

Conforme as circunstâncias, existem várias possibilidades para a transferência dos módulos para o telhado e/ou através do telhado para o local da instalação. Os módulos podem ser içados através dos mesmos meios mecânicos usados para as placas de vidro. No telhado, podem ser usados guindastes inclinados para o transporte dos módulos. Contudo, poderá ser necessário uma grua para a elevação dos geradores fotovoltaicos, quer pela sua grande dimensão quer pelas áreas do telhado serem de difícil acesso. Dado que o aluguer de gruas é relativamente caro, isto pressupõe um planeamento preciso e uma boa preparação. No caso de fachadas devem ser usados elevadores.

### 9.4 Instalação de um sistema fotovoltaico ligado à rede

#### 9.4.1 Dados iniciais

O objectivo consiste em instalar um sistema fotovoltaico ligado à rede, com uma potência de **3,99 KWp**, num telhado já existente de uma casa privada de dois andares.

Neste exemplo têm de ser instalados **38** módulos, com uma potência individual de **105 Wp**. Uma vez que parte da superfície do gerador está sujeita a sombras provocadas por uma chaminé, é necessário dividir o gerador em dois campos. Deverão ser usados dois inversores com diferentes potências (Sunny Boy SWR 2500 e Sunny Boy SWR 700 da empresa SMA). A área do gerador que está sombreada (**8** módulos em duas fileiras) está ligada ao SWR 700. A área não sombreada do gerador (**30** módulos em três fileiras) está ligada ao SWR 2500. A fixação do gerador é feita recorrendo ao sistema de montagem AluTec (ver capítulo 8).

Devido à presença de janelas de sótão no telhado, o alinhamento das secções horizontais e verticais e, conseqüentemente, a posição dos pontos de fixação do telhado, devem ser planeados cuidadosamente. Todos os materiais usados para a assemblagem da subestrutura do gerador (secções, ganchos do telhado, etc.), assim como os grampos e outros materiais de fixação, devem ser resistentes à corrosão e compatíveis com os restantes materiais. O espaçamento entre os ganchos do telhado e as dimensões dos parafusos, são escolhidos conforme as especificações do fabricante.



Figura 9.8 – Instalação dos ganchos do telhado

#### 9.4.2 Procedimentos para a instalação do sistema

##### 1) **Fixação dos ganchos no telhado**

Os ganchos do telhado asseguram que o gerador fotovoltaico está firmemente ancorado à sua estrutura. O número de ganchos deve ser previamente determinado e a sua distribuição deve constar no plano do telhado (desenho técnico). As telhas que pertencem à área onde o gerador fotovoltaico vai ser instalado, devem ser retiradas por forma a que toda estrutura do telhado correspondente fique visível. Os ganchos do telhado são então aparafusados ao ripado de madeira (o diâmetro do parafuso deve ser, no mínimo, de 6 mm). Devido à necessidade de integrar as janelas de sótão dentro da área circunscrita pelo gerador, e devido ao alinhamento irregular do ripado do telhado, terá de ser usado quase o dobro de ganchos dos que seria normal (perto de 40 peças).

Nota: o espaçamento entre as ripas determina o espaçamento entre os ganchos do telhado. Para o sistema AluTec escolhido, o fabricante especifica um espaçamento máximo entre os ganchos de 1,2 a 1,4 m. Se não houvesse obstáculos de construção próximos, seria possível prender um gancho em cada duas ou três ripas. Se o espaçamento entre as ripas fosse superior ao espaçamento prescrito para os ganchos, será necessário a inserção de um nova ripa ou de uma viga secundária.

Para além dos ganchos do telhado, é também possível usar telhas de fixação (ver capítulo 8 “Fixações no telhado”).



**Figura 9.9 – Ganchos do telhado com secções verticais de fixação**

## 2) Corte das telhas

As telhas que foram levantadas têm então de ser recortadas pelo telhador ou pelo instalador, para permitir que sejam recolocadas nas suas localizações originais, ficando embutidas nas telhas inferiores e laterais. Finalmente a estrutura do telhado é novamente selada e a cobertura protegida contra as intempéries.

Nota: Os ganchos do telhado não devem alterar a posição original das telhas, uma vez que de outro modo poderiam resultar infiltrações.

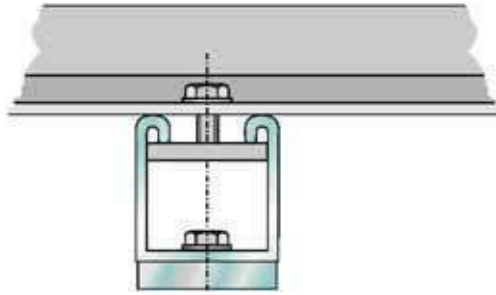


**Figura 9.10 – Recorte das telhas**

Infelizmente, o instalador da figura não cumpre os regulamentos de segurança, higiene e de saúde do trabalho. Devem usar-se óculos de protecção e luvas de segurança durante os trabalhos de corte das telhas.

## 3) Montagem das secções verticais de fixação dos módulos

As secções de fixação vertical, que foram previamente cortadas à medida, são alinhadas com os ganchos do telhado e aparafusadas (diâmetro mínimo do parafuso, 6 mm). Neste caso, os desvios do nível do telhado são corrigidos usando calços, enquanto que os desvios na geometria do telhado são corrigidos através dos buracos alongados dos ganchos e das calhas de fixação. Isto é importante no sentido de se ter uma superfície plana para o assentamento dos módulos do gerador. O formato das secções verticais facilita o alinhamento e a montagem posterior das secções horizontais de fixação dos módulos.



**Figura 9.11 – Secção de corte de uma calha de fixação vertical**

Nota: As fotografias das Figuras 9.11 a 9.20, foram fornecidas com o amável apoio de Agit GmbH, Berlim.

#### **4) Montagem das secções horizontais de fixação dos módulos**

Depois de terem sido montadas todas as secções verticais de fixação à subestrutura do telhado, as secções horizontais de fixação dos módulos (calhas), são furadas nos pontos onde devem ser aparafusados às secções verticais (diâmetro mínimo dos parafusos 6 mm). O comprimento standard destas secções é de **4 m**. As secções que forem demasiado compridas são cortadas para a dimensão apropriada, enquanto que aquelas que forem demasiado curtas são combinadas com as secções seguintes, usando fixações especiais (juntas de expansão de aproximadamente 6-7 mm). Isto garante uma subestrutura estável e forte.

O sistema de montagem AluTec só é apropriado para módulos com armação. A distância entre as secções horizontais é igual à altura do módulo mais **7-8 mm**.

Será sempre útil fazer um molde em madeira por forma a manter o espaçamento e o alinhamento entre as secções de fixação. Começando a partir da secção de fixação situada no ponto mais baixo, o molde irá permitir verificar se o espaço entre as secções é mantido até ser alcançado a última secção (no ponto mais alto). Este procedimento deve ser feito antes de aparafusar firmemente as secções de fixação dos módulos às secções verticais, por forma a verificar que não existem folgas ou excessiva rigidez. Isto garante uma inserção fácil e suave dos módulos nas calhas, e previne qualquer tensão mecânica posterior (causada pelas flutuações de temperatura). As figuras mostram a assemblagem da subestrutura do gerador. As áreas das janelas de sótão do telhado são também tidas em conta.



**Figura 9.12 – Fixação das secções horizontais**



**Figura 9.13 – Montagem das secções horizontais de fixação dos módulos**

## 5) Montagem dos módulos

Depois de terem sido montadas as calhas de fixação dos módulos, estes são inseridos no seu interior, fila por fila, começando pelo topo. O formato e a assemblagem destas calhas garantem que os módulos assentem firmemente e sem vibrações.

Durante a colocação, os módulos ficam ligados electricamente uns aos outros, usando cabos de módulos que são fixados às calhas (Radox 1 x 2,5 mm<sup>2</sup>) e tomadas-fichas. Este procedimento previne a retenção de águas pluviais e da neve derretida na área do gerador, em resultado da colocação dos cabos na superfície do telhado. Deve-se também prevenir qualquer infiltração de água nas tomadas ou nas caixas de junção dos módulos.

Os cabos devem ser colocados de modo a que o isolamento não possa vir a ser danificado pela acção mecânica de bordas cortantes, objectos com bicos, etc... Se necessário, deverão ser encaminhados através de condutas de metal. Também é possível ligar os cabos do módulo directamente (sem tomadas) às caixas de junção do módulo, desde de que os módulos estejam concebidos para tal (ver referências nas especificações do fabricante). Neste caso, devem respeitar-se as recomendações de segurança para as instalações eléctricas (ver capítulo 5).



Figura 9.14 – Ligação dos módulos

Os módulos são aparafusados aos limites das calhas de fixação através de grampos angulares. São então inseridos finos separadores resistentes à água (por exemplo, neopreno) entre o grampo angular e a armação do módulo. Os grampos permitem que seja gerada suficiente tensão mecânica nas armações dos módulos, para que não possam vir a ser criadas oscilações ou vibrações sonoras.



Figura 9.15 – Inserção dos módulos

## 6) Encaminhamento dos cabos de fileira pelo telhado

Os cabos de fileira são encaminhados em condutas de protecção através do revestimento do telhado, da camada de isolamento térmico e da protecção contra a formação de vapores. A colocação dos cabos não deve afectar, de modo adverso, a barreira de vapor ou o isolamento térmico.

O uso de condutas de protecção garante um elevado nível de segurança em termos operacionais e um longo tempo de serviço para os cabos. Estes elementos de protecção são inseridos através de aberturas (previamente efectuadas), e fixados para evitar que deslizem para o exterior. Os cabos são então puxados através destes. Também é possível colocar previamente os cabos nas condutas, o que permite a sua instalação em simultâneo. As condutas de protecção devem ser inseridas através da barreira de vapor nos pontos de sobreposição do folheado, o que permite facilitar a selagem após a sua instalação.

Finalmente os cabos da fileira são encaminhados através das aberturas das telhas de ventilação do telhado. Estas telhas são inseridas em determinados pontos do telhado, e garantem que o telhado permanece impermeável nos pontos de inserção dos cabos. Por razões estéticas, estas telhas deveriam

situar-se por baixo do gerador e ser invisíveis do exterior. Os cabos de fileira são presos à subestrutura e ligados aos módulos correspondentes (ao primeiro e ao último módulo de uma fileira).

Nota: As condutas de protecção devem ser resistentes aos raios UV e às elevadas temperaturas que se verificam nas áreas exteriores.



Figura 9.16 – Inserção dos cabos através de uma telha de ventilação



Figura 9.17 – Abertura no telhado para a passagem dos cabos das fileiras

#### 7) Ligação do gerador à terra

O gerador é de seguida ligado à terra ( $16,0 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ) através de um eléctrodo de terra, que está ligado ao barramento de terra do edifício (ver capítulo 5). Uma vez que a estrutura de suporte é condutora, não é preciso qualquer ligação equipotencial adicional. Será suficiente estabelecer uma ligação ao condutor de protecção de terra que seja resistente à corrosão, num ponto adequado da subestrutura. Esta ligação deve ser mantida tão curta quanto possível.

A assemblagem e montagem do gerador no espaço do telhado ficam assim completos. Durante a assemblagem do gerador, as fileiras individuais dos módulos são medidas do ponto de vista eléctrico (tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, resistência do isolamento) e os resultados são anotados. Este procedimento permite verificar se todas as fileiras do gerador funcionam sem problemas e assim determinar se o trabalho no telhado está, de facto, acabado.



Figura 9.18 – Gerador fotovoltaico completo

#### 8) Instalação da canalização eléctrica no interior da casa

Os cabos eléctricos que provêm das fileiras são canalizados no interior do edifício pelo caminho mais curto possível, directamente para a caixa de junção do gerador. Neste ponto, deve-se ter uma especial atenção para assentar cabos protegidos contra falhas de terra e curto-circuitos. Dado que estes cabos

são condutores activos, devem ser marcados como tal, especialmente se forem encaminhados juntamente com outros cabos no interior do prédio (frequentemente, existem circuitos ou condutas comuns). Os cabos de fileira são electricamente ligados aos terminais da caixa de junção do gerador (cuidado com as voltagens > 120 V DC). Os descarregadores de sobretensão dos fusíveis de fileira, garantem a segurança operacional adequada, enquanto que o interruptor principal bipolar DC permite o corte em segurança do sistema em carga (por exemplo para efeitos de manutenção).

Nota: Para tensões DC > 50V, os contactos do interruptor principal DC devem estar espaçados de, pelo menos, 5 mm, por forma a permitir um isolamento seguro. As especificações do fabricante na placa do interruptor deveriam declarar expressamente se este é o apropriado para o nível de tensão requerido.

## 9) Instalação dos inversores de fileira

As ligações aos respectivos inversores de fileira são efectuadas a partir das caixas de junção do gerador, até aos terminais de entrada DC dos respectivos inversores. Os inversores devem ser instalados num local apropriado. Os factores a ter em conta na escolha do local, incluem a temperatura ambiente, a capacidade de dissipação do calor (por exemplo para uma instalação em armário), a humidade relativa e o ruído. Para efeitos de serviço e manutenção, os inversores devem estar facilmente acessíveis. Devem ser sempre respeitadas as instruções do fabricante.

Sempre que houver uma grande distância entre a caixa de junção do gerador e o inversor, deverá ser instalado um ponto de isolamento adicional antes do inversor. Isto permite um isolamento seguro do cabo principal DC que alimenta o inversor.

Nota: Uma linha de dados permite a transferência dos parâmetros do sistema para um computador. Isto é de particular interesse nas situações de monitorização remota.



Figura 9.19 – Esquerda: Caixa de junção geral do gerador e Direita: Instalação dos inversores

## 10) Interligação à rede eléctrica pública

As saídas do inversor AC estão ligadas à rede principal através de aparelhos de protecção (fusíveis, disjuntores de linha) e através do contador. No nosso exemplo, a caixa do contador, com um contador de consumos de energia eléctrica instalado, é ampliada para a recepção de outro contador, que mede a energia entregue ao Sistema Eléctrico Público (de acordo com as Condições Técnicas de Ligação).



Figura 9.20 – Caixa do contador

A verificação da instalação e entrega do sistema fotovoltaico, é iniciada após o alojamento do aparelho de medição. A ligação à rede eléctrica pública é então estabelecida, assim como a ligação ao barramento DC, o que provoca o arranque do inversor. O painel de visualização do inversor permite aceder e avaliar o estado do funcionamento do mesmo. Para este efeito, devem ser medidos e registados os parâmetros de funcionamento mais relevantes (ver capítulo 9 “Inspeção”).

### 9.5 Vistoria e licença de exploração

Antes da entrada em exploração da instalação pelo utilizador, todos os sistemas deverão ser vistoriados. No caso de expansão ou alteração de um sistema já existente, deverá ser verificado se as alterações estão em conformidade com o que está estabelecido nas normas.

O instalador/construtor do sistema poderá registar e manter actualizado todas as informações importantes do sistema e os valores das medições eléctricas.

Os principais dados a registar são os seguintes:

- Resistência de terra.
- Resistência de isolamento do gerador fotovoltaico.
- Resistência do isolamento da linha principal DC.
- Tensão de circuito aberto do gerador.
- Tensão de circuito aberto de cada fileira.
- Corrente de curto-circuito de cada fileira.
- Queda de tensão em cada diódo (para os sistemas com díodos de fileira).
- Queda de tensão em cada fusível (para os sistemas com fusíveis de fileira).

### Notas sobre as medições

- a) Resistência de isolamento
  - Curto-circuito no lado DC, isolar o descarregador de sobretensões, medir entre um condutor e a ligação equipotencial. Na Tabela 2 mostram-se os valores que devem ser mantidos.
- b) Tensão do circuito aberto
  - Isolar o sistema, medir a tensão entre os condutores positivo e o negativo.
- c) Corrente de curto-circuito
  - Para sistemas com díodos de fileira: provocar um curto-circuito no sistema, medir a corrente paralela ao diódo.
  - Para sistemas sem díodos de fileira: isolar o sistema, retirar os fusíveis de fileira e medir a corrente em cada uma das fileiras.
- d) Diferenças das tensões das fileiras
  - Para sistemas com díodos de fileira: isolar o sistema, medir a diferença de tensão antes do diódo;
  - Para sistemas sem díodos de fileira: remover os fusíveis de fileira e medir a diferença de tensão na fileira 1.

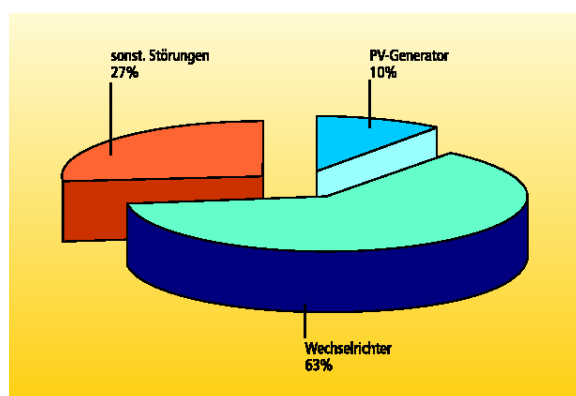
Estes dados servem como um certificado para o operador, e determinam se o sistema fotovoltaico está completamente operacional e seguro para operar. Esta informação poderá constar do relatório técnico apresentado para efeitos de requerimento do pedido de vistoria e emissão de licença de exploração.

### 9.6 Falhas de funcionamento, falhas típicas e manutenção de sistemas fotovoltaicos

A falha total de um sistema fotovoltaico é extremamente rara. A esmagadora maioria dos sistemas funcionam durante largos anos, e as eventuais avarias estão normalmente associadas a pequenos custos de reparação.

Como parte do programa fotovoltaico “1.000 telhados” (1991 a 1995), a instalação de sistemas ligados à rede foi subsidiada pelo governo Alemão. No âmbito deste programa foi documentado o comportamento operacional, o tipo e o número de falhas dos vários sistemas. Em resultado destas investigações, podem-se fazer os seguintes comentários:

- 1) O componente mais fiável de um sistema fotovoltaico é o próprio gerador fotovoltaico. No caso de avarias, as principais causas foram os efeitos de descargas atmosféricas, as falhas dos díodos de fileira e as deficiências nos módulos e na cablagem DC.
- 2) As falhas mais frequentes ocorrem no inversor. As principais causas foram os danos provocados pela incorrecto dimensionamento do inversor, pelo efeitos de descargas atmosféricas, pelos efeitos de harmónicos e por falha do equipamento electrónico.
- 3) Os fenómenos de corrosão provocados pela combinação de diferentes materiais foram uma constante (por exemplo, parafusos de bronze numa montagem galvanizada).
- 4) Outras falhas estavam relacionadas com os fusíveis e com distúrbios no fornecimento de energia à rede.



**Figura 9.21 – Distribuição percentual das falhas técnicas de componentes do sistema fotovoltaico, após a análise dos dados recolhidos no programa 1.000 telhados [ISE96]**

A seguinte tabela mostra as principais falhas que ocorreram em 200 sistemas fotovoltaicos, após vários anos de funcionamento. Estes sistemas foram seleccionados com base num nível de produção de energia anual inferior à média.

**Tabela 9.1 - Falhas típicas dos sistemas no programa 1.000 telhados [Lan98]**

<b>Gerador Fotovoltaico</b>	
Sombreamento parcial	41%
Condutores não isolados	24%
Corrosão e defeitos na estrutura de suporte	19%
Grampos soltos ou perdidos	5%
Módulos defeituosos	<2%
<b>Caixa de junção do gerador</b>	
Deficiente ou inexistente dissipação do calor gerado nos díodos de fileira	60%
Dispositivos de isolamento inadequados	56%
Fusíveis e descarregadores de sobretensão inadequados	15%
Fusíveis de fileira defeituosos	4%
Díodos de fileira defeituosos	<2%
Descarregadores de sobretensão defeituosos	<1%
<b>Inversor</b>	
Insuficiente capacidade de corte em caso de sobretensão	8%

Estas falhas e os respectivos os tempos de paragem dos sistemas fotovoltaicos, podem ser evitados através de uma manutenção regular por parte do operador do sistema. A ficha de manutenção que propomos a seguir poderá ser usada como guia.

### Ficha de manutenção

Tabela 9.2

	Inspecção Visual	Medições com Multímetro	Medição da resistência de terra	Verificação das entradas e saídas	Medição da resistência de isolamento	Verificação de sob/sobre tensões	curvas I/U	Leitura dos dados fornecidos pelo inversor	Teste do circuito AC	Análise do sinal de rede
<b>Tipo de Falha</b>										
<b>Módulos FV</b>										
Sujidades	X									
Deslaminacão do módulo	X	X					X			
Díodos de derivação		X		X				(X)		
Pontos de ligação		X			X		X	(X)		
Humidades	X	X			X		X			
Módulos defeituosos	X	X					X	(X)		
<b>Inversor</b>										
Eficiência				X				X	X	X
Características do sistema de Controlo				X		X		X	X	X
Conteúdo Harmónico									X	X
Distúrbios na linha de tensão								X	X	X
<b>Instalação</b>										
Fusível	X	X		X						
Díodo de fileira defeituoso		X		X			X			
Curto circuito / Falha da protecção de terra	X				X					
Descarregadores de sobretensão defeituosos	X	X			X	X				
Aumento da resistência de terra			X							

### 9.7 Identificação dos problemas

Os geradores fotovoltaicos são expostos às agressividades do clima. Ao longo da sua vida útil (**25 a 30** anos), poderão naturalmente ocorrer algumas falhas de serviço. O método de identificação da natureza dos problemas depende do tipo de falha e do tipo de sistema fotovoltaico. Em primeiro lugar, deve-se perguntar ao cliente quando e como tomou conhecimento da falha. Os diagramas dos circuitos, assim como a descrição técnica do sistema, são também de grande ajuda. Antes de tomar qualquer medida, deve ser conduzida uma inspecção visual ao sistema fotovoltaico, em particular ao gerador fotovoltaico. Neste caso, deve-se procurar por danos mecânicos e pela eventual acumulação de sujidades.

Deve-se também verificar a canalização e as ligações eléctricas. Podem ocorrer as seguintes falhas que não provocam a actuação do aparelho de corte, e que por isso podem levar ao aparecimento de tensões de defeito ou à criação de arcos eléctricos:

1. Deterioração ou fraca ligação entre cabos.
2. Correntes de fuga devido a um defeito de isolamento.
3. Curto-circuito devido a um defeito de isolamento.

Outros aspectos a ter em atenção são os eventuais danos térmicos e mecânicos, e a integridade dos isolamentos dos cabos. Estes últimos poderão estar roídos por animais, ou deteriorados pela acção dos raios UV, do tempo ou de sobretensões. Todo o isolamento “envelhece” com o decorrer do tempo. Uma falha de isolamento pode levar à criação de um arco e provocar, em última instância, um fogo. Por este motivo, a monitorização automática do estado do isolamento do sistema, que já vem implementada em muitos inversores, é sempre recomendável. Neste caso, quando a falha de isolamento é assinalada, o inversor isola o sistema da rede. Contudo, o gerador fotovoltaico irradiado ainda fornecerá corrente directa para alimentar o arco, pelo que a falha não poderá ser isolada pelo inversor. No entanto, nos

sistemas fotovoltaicos com tensões reduzidas de segurança, o risco do estabelecimento de um arco é reduzido.

Actualmente, é possível obter um diagnóstico remoto sobre o desempenho do sistema com os modernos inversores, bastando para tal um modem e um PC. Na origem de avarias, poderão estar as seguintes causas, ordenadas segundo a sua frequência:

1. Falha no inversor.
2. Ligações soltas entre cabos.
3. Fusíveis de fileira defeituosos.
4. Deficiência em um dos módulos, e por isso falha total ou parcial de uma fileira (díodos de derivação ou contactos de células individuais no módulo).
5. Disjuntor defeituoso.
6. Falha de isolamento.

Começando pelo ponto de interligação ou pelo contador de energia eléctrica, a verificação do estado de operação dos inversores e da caixa de junção do gerador, deverá ser feita através dos respectivos cabos de ligação. No inversor, deve-se observar os dados operacionais, conferindo os leds de sinalização ou o código de erro, ou usando software remoto e um computador portátil. O registo dos dados operacionais do inversor (potência AC,  $U_{MPP}$ ,  $I_{MPP}$ ...), podem proporcionar pistas importantes para a localização da origem da falha. O processo de medição deve ser iniciado no lado AC e só depois deverá prosseguir para o lado DC. Se não houver tensão na ramal de ligação AC, é possível que o sistema de protecção da interligação tenha disparado (por exemplo, uma impedância do sistema demasiado alta). Posteriormente, verifica-se a linha DC e o interruptor principal DC. A resistência de isolamento de terra entre os condutores activos e o potencial de terra deve ser, no mínimo, de **2 M $\Omega$** .

Na caixa do gerador verifica-se o estado de funcionamento dos fusíveis de fileira, do descarregador de sobretensões e, caso se aplique, dos díodos de fileira. É então conferido se existe ou não uma fileira defeituosa a partir dos terminais da caixa de junção do gerador.

É possível medir em pleno funcionamento a tensão aos terminais dos fusíveis de fileira e, se existirem, dos díodos de fileira, usando um voltímetro. Se resultarem excessivas diferenças entre as tensões individuais das fileiras e/ou entre as correntes de curto-circuito individuais, isto indica que existe um desajuste excessivo no gerador, ou que ocorreu uma falha eléctrica numa ou em várias fileiras. O passo a seguir deverá consistir em efectuar medições individuais nos módulos da fileira correspondente. Neste caso, para as fileiras maiores, dividi-se a fileira em dois, por forma a identificar a metade defeituosa da fileira. É aplicado o mesmo método à metade da fileira resultante e por aí adiante, até chegar ao módulo responsável pelo defeito. As ligações dos módulos e dos díodos de derivação também devem ser verificadas. Também se deverá proceder à medição da tensão de circuito aberto  $U_{OC}$  e determinar a corrente de curto-circuito  $I_{SC}$ . Deve-se ter em mente que esta corrente depende proporcionalmente da irradiância.

A seguinte tabela lista os tipos de falhas mais comuns e mostra quais as verificações e medições que podem ser usadas para as detectar.

**Tabela 9.3**

Diário	Inversor	- em operação ou existe mensagem de erro no visualizador?
Mensal	Verificação dos níveis de produção	- registar as medições do contador regularmente! (Não é necessário no caso de tele-monitorização)
	Superfície do gerador	- Acumulação de sujidades? - Folhas ou dejectos de pássaros? - Remover com jactos de água
Cada seis meses	Caixa de junção do gerador	- Penetração de insectos/humidades? - na medida do possível testar fusíveis
	Descarregador de sobretensões	Verificar após uma trovoadas! - intacto? (indicador branco, ou vermelho?)
	Cablagem	- Procurar arcos eléctricos, isolamentos danificados, outros (cabos roídos por animais) - Verificar ligações!

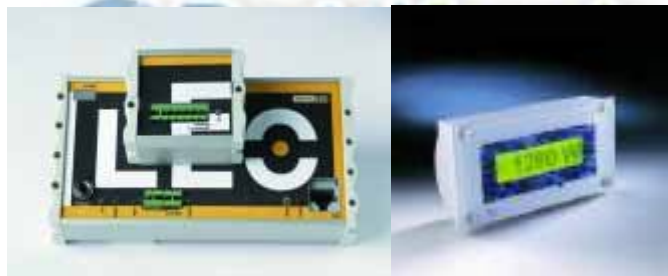
Antes de se iniciarem os trabalhos de reparação, deve-se verificar se estes estão ou não cobertos por uma garantia, isto é, se é possível ou não aplicar a garantia dos fabricantes dos equipamentos. Se não for o caso, deve ser apresentado um orçamento relativo aos custos de reparação do sistema. Deve ser efectuado um caderno de inspecção para uma novo arranque do sistema.

### 9.8 Dados operacionais de monitorização e sistema de qualidade

#### Dados operacionais de monitorização

Em regra, os sistemas fotovoltaicos são muito fiáveis. No entanto, na eventualidade de uma falha ou de um defeito, pode acontecer que este só seja detectado depois de terem passado vários meses após as últimas leituras do contador. Isto terá claras implicações na produção e, conseqüentemente, no resultado económico da exploração. Com um sistema de monitorização dos dados de operação, as falhas ou defeitos são rapidamente detectadas e sinalizadas. Deste modo, o proprietário do sistema poderá verificar regularmente o desempenho do sistema e, quando necessário, chamar o engenheiro da instalação para o diagnóstico da falha.

Para analisar os parâmetros do sistema, é necessário antes de mais que estes estejam armazenados. Este registo é geralmente efectuado através do inversor. Os dados são armazenados em ficheiros de dados, sendo então enviados ou lidos a partir de um computador. Nalguns casos é necessário um sistema de aquisição de dados externo ou um sistema de armazenamento de dados externo. A precisão das medições efectuadas pelo inversor é geralmente inferior ao de um contador normal de energia eléctrica. Podem obter-se valores exactos a partir de um contador calibrado.



**Figura 9.22 – Esquerda: Sistema de aquisição e de armazenamento de dados e Direita: Sistema de aquisição de dados sem fios com visualizador**  
Fotografias: Tritec e Otronic

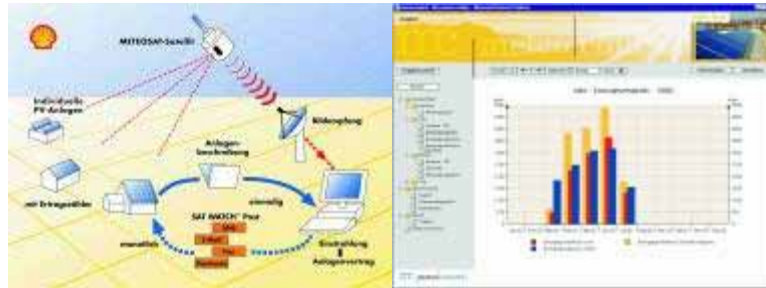
Um número cada vez maior de operadores, especialmente os dos grandes sistemas fotovoltaicos, estão a optar pela visualização dos dados operacionais directamente a partir de painéis específicos para esse efeito.



**Figura 9.23 – Esquerda: Quadro de visualização para consulta no exterior e Direita: Quadro de visualização para consulta no interior da habitação**  
Fotografias: Skytron

Após a aquisição e registo dos dados operacionais, estes são analisados. Começa a ser cada vez mais comum a implementação de sistemas automáticos de verificação integrados no inversor ou no sistema de aquisição de dados. Estes dispositivos detectam e sinalizam as falhas mais críticas, através de sinais sonoros de alarme, mensagens por fax, computador, correio electrónico, ou internet.

Ao comparar os dados operacionais com as medições da irradiância (ver capítulo 2), é possível fazer uma análise mais rigorosa. Contudo, isto requer um sensor de radiação, se possível, da mesma tecnologia celular do gerador fotovoltaico. Sem este sensor, poderá ser feita a comparação usando dados climatéricos e/ou dados de produção de outros sistemas fotovoltaicos. Por isso, o método usual consiste na simulação da produção energética do sistema, com base nos dados climatéricos da localização mais próxima do sistema fotovoltaico. Algumas empresas oferecem esta possibilidade através de um serviço *online* suportado pela internet.



**Figura 9.24 – Esquerda: Visualização de dados operacionais através da Internet e Direita: Diagrama esquemático para a monitorização do sistema pela Internet**

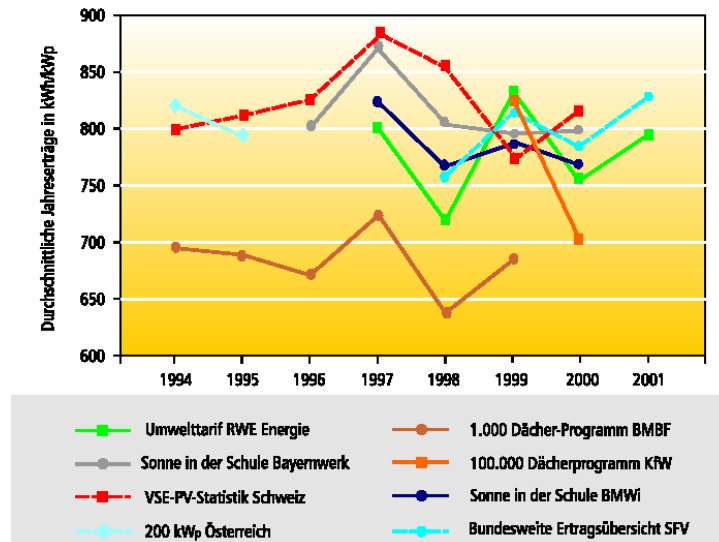
Fotografias: Meteocontrol e ShellSolar

A verificação dos dados operacionais mensais pode ser feita através da leitura do contador que faz a medição da energia total produzida pela instalação de produção, e a comparação dos valores obtidos com os níveis de produção de outros sistemas cujos dados estão disponíveis via Internet ([www.pg-entraege.de](http://www.pg-entraege.de) ou [www.sonnenenertrag.de](http://www.sonnenenertrag.de)).

### 9.9 Resultados operacionais dos sistemas ligados à rede

Os níveis de produção dos sistemas fotovoltaicos dependem da irradiância solar para o ano em questão. Pode obter-se uma primeira estimativa através dos valores médios de longo prazo da irradiação solar, que estão disponíveis para muitos locais. Se desejarmos calcular de um modo mais exacto a energia produzida pelo sistema, será necessário adquirir os dados de irradiância do ano respectivo, com uma maior resolução cronológica (por exemplo valores horários).

Os dados operacionais de longo termo de sistemas fotovoltaicos na Alemanha, provêm dos sistemas construídos ao abrigo do programa “1.000 telhados” (1991 a 1995). A produção anual destes sistemas varia, mas situa-se perto do valor médio de **700 kWh/kWp**. O índice de desempenho médio (**ID**) foi de **69%**, enquanto que o índice de **75%** demonstrou ter sido um bom **ID**. Os sistemas fotovoltaicos que vieram a ser construídos depois deste programa, atingiram níveis de produção anual superiores. Por isso, os níveis de produção anual de energia no programa “Sol nas Escolas”, no âmbito do programa dos “100.000 telhados” foram, em média, **796 kWh/kWp**. Numa análise geral da produção dos sistemas fotovoltaicos instalados por toda a Alemanha (disponível na Internet e realizada pela Aachen Solarförderverein – Associação para a Promoção Solar), o valor médio calculado foi de **798 kWh/kWp**.



**Figura 9.25 – Produção de energia média anual na Alemanha, Austria e Suíça**  
Fontes: Avaliação de vários programas de apoio e [www.pv-ertraege.de](http://www.pv-ertraege.de)

Os sistemas fotovoltaicos integrados em telhados ou fachadas possuem menores níveis de produção anual. Os projectos de integração em telhados alcançam níveis de produção situados entre **600 e 800 kWh/kWp** [Bec00, Bec02, Dgs01, Sta02]. No entanto, os efeitos de algumas sinergias (isolamento do calor, sombreamento, ..... ) que estão associadas a estes sistemas, significam que este aspecto apenas poderá ser considerado como secundário. Para além disso, existem os aspectos estéticos e de desenho, que não devem ser descurados ou sub-valorizados.

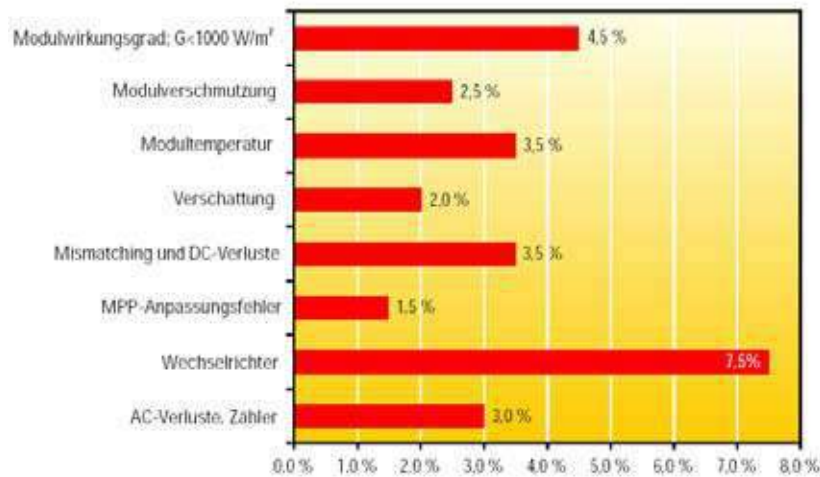
Quando os sistemas fotovoltaicos são integrados nos edifícios, os módulos ficam normalmente sujeitos a temperaturas mais elevadas, o que se traduz numa menor eficiência, especialmente no caso dos módulos de silício cristalino (ver capítulo 3). Para além disso, existem perdas de irradiação, uma vez que, frequentemente, as superfícies não estão alinhadas segundo a direcção ideal e estão sujeitas a sombreamentos. Por exemplo, as produções de energia registadas em nove sistemas de fachada vertical objecto de estudo, estiveram compreendidos entre **370 e 570 kWh/kWp** por ano (Dezembro 1998). Os mais recentes sistemas de fachadas, em resultado da optimização do desenho e da concepção do sistema, atingem níveis de maiores produção energética, com valores que variam entre **500 e 700 kWh/kWp** [Bec00, Bec02, Dgs01, Sta02].

Na tabela seguinte são apresentados as médias percentuais das perdas energéticas nos sistemas fotovoltaicos. As maiores perdas surgem, conforme era esperado, na conversão da corrente alternada para corrente contínua pelo inversor, sendo a sua eficiência anual, em média, de **90%**.

A segunda maior fonte de perdas energéticas advém do desvio do desempenho actual do módulo (eficiência) em relação à potência nominal nas condições de referência **CTS**, conforme estabelecido na respectiva ficha técnica. As razões para que tal ocorra devem-se, por um lado, à flutuação natural da irradiação e da temperatura e, por outro, à elevada tolerância nas especificação do desempenho dos módulos pelos fabricantes.

As medições realizadas pelo Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energia Solar, mostraram que a quebra da potência do gerador fotovoltaico era, em média, inferior a **10%** da soma das potências nominais dos módulos fotovoltaicos. Seria desejável que os fabricantes de módulos reduzissem as tolerâncias das potências nominais dos módulos. A tendência recente por parte de um número cada vez maior de fabricantes, é de oferecerem tolerâncias de **± 5%** em vez de **± 10%**. Contudo, a especificação positiva da tolerância pertence ainda ao domínio da aspiração. Seria muito sensato definir uma potência mínima para os módulos.

Especialmente devido à crescente imposição dos utilizadores em termos de garantias sobre as produções de energia, os fabricantes dos módulos deviam, pelo menos, libertar as empresas de instalação deste factor de incerteza.



**Figura 9.26 – Factores de perdas médias em sistemas fotovoltaicos**

Os factores remanescentes de perdas e os modos de os minimizar através da implementação de medidas apropriadas, já foram discutidos nos capítulos 3, 4 e 5.

### 9.10 Seguros para sistemas solares

Um sistema de produção de energia eléctrica a partir da conversão da energia solar, implica um substancial investimento inicial. Nas casas unifamiliares, um sistema fotovoltaico instalado no telhado custa entre **10.000 e 50.000 €**. Para projectos maiores e centrais fotovoltaicas, os valores investidos perfazem frequentemente centenas de milhares de euros. O sistema pode estar em funcionamento por mais de 20 anos, e por isso deve ser encarado como um investimento de longo prazo. Consequentemente não será apenas sensato, mas indispensável, segurar o valor da instalação, especialmente se o sistema tiver sido financiado com empréstimos, e forem necessários os proveitos resultantes da venda da energia eléctrica à rede pública para liquidar a dívida.

Contudo, muitos operadores e instaladores de sistemas fotovoltaicos ainda negligenciam este ponto essencial. Tal como acontece para o seguro de um carro, os aspectos do seguro têm de ser esclarecidos cuidadosamente com a seguradora. Esta discussão deverá ocorrer mesmo antes de se iniciar a instalação do sistema fotovoltaico.

#### 9.10.1 Seguro de responsabilidade civil para terceiros

Com os riscos segurados, pode diferenciar-se entre danos à propriedade provocados por influência externa (seguro da propriedade) e danos a terceiros resultantes do funcionamento do sistema. O último exige um seguro de responsabilidades civil (seguro para terceiros), que cobrirá a compensação das queixas justificadas pelos terceiros, qualquer relatório que seja necessário por parte de especialistas e eventuais custos legais. Estes danos podem ser ocasionados, por exemplo, por um módulo solar que caiu do telhado, ou se o sistema fotovoltaico prejudicar a qualidade do serviço de fornecimento de energia eléctrica pela rede eléctrica pública. A seguradora terá a tarefa de se precaver contra todas as queixas de compensação injustificadas. Se o operador for o proprietário do edifício, o sistema fotovoltaico pode estar incluído no seguro de habitação existente. Se não existir tal seguro, pode tentar cobrir os riscos com o seguro pessoal de responsabilidade civil, que algumas seguradoras disponibilizam.

No entanto, também deve-se garantir que o seguro tenha a cobertura de eventuais riscos que possam ocorrer durante o período de construção. Mesmo no caso da empresa ter sido adjudicada para a execução dos trabalhos de montagem e de instalação eléctrica, o cliente é, em princípio, responsável por todos os danos que venham a ocorrer durante a fase de construção. Para além disso, é responsável pela supervisão das empresas que realizam os trabalhos de construção. Mesmo antes de se dar início ao trabalho, deve ficar esclarecido se estes riscos são ou não cobertos pelo seguro pessoal ou da habitação, se devem estar segurados em separado ou não, ou se vai confiar ou não na responsabilidade da empresa executante. Estes riscos podem também estar incluídos nos seguros a terceiros do sistema de energia solar, sem que haja custos adicionais. Este tipo de seguros são recomendados sobretudo para sistemas localizados em prédios que são propriedade de terceiros.

### 9.10.2 Danos sobre o sistema fotovoltaico

É particularmente importante que o operador se proteja contra perdas financeiras que possam ocorrer de eventuais danos sobre o sistema, resultantes de agentes climatéricos, roubo, vandalismo, defeitos de construção e/ou falhas operacionais.

Como parte integrante do seguro de habitação será possível, mediante um pequeno aumento do prémio (ou mesmo sem nenhum encargo), ser compensado das perdas e danos que se possam verificar sobre o sistema fotovoltaico, em consequência de tempestades, granizo, fogo, água, relâmpagos, etc. Esta possibilidade é uma vantagem para os pequenos sistemas cujos operadores sejam também os proprietários da habitação. No entanto, ainda que seja teoricamente possível para sistemas situados em edifícios de terceiros (caso o proprietário esteja de acordo), não será recomendável, uma vez que o proprietário do sistema tem menos direitos. Por exemplo, na eventualidade de uma avaria grave, poderia ser claramente prejudicado pelo facto do seguro ter um capital inferior ao valor real do sistema ou no caso dos prémios do seguro não terem sido pagos.

### 9.10.3 Coberturas contra danos em sistemas solares

Os seguros especiais oferecidos para os sistemas de energia solar são, de longe, mais abrangentes do que os seguros normais para habitações. Encontram-se incluídos riscos adicionais como o roubo e o vandalismo, para além de falhas operacionais e a redução da produção energética em caso de falha ou de avaria.

O seguro deverá cobrir os seguintes riscos:

- desastres naturais como: terremotos, assentamento e deslizamento de terras, inundações, tempestades, gelo, granizo;
- incêndios, relâmpagos, explosões e danos provocados pela extinção dos fogos resultantes;
- efeitos directos e indirectos provocados por uma descarga atmosférica (curto-circuitos);
- defeitos de construção, de materiais e da instalação;
- falhas operacionais ocasionadas pela inaptidão e negligência do operador;
- roubos, sabotagens e vandalismos exercidos por terceiros.

Deverão ser excluídos os danos provocados pelo desgaste do sistema, premeditação e clara negligência do operador, e fenómenos naturais em que não seja possível demonstrar qualquer influência externa. Os danos causados pelas tempestades e pelo granizo podem ser restringidos até um certo limite, desde que se respeite as normas de construção e as normas de qualidade. No entanto, a protecção contra os efeitos directos e indirectos das descargas atmosféricas representa um desafio considerável para os técnicos (ver capítulo 5), podendo ter consequências muito gravosas para o sistema, com custos consideráveis. Uma vez que os módulos e os inversores são extremamente sensíveis a sobretensões (bem como os computadores utilizados para a monitorização dos dados), a cobertura do equipamento eléctrico deve constituir o núcleo do plano de cobertura de riscos.

Para estabelecer uma comparação entre os prémios das várias seguradoras e descobrir a oferta mais favorável, devem ser respondidas as seguintes questões:

- Quais os riscos que estão cobertos pelo seguro.
- Que benefícios são pagos pela seguradora na eventualidade de danos. Cobrem, por exemplo, a montagem, o transporte e custos de expedição.
- No caso de perda total é pago o valor do sistema após a sua amortização. Ou o custo de renovação total do sistema.
- A quanto ascende o risco individual da eventualidade de ocorrerem danos.
- A quanto ascende a compensação diária durante os períodos de reparação na eventualidade de uma falha ou avaria, e quantos dias são necessários para se iniciar o pagamento.

Ainda não é possível proporcionar informação concreta sobre a extensão dos acidentes que ocorrem durante a operação dos sistemas fotovoltaicos, dado que não existem dados estatísticos significativos. Por esta razão, os prémios oferecidos pelas companhias seguradoras não são baseados em cálculos sólidos, mas sim em previsões da extensão e consequências de um eventual acidente. Desta forma, os prémios podem variar consideravelmente entre várias seguradoras. O operador deverá determinar, juntamente com o profissional de seguros, qual a solução que melhor responde às suas necessidades. A chamada cobertura “multi-riscos”, apresenta-se como a solução recomendável para os maiores sistemas fotovoltaicos instalados em telhados alugados. Os operadores privados que possuem os sistemas instalados nos telhados das suas casas devem, pelo menos, incluir a instalação solar no seguro de habitação e de incêndio, o que normalmente custa apenas mais alguns Euros.





## 10 VIABILIDADE ECONÓMICA, ASPECTOS POTENCIAIS E ECOLÓGICOS

### 10.1 Avaliação económica

Num sistema fotovoltaico, os custos de investimento inicial determinam os custos de produção da energia eléctrica gerada (capítulo 5), uma vez que não existem custos adicionais com combustíveis. No que respeita aos custos correntes - seguros, manutenção, etc., são de reduzido significado.

Considerando os custos de produção de energia, os sistemas fotovoltaicos podem ser comparados com outros sistemas de produção de energia, podendo assim ser calculados os níveis de compensação de cobertura de custos, para os diferentes sistemas de produção e fornecimento de energia eléctrica à rede pública de distribuição.

O desejado retorno do capital investido inicialmente, tem uma influência decisiva no cálculo dos custos de produção de energia. Os cálculos económicos que excluem os juros e a valorização do capital investido, apresentam-se com extrema simplicidade. Neste caso, são considerados os custos de investimento inicial  $C_{inv}$  e determinados os custos gerais nos quais se incorrerá durante o tempo de vida útil do sistema, custos de operação  $C_{op}$ , nomeadamente os custos operacionais, de manutenção, prémios de seguros, entre outros eventuais custos que, como já referido, assumem uma reduzida expressão com o presente tipo de sistemas.

Se as instalações fotovoltaicas são integradas no edifício durante a sua construção, tendo sido considerada a sua localização desde o início do projecto de construção do edifício, os sistemas fotovoltaicos integrados nos telhados ou nas fachadas podem ter como resultado poupanças consideráveis nos materiais de construção (custos evitados  $C_{ev}$ ).

Para uma vida útil do sistema ( $n$ ) – geralmente é assumida uma vida útil de 20 a 30 anos, os custos de produção ( $C_{prod}$ ), considerando a energia que será produzida anualmente pelo sistema fotovoltaico ( $Ea$ ), são calculados da forma que se segue:

$$C_{prod} = \frac{C_{inv} + C_{op} - C_{ev}}{n \times Ea}$$

#### Exemplo:

No caso de um sistema fotovoltaico de 1 kWp instalado num prédio já construído ( $C_e = 0$ ), podemos considerar um custo de investimento inicial de  $C_{inv} = 7.000 \text{ €}$ , custos operacionais de  $C_{op} = 3.000 \text{ €}$  (por exemplo, 100 € por ano), uma vida útil  $n = 30$  e uma produção anual de energia de  $Ea = 800 \text{ kWh}$ . Desta forma, o custo de produção de energia será dado pela seguinte equação:

$$C_{prod} = \frac{7.000\text{€} + 3.000\text{€} - 0\text{€}}{30 \times 800\text{kWh}} = 0,417\text{€} / \text{kWh}$$

Se forem considerados os juros sobre o capital (como normalmente acontece), usamos um método dinâmico para ter em conta o efeito do “juro-do-juro” no período de vida ou de amortização do sistema. Este “método das anuidades”, permite que os custos do investimento e todos os outros custos em que se incorre, sejam convertidos em custos de capital que se mantêm constantes ano após ano.

A formula a aplicar é a seguinte:

$$a = \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}}$$

Na tabela 10.1 são apresentados os factores de anuidade para diferentes períodos de vida útil e diferentes taxas de juro. Conforme se pode ver, os custos anuais dependem fortemente da taxa de juro e do período de amortização. Por exemplo, se forem usados fundos privados para construir o sistema fotovoltaico, pode assumir-se uma taxa de juro consideravelmente mais baixa do que se for preciso recorrer a um empréstimo bancário.

É possível determinar o valor que deverá ser no presente descontado, referente aos pagamentos futuros no âmbito dos custos operacionais. Todos os pagamentos (**C<sub>i</sub>**), nos diversos anos operacionais (**i**) do sistema, são determinados. Com uma taxa de juro (**p**), obtemos os custos operacionais descontados:

$$C_0 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+p)^i}$$

Para os subsequentes cálculos tem-se:

**Tabela 10.1 - Factor de anuidade a para vários períodos de vida útil n (anos) e taxas de juro p**

n	Taxas de juro p									
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %
10	0,1056	0,1113	0,1172	0,1233	0,1295	0,1359	0,1424	0,1490	0,1558	0,1627
15	0,0721	0,0778	0,0838	0,0899	0,0963	0,1030	0,1098	0,1168	0,1241	0,1315
20	0,0554	0,0612	0,0672	0,0736	0,0802	0,0872	0,0944	0,1019	0,1095	0,1175
25	0,0454	0,0512	0,0574	0,0640	0,0710	0,0782	0,0858	0,0937	0,1018	0,1102
30	0,0387	0,0446	0,0510	0,0578	0,0651	0,0726	0,0806	0,0888	0,0973	0,1061

Os custos de produção da energia (**C<sub>prod</sub>**) são então calculados como se segue:

$$C_{prod} = \frac{(C_{inv} + C_{op} - C_{ev}) \times a}{n \times Ea}$$

Exemplo:

Ainda no âmbito do sistema fotovoltaico do anterior exemplo, assumem-se os juros do capital de **p = 6 % = 0,06**. Neste exemplo, para simplificar os cálculos, consideramos que os encargos de reparações no valor total de **3.000 €**, irão ser executados passados quinze anos.

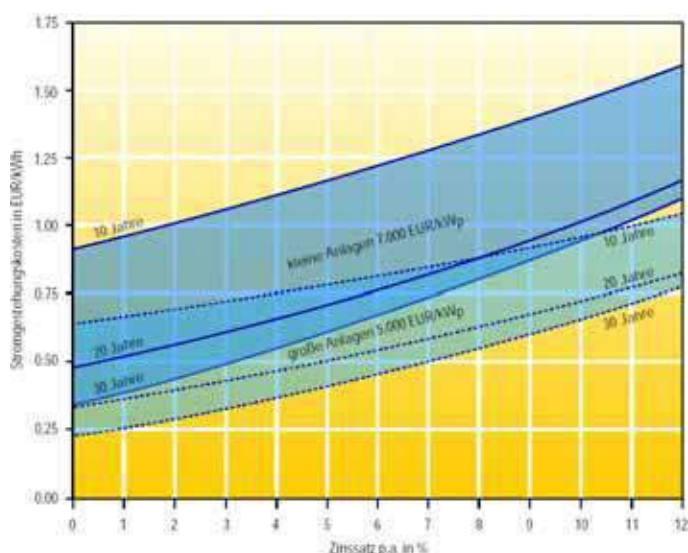
Assim, com os custos operacionais descontados, teremos o seguinte cálculo:

$$C_0 = \frac{3.000€}{(1+p)^{15}} = 1.252€$$

Para os dados acima fornecidos, e para um factor de anuidade **a = 0,0726**, calculam-se os seguintes custos de produção de energia:

$$C_{prod} = \frac{(7.000€ + 1.252€ - 0) \times 0,0726}{800kWh} = 0,75€/ kWh$$

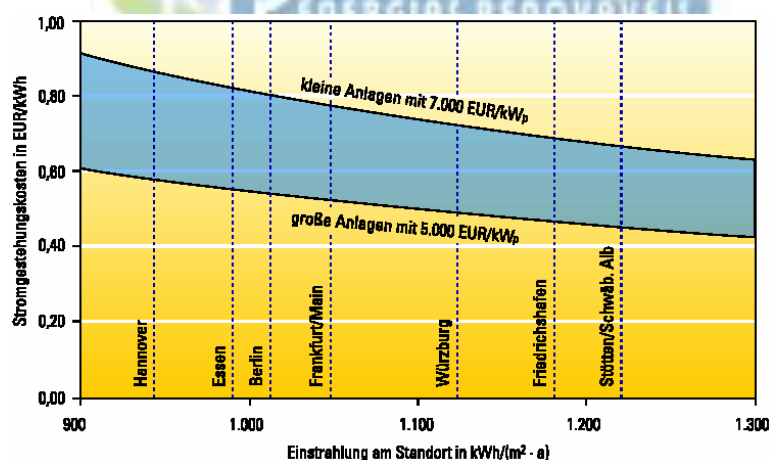
A figura 10.1 mostra a dependência dos custos de produção de energia em relação à taxa de juros e à vida útil dos sistemas, para pequenos sistemas com custos tipo de investimento de **7.000 €/kWp** e para grandes sistemas com custos tipo de investimento de **5.000 €/kWp**. Neste caso, foi assumida uma produção anual de energia de **800 kWh/kWp** para os sistemas pequenos e de **850 kWh/kWp** para os grandes sistemas. Os custos operacionais para os pequenos sistemas alcançam o custo anual de **70 €** e nos grandes sistemas o valor de **25 €/kWp**. É assumida uma irradiação anual de **1.000 kWh/m<sup>2</sup>** de superfície horizontal. Como resultado, a energia solar dos sistemas pequenos é cerca de **50 %** mais cara do que a energia dos grandes sistemas.



**Figura 10.1 - Custos de produção de energia de um sistema fotovoltaico**  
 Fonte: "Photovoltaik, ein Leitfaden für Anwender", TÜV-Verlag, 4ª edição 2000

Por certo que as respectivas condições de irradiação do local onde o sistema está instalado, também desempenham um papel importante no cálculo dos custos de produção de energia.

A figura 10.2 mostra claramente a dependência existente (no caso da Alemanha), considerando uma taxa de juro de 6 % e uma vida útil de vinte anos. A energia solar produzida na região de Hanover custa **0,67 €** a **0,87 €** por kWh. Pelo contrário, nos sistemas perto do Lago Constança, os custos expectáveis são de **0,46 €** a **0,72 €** por kWh.



**Figura 10.2 - Relação entre os custos de produção de energia e a localização do sistema**  
 Fonte: 'Photovoltaik, ein Leitfaden für Anwender', TÜV-Verlag, 4ª edição 2000

### 10.2 Tendências dos custos

Actualmente, os sistemas fotovoltaicos podem ser competitivos do ponto de vista económico. Neste contexto destacam-se as aplicações em locais afastados da rede principal.

Desde que o Programa **E4** (Eficiência Energética e Energias Renováveis) entrou em vigor (em 2001), do que resultou uma importante alteração no que se refere ao pagamento da energia eléctrica de origem solar (particularmente nos pequenos sistemas fotovoltaicos, até **5 kWp**), os sistemas de ligação à rede em Portugal passaram a merecer um crescente interesse por parte dos investidores, como consequência directa do contexto do novo ponto de vista económico destes sistemas.

A mesma alteração de comportamento se observou em países industrializados como a Espanha, a Itália, o Japão e certos Estados dos Estados Unidos da América, também como resultado de se garantir um pagamento adicional pelo fornecimento energético de origem solar e/ou de se atribuir subsídios para os

sistemas de ligação à rede. Neste contexto é de realçar o interessante exemplo do caso da Alemanha, com os sucessivos programas de incentivo na área da energia fotovoltaica.

A proporção, mais ou menos significativa, do fornecimento energético a partir dos sistemas solares ligados à rede, quer no que se refere aos pequenos sistemas domésticos (até 5 kWp) quer nas restantes áreas de aplicação dos sistemas com ligação à rede, dependerá, acima de tudo, da evolução no futuro dos custos destes sistemas. Paralelamente, sem dúvida de que as políticas de incentivo desempenharão também um papel decisivo, com principal destaque para as estratégias que visem a remuneração do kWh produzido.

Na figura 10.3 poderá verificar-se que o volume de produção do equipamento tem uma forte influência sobre o seu preço final. Esta factor teve uma forte influência nos preços praticados no mercado Alemão, onde, desde o início dos anos 80, os preços desceram em mais de 60 %.

Como resultado do lançamento do mercado de diferentes programas de incentivo, como seja o programa dos “70.000 telhados” no Japão, o programa dos “100.000 telhados” na Alemanha e da “Lei de Alimentação da Energia Solar” em Espanha, os volumes de produção terão um aumento acentuado nos próximos anos, sendo desta forma de prever uma maior redução nos custos do equipamento.

Num estudo sobre o fotovoltaico realizado em 2001 (Pesquisa Sarasin, Outubro 2001), o crescimento médio anual no mercado global fotovoltaico até ao ano de 2010, foi calculado em 17,5 % [But01]. A Bundesverband Solarenergie (Associação Federal Alemã da Energia Solar), assume um aumento anual médio de 20 % até ao ano de 2010 (dados de Outubro 2001). Com estes valores, e considerando uma curva de aprendizagem de preços com um factor de 18 %, teremos como resultado em 2010 uma redução possível de 70 % no custo dos módulos, comparativamente aos custos dos módulos do ano de 2000. Depois deste período, o custo do sistema deverá descer com índices percentuais de algum modo menores, uma vez que o planeamento, a cablagem, os inversores, entre outros materiais e equipamentos que devem ser considerados num sistema fotovoltaico, têm de ser tidos em conta.

Nas áreas de elevada radiação solar, como por exemplo no Sahara, os custos de produção de energia podem descer a valores inferiores a 0,20 €/kWh. Em consequência, nestas localizações os sistemas fotovoltaicos serão mais competitivos, mesmo sem se ter em linha de conta os prováveis aumentos de custo dos combustíveis convencionais.

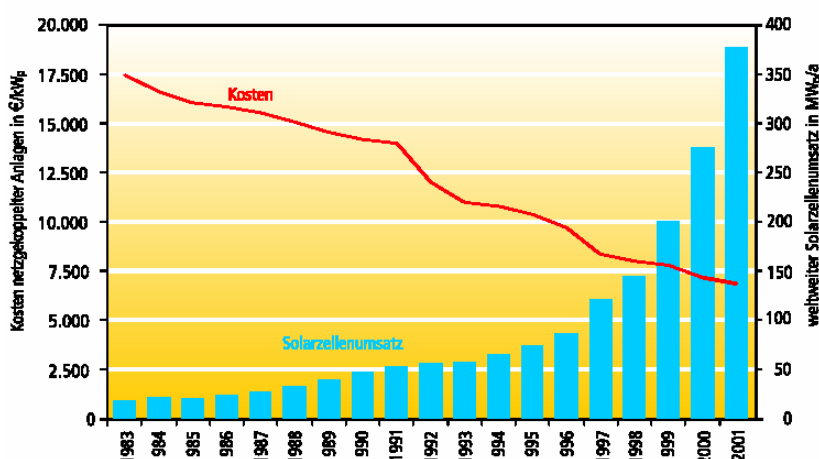


Figura 10.3 - Crescimento do mercado mundial de células solares e custo de um sistema fotovoltaico ligado à rede

Se os sistemas fotovoltaicos forem considerados no projecto inicial do edifício (isto é, desde o início do processo de planeamento e construção), praticamente que poderá ficar assegurada a viabilidade económica do sistema produtor de energia, em resultado das poupanças (custos evitados) dos materiais convencionais de construção do telhado e/ou da fachada (ver capítulo 5).

Devido aos preços dos módulos serem responsáveis por mais de dois terços dos custos totais do investimento inicial dos sistemas fotovoltaicos (ver figura 10.4), será sem dúvida alguma conseguida uma

redução de custos, resultante da produção massiva automatizada dos módulos. Nesta perspectiva, existem grandes esperanças na tecnologia de película fina.

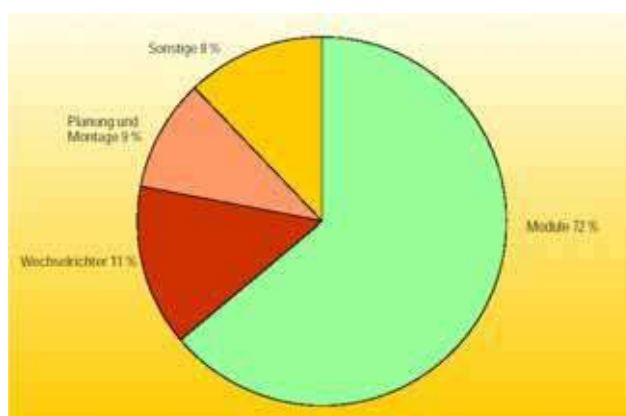


Figura 10.4 - Distribuição dos custos de um sistema fotovoltaico ligado à rede

### 10.3 Evolução da tecnologia

Actualmente, a principal matéria prima usada para as células solares é o silício cristalino. As células de película fina apresentam uma percentagem no mercado de **13 %** (ver figura 10.5), sendo as células de silício amorfo usadas principalmente nas pequenas aplicações.

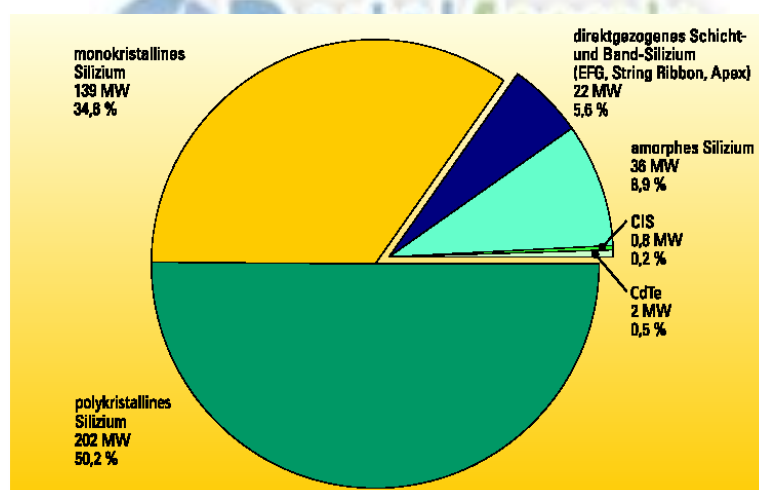


Figura 10.5 - Quotas de mercado dos vários tipos de células solares, ano 2001

Fonte: Photon International 3/2002

A quota de mercado de células de silício policristalino aumentou nos últimos dois anos, de **42 %** para **50 %**. A percentagem das células de silício monocristalino desceu de **42 %** para **35 %**. O valor de mercado das faixas de silício aumentou drasticamente, desde **0,5 %** no ano de 1999 para **5,6 %** no ano de 2001.

A longo prazo, pode esperar-se que a proporção de células de película fina tenha um aumento acentuado. O menor desperdício de material e a maior eficiência de produção que caracterizam esta tecnologia, criam elevadas expectativas para o futuro, perspectivando-se importantes reduções nos custos dos módulos fotovoltaicos.

Quase todos os grandes fabricantes estão a trabalhar intensamente no desenvolvimento de células de película fina e na introdução de novas tecnologias no campo cristalino (ver capítulo 2). Pode esperar-se que as proporções dos módulos de **CIS** e de **CdTe** aumentem significativamente no futuro.

A standardização dos módulos e a tendência para os módulos de maior eficiência, levará a reduções adicionais de custo, particularmente no que respeita os custos de montagem dos componentes.

No que diz respeito aos inversores, já se verificaram também evoluções significativas em relação à eficiência e à confiança. As condições impostas para a ligação à rede pública de um sistema electroprodutor, serão ainda mais exigentes no futuro, em consequência de um número cada vez maior de sistemas fotovoltaicos ligados à rede. Neste contexto, será cada vez mais importante a influência dos inversores na rede principal. Para além da procura por dispositivos com uma boa relação eficiência-custo, pode também observar-se uma evolução no sentido de se conseguir uma maior flexibilidade e modularidade dos inversores. Paralelamente, os sistemas de dados de controlo operacional estão a ganhar uma importância cada vez maior.

#### 10.4 O Mercado fotovoltaico

Na figura 10.3, é possível verificar como é que as vendas de células solares a nível mundial têm aumentado nos últimos dezoito anos: de **18 MWp** para **400 MWp**. O número de sistemas instalados em Portugal tem também crescido (ver figura 10.6), mas de uma forma mais moderada, se considerarmos quer as evoluções verificadas em outros países, quer o potencial de aplicação disponível.

Conforme já referido, o crescimento verificado na Alemanha desperta a melhor das curiosidades. O crescimento verificado depois de 1995, foi um resultado da introdução do pagamento da cobertura dos custos para a introdução de energia eléctrica na rede pública, promovida por certos Municípios. A ligeira queda em 1998, demonstrou que o mercado depende fortemente dos programas de subsídio: os investidores potenciais protelaram a sua decisão de avançar, para não se anteciparem ao programa dos "100.000 telhados" que estava previsto entrar em vigor depois das eleições ao parlamento Alemão.

A Alemanha é o maior mercado fotovoltaico na Europa e o segundo maior do mundo. O número de empregados garantido pela indústria é superior a 5.000. No ano 2000, o valor nacional acrescentado na indústria fotovoltaica foi de **59 %**.

Enquanto que na Alemanha predominam os sistemas de ligação à rede, no panorama internacional, no qual se enquadra o caso Português, tais sistemas não se encontram promovidos de igual forma (figura 10.7). As áreas de maior aplicação no panorama Internacional são os sistemas remotos em relação à rede pública de distribuição de energia eléctrica.

Os sistemas fotovoltaicos aplicados em locais remotos da rede pública, são já em muitos dos casos competitivos do ponto de vista económico, limitando desta forma a sua dependência dos programas de subsídio.

O crescimento mundial nos sistemas de ligação à rede tem sido muito superior nos últimos dois anos (tendo duplicado no ano 2000). Nos próximos anos, devem também esperar-se altos índices de crescimento para o presente tipo de opção. No caso de Portugal espera-se que, com a agilização dos processos administrativos e a regulamentação do sector, seja também possível prever para os sistemas ligados à rede um cenário de forte procura.

A este crescente interesse não estará por certo alheio a nova remuneração da energia, entregue no sistema eléctrico público por parte de um sistema fotovoltaico. O novo quadro legal surge com a introdução do programa E4 - Eficiência Energética e Energias Renováveis (em 2001) e com a entrada em vigor do **Decreto-Lei n.º 339- C/2001** de 29 de Dezembro, que estabelece uma remuneração que pode atingir os **0,5 €** por cada unidade de energia injectada na rede pública. Esta remuneração divide os sistemas fotovoltaicos em dois grupos: sistemas fotovoltaicos com uma potência inferior a **5 kWp**, que equivale a remuneração de **0,5 €/kWh**, e os sistemas de potência superior a **5 kWp**, que equivale a remuneração de **0,3 €/kWh**.

Posteriormente, o **Decreto-Lei nº68/2002** de 25 de Março, que regula o exercício da actividade de produção de energia eléctrica em baixa tensão, criando a figura de produtor-consumidor, estipula um tarifário de cerca de **0,28 €/kWh**. De notar que, em relação a este último diploma, o produtor terá de consumir pelo menos metade da energia produzida, sendo por esta razão designado por produtor-consumidor.

Através da Resolução do Conselho de Ministros nº 63/2003, o Governo traçou uma meta indicativa de **150 MW**, em termos da potência fotovoltaica a instalar em Portugal até **2010**.

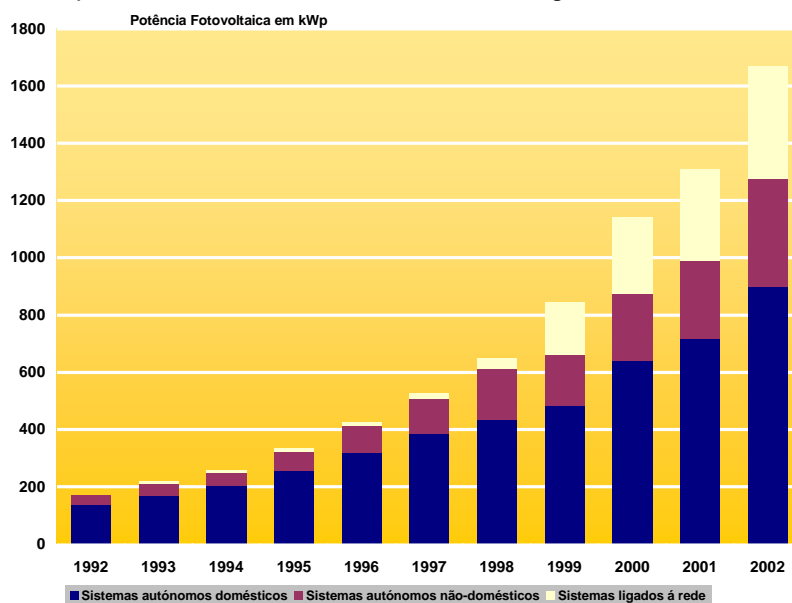


Figura 10.6 - Potência fotovoltaica instalada anualmente em Portugal

Fonte: IEA-PVPS Task 1 Relatório 2002 – Portugal

O estudo “*ElectricHome*” executado pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, refere a existência de **30.000** casas de habitação permanente e de férias isoladas da rede eléctrica pública (valor referente a 1996), que poderiam justificar em termos económicos a instalação de sistemas autónomos de produção de energia.

Assim, a tendência de crescimento da capacidade total instalada de sistemas fotovoltaicos em Portugal, far-se-á nos próximos anos não só com a progressiva intensificação dos sistemas ligados à rede, mas também com alguma contribuição no que respeita ao potencial disponível na área da electrificação autónoma, quer através de sistemas centralizados quer de sistemas descentralizados.

O relatório “*NSR 2003 Portugal*” da Agência Internacional de Energia (IEA-PVPS), revela do lado da oferta um mercado de pequena dimensão em Portugal. Este mercado aparece constituído por **25** empresas, que desempenham actividades de projecto, de produção, de distribuição e/ou de instalação, representando cerca de **150** postos de trabalho permanente. Ainda no âmbito deste trabalho, Portugal aparece no cenário Europeu na última posição, a par com a Dinamarca, o que acaba por ser de alguma forma estranho, se tivermos em linha de conta as diferenças que se verificam ao nível da radiação solar entre estes dois países.

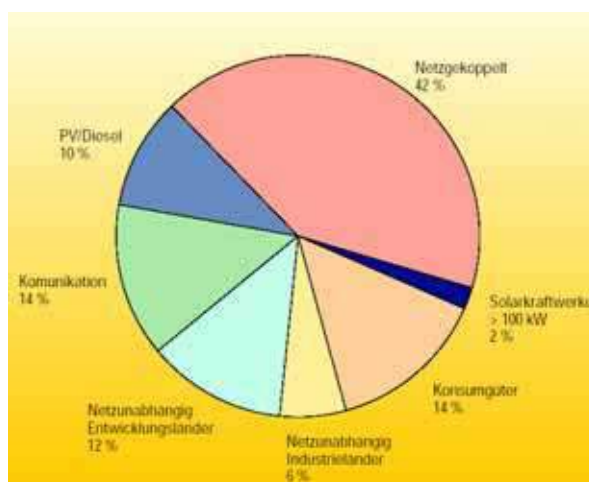
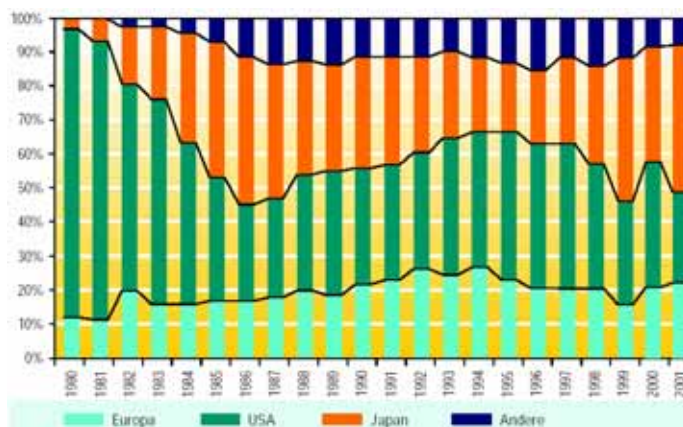


Figura 10.7 - Volume de negócios mundial da tecnologia fotovoltaica para cada tipo de aplicação [But01]

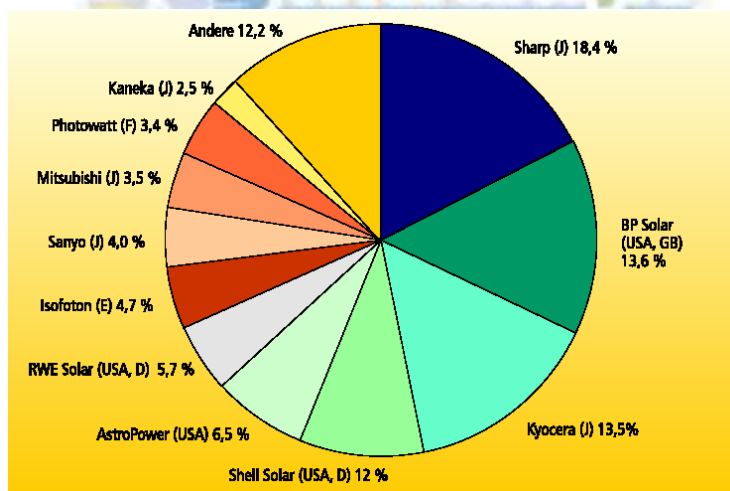
As células solares são produzidas maioritariamente no Japão, nos EUA e na Europa (figura 10.8). Embora os USA tenham dominado a produção de células no início dos anos 80, o Japão e a Europa têm vindo a reforçar a sua posição, sendo actualmente líderes de mercado.



**Figura 10.8 - Produção regional de células solares**  
 Fonte: Räuber, PSE, Staffelstein 2002

O continente mais produtivo no fabrico de células solares é a Ásia. Perto de **50 %** da produção mundial anual é fabricada na Ásia, onde o Japão lidera o sector com **172 MWp**.

Mais de metade do mercado mundial fotovoltaico é dominado por apenas quatro fabricantes (figura 10.9), dos quais dois têm a sua sede no Japão. É pouco provável que esta situação venha a mudar num futuro imediato.



**Figura 10.9 - Quotas de mercado a nível mundial dos fabricantes de células solares**  
 Fonte: Photon International 3/2002

### 10.5 Potencial da tecnologia fotovoltaica em Portugal

No âmbito dos objectivos traçados pelo protocolo de Quioto, o Governo Português assumiu o compromisso de não aumentar as emissões de gases com efeito de estufa em mais de **27 %**, até ao período de **2008-2012** (tendo por base as emissões registadas em 1990).

Ainda no contexto do Protocolo de QUIOTO, será interessante confrontar-se a situação de Portugal com o objectivo estabelecido na Alemanha, onde se preconiza desde já uma redução das emissões para o ano de **2005**, em vez de uma limitação sobre o seu crescimento. Paralelamente, a longo prazo, é previsto um acentuar generalizado sobre o valor da redução das emissões de **CO<sub>2</sub>**. De acordo com as recomendações da Comissão de Inquérito do Parlamento Alemão sobre as Medidas preventivas para proteger a Atmosfera da Terra, as reduções das emissões atingirão **50 %** para o ano de **2020** e **80 %** para o ano de **2050**.

No âmbito da Directiva Europeia **2001/77/CE**, em reconhecimento da importância das energias renováveis no quadro energético nacional, Portugal assumiu, a título indicativo, o compromisso de que pelo menos **39 %** do consumo bruto de electricidade em **2010** será de origem renovável.

Se por um lado o significado deste valor poderá ter uma estreita dependência com o contributo da energia hidroeléctrica, por outro lado é indiscutível que a taxa de crescimento anual do consumo de energia eléctrica, obrigará a que se considere a intervenção da produção de energia eléctrica a partir de outras fontes de energia renovável para além das Mini-Hídricas.

Neste contexto, no intuito de atingir os objectivos em causa, foram estabelecidos um conjunto de medidas para o sector energético, que assentam fundamentalmente em dois grandes eixos:

1. A promoção da valorização das energias endógenas (nomeadamente a energia solar);
2. A promoção da melhoria da eficiência energética;

Com base nestas directrizes, o Governo definiu um conjunto de metas indicativas relativas à produção de electricidade a partir de fontes renováveis de energia. Pese a escolha mais racional de conjugar a disponibilidade económica do recurso e a aplicação de tecnologias maduras e competitivas, um outro factor não menos importante consiste na complementaridade entre as várias fontes de energia, pois permite manter a oferta de energia eléctrica praticamente imune às flutuações que caracterizam a maioria das fontes de energia renovável.

Para além da tecnologia solar fotovoltaica, é promovido o aproveitamento da energia hídrica, eólica, biomassa e hidroeléctrica. A seguinte tabela expõe, no âmbito dos compromissos estabelecidos, as capacidades totais das novas centrais a serem instaladas em Portugal, até ao ano de **2012**.

**Tabela 10.2 - Previsão da evolução da potência instalada em centrais produtoras de electricidade a partir de Fontes de energia renováveis (MW)**

Fonte: Metas Indicativas – Electricidade produzida a partir de FER – DGE

Ano	Hídricas (SEP + SENV)	Hídricas (PRE)	Eólica	Biomassa + Biogás	RSU	Fotovoltaica	Ondas	Total
2002	4.209	235	200	20	66	1	2	4.733
2003	4.445	245	260	25	66	1	5	5.047
2004	4.624	255	340	30	66	12	10	5.337
2005	4.624	270	500	40	66	20	20	5.540
2006	4.624	300	900	80	66	30	20	6.020
2007	4.624	350	1.300	110	66	50	20	6.520
2008	4.857	410	1.800	140	66	50	20	7.343
2009	4.995	480	2.400	170	66	50	20	8.181
2010	4.995	500	2.930	200	66	50	20	8.761
2011	5.123	505	2.950	200	66	50	20	8.914
2012	5.123	510	2.970	200	66	50	20	8.939

São de toda a actualidade os objectivos que se colocam na área do ambiente, com as respectivas implicações sobre as preocupantes alterações climáticas, bem como na área da energia, com destaque para a desejada autonomia e as limitações que se colocam ao nível do esgotamento dos recursos fósseis. Neste contexto, sem dúvida alguma que Portugal, a par dos seus congéneres Europeus, deverá apressar a implementação de medidas que assegurem o uso das energias renováveis numa escala massiva, devendo a tecnologia fotovoltaica ser considerada com a devida atenção.

Na sua generalidade, em todo o território Português existe um elevado potencial que permite a exploração de recursos energéticos renováveis. No caso da tecnologia fotovoltaica, observa-se uma forte contradição entre o potencial deste País e a nula produção actual de electricidade a partir de sistemas ligados à rede pública.

Para além da utilização de espaços abertos para a edificação de grandes centrais de produção de energia fotovoltaica, com todas as eventuais limitações a si associadas em termos de ocupação de área

de terreno e respectivos impactes sobre o meio envolvente, sem dúvida alguma de que os sistemas fotovoltaicos devem ser promovidos na integração de edifícios, quer nas coberturas quer nas fachadas. As potencialidades de uso dos sistemas tolerantes à sombra, podem ainda abrir outras interessantes perspectivas à expansão dos sistemas fotovoltaicos.

Ainda que a tecnologia fotovoltaica represente uma percentagem irrisória no quadro actual e futuro da produção nacional, o seu potencial poderá ser elevado. A título de exemplo, se fosse instalado um sistema de **5 kWp** em cada uma das mais de três milhões de habitações domésticas que compõem o parque habitacional nacional, resultaria uma produção anual de **19 TWh**, ou seja, **47 %** do consumo total/bruto em Portugal que se verificou no ano de **2002**.

### 10.6 Avaliação ecológica

Os sistemas fotovoltaicos não necessitam de combustível quando estão em funcionamento e não têm emissões prejudiciais. No entanto, devem ser avaliadas questões que se prendem com o consumo de energia durante o processo de fabrico do equipamento, os fluxos de material e as possibilidades de reciclagem dos materiais.

#### Avaliação energética

Nos processos industriais a energia é utilizada sob diferentes formas. Para o fornecimento de energia ao sistema eléctrico público, a produção nacional de energia eléctrica consome, sob a forma de carvão, petróleo e de gás natural, cerca de 2,5 vezes a quantidade de energia entregue ao consumo final (rendimento global de aproximadamente 40 %).

Até à utilização final da energia existem vários passos de conversão energética.

**Tabela 10.3 - Energia primária, energia final e energia útil**

Termo	Definição	Exemplos
Energia Primária	Energia na sua forma original, antes de ser processada	Petróleo/crude, carvão, urânio, radiação solar, vento
Energia Final	Energia na forma em que é fornecida ao cliente final	Gas natural, diesel, combustíveis, electricidade, aquecimento sectorial
Energia útil	Energia na forma em que é utilizada pelo cliente final	Luz para iluminação, calor para aquecimento, força electromotriz para máquinas e veículos

Quando nos referimos à energia, é habitual que seja a energia primária. Para avaliar a procura de energia, e neste caso concreto para os sistemas fotovoltaicos, poderemos usar as seguintes definições:

#### Consumo Cumulativo de Energia (CCE)

Somatório dos gastos de energia de um produto (módulo fotovoltaico), desde o seu fabrico e uso, até à sua “eliminação”.

#### Tempo de Retorno da Energia (TRE)

Tempo de funcionamento necessário de um sistema energético (módulo fotovoltaico), para produzir tanta energia útil como a sua **CCE**.

#### Índice de Energia Libertada (IEL)

Índice entre o valor total líquido de libertação de energia de um sistema (módulo fotovoltaico) durante toda a sua vida útil e a **CCE**.

Nos países africanos a irradiação solar é significativamente maior do que na Europa. Consequentemente, esta situação reduz o tempo de retorno da energia. A procura de energia no fabrico dos sistemas fotovoltaicos tem sido examinada em vários estudos. A figura 10.14 mostra a procura de energia cumulativa primária para os sistemas fotovoltaicos de ligação à rede, para quatro tipos diferentes de células com condições iniciais diferentes.

Os dados de análise para sistemas com módulos de silício policristalino, resultam do relatório final “Avaliação do programa de energia solar 100.000 telhados” (Fevereiro 2003), levado a cabo pelo Instituto Ambiental de Leipzig e pelo Instituto da Energia e do Ambiente de Leipzig a pedido do Ministério Alemão Federal da Economia e da Tecnologia).

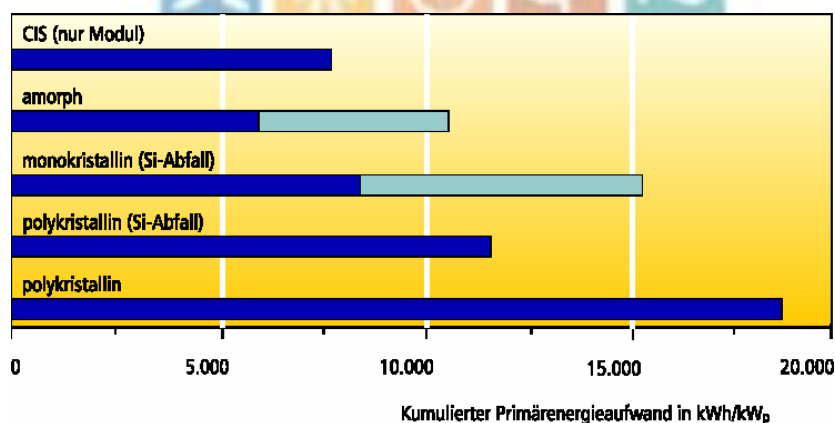
As condições iniciais foram as seguintes:

- . Sistema fotovoltaico de **3 kWp**, instalado no telhado e composto por módulos com armação;
- . Balanço energético na Alemanha (38,4% de eficiência), 30 anos de duração do sistema, energia libertada anual de **800 kWh/kWp** (na Alemanha);
- . Para o equilíbrio ecológico, apenas foi considerada a construção do sistema, uma vez que as contribuições desde a fase de funcionamento e de desmontagem dos sistemas, apresentam uma ordem de magnitude menor do que a **CCE**.

Os dados para os sistemas com células monocristalinas e amorfas foram extraídos de diferentes estudos (Alsema 2000, Instituto Ecológico 2001, Marheineck et al. 2000, Frischknecht et al. 1996).

O processo de fabrico que envolve a matéria-prima silício exige um consumo intensivo de energia. Por este motivo, é decisivo se o silício é considerado pela indústria fotovoltaica como uma perda ou se o seu processo de fabrico (com o correspondente contexto energético) é tomado em consideração. A relevância deste facto pode deduzir-se nos dois valores representados na figura 10.14 para os sistemas que usam módulos policristalinos: o valor de **18.240 Wh/kWp** e, considerando o silício como uma perda, o valor de **11.570 kWh/kWp**. De acordo com o E.A. Alsema (Universidade de Utrecht, 2000), estamos mais perto da verdade se nos cálculos considerarmos o silício como material de perda. Por este motivo, foram usados no diagrama os valores correspondentes que se encontram na literatura.

O valor para os módulos **CIS** está baseado na informação de Karl E. Knapp e Theresa L. Jester (Solar 200, Conferência de Madison, Winsconsin), e não tem em conta o sistema fotovoltaico no seu todo, mas apenas os módulos fotovoltaicos.



**Figura 10.10 - Consumo cumulativo de energia primária pelos fabricantes de sistemas fotovoltaicos**

Fonte: Alsema, Marheinecke, Frischknecht, Gen02, Knapp, Jester

Como pode ser observado na figura 10.14, a largura das faixas para o consumo cumulativo de energia primária varia consideravelmente em função dos diferentes pressupostos. Para calcular o tempo de retorno da energia para os sistemas monocristalinos e amorfos, foi usada uma média aritmética, tendo-se então chegado aos seguintes valores:

**Tabela 10.4 - Tempo de retorno da energia para um sistema fotovoltaico incluindo todos os seus componentes (Alemanha)**

Sistema fotovoltaico	Tempo de retorno da energia (anos)
Silício Monocristalino	5,55
Silício Policristalino	5,55
Silício Amorfo	3,88
CIS <sup>1)</sup>	3,84

<sup>1)</sup> módulos apenas

Particularmente no caso das células de película fina, são esperados tempos de retorno da energia consideravelmente menores. A produção intensiva por si só implica tempos de retorno da energia inferiores a um ano. Estes valores podem ser ainda mais baixos nas localizações onde existem condições climáticas mais favoráveis.

No E. A. Alsema (Universidade de Utrecht, 2000), foi examinada a redução do tempo de retorno da energia que resulta dos avanços técnicos na produção de módulos policristalinos. Este estudo permitiu chegar à conclusão de que, em 2010, o tempo de retorno da energia será apenas metade daquele que se verificou em 1999, isto é, inferior a três anos.

### Reciclagem

Os anteriores comentários sugerem que os módulos fotovoltaicos descartados e com falhas deveriam ser reciclados e re-introduzidos no ciclo do material. Isto é de particular importância para os componentes de vidro e de silício.

A tabela 10.5 lista as proporções aproximadas de materiais que compõe os diversos módulos fotovoltaicos. Mostra também as possibilidades de reciclagem.

**Tabela 10.5 - Materiais típicos que compõe os módulos fotovoltaicos e as suas possibilidades de uso**

Fonte: Wam02

Componentes do módulo	Materiais	Proporção relativa	Reciclagem
Protecção superior	Vidro	30 - 65 %	Vidro plano, vidro fundido, vidro oco, fibras
Encapsulantes	EVA, acrílicos, etc.	5 - 10 %	Térmica
Protecção posterior	Poliéster, Alumínio, vidro, fluo polímeros, aço	0 - 10 % sem vidro	Térmica, reciclagem do metal, reciclagem do vidro
Armações	Alumínio, aço, polimetano, PC etc.		Reciclagem do metal, reciclagem do plástico, térmica
Caixas de junção	Tecnopolímeros ABS, PC, PPO, PET, etc.	0 - 5 %	Reciclagem do plástico, térmica
Cabos	Cobre, poliolefina, borracha sintética, TPE, PTFE	1 %	Reciclagem de material electrónico, reciclagem do metal
Selantes	Silícios, acrílicos, polimetanos, polisulfitos, espumas PE, borrachas, poli- isobutilenos	0 - 10 %	Térmica
Materiais de recheio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO, C, CaCO <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , etc	1 %	Mineral, aditivos
Células de silício cristalino	Si, Ti, Ag, Sn, Pb, Cu, Ni, Pd, etc	5 - 10 %	fabrico de cerâmica, ligas metálicas
Células de película fina	Si Amorfo, Al, Sn, Cu, Pb, CdTe, S, CuInSe <sub>2</sub> , Mo, etc	<1%	Química, reciclagem do metal
Ligadores eléctricos	Cu, Sn, Pb, Al, Ag	1 %	Reciclagem do metal

Foram conduzidos vários estudos sobre a reciclagem dos módulos fotovoltaicos (BP, Soltech, Flabeg, RWE Schott Solar –formalmente ASE-), tendo sido desenvolvidos processos que permitem uma reciclagem extensiva dos sub-componentes utilizados. Os processos permitem a reciclagem das matérias-primas, das pastilhas de silício ou das células solares por inteiro. Apenas com a reciclagem das células solares se consegue um efeito considerável no tempo de retorno da energia. Os valores correspondentes encontram-se indicados na tabela 10.7. Pode observar-se que a reciclagem simples pode realmente reduzir o valor original do tempo de retorno da energia em **20** ou **25 %**.

**Tabela 10.6 - Consumo de energia no fabrico de um módulo convencional fotovoltaico e com componentes reciclados**

Fonte: Photovoltaik, ein Leitfaden für Anwender, TÜV-Verlag Colonha 2000

	Módulo fotovoltaico novo	Módulo fotovoltaico reciclado
Pastilha de silício	7,55 kWh <sub>el</sub> /Pastilha	-
Reciclagem	-	0,1 kWh <sub>el</sub> /Pastilha
Células solares	0,65 kWh <sub>el</sub> /Pastilha	0,65 kWh <sub>el</sub> /Pastilha
Fabrico do módulo	1,12 kWh <sub>el</sub> /Pastilha	1,12 kWh <sub>el</sub> /Pastilha
Energia total	9,32 kWh <sub>el</sub> /Pastilha	1,87 kWh <sub>el</sub> /Pastilha
Consumo específico de energia	4,26 kWh <sub>el</sub> /Pastilha	0,85 kWh <sub>el</sub> /kWp

A reciclagem na fábrica, por exemplo a reutilização da matéria-prima descartada, foi já adoptada pela maioria dos fabricantes. Nos testes, um fabricante separou as pastilhas de silício inteiras do material de união (usando ácido) e **75 %** das pastilhas permaneceram intactas. Este procedimento é possível para as novas células solares com uma eficiência reduzida. Para os módulos de película fina com recurso às novas tecnologias, como é o Cádmiio Telúrico ou o **CIS**, têm sido conduzidos estudos detalhados das estratégias de reciclagem. Foi demonstrado que, teoricamente, a reciclagem dos módulos também é possível.

O Governo federal alemão iniciou um projecto-piloto no qual a Deutsche Solar e a Universidade de Freiburg levarão a cabo a reciclagem de módulos fotovoltaicos em grande escala.





11 EMPRESAS DO RAMO SOLAR FOTOVOLTAICO

Empresa	Fabricantes	Representantes autorizados	Distribuidores	Instaladores	Projectistas	Morada	Telefone	Fax	email	Página Internet
AEROSOLAR		X	X			Rua dos Moninhos, 2 Castelo Píado	219855081	219855081	altec@mail.telepac.pt	
ALTEC		X	X			Endereço Rua da Vila Nova nº 189	966962328	296394112		
AMEN - Ambiente e Energia / Estudos e Projectos, Lda				X		Rua Ador António Silva, 6º - 4º Esqº	2141766714	2141766688	amen@mail.telepac.pt	
AMERSOL, Lda			X			Barro da Casinha L15	266708224	266708224		
AO SOL - Energias Renováveis, Lda			X		X	Edifício da Patrogal, Lugar da Semaaria Limpia	263651305	263651295	aosol@aosol.pt	www.aosol.pt
AUTOSOL, Acumuladores	X					Estrada de Pago de Arcos, 48	214409346/74	214409394/81	balind.autosol@mail.surenet.pt	
COEPTUM - Proj. de Engenharia e Equipamentos, unip, Lda	X	X	X			R. Filipa Borges, 235, 1º Dº e	253814964	253814964	coeplum.geral@dkx.pt	www.coeplum.planetaclix.pt
ELECTROSOLAR			X			Travessa Matadouro, Nº 4, Lobj 2	272321395	272321395	elctrosolar@dkx.pt	
EDP Produção Engenharia e Manutenção S.A.				X		Av. José Malhoa Lote A13	210012500	210012320	geral@em.edpproducao.edp.pt	
F.F. Sistemas de Energias Alternativas	X	X	X			Sítio do Palheiro, Igreja Nova	282998745	282998746	ffsolar.wmtd@mail.telepac.pt	www.fffolar.com
Gabinete de Utilização Racional de Energia				X		Av. Comendador Ferreira de Matos, 818-2-5	917323874	223388890	matfins.vasco@hotmail.com	
J. A. Revéz & Filhos, Lda	X	X	X			Rua da Metalurgia Alentejana, 29 Parque Industrial	284328279	284328279	info@revez-solar.com	www.revez-solar.com
José Diogo d'Orey				X		Rua Jorge Afonso 31 CV- Esq	919848840		zdorey@hotmail.com	
LOBO SOLAR, Lda		X	X			Zona Industrial Almeirim, Rua B, nº1	266771427	286708794	tecnica@lobosolar.com	www.lobosolar.com
Moreme - Montagens, Reparações e Manutenção Electromecânicas, Lda		X	X			Travessa de S. Paulo, L1, 117	219818380	21980567	renovaveis@moreme.pt	www.moreme.pt
MOVITROM, Manutenção e Sistemas de Energia, Lda		X	X			Avº São Miguel, 249 - Aleiler 26	214539350	214539350	jose.lopez@movitrom.com	www.movitrom.com
MVV Energy, Portugal	X					Av. Da Liberdade, 729 2º F	213241040	213241041	geral@mvv.pt	www.mvv.de
PETROTANK, representações e montagens, Lda		X	X			Apartado 1	234550010	234555019	petrotank@mail.telepac.pt	www.rsolar.pt
RX SOLAR - Engenharia e Projectos, Lda		X	X			Rua do Emigame, 6	289561656	289561303	geral@rsolar.pt	
TAQUETEFC, Comércio de Equipamentos Industriais, Lda		X	X			R. Dr. José Domingues dos Santos 247	964166350	229563122	taquete@taeioi.pt	
TECNERSOL - Técnicas de Energia Solar, Lda		X	X			Av. António Augusto de Aguiar, 118 -5º	213522681	213522629	tecnersol@netcabo.pt	
TELEXTRONICA, Lda	X	X	X			Av. Colégio Militar, 153, B	217152123	217155684	telextronica@mail.telepac.pt	
TETRAPROJECTO				X		Rua Capões de Abril, 13-A Almonelos	214768130	214754715	tetraprojecto@netcabo.pt	
T&T Multielétrica, Lda		X	X			Castro da Campia	232750107	232750107	tltda@mail.telepac.pt	
TUDOR - Soc. Portuguesa de Acumulador	X					R. Ador Tasso, 1	213562112	213561456		
VEN SOL - Energias Renováveis, Lda.		X	X			Escritório e exposição	212123172	212128482	energia@vensol.pt	www.vensol.pt
		X	X			EN 379 (km9) Ferraio Ferro	2865413 - Setaal			





