



## *Sistemas Fotovoltaicos*

**Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao projectista**

**e de um manual de instalação**

**David Miguel Condesso Torres**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em

**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

**Júri**

**Presidente: Prof. Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira**

**Orientador: Prof. Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**

**Vogais: Eng. Pedro José Freire dos Santos Condesso**

**Janeiro de 2009**

## **Agradecimentos**

Agradeço ao professor Dr. Adélio Gaspar, pela sua orientação e no apoio das entraves ocorridas ao logo deste trabalho.

Agradeço à Redutor, particularmente aos Eng(s). Pedro Condesso e Filipe Mata pela oportunidade de realização deste trabalho, preconizando um aprofundamento dos conhecimentos.

Agradeço ao professor Dr. Pedro Carvalheira pela sua simpatia e atenção ao longo de todo o percurso académico.

Agradeço ao Eng. Nilton Oliveira pela sua ajuda na resolução dos entraves ocorridos ao longo deste trabalho.

Agradeço aos meus pais e irmãos pelos conselhos que me foram atribuídos.

Aos meus amigos.

## Resumo

No decurso deste trabalho aborda-se como assunto principal a energia solar e a sua aplicação nos sistemas fotovoltaicos. A partir desta, foi feito um estudo onde se descrevem os componentes típicos utilizados em instalações fotovoltaicas, tais como, os painéis fotovoltaicos, os reguladores de carga, as baterias e os inversores. Assim sendo, abordam-se dois modos diferentes de implementar painéis fotovoltaicos sobre os edifícios, com 3 possibilidades de aplicação. Uma aplicação remete a montagem dos painéis fotovoltaicos sobre a cobertura inclinada (numa solução aditiva) e por outro lado, também podem ser integrados na cobertura inclinada (numa solução aditiva), também sendo aplicado em coberturas horizontais, por último aplica-se a montagem dos painéis fotovoltaicos sobre as fachadas (numa solução integrativa). Associado a estas aplicações descrevem-se também os procedimentos e cuidados a ter, em termos de montagem, instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos.

Além disto, foi desenvolvido uma ferramenta de cálculo, como complemento à ferramenta de cálculo realizada na Tese do ano lectivo anterior denominada (*'Simulação de uma instalação fotovoltaica com ligação à rede pública e numa habitação isolada'*).

Nesta ferramenta de cálculo, foi acrescentado um algoritmo que permite o dimensionamento do inversor e da cablagem nas suas diversas ligações do sistema fotovoltaico. Partindo da potência fornecida pelo sistema fotovoltaico foi dimensionado o inversor e a secção transversal dos cabos. No caso dos sistemas isolados, a secção do cabo é dimensionado entre os painéis, entre o sistema fotovoltaico e o regulador de carga, entre o regulador de carga e as baterias, entre as baterias e o inversor e entre o inversor e as cargas. No caso dos sistemas ligados à rede, a secção do cabo é dimensionada entre os painéis e o sistema fotovoltaico e o inversor.

## Palavras-chave

Energias Renováveis; Energia Solar; Sistemas Fotovoltaicos; Energia Eléctrica.

## **Abstract**

In this work, it's approached as main subject the solar energy and its application in the photovoltaic system. From this, a study was made where if they describe the used typical components in photovoltaic installations, such as the photovoltaic panel, the load regulators, the batteries and the inverters. Thus, two ways are approached different to implement photovoltaic panel on the buildings, with 3 possibilities in application. One application sends the assembly of the photovoltaic panel on the inclined covering (in additive solution) and the other hand also can be integrated in the inclined covering (in additive solution), also being applied in horizontal coverings, finally its applied assembly of the photovoltaic panel on the façades (in integrated solution). Associated to these applications, also the procedures and cares describe, in terms of assembly, installation and maintenance of photovoltaic system.

Moreover, a calculation tool was developed, as complement to the tool of calculation carried through in the Thesis of the called previous year: (*''Simulação de uma instalação fotovoltaica com ligação à rede pública e numa habitação isolada''*).

In this tool of calculation, an algorithm was added that allows the sizing of the inverter and the cabling in diverse linking's of the photovoltaic system. Leaving of the power supplied for the photovoltaic system, it was dimensioning the inverter and the transversal section of the cable. In the case of the isolated systems, the section of the cable is dimensioning between the panels, the photovoltaic system and the load regulator, the load regulator and the batteries, between the batteries and the inverter and the inverter to the loads. In the case of on systems to connect the electric net, the section of the cable is dimensioning between the panels and the photovoltaic system and the inverter.

## **Key-Words**

Renewable Energy; Solar Energy; Photovoltaic Systems; Electric Energy

# ÍNDICE

Capítulo 1 <b>Introdução</b> .....	1
Capítulo 2 <b>Sistemas Fotovoltaicos</b> .....	2
2.1. Células Fotovoltaicas .....	2
2.1.1. Efeito Fotovoltaico.....	2
2.1.2. Tipo de células.....	4
2.2 .Componentes do Sistema Fotovoltaico .....	7
2.2.1. Painéis Fotovoltaicos.....	7
2.2.2. Reguladores de carga.....	12
2.2.3. Baterias.....	14
2.2.4. Inversores .....	16
Capítulo 3 <b>Montagem e Integração de painéis Fotovoltaicos em Edifícios</b> .....	17
3.1. Coberturas inclinadas .....	18
3.1.1. Montagem em coberturas inclinadas .....	18
3.1.2. Integração em cobertura inclinadas .....	19
3.1.3. Estruturas dos painéis fotovoltaicos .....	19
3.1.4. Minimização das forças exercidas sobre painéis FV.....	20
3.1.5. Protecção contra a corrosão.....	20
3.1.6. Sistemas de montagem .....	21
3.1.7. Fixação de painéis FV na cobertura .....	24
3.1.8. Tipo de acessórios utilizados na fixação dos painéis .....	24
3.2.Coberturas horizontais.....	27
3.2.1. Montagem em coberturas horizontais .....	27
3.2.2. Integração em coberturas horizontais .....	29
3.2.3. Acção da força do vento sobre os painéis FV .....	29
3.2.4. Procedimentos a considerar na fixação dos sistemas FV à cobertura .....	31
3.2.5. Sistemas de montagem .....	31
3.3. Fachadas de edifícios.....	32
3.3.1. Fachadas Fotovoltaicas com painéis .....	34
3.3.2. Fixação dos painéis FV sobre as fachadas .....	35

<b>Capítulo 4 Instalação de Sistemas Fotovoltaicos</b> .....	36
4.1. Localização e orientação dos painéis FV .....	37
4.2. Instalação dos restantes equipamentos .....	39
4.2.1. Regulador de carga .....	39
4.2.2. Baterias .....	39
4.2.3. Inversor central .....	39
4.3. Notas gerais de instalação .....	39
4.4. Notas sobre instalações DC (corrente contínua) .....	40
<b>Capítulo 5 Cálculo de Instalações Solares Fotovoltaicas</b> .....	40
5.1 Dimensionamento do inversor .....	42
5.1.1 Determinação da potência do inversor para sistemas ligados à rede e para sistemas autónomos .....	42
5.1.2 Método de cálculo para a tensão de entrada do inversor para sistemas ligados á rede e para sistemas autónomos .....	43
5.1.3 Determinação da configuração do sistema Fotovoltaico .....	44
5.2 Calagens para sistemas FV .....	47
5.2.1 Dimensionamento da cablagem através do método da queda de tensão .....	47
<b>Capítulo 6 Manutenção</b> .....	49
<b>Capítulo 7 Conclusão</b> .....	51
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	52

## **Anexos**

- A.8.1. Montagem dos módulos verticalmente sobre as calhas horizontais de sustentação para telhados inclinados
- A.8.2. Montagem dos módulos horizontalmente sobre as calhas verticais de sustentação para telhados de placa metálica trapezoidal e para telhados de placas de fibrocimento onduladas.
- A.8.3. Sistemas de integrar directamente os paineis em coberturas inclinados
- A.8.4. Exemplo de aplicação de ganchos para telhados inclinados
- A.8.5. Utilização de grampos de rebordo em telhados de placa metálica trapezoidal
- A.8.6. Colocação de parafusos de fixação em telhados

- A.8.7. Fixação dos painéis nos sistemas de montagem através de calhas utilizando para o efeito a técnica do aperto do ponto
- A.8.8. Fixação dos painéis nos sistemas de montagem através de calhas utilizando para o efeito a técnica do aperto linear
- A.8.9. Sistemas de montagem para cobertura horizontal ( Estrutura triangular colocada na cobertura sobre lajes de betão)
- A.8.10. Exemplo de montagem de Sistemas para coberturas horizontais de suporte triangular e semi-circular
- A.8.11. Sistemas de montagem para telhados planos designados por sistemas de tabuleiro
- A8.12. Descrição de outros cuidados gerais a ter na colocação de painéis fotovoltaicos no telhado
- A.8.13. Determinação variação da tensão de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos
- A.8.14. Cabos utilizados para sistemas FV
- A.8.15. Fluxograma que representa as várias etapas para dimensionar o Inversor e para determinar a configuração do sistema fotovoltaico
- A.8.16. Valores de secções de cabo em função do comprimento do cabo para limites 1% e 3% de queda de tensão de 24 V
- A.8.17. Método de cálculo da cablagem através da queda de tensão

## **Lista de Tabelas**

Tabela A.8.1 – Representação das especificações técnicas dos componentes do sistema telhado inclinado – Telhas.

Tabela A.8.2 – Representação das especificações técnicas dos componentes do sistema telhado inclinado – Telhado Trapezoidal.

Tabela A.8.3 - Representação das Especificações técnicas dos componentes do sistema do telhado plano.

Tabela A.8.4 – Representação da secção do cabo em função do comprimento do cabo e da corrente para o limite de 1% de queda de tensão de 24 V

Tabela A.8.5 - Representação da Secção do cabo em função do comprimento do cabo e da corrente para o limite de 3% de queda de tensão de 24 V.

Tabela A.8.6 - Representação dos parâmetros da secção transversal do cabo entre os painéis fotovoltaicos.

Tabela A.8.7 - Representação dos parâmetros da secção transversal do cabo entre ( sistema FV-Regulador de carga-Baterias- Inversor).

Tabela A.8.8 - Representação dos parâmetros da secção transversal entre Inversor e as Cargas.

Tabela A.8.9 -. Representação dos parâmetros da secção transversal entre os painéis fotovoltaicos.

Tabela A.8.10.- Representação dos parâmetros secção transversal do cabo entre ( sistema FV e o Inversor).

Tabela A.8.11 -. Representação dos parâmetros secção transversal do cabo entre Inversor e a ligação à rede.

## Listas de Figuras

Figura 2.1 – Figura do princípio de funcionamento de uma célula solar genérica.

Figura 2.2 – Figura de uma célula monocristalina.

Figura 2.3 – Figura de uma célula policristalina.

Figura 2.4 – Figura de uma célula silício Amorfo.

Figura 2.5 – Representação dos vários equipamentos usados numa instalação fotovoltaica , para sistema autónomos.

Figura 2.6 – Representação em corte das diversas camadas num painel fotovoltaico.

Figura 2.7 – Representação da curva característica I-V e P-V de uma célula fotovoltaica de silício cristalino nas condições STC.

Figura 2.8 – Representa a variação da curva característica I-V com a temperatura de operação da célula fotovoltaica.

Figura 2.9 – Representa a variação da curva característica I-V com a radiação incidente.

Figura 2.10 – Configuração do regulador de carga em série.

Figura 2.11 – Configuração do regulador de carga shunt.

Figura 3.1 – Representação dos vários tipos de instalação de painéis fotovoltaicos que podem ocorrer em edifícios.

Figura 3.2. – Representação dos vários tipos de instalação de painéis fotovoltaicos que podem ocorrer sobre coberturas inclinadas.

Figura 3.3. – Representação dos vários tipos de instalação de painéis fotovoltaicos integrados sobre coberturas inclinadas.

Figura 3.4 – Representação da montagem dos painéis FV verticalmente sobre as calhas horizontais de sustentação.

Figura 3.5 – Representação da montagem dos painéis FV horizontalmente sobre as calhas verticais de sustentação.

Figura 3.6 – Representação da montagem transversal de um painel fotovoltaico colocado sobre calhas um de cada vez , utilizando um sistema de calha-cruzada, para o caso de superfícies de coberturas de telhado desiguais.

Figura 3.7. – Representação da montagem de um grupo de painéis FV sobre calhas, utilizando um sistema de calha-cruzada, em que a calha e a disposição dos painéis podem ser giradas 90°.

Figura 3.8. – Representação sistema de integrar directamente os painéis FV sobre o telhado.

Figura 3.9 – Figura ilustrativa de ganchos utilizados para fixar painéis fotovoltaicos nas coberturas de telhados.

Figura 3.10. – Figura que mostra o procedimento a ter para fixar um gancho na cobertura do telhado.

Figura 3.11. – Figura de um grampo de rebordo utilizado para coberturas de telhados de placa metálica trapezoidal.

Figura 3.12. – Representação de Parafusos de fixação para telhados de placas onduladas de fibrocimento.

Figura 3.13. – Representação da instalação de painéis fotovoltaicos sobre a cobertura horizontal .

Figura 3.14. – Representação da instalação de painéis fotovoltaicos integrados sobre a cobertura horizontal .

Figura 3.15. – Figura que mostra as distâncias recomendadas dos painéis fotovoltaicos relativamente ao perímetro da superfície.

Figura 3.16. – Representação da zona de alta pressão (zona onde o vento atinge a frente da superfície dos painéis).

Figura 3.17. – Representação da zona de baixa pressão (zona à qual o vento atinge a parte de trás da superfície dos painéis).

Figura 3.18. – Representação da Montagem de painéis fotovoltaicos em lajes de fundação (figura da esquerda); Método de montagem dos painéis (Lastragem): com lajes de betão inseridas em secções metálicas onde a estrutura dos painéis vai ser fixa (figura da direita).

Figura 3.19. – Representação de um sistema de base de cimento que usa duas bases por painel: sendo a armação do módulo fixada com grampos de aço inoxidável.

Figura 3.20. – Representação de um sistema de montagem de painéis FV denominado sistema de tabuleiro.

Figura 3.21. – Representação de um perfil de uma fachada ventilada.

Figura 3.22. – Representação de um perfil de uma fachada não ventilada, opaca.

Figura 3.23. – Representação de um perfil de uma fachada não ventilada, transparente.

Figura 3.24. – Representação da instalação de painéis fotovoltaicos integrados sobre fachadas.

Figura 4.1. – Representação da variação da distância em função da latitude do lugar de instalação dos painéis fotovoltaicos.

Figura 4.2. – Representação da distância mínima a que poderá estar localizado um objecto do painel fotovoltaico em função das medida do painel e da altura do objecto.

Figura A.8.1. – Representação da montagem de painéis fotovoltaicos verticalmente sobre as calhas horizontais de sustentação.

Figura A.8.2. – Representação da montagem dos painéis fotovoltaicos horizontalmente sobre as calhas verticais de sustentação para telhados de placa trapezoidal.

Figura A.8.3. – Representação da montagem dos painéis fotovoltaicos horizontalmente sobre as calhas verticais de sustentação para telhados de placas onduladas de fibrocimento.

Figura A.8.4. – Representação de sistemas de montagem para integrar paineis em telhados inclinados, Solar Roof III.

Figura A.8.5. – Representação de sistemas de montagem para integrar paineis em telhados inclinados, Conergy Solar Delta.

Figura A.8.6. – Representação da aplicação de ganchos para fixar os painéis fotovoltaicos nas coberturas dos telhados.

Figura A.8.7. – Representação de grampos para telhados de placa metálica trapezoidal.

Figura A.8.8. – Representação da colocação de parafusos em telhados com placas de fibrocimento onduladas e em telhados de placa metálica trapezoidal.

Figura A.8.9. – Representação do método de fixação dos painéis FV através do aperto por ponto.

Figura A.8.10. – Representação do método de fixação dos painéis FV através do aperto linear

Figura A.8.11. – Representação de sistemas de montagem para coberturas horizontais.

Figura A.8.12. – Representação da armação do sistema de montagem para coberturas horizontais.

Figura A.8.13. – Representação da armação do sistema de montagem para coberturas horizontais.

Figura A.8.14. – Representação de sistemas de sistemas de tabuleiro para cobertura horizontal.

Figura A.8.15. – Representação da dependência térmica de um sistema FV.

Figura A.8.16. – Representação de cabos para a instalação eléctrica dos vários componentes de um sistema FV.

Figura A.8.17. – Representação da constituição do cabo s

## Lista de Equações

Equação 2.1 – Representação do cristal puro de silício dopado com impurezas doadoras.

Equação 2.2– Equação que traduz a capacidade nominal das Baterias.

Equação 2.3 – Equação química relativa à carga e descarga de uma bateria de chumbo.

Equação 2.4 – Equação química relativa à carga e descarga de uma bateria de níquel- cádmio.

Equação 3.1 – Expressão que traduz a força provocada pela diferença de pressão entre os lados da frente e da retaguarda do painel fotovoltaico.

Equação 4.1 – Expressão que traduz a distância mínima a que poderá estar localizado um objecto do painel.

Equação 5.1 – Expressão que traduz a potência máxima de um painel FV

Equação 5.2 – Expressão que traduz a potência máxima de um sistema FV.

Equação 5.3 – Expressão que traduz a condição para determinar a potência do inversor.

Equação 5.4 – Expressão que traduz a tensão de entrada do inversor.

Equação 5.5 – Expressão que traduz o número máximo possível de painéis a instalar em série numa fileira .

Equação 5.6 – Expressão traduz a tensão de circuito aberto do painel à temperatura de  $- (-10^{\circ}\text{C})$  .

Equação 5.7 – Expressão que traduz o número mínimo possível de painéis a instalar em série numa fileira.

Equação 5.8 – Expressão traduz a tensão mínima de funcionamento do inversor à temperatura de  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Equação 5.9 – Expressão que traduz a condição para determinar o número de painéis a instalar em série numa fileira.

Equação 5.10 – Expressão que traduz o intervalo do número de painéis a instalar numa fileira ,ou seja, o número de painéis a instalar tem que se encontrar entre este intervalo.

Equação 5.11 – Expressão que traduz o número possível de fileiras a colocar numa instalação FV.

Equação 5.12 – Expressão que traduz número exacto de fileiras a instalar.

Equação 5.13 – Expressão traduz a intensidade de corrente que os cabos têm que conseguir transportar.

Equação A.8.1– Equação que traduz a secção transversal do cabo entre os painéis fotovoltaicos para instalação em sistemas isolados.

Equação A.8.2– Equação que traduz a secção transversal do cabo entre o (sistema FV- Regulador de carga – baterias – Inversor), para instalações em sistema sisolados.

Equação A.8.3.– Equação que traduz a secção transversal do cabo entre o Inversor e as cargas, para instalações em sistema isolados.

Equação A.8.4– Equação que traduz a secção transversal do cabo entre os painéis fotovoltaicos para instalação em sistemas ligados à rede.

Equação A.8.5– Equação que traduz a secção transversal do cabo entre o sistema fotovoltaico e o inversor, para a instalação de sistemas ligados à rede.

Equação A.8.6– Equação que traduz a secção transversal do cabo entre o inversor e a ligação à rede, para a instalação de sistemas ligados à rede.

## Lista de símbolos

m	metro
°C	graus Célsius
W/m <sup>2</sup>	Watt por metro quadrado
Wp	Watt de pico
A	Ampere
A.h	Ampere-hora
h	Hora
°	graus
V	Volt
VA	Volt Ampere
mm	milímetro
W	Watt
W/m <sup>2</sup>	Watt por metro quadrado
VA	Volt Ampere
µm	micrómetro
K	Kelvin

## **Abreviaturas**

FV	Fotovoltaico
GEE	Gases Efeito de Estufa
AC	Corrente Alternada
DC	Corrente Contínua
UV	Ultravioleta
EVA	Espuma Vinílica Acetilada
PVB	Polivinil de Butinol
PTFE	Tetrafluoretileno
STC	Standard Test Condition
AM	Air mass
MPP	Ponto à Potência Máxima (Maximum Power Point)
SA	Soluções Aditivas
SI	Soluções Integrativas

## Capítulo 1 **Introdução**

O interesse pelas energias renováveis tem vindo a aumentar significativamente em todo mundo, pelo facto de, termos ambientais e económicos se comportarem como uma boa alternativa em relação aos recursos fósseis, nomeadamente o petróleo, gás natural e carvão. Face aos recursos fósseis, as energias renováveis contribuem para a diminuição dos impactos ambientais, nomeadamente pela redução das emissões de gases de efeito de estufa (GEE). Do ponto de vista económico, o forte desenvolvimento industrial que se tem vindo a verificar em alguns países asiáticos e que resultam num grande aumento das necessidades energéticas destes, nomeadamente a china e a Índia, tem como consequência o aumento significativo do preço do barril do petróleo nos mercados internacionais. Assim, a aposta nas energias renováveis é um caminho irreversível, pelo facto de serem fontes de energia inesgotáveis, contribuindo na diminuição da dependência aos recursos fósseis.

As energias renováveis existentes são a energia solar, a energia eólica, a energia das marés, a energia geotérmica, a biomassa, e a energia hidroeléctrica. Dentro destas, destaca-se a energia solar como tema principal deste trabalho e particularmente, os sistemas fotovoltaicos. No sentido de incentivar a produção de electricidade a partir de energias renováveis, foram tomadas medidas estratégicas pelo Governo, anunciadas pela Resolução de Ministros n.º169/2005. A legislação e as bases gerais de organização e funcionamento do sistema eléctrico nacional na microprodução são apresentados pelo Decreto-Lei n.º363/2007 de 2 de Novembro.

Neste sentido, o trabalho desta dissertação centra-se no estudo dos componentes usadas nas instalações fotovoltaicas para a captação da energia solar. São descritos os componentes associados às instalações fotovoltaicas, sendo descritos individualmente segundo as suas funções e características específicas. Por outro lado, abordaram-se as diferentes possibilidades de integração dos painéis fotovoltaicos nos edifícios. Por fim, desenvolveu-se uma ferramenta de cálculo em Excel, para dimensionar o inversor e a cablagem de um sistema fotovoltaico. O inversor está dimensionado em função da potência máxima do sistema fotovoltaico, para o caso dos sistemas ligados à rede e nos sistemas isolados. Esta potência é retirada no processo de cálculo do dimensionamento dos painéis da aplicação, efectuada anteriormente. Para dimensionar a cablagem do sistema fotovoltaico, são consideradas 5 secções diferentes de cabos, no caso dos sistemas isolados – entre os painéis, entre o sistema fotovoltaico e o regulador de carga, entre o regulador de carga e as baterias, entre as baterias e o inversor e do

inversor às cargas - e são consideradas 2 secções de cabos diferentes no caso dos sistemas ligados à rede – entre os painéis fotovoltaicos e entre o sistema fotovoltaico e o inversor.

## Capítulo 2 **Sistemas Fotovoltaicos**

Motivado pela necessidade de contribuir para resolver os crescentes problemas ambientais, procurando formas alternativas de geração de energia, tem vindo a verificar-se um aumento pelo interesse dos sistemas FV, o qual tem proporcionado uma redução dos custos das células FV. De forma resumida, os sistemas FV, são constituídos pelos **painéis FV, reguladores de carga, baterias e inversores**. Nas secções seguintes deste capítulo são descritos os vários componentes de um sistema FV. De seguida iremos abordar os vários tipos de células FV, existem no mercado.

### **2.1. Células Fotovoltaicas**

Dentro dos sistemas FV existem as células FV, onde estas constituem um elemento unitário de um painel FV e tem como função converter directamente a energia solar em electricidade. A forma mais comum de as células FV o fazerem é através do Efeito Fotovoltaico. A funcionarem de acordo com este princípio distinguem-se três tipos principais de células FV: as **células monocristalinas, as células policristalinas e as células de silício amorfo**.

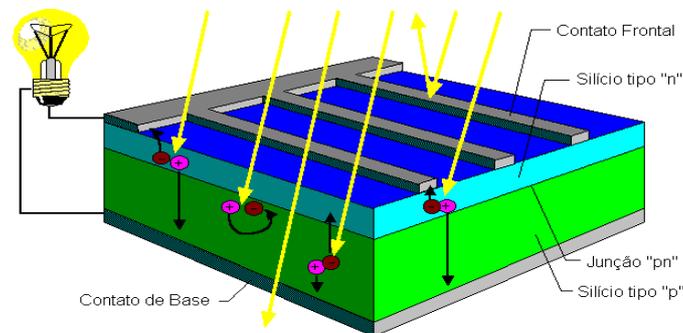
#### **2.1.1. Efeito Fotovoltaico**

O *Efeito Fotovoltaico* dá-se em materiais denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia, chamadas banda de valência e banda de condução. Na banda de valência encontram-se os electrões associados ao átomo, e a banda de condução é para onde os electrões de valência se deslocam quando saem da banda de valência. Esta passagem de electrões da banda de valência para a banda de condução é denominada condução eléctrica [25].

#### **Junção P-N**

Através de um processo químico, substitui-se no cristal puro de silício, um dos seus átomos por um átomo de *Fósforo* (por exemplo). O átomo de *Fósforo* possui 5 electrões de valência enquanto o átomo de silício apenas possui 4 electrões de valência, assim formam-se 4 ligações covalentes, participando um electrão de valência de cada átomo de silício e *Fósforo*,

levando a que um electrão não fique efectivamente ligado, dando origem a um electrão livre, que por sua vez se pode mover livremente no interior do cristal, sendo assim conduzido para a banda de condução. Logo, este electrão age como um portador negativo de corrente eléctrica. Diz-se assim, que o *Fósforo* é um dopante doador de electrões e denomina-se dopante N<sup>1</sup>.



**Figura 2.1** Funcionamento de uma célula solar cristalina [6]

Por outro lado, se através de um processo químico substituirmos um átomo de cristal puro de silício, por um átomo de *Boro*, sabendo que o *Boro* apresenta na sua camada de valência três electrões de valência, verifica-se que quando o *Boro* estabelecer a ligação com os átomos de silício, haverá uma ligação covalente incompleta. Logo, nessa ligação faltará um electrão para completar a restante ligação, o que levará à origem de uma lacuna. Contudo, essa lacuna fica receptível a um electrão livre, que por sua vez gera uma outra lacuna, assim sucessivamente, verificando-se que a lacuna toma a liberdade de se poder movimentar no interior do cristal, agindo como portador positivo de corrente eléctrica. Diz-se portanto que o *Boro* é um aceitador de electrões ou um dopante P.

Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro numa metade e de *Fósforo* na outra, será formado o que se chama uma junção P-N. Com esta configuração, os electrões livres do lado N passam para o lado P onde encontram lacunas que os capturam; isto faz com que haja um aumento de electrões no lado P, tornando-o negativamente carregado e uma redução de electrões do lado N, que o torna electricamente positivo. Estas cargas que não poderão libertar-se dão origem a um campo eléctrico permanente que dificulta a passagem de mais electrões do lado N para o lado P. Expondo esta junção P-N a uma radiação solar incidente, se a energia do fóton for superior à energia de remoção dos electrões, existe uma quebra na ligação covalente entre os electrões de valência e o núcleo do átomo, fazendo com que sejam emitidos electrões livres com energia cinética associada. Este fenómeno designa-se

<sup>1</sup> N de negativo, referindo-se à carga do electrão.

por *Efeito Fotovoltaico*, pois é gerado um fluxo de cargas eléctricas que tomam uma direcção definida pelo campo eléctrico gerado. [7]

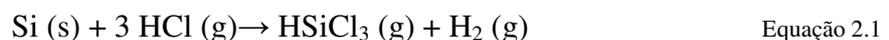
### 2.1.2. Tipo de células

As células fotovoltaicas são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituídas de cristais de **silício monocristalinos**, **policristalinos** ou de **silício amorfo**.

#### **Silício Monocristalino**

As células de silício são as mais usadas na composição das células FV, atingindo actualmente 60% do mercado [6]. Para se utilizar o silício na indústria electrónica além do alto grau de pureza, o material deve ter uma estrutura monocristalina e baixa intensidade de defeitos na rede cristalina [6].

O silício cristalino é o componente mais utilizado nas células FV, sendo o elemento mais abundante na Terra, depois do oxigénio, em que está disponível em quantidades quase ilimitadas. Na Natureza, o silício não se encontra na sua forma pura mas em conjunto com componentes químicos, com o oxigénio inserido na estrutura do material de quartzo ou areia. Numa fase inicial o oxigénio deve ser separado do dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>). Como tal, a areia do quartzo é aquecida junto com o carbono em pó e o carvão vegetal, num forno de arco eléctrico a uma temperatura de 1800°C a 1900°C. Deste resulta o monóxido de carbono (CO) que tem um nível de pureza aproximadamente de 98%, logo existe 2% de impurezas no silício. Na área do FV apenas é aceite 1% de impurezas, podendo melhorar dez vezes mais as propriedades eléctricas dos semicondutores. Assim, o silício é ainda mais purificado através de outros processos químicos. Depois o silício é finamente moído, ao qual reage com o cloreto de hidrogénio gasoso (ácido clorídrico - HCl), para formar hidrogénio (H<sub>2</sub>) e triclorosilano<sup>2</sup>(HSiCl<sub>3</sub>):



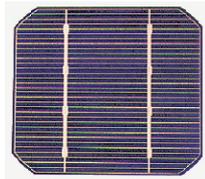
Numa fase posterior, o líquido de triclorosilano é destilado até se atingir o grau de pureza exigido. O silício obtido do triclorosilano é depositado em varetas.

Até este ponto obtemos o silício cristalino puro, sendo manipulado e tratado posteriormente para uma estrutura cristalina única ou variada designada por monocristalino ou policristalino, respectivamente.

---

<sup>2</sup> Líquido que ferve a 31°C

A estrutura monocristalina apresenta apenas um tipo de cristal, em que o seu processo foi normalizado através do processo Czochralski<sup>3</sup>. Neste processo o silício é fundido juntamente com uma pequena quantidade de dopante, normalmente o boro que é do tipo P. De seguida utilizando um fragmento de cristal, vai-se extraindo do material fundido um grande cilindro de silício monocristalino levemente dopado. Este cilindro de silício monocristalino é de seguida cortado em fatias finas de aproximadamente 300µm.



**Figura 2.2** Célula de silício Monocristalino [6]

Após o corte e limpeza de impurezas das fatias, introduzem-se impurezas do tipo N de forma a obter a junção. Este processo é feito através da difusão controlada onde as fatias de silício são expostas a vapor de fósforo num forno onde a temperatura varia entre 800 a 1000°C [6]. Em termos de desempenho o rendimento eléctrico do silício monocristalino atingido em laboratório ronda os 24% o qual na utilização prática se reduz para cerca de 15% [5]. No entanto, tem como desvantagem a complexidade tecnológica na sua produção que se traduz em custos elevados. Como desvantagem acresce ainda a grande quantidade despendida na sua produção.

### **Silício Policristalino**

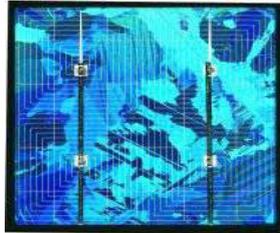
A produção das células de silício policristalino, são menos dispendiosas, comparadas com as células de silício monocristalino, por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. No entanto, o silício policristalino representa 30% da cota do mercado, tendo uma eficiência menor em comparação com as células de silício monocristalino, alcançando uma eficiência de 18% em laboratório e na prática 12% [6].

Através do controlo de aquecimento e arrefecimento, o bloco do molde arrefece uniformemente numa direcção. A função desta solidificação unidireccional deve-se ao facto de formar o máximo de cristais de silício homogéneos possíveis, com dimensões de grão desde alguns milímetros até vários centímetros. A região fronteiriça do grão constitui um defeito para o cristal, favorecendo o fenómeno da recombinação que aumenta a resistividade

---

<sup>3</sup> Químico Polaco que inventou o processo de Czochralski.

do material, influenciando na eficiência das células solares policristalinas negativamente, quando comparadas com as células monocristalinas. Dos moldes são obtidos grandes blocos de silício, que por sua vez são cortados em fatias de aproximadamente 0.3mm de espessura. Depois de limpar quimicamente a célula e dopá-la de fósforo é aplicado um revestimento anti-reflexivo, os respectivos contactos são impressos e as fronteiras são removidas, tal como no processo das células monocristalinas [8]



**Figura 2.3** Célula de silício policristalino [2]

### **Silício Amorfo**

As células de silício amorfo diferem das demais estruturas cristalinas, por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em painéis FV tem mostrado grandes vantagens, tanto nas propriedades eléctricas quanto no processo de produção. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo apresenta-se como uma solução de baixo custo para a aplicação em sistemas solares fotovoltaicos.

Apesar de apresentar um custo reduzido na produção, este representa 4% cota de mercado tendo uma eficiência da ordem dos 13 % em laboratório, que na prática se reduz aos 6%, devido ao facto das células serem afectadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil [6].

Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências acima citadas, são elas:

- processo de fabricação relativamente simples e barato;
- possibilidade de fabricação de células com grandes áreas;



**Figura 2.4** Célula de silício Amorfo [2]

## 2.2 .Componentes do Sistema Fotovoltaico

Os componentes que fazem parte da constituição dos sistemas FV são: **painéis fotovoltaicos, reguladores de carga, baterias e inversores**. A captação da radiação solar é feita através dos painéis FV, que por sua vez produz uma determinada tensão aos seus terminais. A corrente produzida pelos painéis FV é contínua, mas varia de intensidade dependendo da radiação solar incidente. Existem principalmente dois tipos de reguladores de carga cuja função é proteger e regular o nível energético das baterias.

No caso de existirem equipamentos que funcionem com corrente alterna (AC), e pelo facto dos painéis FV produzirem corrente contínua (DC), então é necessária a utilização de inversores para transformar a corrente contínua (DC) em corrente alterna (AC).

As baterias funcionam como armazenamento da energia produzida pelos módulos FV e para assegurar as necessidades das cargas.

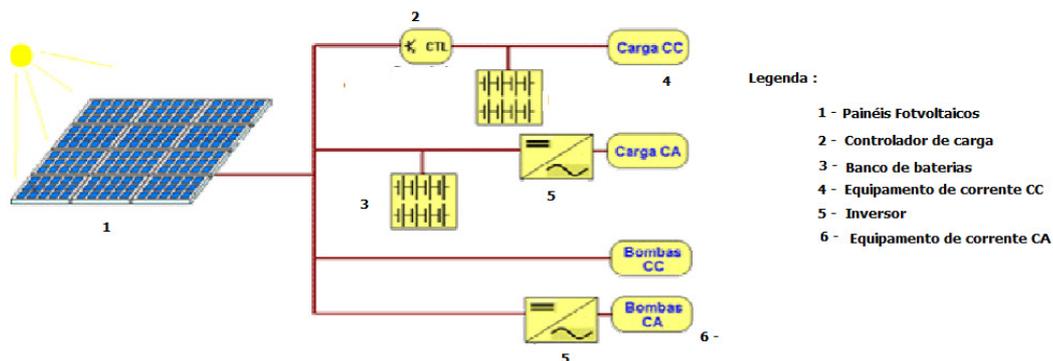


Figura 2.5 Esquema dos vários equipamentos usados num sistema Fotovoltaico [2]

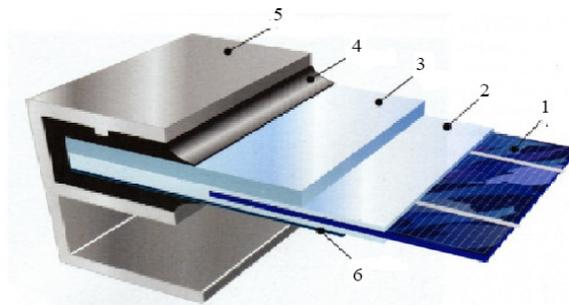
### 2.2.1. Painéis Fotovoltaicos

O painel FV é composto por um conjunto de 36, 48 ou 72 células solares ligadas em série e em paralelo. Por norma os painéis FV são projectados para esforços mecânicos e para situações climatéricas adversas (vento, humidade, granizo e neve). A base do painel FV tem como função oferecer estabilidade à estrutura, ou seja, assegura a rigidez e a estanquicidade do conjunto dos elementos necessários para a montagem do painel na estrutura de suporte [6].

O tipo de material utilizado neste caso é normalmente o vidro, mas também pode ser usado acrílico<sup>4</sup> ou o Makrolon<sup>5</sup> [26].

O encapsulamento das células solares pode ser feito num invólucro de EVA<sup>6</sup> com características de um material termoplástico, muito usada em materiais escolares, de PVB<sup>7</sup> de Teflon que é um polímero muito semelhante ao polietileno, pelo que os átomos de hidrogénio são substituídos pelos átomos de flúor, designado por tetrafluoretileno<sup>8</sup> e de resina Sintética [8].

Na figura 2.5 está representado um esquema em corte com as várias camadas associadas à constituição de um módulo FV



**Figura 2.6** Diversas camadas de um módulo padrão [2]

Legenda:

- 1- Células
- 2- Invólucro de Espuma Vinílica Acetinada (EVA)
- 3- Vidro temperado ( Facilitar a máxima transmissão luminosa, e capacidade de resistir a condições climáticas adversas)
- 4- Selagem (colocação de um adesivo entre a base de alumínio e o vidro)
- 5- Base de alumínio
- 6- Película tedlar ( utilização de uma película para protecção posterior)

---

<sup>4</sup> Polimetil-metacrilato, PMMA.

<sup>5</sup> É um tipo de Policarbonato com elevada transparência, de alta resistência ao impacto, boas propriedades eléctricas, é resistente à chama e apresenta uma boa estabilidade dimensional [2].

<sup>6</sup> Ethylene Vinyl Acetate, trata-se da Espuma Vinílica Acetinada.

<sup>7</sup> Polyvinyl Butyral, é um polímero sintético.

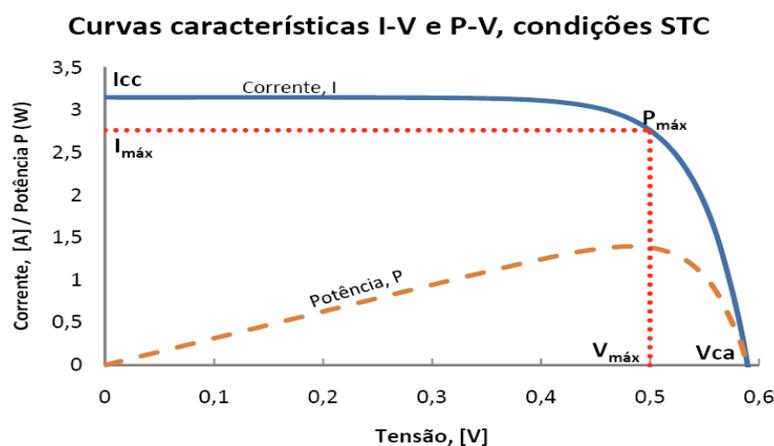
<sup>8</sup> PTFE

## Influência da temperatura e da radiação solar

Os módulos FV raramente operam nas condições STC<sup>9</sup>. As condições STC, também designadas por condições de referência, são as condições normalizadas para a realização das medições dos parâmetros característicos da célula. As condições STC têm como objectivo comparar células diferentes, ou mesmo entre módulos FV e obter os parâmetros eléctricos das diferentes células existentes, podendo determinar a curva características da célula. Os parâmetros que caracterizam as células fotovoltaicas são a tensão nominal -  $V_N$ ; tensão à potência máxima -  $V_{m\acute{a}x}$ ; corrente à potência máxima -  $I_{m\acute{a}x}$ ; tensão de circuito aberto -  $V_{ca}$ ; corrente de curto-circuito -  $I_{cc}$ ; as respectivas resistências em série -  $R_s$  e em paralelo -  $R_p$ ; número de células em série, o factor de idealidade equivalente -  $m$  e as suas dimensões geométricas, altura -  $H$  (height); largura -  $W$  (width).

As condições de referência estão normalizadas segundo a norma IEC 60904 / DIN EN 60904, onde se refere que a temperatura da célula nos testes deve ser de 298,16 K (25°C), com uma tolerância de  $\pm 2$  °C, a irradiância normal sobre a superfície da célula deve apresentar um valor de 1000 W/m<sup>2</sup> e o espectro de Luz deve apresentar uma massa de ar AM=1,5 (os parâmetros com o índice “r”, referem-se às condições STC), [8].

Normalmente, a curva característica I-V e P-V de uma célula de silício cristalino nas condições STC é dada por:



**Figura 2.7** Curva característica I-V e P-V de uma célula fotovoltaica de silício cristalino, nas condições STC [8]

<sup>9</sup> Standart Test Conditions (Condições de referência)

A curva característica I-V fica definida através de três pontos, são eles a potência máxima, a corrente de curto-circuito e a tensão do circuito aberto. Para a potência máxima temos a respectiva corrente e tensão máxima fornecida pela célula FV, em que normalmente esta potência é dada nas unidades de Watt pico (Wp). A corrente de curto-circuito é aproximadamente 5 a 15% do valor da corrente atingida na potência máxima, em que representa a corrente máxima que célula pode entregar, sob condições de radiação e temperatura específicas<sup>10</sup>, correspondendo a uma tensão, nula<sup>11</sup>. A tensão de circuito aberto representa a tensão máxima fornecida pela célula FV, para condições de temperatura e radiação específicas<sup>12</sup>, que corresponde a uma ausência de corrente, ou seja no caso de não existir uma carga acoplada à célula FV. A curva característica P-V apresenta uma evolução positiva com o aumento da tensão, atingindo um máximo que corresponde ao ponto da curva característica I-V no qual o produto  $I \times V$  é máximo. Com o aumento da tensão, após o máximo verifica-se um decréscimo exponencial da corrente até um valor nulo que corresponde à tensão de curto-circuito. Para justificar esta diminuição brusca devemos perceber o que ocorre na junção P-N da célula FV. À medida que a corrente eléctrica é produzida origina-se uma queda de tensão entre as camadas N e P. A camada P apresenta um potencial de menor energia, ou seja um potencial positivo maior em relação à camada N. Se aumentarmos a tensão aos terminais exteriores da célula, a camada P tende a reduzir o seu potencial diminuindo o campo eléctrico entre a camada N e P, fazendo com que o fluxo de corrente seja menor. Analisando a curva característica I-V com o aumento da tensão verifica-se uma corrente constante, mas na realidade diminui ligeiramente até um valor de tensão correspondente à potência máxima, com o aumento da tensão a camada P fica praticamente saturada, com um potencial cada vez mais reduzido. Continuando a aumentar a tensão, após o ponto de potência máxima, o fluxo de cargas eléctricas é praticamente neutro, dado que o campo eléctrico na junção P-N tende para zero .

### **Factores que afectam as características eléctricas dos painéis FV**

Os principais factores que influenciam os parâmetros  $I_{cc}$  e  $V_{ca}$  das células fotovoltaicas é a irradiância existente na superfície da célula fotovoltaica e a temperatura a que a célula está a operar. Na figura 2.8 apresenta-se a variação da curva característica I-V com a temperatura.

---

<sup>10</sup> Neste caso nas condições STC,  $I_{cc}$  apresentando um valor próximo de 3A.

<sup>11</sup> Potência também será nula.

<sup>12</sup> Neste caso nas condições STC,  $V_{ca}$  apresenta um valor entre 5V e 0,6V.

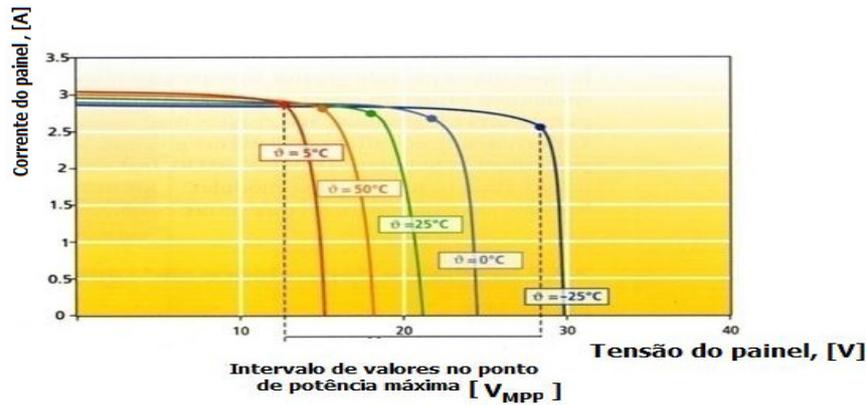


Figura 2.8 Variação da curva característica I-V com a temperatura. [2]

Com o aumento da temperatura de operação da célula verifica-se um decréscimo considerável da tensão de circuito aberto e uma diminuição ligeira da corrente de curto-circuito. Na generalidade dos casos, não se considera a variação da corrente de curto-circuito nos cálculos, pois a variação nos resultados finais não é muito significativa. Contudo, o decréscimo da tensão de circuito aberto é considerado nos cálculos, sendo que a sua variação é da ordem dos  $-2,3\text{mV}/^\circ\text{C}$ .

Na representação gráfica da figura 2.9 observa-se a variação da curva característica I-V com a irradiância incidente na superfície da célula. Podemos afirmar que aumentando a irradiância a corrente de curto-circuito aumenta significativamente, tendo uma evolução praticamente linear com a irradiância, enquanto a tensão de circuito aberto aumenta ligeiramente para irradiâncias maiores.

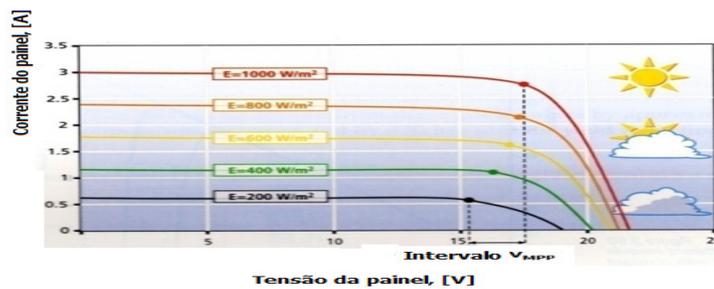


Figura 2.9 Variação da curva I-V com a irradiância incidente na superfície da célula. [2]

De um modo geral, a tensão à potência máxima tem uma variação maior com a influência da temperatura e uma variação ligeira com a influência da irradiância. Contudo, analisando a figura 2.8, verifica-se que existe uma variação maior da tensão no ponto máximo de funcionamento à medida que a temperatura aumenta, em relação à figura 2.9, onde aqui se verifica que variação da tensão no ponto máximo de funcionamento à medida que a temperatura aumenta é menor, comparativamente à influência da radiação incidente. Logo, a

contribuição da radiação incidente na variação da tensão no ponto máximo de funcionamento é maior do que a contribuição da temperatura de operação na variação da tensão no ponto máximo de funcionamento.

### **2.2.2. Reguladores de carga**

Nas instalações FV os reguladores têm como função principal monitorizar a tensão dos acumuladores das baterias, protegendo as baterias das sobrecargas [2].

O regulador apresenta-se como uma caixa, que incorpora diversos equipamentos comuns a todas as instalações FV, tais como um *circuito de bloqueio*, um *circuito de controlo* e um *dissipador térmico*.

#### **Circuito de bloqueio**

Com este equipamento é possível controlar o nível de carga da bateria configurando o circuito de controlo. No caso de a bateria estar no seu ponto de capacidade máxima, o regulador interrompe a ligação às baterias evitando o sobreaquecimento, que por conseguinte levaria à gaseificação do líquido existente na bateria, pondo em causa a sua duração de funcionamento. Noutra situação, o circuito de controlo tem como função evitar a descarga total da bateria, que poderia causar uma diminuição da capacidade da bateria ao longo do tempo.

#### **Díodo de Bloqueio**

No caso em que o módulo FV não produz corrente<sup>13</sup>, se a bateria estiver carregada, pelo princípio da diferença de potencial, irá haver um fluxo de carga para os módulos FV, que por sua vez descarrega a bateria, mas com a presença do díodo de bloqueio a corrente inversa é impedida de passar.

#### **Dissipador Térmico**

O dissipador térmico tem como função, libertar a energia produzida pela instalação FV para o exterior, quando as baterias se encontram totalmente carregadas.

---

<sup>13</sup> Caso nocturno em que a irradiação é insuficiente

Existem essencialmente dois tipos de reguladores: o *regulador shunt* e o *regulador em série*. A diferença entre os dois tipos de reguladores consiste no tipo de configuração, ou seja, o

regulador shunt é instalado em paralelo na instalação e o regulador em série, tal como o nome indica, é instalado em série com a instalação.

O **regulador em série** utiliza um automatismo de conexão e desconexão entre a ligação dos módulos FV às baterias. A vantagem deste tipo de regulador prende-se no acto de não dissipar energia interrompendo a ligação às baterias através de um relé, logo não incorpora um díodo de bloqueio. O relé está controlado pelo circuito de controlo que faz com que estabeleça e interrompe a ligação entre a bateria e o módulo FV. Por outro lado o relé está sincronizado com a tensão de saída do módulo FV, no caso de o módulo não captar radiação suficiente a sua tensão de saída será baixa e o relé interrompe a ligação às baterias. Esta situação verifica-se principalmente durante a noite.

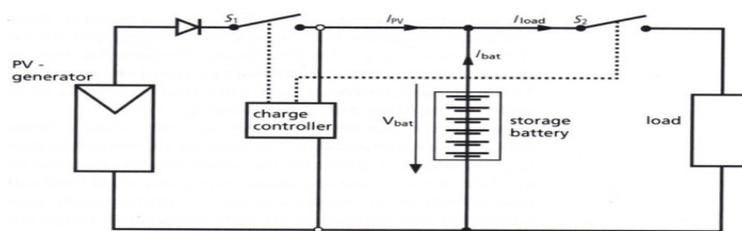


Figura 2.10 Configuração do regulador de carga em série. [2]

Quando o **regulador Shunt** se aproxima da tensão de plena carga da bateria, o regulador começa a diminuir a potência de saída do módulo. Se o módulo continuar a produzir uma potência, a energia que não é útil é dissipada na forma de calor através de um díodo de Zener<sup>14</sup>.

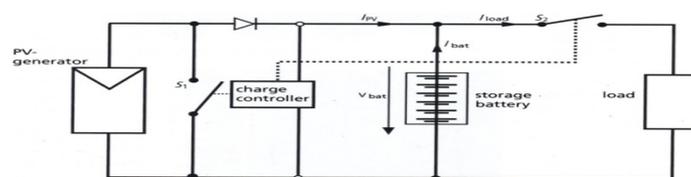


Figura 2.11 Configuração do regulador de carga Shunt. [2]

<sup>14</sup> Associado a uma resistência em série.

De um modo geral os reguladores shunt são aplicados em instalações de pequeno porte, e os reguladores em série são aplicados em instalações de intensidades mais elevadas.

No caso em que as potências instaladas são elevadas, a aplicação dos reguladores shunt é dispendiosa pois obriga a instalar dissipadores térmicos maiores, obrigando a instalar sistemas de refrigeração levando à diminuição da fiabilidade dos equipamentos aumentando os custos da instalação.

### 2.2.3. Baterias

Numa utilização residencial, o armazenamento de energia é um tema central no aproveitamento da energia solar, dado que a produção e o consumo de energia não coincidem, quer ao longo do dia quer ao longo do ano. A energia solar produzida durante o dia não é, normalmente, utilizada antes do início da noite, sendo por este motivo necessário armazená-la. Os períodos de dias sucessivos sem sol também devem ser tidos em conta.

Os parâmetros característicos das baterias são a força electromotriz, resistência interna, diferença de potencial, capacidade e o seu rendimento.

A **capacidade C** das baterias é a quantidade de electricidade que a bateria pode fornecer até ficar totalmente descarregada. A **capacidade nominal** é dada pelo produto entre a descarga constante, ou seja, corrente que a bateria fornece  $I_n$  e o tempo de descarga  $t_n$ . A equação que demonstra isto é dada por:

$$C_n = I_n \times t_n \quad \text{Equação 2.2}$$

Em que a corrente ( $I_n$ ), fornecida pela bateria é dada em [A], a capacidade nominal ( $C_n$ ) da bateria é dada nas unidades Ampères hora [Ah], e o tempo de descarga ( $t_n$ ) é dado nas unidades [h].

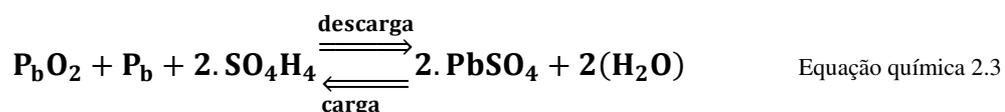
Por exemplo, se uma bateria tiver 400Ah e um tempo de descarga 10h, usando a equação 2.2, facilmente se verifica que a bateria consegue fornecer 40A durante 10h. Para a mesma

capacidade nominal anterior (400Ah) e para um tempo de descarga de 5h, a bateria forneceria 80A.

Logo, verifica-se que quanto maior for o tempo de descarga da bateria, maior será a quantidade de energia que a bateria fornece.

Existem essencialmente dois tipos de baterias na aplicação de sistemas FV: as **baterias de chumbo** e as **baterias de níquel – cádmio**. As baterias mais utilizadas nos sistemas FV são de 12 V, 24 V, 48 V.

As **baterias de chumbo**, são compostas por placas positivas e negativas, por separadores, por electrólitos, por uma carcaça e pelos terminais de conexão exterior. A reacção química processada no interior, durante o funcionamento da bateria é representada por:



Na equação química 2.1. estão representados dois estados diferentes da bateria, um estado em que a bateria está a carregar e o estado em que a bateria está a descarregar.

### Bateria em descarga

Quando a bateria se encontra totalmente carregada o electrólito encontra-se com um máximo de ácido sulfúrico –  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e um mínimo de água –  $\text{H}_2\text{O}$ , em que na placa positiva encontra-se o chumbo esponjoso - Pb e na placa negativa o dióxido de chumbo- $\text{PbO}_2$ . À medida que a bateria se vai descarregando vão se formando cada vez mais partículas de água e uma diminuição do ácido sulfúrico. Na placa de chumbo poroso vai haver um aumento da formação de dióxido de chumbo à qual, o electrólito formado é o sulfato de chumbo –  $\text{PbSO}_4$ . Ao longo do tempo de vida da bateria, as placas tendem a perder espessura que, será tanto maior quanto maior for a profundidade, logo devemos evitar a descargas profundas<sup>15</sup>.

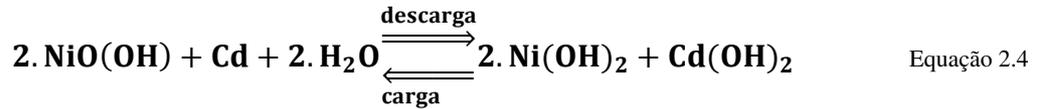
### Bateria em carga

Durante o processo de carga, a molécula de água é separada, onde os átomos de hidrogénio vão formar o ácido sulfúrico e o oxigénio liga-se ao chumbo, formando o dióxido de chumbo. Esta separação leva a que haja uma perda de água, sendo conveniente adicionar um pouco de água destilada para repor o nível do electrólito.

---

<sup>15</sup> Descarga “total” da Bateria.

As **baterias de níquel - cádmio** contêm hidróxido de níquel –  $Ni(OH)_2$  - na placa positiva e hidróxido de cádmio –  $Cd(OH)_2$  - na placa negativa. Estas placas encontram-se num electrólito que contém cerca de 23% de hidróxido de potássio –  $K(OH)$  - envolvido numa solução de hidróxido de lítio –  $Li(OH)$  - ou água destilada. Este tipo de baterias apresenta uma tensão nominal por cada elemento de 1,2 V, se contiver 10 elementos ligados em série obtemos uma bateria de 12 V.



As impurezas metálicas depositam-se na placa negativa, contendo uma carga positiva superior ao do cobre, fazendo com que haja uma auto-descarga contínua.

Este tipo de bateria suporta um nível de descarga superior (maior quantidade de energia fornecida por unidade de tempo), apresenta um tempo de funcionamento maior (maior vida útil), permite ter condições de temperatura maiores, conseguem suportar curto-circuitos mais fortes sem haver deterioração e permite obter maiores capacidades de armazenamento. Quanto à instalação das baterias, não se deve ligar baterias de diferentes características [8].

#### 2.2.4. Inversores

Os inversores são um dos componentes do sistema FV, cuja função é converter a energia de corrente contínua (DC) do sistema FV para corrente alterna (AC), permitindo a ligação de equipamentos convencionais que funcionam a corrente alterna ao sistema FV.

Os inversores utilizados para instalações FV, são dimensionados em função da potência do sistema FV, ou seja, o inversor é dimensionado para uma potência superior à potência do sistema FV, caso contrário o inversor seria danificado.

São também dimensionados em função da tensão de entrada que é dada pelo somatório dos painéis ligados em série. Por sua vez deve-se ter atenção no seu dimensionamento, as situações em que está a funcionar no inverno e no verão visto que a tensão depende da temperatura.

### Capítulo 3 Montagem e Integração de painéis Fotovoltaicos em Edifícios

A maior parte da superfície dos edifícios é adequada à instalação de campos fotovoltaicos, quer nas fachadas, quer nas coberturas inclinadas e horizontais. A este respeito, pode-se estabelecer uma distinção entre **soluções aditivas** ( SA<sup>16</sup>) e **soluções integrativas** ( SI<sup>17</sup>).

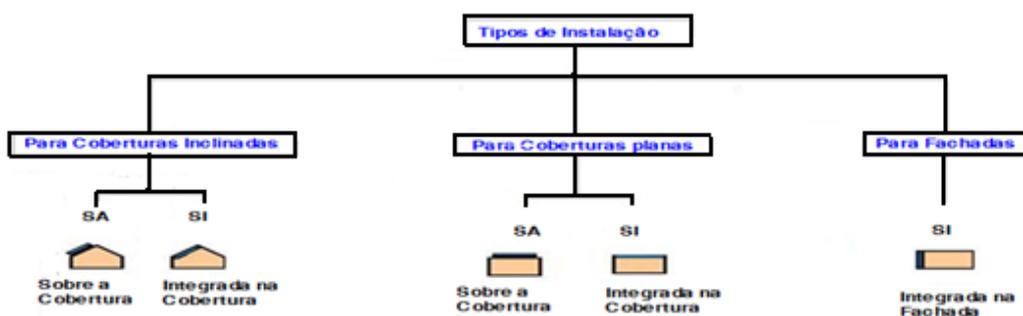


Figura 3.1 Diferentes tipos de montagem [2]

Numa SA (montagem sobre o telhado), os painéis FV são fixados no topo do telhado, através de uma estrutura metálica. O sistema FV consiste assim num elemento técnico e estruturante, colocado no edifício com a única função de gerar energia.

Numa SI (montagem integrada no telhado ou na fachada), os componentes do telhado ou da fachada do edifício, são substituídos por elementos FV. O sistema FV passa a fazer parte da constituição da estrutura do edifício e, para além de gerar energia eléctrica, assegura funções de protecção climatérica, isolamento térmico, isolamento acústico e segurança. Esta capacidade de integração dos módulos FV permite explorar efeitos sinérgicos e implementar soluções de elevado valor estético [2].

Assim sendo, abordam-se neste capítulo 2 modos diferentes de implementar os painéis FV sobre os edifícios, com 3 possibilidades de aplicação:

<sup>16</sup> Soluções Aditivas “Montagem dos painéis sobre o telhado”.

<sup>17</sup> Soluções Integrativas “Montagem integrada dos painéis no telhado ou na fachada”.

1. Painéis FV montados sobre a cobertura inclinada (numa solução aditiva) e por outro lado, também podem ser integrados na cobertura inclinada (numa solução integrativa).
2. Painéis FV são montados sobre a cobertura horizontal (numa solução aditiva) e por outro lado, também podem ser integrados na cobertura horizontal (numa solução integrativa).
3. Painéis FV podem ser montados sobre a fachada (numa solução integrativa).

Na implementação dos painéis FV nos edifícios, é necessário levar em conta os tipos de materiais, e a qualidade dos acabamentos das armações sobre as quais, os painéis vão ser montados. Isto deve-se ao facto das armações destes sistemas estarem sujeitas às intempéries e às diversas cargas durante vários anos. Daí que, é recomendável a utilização de materiais como o alumínio e o aço inoxidável, uma vez que estes são resistentes à corrosão [1].

### 3.1. Coberturas inclinadas

#### 3.1.1. Montagem em coberturas inclinadas



Figura 3.2 Painéis FV montados sobre coberturas inclinadas [2]

Nas coberturas inclinadas os painéis FV são instalados, numa subestrutura metálica. A cobertura do telhado é mantida na íntegra, desempenhando a função de escoamentos das águas. Para a instalação de painéis FV sobre os telhados esta opção é seguramente a mais indicada do ponto de vista económico, uma vez os custos de material e de implantação são reduzidos. Contudo tem desvantagens, para além do seu aspecto estético, tem também a

desvantagem de todos os componentes, incluindo os acessórios, as ligações eléctricas e os cabos ficarem expostos ao meio exterior.

### 3.1.2. Integração em cobertura inclinadas

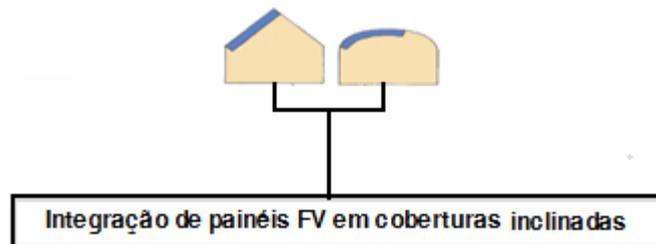


Figura 3.3 Painéis FV integrados sobre coberturas inclinadas [2]

Na integração em coberturas inclinadas, os painéis apoiam-se na sua base e substituem a cobertura convencional do mesmo. Nesta tipologia de integração, o sistema FV tem uma dupla função: a de gerar energia eléctrica e a de proteger o edifício contra os elementos climáticos. Por este motivo, as estruturas onde os painéis são inseridos, devem impedir a entrada da água da chuva entre os painéis e nas margens do campo do sistema FV. De forma a proteger o sistema FV da penetração de águas e da infiltração de humidades será necessário utilizar uma subcobertura impermeável.

### 3.1.3. Estruturas dos painéis fotovoltaicos

Quando se projecta a estrutura metálica dos painéis, é necessário levar em conta que ela tem de ser capaz de suportar as forças que ocorrem nos painéis e transferi-las à estrutura da cobertura.

Normalmente as forças exercidas nos painéis são: **Forças de Pressão** e de **Tracção**. Essas 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 da cobertura, suporta as cargas adicionais. Dado que a estrutura da cobertura é normalmente concebida para suportar o

peso da neve, a pressão do vento e o próprio peso da cobertura do telhado, logo, o peso dos painéis FV assim como toda a sua estrutura é normalmente desprezável.

#### **3.1.4. Minimização das forças exercidas sobre painéis FV**

Com o intuito de minimizar as forças exercidas sobre os painéis FV, deverão ser tomadas em consideração, os seguintes aspectos na fase de planeamento:

- O espaço entre a superfície do painel 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 o lixo fique preso, 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 dos painéis FV e os extremos do telhado deve ser, no mínimo, cinco vezes superior à altura do campo FV.
- A superfície dos painéis FV deve ter a mesma inclinação do que o telhado.
- Deve-se deixar um pequeno espaço entre os painéis, por forma, a compensar a pressão do vento

#### **3.1.5. Protecção contra a corrosão**

Dado que a estrutura de suporte dos painéis FV, assim como os acessórios mecânicos estão expostos às condições climáticas, deve-se usar apenas um tipo de metal nos pontos de fixação. Uma vez, que a combinação 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, para evitar possíveis infiltrações.

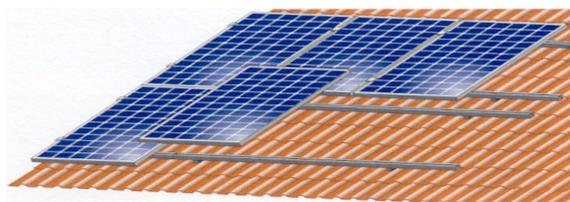
Se a estrutura de suporte for construída no próprio local da instalação, deve ser garantida uma eficaz protecção contra a corrosão. Para além de técnicas de protecção contra a corrosão, deve-se ter também em atenção a protecção da corrosão na estrutura. As estruturas dos painéis, onde estes vão ser colocados, antes de serem fixados sobre a cobertura, devem ser

construídas de modo a que não sejam criados cantos onde se possa acumular sujidade, uma vez que isso iria criar pontos de partida para a corrosão.

### 3.1.6. Sistemas de montagem

#### Sistemas de montagem de painéis FV através de calhas

As calhas são montadas nos pontos mais resistentes do telhado. Dependendo do sistema, os painéis FV apoiam directamente nas calhas, nas quais se encontram os ganchos<sup>18</sup>, ou se apoiam transversalmente numa segunda camada de calhas. Por forma a obter uma superfície plana para os painéis FV, a armação de base da cobertura 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 de 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 da cobertura inclinada, deve permitir a fácil remoção dos painéis individuais, uma vez que pode ser necessária a reparação do telhado por baixo do painel ou a substituição de um painel defeituoso. A solução de montagem mais simples e a que normalmente se utiliza mais, é constituída por uma fileira de painéis, em que os painéis são colocados verticalmente em duas calhas horizontais paralelas de sustentação, sendo os painéis na sua maioria apertados em 4 pontos. A distância entre as calhas depende dos eventuais pontos de fixação do telhado (p.ex. o espaçamento entre as fileiras de telhas e as especificações do fabricante dos painéis relativamente a áreas onde os estes podem ser fixos). Por forma a demonstrar a montagem dos módulos verticalmente sobre as calhas horizontais é dado no anexo A.8.1. um exemplo desta aplicação



**Figura 3.4.** Montagem dos painéis FV verticalmente sobre as calhas horizontais de sustentação [2]

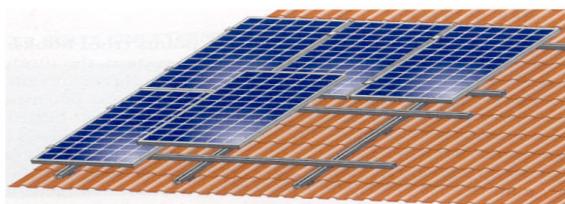
<sup>18</sup> Acessório mecânico que faz parte do conjunto de calhas.

Se os painéis FV forem montados horizontalmente, ou se a subestrutura do telhado funcionar horizontalmente, é mais conveniente montar as calhas de sustentação dos painéis verticalmente nas fixações do telhado. Por forma, a demonstrar a montagem dos painéis horizontalmente sobre as calhas verticais, é dado no anexo A.8.2. dois exemplos desta aplicação.



**Figura 3.5.** Montagem dos painéis FV horizontalmente sobre as calhas verticais de sustentação [2]

Se a subestrutura não apresentar toda a fixação apropriada às distâncias das calhas, ou se a superfície da cobertura do telhado for muito desigual é recomendado o uso de um segundo sistema de calhas montado perpendicularmente. Esta montagem assim chamada de calha-cruzada<sup>19</sup> faz com que seja mais fácil criar uma superfície plana. Os pontos de fixação do telhado por vezes são dispensados, uma vez que o seu espaçamento é independente do tamanho dos painéis FV, isto significa que a máximas distância permitida entre a estrutura podem ser exploradas. A montagem deste sistema (calha - cruzada) envolve geralmente uma maior despesa em termos de material, uma vez que são necessárias mais calhas e por conseguinte, utilizar mais acessórios mecânicos.



**Figura 3.6.** Montagem transversal de um painel fotovoltaico colocado sobre as calhas um de cada vez , utilizando um sistema de calha-cruzada, principalmente para superfícies de cobertura de telhados desiguais [2]

Particularmente, para situações de montagem de painéis FV em grande escala, requer-se que sejam montados sobre o telhado, um conjunto de painéis pré definidos e não a colocação de um só painel de cada vez. Aqui diversos painéis, são montados sobre as calhas. Este trabalho,

---

<sup>19</sup> Sistema de colocação de duas camadas de calhas sobrepostas na perpendicular.

pode ser realizado no solo. Utilizando um guindaste ou uma grua inclinada, o conjunto de painéis FV preparados desta maneira, pode então ser colocados no telhado e montados na parte inferior do sistema de calhas. A montagem do conjunto de painéis requer um sistema de calha - cruzada.



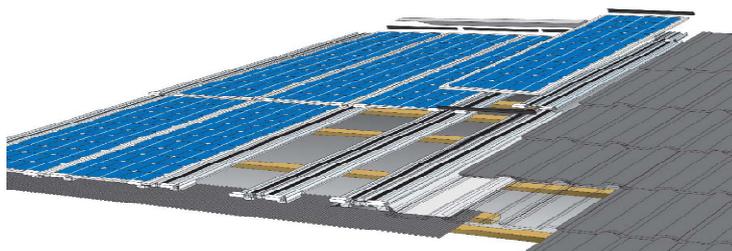
**Figura 3.7.**Montagem de um grupo de painéis FV sobre calhas, utilizando um sistema de calha-cruzada, em que a calha e a disposição dos painéis podem ser girados 90° [2]

### **Sistema de integrar directamente os painéis FV**

Estes sistemas permitem integrar os painéis ao telhado através de uma armação. Basicamente os painéis são dispostos nesta armação e fixados linearmente ou pontualmente. A protecção climatérica é conseguida através da sobreposição dos painéis, e pelo uso de selos de borracha entre os painéis ou através de canais de drenagem nas secções inferiores dos laminados. Os painéis são ventilados do mesmo modo que as coberturas convencionais no plano da subestrutura do telhado. Para campos FV, com grandes superfícies de captação, deve-se assegurar um espaço suficientemente grande, para que a circulação do ar se possa fazer naturalmente [2]. À beira dos cumes e dos beirados do telhado, a conexão à cobertura do telhado será feita através de filamentos especiais e de folhas de conexão. A utilização de painéis padrão<sup>20</sup> facilita a montagem e em termos de custos torna-se mais barato, particularmente para as grandes superfícies. Para uma melhor percepção, acerca de como os painéis são integrados nas coberturas, são dados dois exemplos no anexo A.8.3 desta aplicação.

---

<sup>20</sup> São aplicados sempre que não existam exigências especiais em termos de dimensão e forma.



**Figura 3.8.** Sistema de integrar directamente os painéis FV sobre o telhado [8]

### **3.1.7. Fixação de painéis FV na cobertura**

Quanto à fixação nas coberturas, devem ser criados na superfície da cobertura, pontos de fixação que recebam os painéis. 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 de colocação na cobertura, mas estruturalmente não suportam cargas tão grandes em relação às soluções dependentes.

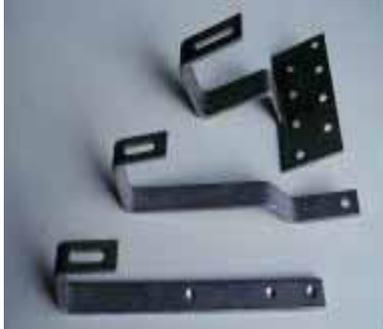
### **3.1.8. Tipo de acessórios utilizados na fixação dos painéis**

Dos vários tipos de acessórios que existem para a fixação dos painéis FV na cobertura, destacam-se os seguintes: **ganchos para telhas**; **abraçadeiras** e **grampos de rebordo** para telhados metálicos e **parafusos** para placas onduladas de fibrocimento.

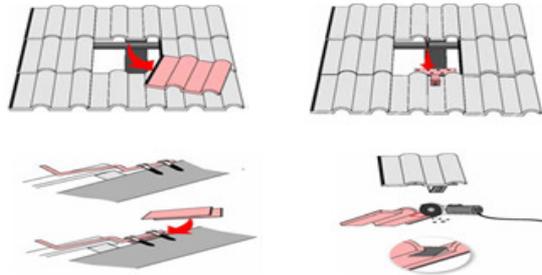
#### **Ganchos para telhas**

Estes dispositivos de fixação para coberturas, têm a forma de um gancho, ultrapassam a cobertura do telhado e são fortemente aparafusados às vigas ou aos ripados. Um exemplo da utilização destes dispositivos de fixação é demonstrada no anexo A.8.4. Os ganchos de telhado são adequados para todas as coberturas com telhas betuminosas, ardósias ou telhas planas. Estes ganchos são posicionados de modo que encaixem no interior da cavidade do respectivo telhado espaçadas 5mm. O gancho deve ser pressionado contra a telha. Deve ser efectuada uma recessão na telha que cobre o gancho, no ponto em que esta sobressai da cobertura, usando para efeito uma rebarbadora.

### Exemplo da colocação de um gancho no telhado



**Figura 3.9.** Ganchos para telhas [2]



**Figura 3.10.** Colocação de um gancho no telhado [2]

### **Abraçadeiras e grampos de rebordo**

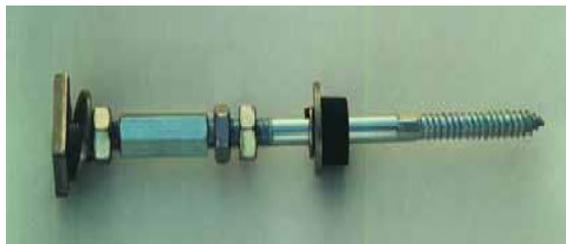
Nos telhados ondulados usam-se umas pinças especiais, que se fixam firmemente nos rebordos das chapas. As abraçadeiras apropriadas para rebordo de secção redonda são colocadas na cobertura do telhado e apertadas firmemente na telha. Para cobertura de telhado de placa metálica trapezoidal, existem grampos especiais que são fixados com parafusos. As placas metálicas do telhado podem ser aparafusadas usando a furação fornecida pelas abraçadeiras e grampos. A título de exemplo foi demonstrado no anexo A.8.5, a utilização destes grampos num telhado de placa metálica trapezoidal (estes grampos encontram-se na legenda em anexo e são denominados por fixador intermédio e de fecho).



**Figura 3.11.** Grampo de rebordo vertical [2]

## **Parafusos usados para telhados de placas onduladas de fibrocimento**

Este tipo de parafusos utilizados para fixar os painéis FV sobre a cobertura dos telhados, são especialmente desenvolvidas, para coberturas onduladas ou trapezoidais de aço inoxidável, sendo também apropriada, para vários tipos de telhados perfilados. A cobertura do telhado é perfurada nos pontos de fixação do telhado e o parafuso é aparafusado na viga. A porca inferior do parafuso pressiona a borracha de selagem contra a cobertura do telhado e sela o furo. A distância das calhas para o suporte do telhado, é definido usando duas contra porcas que fixam a placa de montagem. Em termos estruturais, este tipo de fixação do telhado pode suportar cargas substancialmente mais elevadas do que a fixação de telhados através de abraçadeiras e grampos de rebordo. No anexo A.8.6. encontram-se alguns exemplos de aplicação destes parafusos de fixação em telhados.



**Figura 3.12.** Parafusos de fixação para telhados de placas onduladas de fibrocimento [2]

## **Descrição da fixação dos painéis FV através dos sistemas de calhas**

### Aperto do ponto

As abraçadeiras de frente e verso colocados no centro entre os dois painéis, e as abraçadeiras unilaterais utilizadas na extremidade dos painéis no fim da fileira<sup>21</sup>, são fixadas geralmente em calhas de deslizamento, através de parafusos de seistavado, que apertam na cavidade das calhas de sustentação. O comprimento do parafuso, ou a altura ideal da braçadeira são seleccionados de acordo com a altura da estrutura do painel. Frequentemente, um dispositivo anti-derrapante é montado, para um suporte de batente ou um parafuso simples colocado nos furos de montagem da estrutura do módulo), de modo que os painéis não deslizem das calhas ao serem montados ou substituídos. Isto torna a montagem dos painéis mais fácil, uma vez que podem ser facilmente colocados sobre as calhas e deslocados então da posição.

---

<sup>21</sup> Conjunto de painéis ligados em série

A título de exemplo, é demonstrado no anexo A.8.7 como o painel é fixado nos sistemas montagem através de calhas, utilizando a técnica do aperto do ponto.

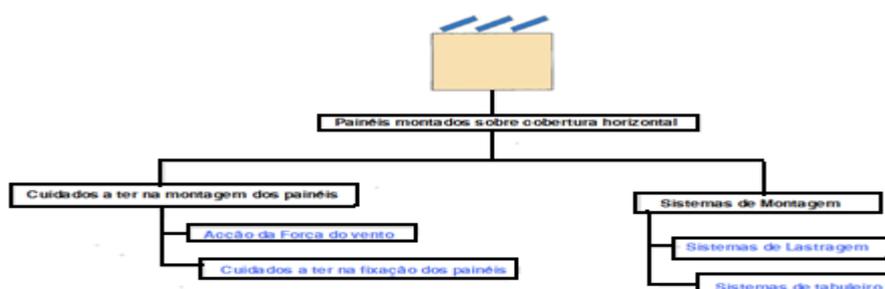
### Aperto linear

Se os painéis forem fixados através de um aperto linear, em vez de abraçadeiras de ponto, os painéis são aqui apertados, através de tiras de aperto contínuas. As vantagens incidem sobretudo na aparência atractiva e no facto de a montagem ser simples, uma vez que os painéis podem ser facilmente inseridos na secção sem deslizar e não tendo que ser alinhados e fixados individualmente. No entanto, a subestrutura, é mais elaborada porque requer dois sistemas de calhas. No anexo A.8.8, é demonstrado um exemplo de como os painéis são fixos através do aperto linear.

## **3.2.Coberturas horizontais**

Enquanto, que as coberturas inclinadas, condicionam a orientação e a inclinação dos painéis FV, as coberturas horizontais, permitem uma certa liberdade ao projectista de sistemas FV. Desta forma há que ter em conta as limitações e características das superfícies disponíveis para a implementação de um sistema FV. As coberturas horizontais, 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 painéis: frequentemente é possível orientá-los na direcção norte 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 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.

### **3.2.1. Montagem em coberturas horizontais**



**Figura 3.13.** Painéis FV montados sobre coberturas horizontais [2]

Os painéis são geralmente inclinados segundo um determinado ângulo favorável<sup>22</sup>, utilizando para isso uma estrutura de suporte. Consequentemente deverá ser garantido, antes da instalação dos painéis FV, que a funcionalidade do mesmo seja mantida durante o tempo de vida útil. Uma vantagem da colocação de painéis FV sobre a cobertura, é que estes produzem sombras, o que permite reduzir a carga térmica da cobertura.

No que respeita aos componentes metálicos utilizados para fixar os painéis FV, é preciso protegê-los contra a corrosão. Para isso, é necessário ter em conta que, todos os acessórios mecânicos, que fazem parte da fixação dos painéis sobre a cobertura, estão expostos às diversas condições climáticas, daí que se deva utilizar apenas um tipo de metal. A combinação de vários metais, só podem ser utilizadas, se for garantido que não haverá qualquer risco de reacções electroquímicas<sup>23</sup>.

Por outro lado, deve-se garantir que as estruturas onde os painéis vão ser colocados antes de serem fixos sobre a cobertura, sejam construídas de modo, a que não sejam criados cantos onde se possa acumular sujidade, uma vez que isso iria criar pontos potenciais de início de corrosão. Em locais onde existe a possibilidade de queda de neve, a base dos painéis devem garantir uma distância mínima para o telhado de modo a que a neve deslize e caia evitando a criação de sombreamento dos painéis.

Quando os painéis FV, estiverem sujeitos ao **sombreamento**, o que se verifica, é que a célula deixa de produzir corrente eléctrica levando a um abaixamento do potencial aos seus terminais: Por conseguinte, a corrente eléctrica produzida pelas células adjacentes tende a fluir no sentido do potencial mais baixo, em direcção à célula sombreada. Dado que a célula FV sombreada não se apresenta como uma carga, toda a corrente eléctrica que nela chega transforma-se em temperatura. Com o aumento da corrente eléctrica, a célula FV sombreada pode atingir uma temperatura tal que a pode danificar ao ponto de perder as suas capacidades de produção eléctrica. Para evitar isto, são colocados vários **díodos** ao longo de um conjunto de células FV ligadas em série.

---

<sup>22</sup> Ângulo a partir do qual se consegue tirar dos painéis FV maior proveito em termos da radiação solar.

<sup>23</sup> Processo de corrosão associado ao facto de dois metais de material diferente estarem expostos ambientes adversos.

### 3.2.2. Integração em coberturas horizontais



Figura 3.14. Painéis FV integrados sobre coberturas horizontais [2]

Em consequência da integração dos painéis FV sobre a cobertura horizontal, estes têm normalmente um ângulo reduzido de inclinação (ângulo esse que é dado pela inclinação da cobertura) e estão por isso sujeitos a elevadas temperaturas, uma vez que durante estação do verão a altura do sol relativamente ao horizonte é maior do que no inverno. Isto implica uma menor incidência da radiação solar em relação aos painéis inclinados para esta cobertura. Visto que os painéis inclinados têm um período de tempo maior na posição perpendicular da radiação solar. Logo a radiação solar incidente é maior para os painéis inclinados quando comparados com os painéis integrados em cobertura horizontal. Pode-se concluir, que em termos de aproveitar o máximo rendimento da radiação solar, é preferível instalar os painéis sobre estas coberturas segundo uma inclinação, do que integrar os painéis sobre a cobertura. Para além disso, a menor capacidade de auto-limpeza provoca a acumulação da sujidade sobre os painéis FV, pelo que será necessário limpá-los regularmente.

O facto de se optar por integrar os painéis FV sobre a cobertura horizontal, em vez de os montar simplesmente sobre a cobertura, contribui para um melhor aproveitamento da superfície do telhado. Uma vez que não é necessário utilizar estruturas de suporte, os custos da estrutura de montagem acabam por ser reduzidos.

### 3.2.3. Acção da força do vento sobre os painéis FV

A influência do vento nos painéis tem particular efeito ao nível mecânico, ou seja, em termos dos acessórios mecânicos utilizados para fixar os painéis FV. É na força do vento que em Portugal nos temos que preocupar maioritariamente, embora nalguns pontos do país também se deva ter em linha de conta o peso da neve e do gelo.

No dimensionamento dos sistemas de fixação de painéis às respectivas estruturas é preciso ter uma especial atenção a pressão dinâmica do vento sobre os painéis. Ao fazer a montagem

destes sistemas, temos que levar em conta a distância destes ao solo, uma vez que para minimizar as forças do vento é aconselhável o afastamento do sistema ao solo, de modo a que o vento possa fluir livremente em torno das várias filas de módulos. Além disso, como se pode verificar na Fig.3.15, deve-se dar uma distância mínima de 1,2 m ao longo do lado maior da parte lateral do edifício, e 1,5 m ao longo do lado menor do edifício. Deve-se respeitar estas distâncias a quando da instalação, uma vez que é preciso ter em conta a manutenção dos painéis, daí que os painéis sejam distanciados do perímetro do edifício para que se possa andar . [2].



**Figura 3.15.** Distâncias dos painéis relativamente ao perímetro da superfície

Do lado do barlavento<sup>24</sup>, cria-se uma zona de alta pressão<sup>25</sup> conforme se pode ver na figura 3.16, do lado do sotavento<sup>26</sup>, a recirculação do ar cria uma zona de baixa pressão<sup>27</sup> conforme se pode ver na figura 3.17 [11].



**Figura 3.16.** Zona de alta pressão ( zona onde o vento atinge a frente da superfície dos painéis) [10]



**Figura 3.17.** Zona de baixa pressão(zona à qual o vento atinge a parte da de trás da superfície dos painéis) [10]

A diferença de pressão entre os lados da frente e da retaguarda do painel faz com que se crie uma força, à qual o sistema de montagem deve ser capaz de suportar, sendo dada por:

<sup>24</sup> Direcção à qual o vento se desloca.

<sup>25</sup> Zona onde o vento atinge a frente da superfície dos painéis.

<sup>26</sup> Direcção contrária ao deslocamento do vento.

<sup>27</sup> Zona onde o vento atinge a parte de trás dos painéis.

### 3.2.5. Sistemas de montagem

#### Sistemas de lastragem

Normalmente os sistemas utilizados em coberturas horizontais, são os sistemas montados com lastros<sup>28</sup>. Para este tipo de sistema as estruturas de montagem são instaladas sem ser necessário perfurar o telhado plano. São colocados 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 da cobertura). No anexo A.8.9. e A.8.10. é demonstrado um exemplo destes sistemas de lastragem fixos a blocos de betão.



**Figura 3.18.** Esquerda: Montagem em lajes de fundação e direita: Lastragem com lajes de betão inseridas em secções metálicas [2]

As bases de cimento com arestas de diferentes comprimentos também são utilizadas, uma vez que funcionam como suporte de sustentação. Em termos das bases de cimento (blocos), é possível adquirir blocos com a forma de um **L** nos fornecedores de materiais de construção, juntamente com adequados fixadores angulares e calhas.



**Figura 3.19.** O sistema de base de cimento usa duas bases por painel: sendo a armação do módulo fixada com grampos de aço inoxidável [2]

O **método de lastragem** também pode ser usado sem uma armação de base, sendo os painéis fixados directamente à base de cimento ou aos sistemas de tabuleiros de lastro. Quando se fixam directamente às bases de cimento, cada painel FV é preso a dois suportes de betão com suportes angulares especiais, como se pode verificar pela figura 3.19. Foi concebido uma base

<sup>28</sup> Sistemas montados sem ser necessário perfurar a cobertura.

de cimento para os painéis FV, com fixadores especiais feitos de aço inoxidável. Os painéis são montados longitudinalmente, resultando numa menor elevação da instalação.

Uma outra forma de montagem com lastros, são os **sistemas de tabuleiro**<sup>29</sup>, nos quais os tabuleiros feitos de plástico resistente aos raios UV são colocados na cobertura, sendo repletos com gravilha (ver anexo A.8.11). Estes sistemas podem também ser usados sem nenhuma estrutura adicional de suporte. Os painéis são fixados directamente a estes elementos 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 3.20.** Sistemas de tabuleiro (para coberturas onde são cobertos com gravilha e para locais com jardim [2])

Existem também **sistemas de tabuleiro** designadamente desenvolvidos para locais com jardim. Neste caso, a cobertura onde está o jardim, actua como lastro para a estrutura de suporte. Consiste num tabuleiro de plástico, que assenta directamente na camada de protecção da cobertura. É então coberta pela camada de vegetação, sendo consequentemente seguro à terra. Os perfis de aço inoxidável são então fixados aos tabuleiros. Estes perfis suportam painéis FV com ou sem armação. Nestas coberturas, só poderão ser usadas plantas rasteiras, que não cresçam mais do que o limite inferior dos módulos

### 3.3. Fachadas de edifícios

#### Fachadas ventiladas

As fachadas ventiladas possuem cavidades por onde se verifica a circulação de ar. A parede exterior, que consiste num revestimento ou alvenaria, protege o edifício contra os agentes climáticos 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

---

<sup>29</sup> Sistemas de tabuleiros colocados na cobertura resistentes a raios UV, sendo repletos com gravilha.

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 painéis de vidro-vidro, com vidros de segurança endurecido. Os painéis 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.

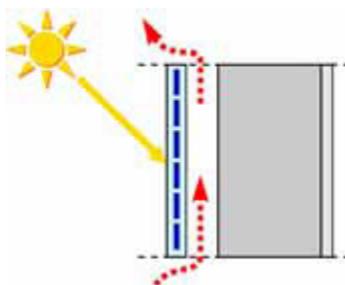


Figura 3.21. Fachada Fria [2]

### Fachadas não ventiladas

As fachadas não ventiladas são fachadas que assumem funções de protecção climatérica, acústica e de isolamento térmico. Por vezes, também têm a função de suporte estrutural. As fachadas quentes não são ventiladas. Aqui são usadas secções com isolação térmica. Nas fachadas não ventiladas, é possível substituir o vidro isolante convencional das áreas transparentes ou semitransparentes, por painéis FV. Por outro lado, os painéis vidro-vidro poderão ser usados em revestimentos, em vez de vidros opacos. No entanto, no caso dos painéis vidro-vidro, o espaçamento entre as células deverá ser suficientemente reduzido para evitar a visualização do isolamento térmico posterior

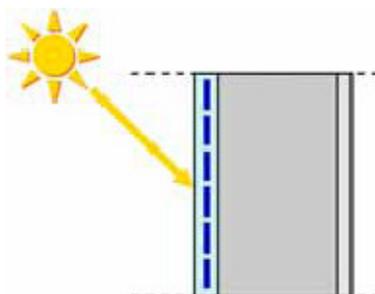
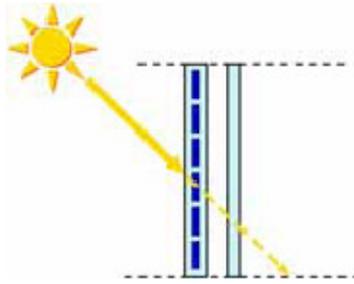


Figura 3.22. Fachada quente, opaca [2]



**Figura 3.23.** Fachada quente, transparente [2]

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).

Nas fachadas não ventiladas, os cabos são incorporados nos perfis das estruturas de suporte. Devido aos furos que têm de ser realizados nas secções perfiladas, deve ter-se 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 [2].

### **3.3.1. Fachadas Fotovoltaicas com painéis**

Na integração em fachadas, os painéis substituem o revestimento externo e tomam as suas funções, quer no caso de serem integrados em fachadas ventiladas quer no caso de serem integrados em fachadas não ventiladas. Os painéis podem ser colocados em apenas algumas secções da fachada ou em áreas inteiras. Por sua vez, os painéis FV cumprem três funções: produção de energia eléctrica, envolvente externa (protecção climatérica, isolamento térmico, etc.) e instrumento de marketing. De referir também, que os painéis FV 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

A integração dos painéis FV sobre as fachadas, em comparação com os painéis FV montados sobre a cobertura do telhado, apresenta uma menor produção de energia devido ao seu grau de inclinação.

No entanto, a colocação de painéis em fachadas tem também as suas vantagens. Uma das vantagens é o facto de se poderem substituir elementos considerados caros das fachadas, como é o caso das placas de pedra ou de aço inoxidável, por elementos FV, resultando assim custos evitados que tornam o sistema FV muito interessante sob o ponto de vista económico.

Também será de ter em conta os benefícios que advém de elementos FV, para além de gerarem energia têm também aliado a si o facto de trazerem vantagens em termos arquitectónicos. As vantagens que se podem tirar dos painéis FV em termos arquitectónicos, residem principalmente pelo facto destes oferecerem enormes possibilidades em termos de desenho ao edifício, uma vez que os painéis 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, devem ser facilmente acessíveis para que, na eventualidade de uma falha, possam ser substituídos.

### 3.3.2. Fixação dos painéis FV sobre as fachadas

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



Figura 3.24. Sistema de montagem integrados nas fachadas [2]

### 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. A estrutura de montagem dos vidros, proporcionam a fixação mecânica e a selagem. Se forem usados elementos FV em vez de vidro normal ou isolante, deve-se primeiro furar a armação por forma, a permitir a passagem dos cabos.

## **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 painéis, este tipo de sistemas são extremamente apropriados para a montagem de painéis FV. Se forem pré-fabricados, facilitam a passagem dos módulos e reduzem o risco de danificar os painéis no local da construção.

## **Fixações de suporte linear bilateral**

Nas fixações de suporte linear bilaterais, os painéis vidro-vidro, são suportados nos extremos superiores e inferiores por secções perfiladas. Os painéis, 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.

## **Fixações pontuais**

De acordo com a norma **DIN 18516-4**, nas fixações pontuais de placas de vidro, a superfície do agrafó que cobre o vidro deve ter uma área 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. [2]

## **Capitulo 4 Instalação de Sistemas Fotovoltaicos**

O crescente desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica significa que, nos dias de hoje, o projectista do sistema tem ao seu dispor uma grande variedade de painéis 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 FV requer um extenso conhecimento profissional e, em alguns dos casos, o envolvimento de profissionais de várias áreas (carpinteiros, electricistas, empreiteiros, etc).

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 sistema FV. 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 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.

#### **4.1. Localização e orientação dos painéis FV**

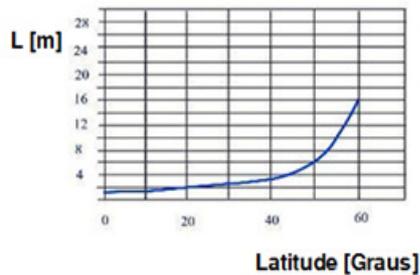
Os sistemas FV apresentam melhor desempenho em regiões mais ensolaradas<sup>30</sup>, com baixo nível de nebulosidade e menor número de dias encobertos ou chuvosos no decorrer do ano.

Para a boa instalação é importante seleccionar a melhor localização possível para os painéis FV. A localização dos painéis deve reunir duas condições:

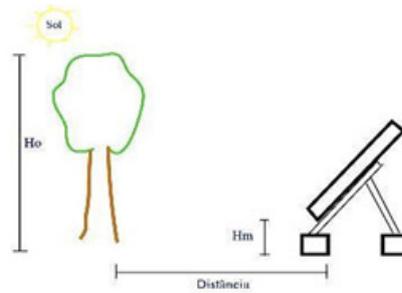
- 1) Estar o mais próximo possível das baterias (a fim de minimizar a secção do cabo)
- 2) Ter condições óptimas para a recepção da radiação solar. Os painéis deverão estar suficientemente afastados de qualquer objecto que projecte sombra sobre eles no período de melhor radiação (habitualmente das 9 às 17 horas) no dia mais curto do ano.

---

<sup>30</sup> Com níveis de irradiância mais altos.



**Figura 4.1.** Variação da distância em função da latitude do lugar de instalação [4]



**Figura 4.2** Distância mínima a que poderá estar localizado um objecto do painel [4].

A figura 4.2 ajuda a calcular a distância mínima em [m] a que um objecto poderá estar dos painéis a fim de que não projecte sombra sobre os mesmos durante o Inverno, três horas antes e três horas depois do meio-dia. Para isso, também é importante identificar a latitude do lugar de instalação para determinar o comprimento em metros que deve ser calculado qualquer objecto para que não fique sujeito a sombra. Assim, a distância mínima a que poderá estar localizado o objecto (neste caso o painel), será dado de acordo como indicado na figura 4.2. [4]

Da análise desta figura, resulta a equação que determina a distância mínima a que poderá estar localizado um objecto do painel, a fim de evitar o sombreamento sobre o painel.

$$\text{Distância} = L \times (H_o - H_m) \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde:

$L$  = Comprimento obtido da figura 4.1.

$H_o$  = Altura do objecto

$H_m$  = Altura em relação ao nível do solo em que se encontram instalados os módulos

Os painéis deverão ser orientados de modo a que a sua parte frontal fique orientada para sul (hemisfério Norte).

Para conseguir um melhor aproveitamento da radiação solar incidente, os painéis deverão estar inclinados em relação ao plano horizontal num ângulo superior a  $22^0$  (no caso de Portugal) [5].

## **4.2. Instalação dos restantes equipamentos**

### **4.2.1. Regulador de carga**

O regulador de carga das baterias deverá ser instalado o mais próximo possível do banco de baterias pois os controladores mais modernos possuem dispositivos de compensação de temperatura automáticos que ajustam o nível de carga dos módulos solares conforme a temperatura do banco de baterias

### **4.2.2. Baterias**

As baterias deverão ser instaladas num compartimento separado do resto da habitação e com ventilação adequada, e com os seus terminais protegidos contra possíveis curto-circuito e interligada com fiação por meio de conectores.

### **4.2.3. Inversor central**

O inversor central deverá, sempre que seja possível, ser instalado junto da caixa do contador ou na sua proximidade. Se as condições ambientais o permitirem, fará sentido instalar o inversor perto da caixa de junção geral do sistema FV. Este procedimento permite reduzir as perdas de energia que ocorrem através do cabo principal DC<sup>31</sup>, assim como reduzir os custos de instalação. Os grandes inversores centralizados são frequentemente instalados junto com outros dispositivos eléctricos, tais como aparelhos de ligação, de protecção, de corte, etc., num armário/quadro de potência.

## **4.3. Notas gerais de instalação**

Uma vez que os sistemas FV são montados no exterior, devem ser respeitadas as especificações (UV<sup>32</sup>, 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). Para além disso, devem ser mantidas os requisitos de segurança para as instalações eléctricas.

---

<sup>31</sup> Corrente contínua

<sup>32</sup> Radiações Ultra Violetas.

Para além disto, estão no A.8.12. outros cuidados a ter na colocação de painéis FV.

#### **4.4. Notas sobre instalações DC (corrente contínua)**

- A intensidade de corrente DC que atravessa o painel é praticamente proporcional à variação da irradiância ao longo do dia. Por outro lado, a tensão nominal, permanece relativamente constante com as variações da radiação solar.
- 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 FV estão sob tensão.

## **Capitulo 5 Cálculo de Instalações Solares Fotovoltaicas**

Neste capítulo são apresentados os métodos de cálculo para determinar o dimensionamento do inversor, o dimensionamento da configuração do sistema FV e por fim dois métodos de cálculo para o dimensionamento da cablagem.

Estes dimensionamentos vão ser calculados para dois tipos de sistemas FV:

- O primeiro, terá como objectivo fornecer energia produzida pelos painéis FV, à rede eléctrica pública
- O segundo terá como função suportar o consumo energético de uma habitação, sem ligação à rede pública.

Antes de dimensionar o inversor tem que se determinar a potência máxima que o sistema FV produz para o caso de sistemas ligados à rede. Para o caso de sistemas isolados tem que se determinar a potência máxima que o sistema FV tem que produzir para garantir as exigências de um determinado consumo habitacional.

Posto isto, para determinar a potência que um dado sistema FV produz, é preciso determinar primeiro o número de painéis FV a instalar.

### **Cálculo para determinar o número de painéis do sistema FV a instalar**

A determinação do número de painéis FV necessários para garantir as exigências de produção de energia para um dado consumo habitacional e para o caso da produção de energia para fornecer à rede pública depende dos seguintes factores:

- Local a instalar os painéis FV.
- Escolha dos painéis a utilizar, uma vez que as características técnicas dos painéis variam consoante o modelo escolhido.
- Tipo de cobertura ( horizontal ou inclinada).
- Dimensões do espaço da cobertura para a instalação dos painéis FV.
- Inclinação dos painéis relativamente à cobertura.

Verificando todas estas condições, determina-se o **número total de painéis FV ( $N_T$ )** a instalar. Por conseguinte, sabendo o número de painéis a instalar e sabendo a potência máxima fornecida pelo painel, estamos em condições de determinar a potência máxima fornecida pelo conjunto de todos os painéis, bastando para isso multiplicar o número de painéis a instalar pela potência máxima fornecida por cada painel.

Todo o estudo associado ao cálculo do número de painéis FV, e o cálculo da potência máxima fornecida pelo sistema FV, foi realizado na Tese do ano lectivo anterior denominada (*''- Simulação de uma instalação fotovoltaica com ligação à rede pública e numa habitação isolada''*, realizado pelo Mestre Nilton Oliveira-).

Assim sendo, a equação geral que permite calcular a potência máxima que um painel FV produz, e dada por:

$$P_{\text{máx}} = V_{\text{máx}} \times I_{\text{máx}} \quad \text{Equação 5.1}$$

Em que  $P_{m\acute{a}x}$ , é a potência máxima entregue pelo painel FV nas unidades [W],  $V_{m\acute{a}x}$  é a tensão máxima entregue pelo painel FV nas unidades [V] e por fim  $I_{m\acute{a}x}$  é a corrente entregue pelo painel FV nas unidades [A]. [ 8]

Tal como já foi referido anteriormente, para determinar a potência máxima do sistema FV ( $P_{m\acute{a}x,sistFV}$ ), basta multiplicar o número de painéis a instalar ( $N_p$ ), pela potência máxima fornecida por cada painel ( $P_{m\acute{a}x}$ ). A potência máxima que o sistema FV produz é dada por:

$$P_{m\acute{a}x,sistFV} = N_p \times P_{m\acute{a}x} \quad \text{Equação 5.2}$$

## 5.1 Dimensionamento do inversor

No dimensionamento do inversor deve-se ter em conta as suas especificações técnicas, uma vez que estas fornecem informação para o dimensionamento do sistema FV, pelo que é fundamental que sejam respeitadas. A configuração do sistema FV determina o nível de tensão e a classe de potência dos inversores. Por outro lado é preciso garantir que em nenhum momento, a tensão máxima de entrada do inversor seja ultrapassada. Outro critério necessário para dimensionar o inversor é relacionar a tensão mínima deste, com a tensão apresentada pelo sistema FV.

### 5.1.1 Determinação da potência do inversor para sistemas ligados à rede e para sistemas autónomos

A escolha da potência do inversor para **sistemas ligados à rede** depender da potência máxima do sistema FV. A potência máxima do sistema FV é calculada através equação 5.2. Depois de sabermos a potência máxima do sistema FV, para o correcto dimensionamento do inversor, devemos escolher um inversor cuja potência deve ser superior à potência máxima do sistema FV [11], ou seja,

$$P_{m\acute{a}x,inv} > P_{m\acute{a}x,sistFV} \quad \text{Equação 5.3}$$

A partir equação 5.3 consultando um catálogo de inversores, seleccionamos o inversor e retiramos os níveis máximos e mínimos de potência do inversor.

A razão que leva a escolher, uma potência para o inversor, superior á potência do sistema FV, reside no facto de garantir a segurança do inversor, senão o inversor não teria capacidade para suportar a potência do sistema FV, dando origem assim à danificação do próprio inversor.

Para o caso de **sistemas autónomos**, a potência do inversor é determinada da mesma forma, ou seja, a potência escolhida para o inversor terá que ser também superior a potência máxima necessária que o sistema FV tem que produzir para garantir as exigências de um determinado consumo habitacional. Logo, a equação que traduz isto é dada pela equação 5.3, mas neste caso para sistemas autónomos.

### 5.1.2 Método de cálculo para a tensão de entrada do inversor para sistemas ligados á rede e para sistemas autónomos

Determinada a potência do inversor, é necessário determinar a tensão de entrada do inversor, e ainda garantir que a tensão de entrada do inversor seja superior à tensão de entrada do sistema FV. Visto que a amplitude da tensão no inversor, resulta do somatório das tensões individuais dos painéis ligados em série numa fileira, sendo isto expresso pela seguinte equação:

$$V_{entrada,inv} = \sum_{i=1}^n N_{p,s} \quad \text{Equação 5.4}$$

Então, é necessário determinar a configuração do sistema FV, para assim, determinarmos quantos painéis em série tem o sistema FV, e a partir daqui determinar a tensão de entrada.

Uma vez que a tensão do painel FV e a tensão total do sistema FV dependem da temperatura, logo para o correcto dimensionamento do inversor e por conseguinte da configuração do sistema FV, são determinantes as situações extremas em que o inversor está a funcionar no Inverno e no Verão.

Quando se dimensiona o sistema FV, o intervalo de operação do inversor deve ser ajustado em função da curva característica do sistema FV. O intervalo **MPP** do inversor, (ponto em que está a funcionar à potência máxima) deve incorporar, conforme pode ser visto na figura 5.1, os pontos **MPP** da curva característica do painel FV para diferentes temperaturas. Para além disso, deve-se ter em conta a tensão limite de operação e a tensão máxima admissível do inversor.

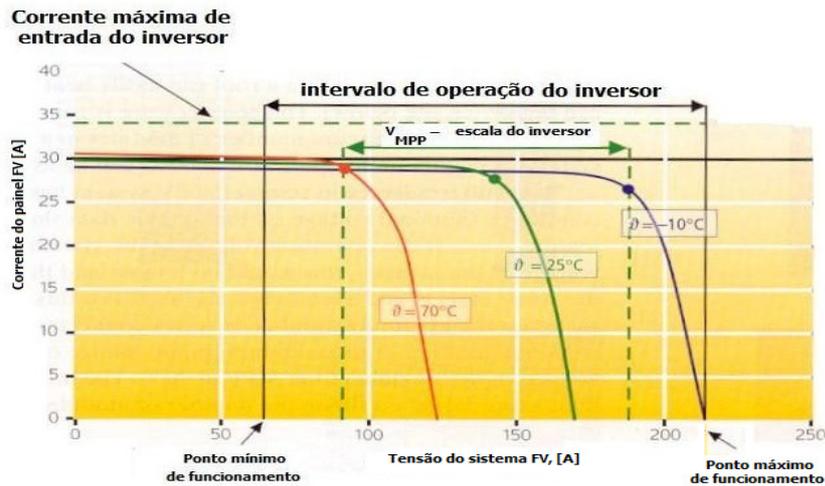


Figura 5.1. Curvas características do sistema fotovoltaico e intervalo de operação do inversor [2]

### 5.1.3 Determinação da configuração do sistema Fotovoltaico

O número de painéis FV a adotar necessário para a configuração do sistema FV deve estar compreendido entre o valor mínimo e máximo dos painéis ligados em série.

#### Número máximo de painéis FV por fileira

O primeiro valor limite, deriva da estação fria para uma temperatura do módulo de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para baixas temperaturas, a tensão de funcionamento do módulo aumenta até ao limite máximo da tensão de circuito aberto. No caso de uma falha na rede num dia soalheiro de inverno, o inversor terá que ser desligado, uma vez que a tensão de circuito aberto será demasiada elevada para se voltar a ligar o sistema em segurança. Desta forma, para se voltar a ligar o sistema em segurança tem que se garantir que a tensão de circuito aberto do sistema ( $V_{OC}$ ), seja menor que a tensão DC máxima admissível do inversor ( $V_{máx,inv}$ ). Caso contrário o inversor poderá ficar danificado. Assim, o número máximo de módulos ligados em série deriva do quociente entre a tensão DC máxima admissível do inversor e a tensão de circuito aberto do módulo à temperatura de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Desta forma, a equação seguinte permite calcular o número máximo de painéis FV que é possível ligar em série numa fileira:

$$n_{máx,painéis,s} = \frac{V_{máx,inv}}{V_{OC(painel,-10^{\circ}C)}} \quad \text{Equação 5.5}$$

Por vezes tensão de circuito aberto dos painéis FV à temperatura de **-10 °C** ( $V_{OC(módulo,-10°C)}$ ), nem sempre vem especificada nas fichas técnicas fornecidas pelos fabricantes. Assim sendo, teremos que usar o gráfico para determinar o valor correspondente. Este gráfico encontra-se no anexo A.8.13, em que mostra a tensão de circuito aberto de um módulo monocristalino ou policristalino que à temperatura de **-10 °C** sofre um aumento de **14 %** em relação às condições de referência CTS [2]. Logo, a equação que permite calcular a tensão de circuito aberto à temperatura de **-10 °C** é dada por:

$$V_{OC(-10°C)} \cong 1,14 \times V_{OC(STC)} \quad \text{Equação 5.6}$$

### Número mínimo de módulos por fileira

No verão, os módulos instalados no telhado podem estar sujeitos a temperaturas próximas de **70 °C**. Esta temperatura serve geralmente de base para determinar o número mínimo de módulos de uma fileira [2].

Para elevados níveis de irradiância no Verão, o sistema FV terá uma tensão aos seus terminais inferior àquela que se verifica para as condições de referência **STC** (tensão nominal que consta da ficha técnica do painel), devido às elevadas temperaturas a que está sujeito. Se a tensão do sistema FV operar abaixo da tensão mínima do inversor ( $V_{min,inv}$ ), este não conseguirá transformar a corrente DC para AC, pois o nível de tensão à entrada, não é suficiente para alimentar o funcionamento do inversor. Por este motivo, o sistema deverá ser dimensionado de tal modo que, o número mínimo de painéis FV ligados em série numa fileira ( $n_{min}$ ), derive do quociente entre a tensão mínima de entrada do inversor ( $V_{min,inv}$ ) e a tensão do módulo à temperatura de **70 °C** ( $V_{MPP(módulo,70°C)}$ ).

Deste modo, a equação que permite calcular o número mínimo de painéis FV ligados em série numa fileira, é dada por:

$$n_{min,painéis,s} = \frac{V_{min,inv}}{V_{MPP(painel,70°C)}} \quad \text{Equação 5.7}$$

A tensão do painel FV à temperatura de **70 °C**, nem sempre vem especificada nos catálogos. Assim sendo, teremos que consultar os dados do gráfico para determinar o valor correspondente. Este gráfico, encontram-se no A.8.13, onde se verifica que a tensão de um painel FV monocristalino ou policristalino à temperatura de **70 °C** sofre uma diminuição de **18%** em relação às condições de referência **STC**. Logo, a equação que permite calcular a tensão mínima de funcionamento do inversor, à temperatura de **70 °C** é dada por:

$$U_{MPP(70^{\circ}C)} \cong 0,82 \times U_{MPP(STC)} \quad \text{Equação 5.8}$$

Depois de determinado o número mínimo e máximo ( $n_{\min,painéis,s}$ <sup>33</sup> e  $n_{\max,painéis,s}$ <sup>34</sup>) de painéis ligados em série, obtemos os parâmetros necessários para determinar a tensão de entrada do inversor. Para isso, recorre-se a um processo iterativo que toma como condição inicial o valor  $n_{\min,painéis,s}$ . O número de painéis efectivo ligados em série deve verificar duas condições: a tensão que os sistema que o sistema FV deve operar de forma de forma a cumprir a tensão mínima de entrada do inversor retirada do catálogo, equação 5.9 e deve verificar a multiplicidade<sup>35</sup>. Esta condição é dada por:

$$V_{\minima,inv} < V_{painel} \times N_{p,s} \quad \text{Equação 5.9}$$

Verificada esta condição, determina-se o número de painéis em série a instalar ( $N_{p,s}$ ), sabendo que  $N_{p,s}$  está entre os valores de ( $n_{\min,painéis,s}$  e  $n_{\max,painéis,s}$ ), como pode ser visto pela equação 5.10

$$N_{\min,painéis,s} < N_{p,s} < N_{\max,painéis,s} \quad \text{Equação 5.10}$$

### Número de fileiras

O número máximo possível de fileiras de painéis ( $N_{fil,possíveis}$ ) que se pode instalar, é igual ao quociente entre os valores máximos da corrente do inversor ( $I_{\max,inv}$ ) e da corrente máxima que está atravessar a fileira de painéis ( $I_{\max,painel}$ ). Logo, a equação que permite determinar o número máximo é dada por:

$$N_{fil,possíveis} = \frac{I_{\max,inv}}{I_{\max,painel}} \quad \text{Equação 5.11}$$

<sup>33</sup> Número mínimo de painéis em série a instalar.

<sup>34</sup> Número máximo de painéis em série a instalar.

<sup>35</sup> Multiplicidade é o termo utilizado para garantir o conjunto completo da fileira, no sistema FV.

Determinando o número de painéis em série a instalar numa fileira ( $N_{p,s}$ ), dado pela equação 5.10, e sabendo o número máximo de fileiras de painéis que se pode instalar ( $N_{fil,possíveis}$ ), dado pela equação 5.11, então para determinar quantas fileiras é necessário instalar ( $N_{fil}$ ), basta dividir o número total de painéis do sistema FV a instalar ( $N_T$ ), determinado anteriormente no início desta secção, pelo número de painéis em série a instalar numa fileira ( $N_{p,s}$ ). Logo, a equação que permite determinar quantas fileiras se instalam é dado por:

$$N_{fil} = \frac{N_T}{N_{p,s}} \quad \text{Equação 5.12}$$

O fluxograma que representa as diversas etapas para dimensionar o inversor e para determinar a configuração do sistema FV, está representado no anexo A.8.13.

## 5.2 Calagens para sistemas FV

Os cabos utilizados no sistema FV devem suportar temperaturas na ordem de 80°C. Os cabos devem ser resistentes a radiação  $UV^{16}$  e flexíveis. Para uma eficaz protecção de terra e de curto-circuito, são recomendados os cabos isolados monoplares para os condutores positivos e negativos [12]. Para as instalações fotovoltaicas situadas em locais onde existe o risco potencial de ocorrência de descargas atmosféricas, deverão ser usados cabos com ecrãs/blindagens. No anexo A.8.14. encontram-se alguns exemplos e cabos usados para sistemas FV.

### 5.2.1 Dimensionamento da cablagem através do método da queda de tensão

De acordo com a norma Europeia **IEC 60364-7-712** [2], o cabo da fileira (cabo entre os módulos) tal como os cabos principais (cabo entre o SF - regulador de carga -baterias – inversor) tem de ser capaz de transportar 1,25 vezes a corrente de curto-circuito do sistema FV, e estar protegido contra falhas de terra e curto-circuitos [2]. Esta norma aplica-se no dimensionamento dos cabos para sistemas isolados assim como para sistemas ligados à rede.

Para determinar a secção dos cabos é necessário determinar os seguintes parâmetros:

### ➤ **Comprimento do cabo [L]**

O comprimento do cabo utilizado na ligação entre os painéis é dada pela altura ou pela largura do painel, que dependendo da forma como os painéis estão dispostos sobre o telhado, ou seja, ligados entre si na horizontal ou na vertical, assumindo mais ¼ da distância.

Sabendo que se deve evitar elevadas dimensões na secção do cabo, então a distância entre os diversos equipamentos deve ser a menor possível.

### **Intensidade de corrente**

A intensidade de corrente que atravessa o cabo das diferentes ligações deve ser determinado de acordo com a norma Europeia **IEC 60364-7-712**. Segundo esta norma intensidade de corrente utilizada para o cabo usado para as diferentes ligações do sistema FV é dado por:

- Para o cabo da Fileira ( cabo entre os painéis), assim como para os cabos principais dos restantes equipamentos do sistema FV (Sistema FV – Regulador de carga Baterias Inversor)

$$I > 1,25 \times I_{cc} \qquad \text{Equação 5.13}$$

### **Perdas de queda de tensão**

De acordo com a norma Europeia **IEC 60364-7-712** , os valores de perda de queda de tensão utilizados para os cabos das diferentes ligações do sistema FV, são dados por [2] :

#### Quedas de tensão

As quedas de tensão usadas para o dimensionamento de cabos em sistemas isoladas são:

- 1% entre os módulos
- 1% entre o sistema FV e regulador de carga
- 1% entre o regulador de carga e as baterias
- 1% entre as baterias e o inversor
- 3% entre o inversor e as cargas [2]

Quanto às quedas de tensão usadas para o dimensionamento de cabos em sistemas ligados á rede são :

- 1% entre os módulos
- 1% entre o sistema FV e inversor
- 3% entre o inversor e a ligação à rede [2]

Então determinando estes parâmetros, utilizamos duas tabelas para determinara a secção do cabo, para as diferentes ligações [27]. Estas tabelas permitem-nos determinar a secção do cabo em  $[\text{mm}^2]$ , em função da corrente que atravessa o cabo (  $I$  ), do respectivo comprimento (  $L$  ). As tabelas utilizadas são dadas para tensão nominal de 24 V.

Para o caso da instalação ser de 48 ou 72 V, procede-se da mesma forma, mas nesse caso deve-se dividir a secção obtida nas tabelas para 24 V, por 2 ou 3, respectivamente. Se o valor que resultar desta divisão não coincidir com um valor normalizado de secção deve-se adoptar a secção imediatamente superior. [4]

As tabelas utilizadas encontram-se no anexo A.8.15 e são dadas para uma tensão nominal de 24 V.

Outro método de cálculo da secção transversal do cabo encontra-se no anexo A.816.

## Capitulo 6 **Manutenção**

Na instalação de sistemas FV, para além das recomendações que se devem ter, em termos de boas práticas de funcionamento dos sistemas FV, é preciso ter também em conta, a manutenção dos mesmos.

Visto que os painéis FV estão expostos no exterior, e por isso sujeitos a todo o tipo de sujidade é necessária uma manutenção cuidada quanto à sujidade na superfície. Uma vez que na maioria dos casos, os painéis FV são instalados sobre as coberturas dos telhados, com uma certa inclinação, contribuindo numa boa solução em termos de limpeza uma vez que a sujidade que ali se encontra irá atingir o solo. No entanto, o facto de eles estarem inclinados, nada nos garante, que toda a sujidade presente na superfície do painel seja nula, logo é preciso evitar a acumulação da sujidade, pois interfere na eficiência do sistema fotovoltaico, impedindo assim que a radiação chegue às células FV.

Para além disso, é preciso verificar periodicamente o ângulo de inclinação dos painéis FV, uma vez que é comum as estruturas de fixação sofrerem pequenos desvios provocados pela acção da força do vento e até mesmo pelo desgaste mecânico da estrutura, impedindo desta forma, aproveitamento máximo de radiação incidente na sua superfície. É preciso também ter em consideração a colocação dos painéis FV em relação a toda a envolvente do edifício, ou seja, em relação aos obstáculos ao seu redor, tanto como possíveis obstáculos futuros que possam surgir, uma vez que estes podem contribuir para o sombreamento da superfície dos painéis, sendo por isso um fenómeno também a evitar.

Deve-se também verificar periodicamente, se as ligações eléctricas, no caso de estas não estarem bem ajustadas ou no caso de existir algum sinal de oxidação, sendo esta verificação muito importante do ponto de vista a evitar perigos futuros que daí possam surgir.

Por outro lado, é preciso ter atenção relativamente às baterias. Quanto a estas, tem de se garantir um longo período de serviço e uma elevada fiabilidade no fornecimento de energia, o banco das baterias deverá ser alvo de manutenções semestrais. Este trabalho de manutenção compreende as seguintes etapas a verificar:

- Manter limpos os topos das baterias para evitar possíveis curto-circuitos resultantes da acumulação de pó húmido e de sujidade.
- Conferir se os terminais dos cabos estão bem apertados, ou seja, inspeccionar os terminais no ajustamento das ligações
- Verificar periodicamente o nível de água em cada compartimento das baterias
- Identificar possíveis pontos de corrosão nas baterias
- Analisar a existência de sulfatação, pois indica que a bateria contém gás, logo irá provocar uma falha no sistema de regulação

## Capítulo 7 Conclusão

Da pesquisa realizada conclui-se que os Painéis FV são instalados nos edifícios através de dois modos diferentes. A chamada *solução aditiva*, em que os painéis fotovoltaicos são instalados sobre a cobertura (inclinada e horizontal), com a função de gerar energia, e por outro lado existe a *solução integrativa* em que os painéis fotovoltaicos são integrados nas coberturas (inclinadas e horizontais) ou nas fachadas tendo nestas a função de gerar energia, e ainda contribuindo para o isolamento térmico, acústico e desempenhando também funções de segurança. Perante o estudo realizado acerca dos vários sistemas de montagem de painéis fotovoltaicos, conclui-se que estes estão sujeitos a forças exteriores. Assim, as forças que actuam sobre as estruturas de suporte dos painéis, são as forças do vento e tracção, daí que no seu dimensionamento deve-se levar em conta o impacto destas forças.

O modo de cálculo desenvolvido, neste trabalho permite dimensionar o inversor segundo o critério da potência máxima do sistema fotovoltaico, tendo presente a multiplicidade do sistema fotovoltaico e a tensão de entrada do inversor. Os resultados obtidos para o dimensionamento do inversor para o caso de sistema autónomos e ligados à rede, verificaram que para maiores potências produzidas pelo sistema FV iremos ter inversores com gamas de potência mais alta.

Além disso, permite dimensionar a cablagem nas várias ligações do sistema fotovoltaico. Após determinada a secção dos diferentes cabos, verifica-se que à medida que a corrente aumenta a secção transversal do cabo também irá aumentar, por outro lado, aumentando o comprimento do cabo verifica-se também que a secção do cabo irá aumentar, sendo preferível neste caso, evitar maiores distâncias entre a ligação dos vários elementos do sistema FV.

Este trabalho veio complementar a ferramenta desenvolvida anteriormente, tornando o programa mais útil do ponto de vista do projectista de sistemas fotovoltaicos.

## Referências Bibliográficas

- [1] <http://www.donauer.eu/pt/solar-fotovoltaico/conhecimento/tecnologia.html>;  
(7-10-2008)
- [2] Planning and Installing Photovoltaic Systems. A guide for installers, architects and engineers, second edition, earthscan, 2005
- [3] Enciclopédia livre online  
[www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com)
- [4] <http://www.scribd.com/doc/4696/Curso-de-energia-solar-fotovoltaica>; (10-11-2008)
- [5] <http://www.gforum.tv/board/876/281543/guia-instalacao-paineis-solares.html>;  
(10-11-2008)
- [6] M. Carlos Tobajas Vázquez, Energia Solar Fotovoltaica, editorial técnica, segunda edição, 2005
- [7] <http://www.scribd.com/doc/2979125/Fisica-Energia-03-Energia-Solar-IV>; (18-11-2008)
- [8] Mestre Nilton Janicas de Oliveira, Sistemas Fotovoltaicos “ Simulação de uma instalação Fotovoltaica com ligação à rede pública e numa habitação isolada”
- [9] [http://www.conergy.fr/portalData17/Resources/products/photovoltaics/mounting\\_systems/pdf/SOLARROOFII-TD-FRZ-0611.pdf](http://www.conergy.fr/portalData17/Resources/products/photovoltaics/mounting_systems/pdf/SOLARROOFII-TD-FRZ-0611.pdf); (5-12-2008)
- [10] [http://www.conergy.fr/portalData15/Resources/products/photovoltaics/pdf/B\\_SolarDelta\\_web\\_giu08.pdf](http://www.conergy.fr/portalData15/Resources/products/photovoltaics/pdf/B_SolarDelta_web_giu08.pdf); (5-12-2008)
- [11] **Manual do curso de “Projectos de Sistemas Fotovoltaicos” – Elaborado para IXUS por: Engenheiro Josué Morais**
- [12] <http://www.voltimum.pt/cm.jsp?cat=6&subcat=7&action=view&viewmode=details&brand=&cmid=27&universe=s&pagenumber=1&rss=yes>;  
(14-11-2008)

- [13] <http://www.generalcable.pt/Inicio/tabid/386/ctl/Details/mid/3175/ItemID/674/Default.aspx>; (23-11-2008)
- [14] [http://www.norgrupo.com/conteudos/produtos/sistemas\\_solares/fotovoltaica/Caracteristicas%20dos20equipamentos-Microgera%C3%A7%C3%A3o.pdf?PHPSESSID=8f37d3d67073d1faa95fb56a0aea626c](http://www.norgrupo.com/conteudos/produtos/sistemas_solares/fotovoltaica/Caracteristicas%20dos20equipamentos-Microgera%C3%A7%C3%A3o.pdf?PHPSESSID=8f37d3d67073d1faa95fb56a0aea626c) ;(14-11-2008)
- [15] [http://www.conergy.it/PortalData/15/Resources/products/photovoltaics/photovoltaics/mounting\\_systems/pdf/SUNTOPIII-TD-ITA-0511.pdf](http://www.conergy.it/PortalData/15/Resources/products/photovoltaics/photovoltaics/mounting_systems/pdf/SUNTOPIII-TD-ITA-0511.pdf);  
(4-01-2009)
- [16] [http://www.intersol.de/dateien/db\\_int\\_ziegel\\_pt\\_web.pdf](http://www.intersol.de/dateien/db_int_ziegel_pt_web.pdf) ; (10-01-2009)
- [17] [http://www.intersol.de/dateien/db\\_int\\_trapezdach\\_pt\\_web.pdf](http://www.intersol.de/dateien/db_int_trapezdach_pt_web.pdf) ; (10-01-2009)
- [18] [http://www.intersol.de/dateien/db\\_int\\_welleternit\\_pt\\_web.pdf](http://www.intersol.de/dateien/db_int_welleternit_pt_web.pdf) (10-01-2009)
- [19] <http://www.conergy.fr/PortalData/17/Resources/products/photovoltaics/systems/pdf/SOLARROOFIII-TD-FRZ-0611.pdf> ; (10-01-2009)
- [20] [http://www.conergy.it/PortalData/15/Resources/products/photovoltaics/pdf/B\\_SolarDelta\\_web\\_giu08.pdf](http://www.conergy.it/PortalData/15/Resources/products/photovoltaics/pdf/B_SolarDelta_web_giu08.pdf) ; (15-01-2009)
- [21] [http://www.conergy.it/PortalData/15/Resources/products/photovoltaics/mounting\\_systems/pdf/SOLAR\\_GIGANT\\_II-TD-ITA-0512.pdf](http://www.conergy.it/PortalData/15/Resources/products/photovoltaics/mounting_systems/pdf/SOLAR_GIGANT_II-TD-ITA-0512.pdf);(15-01-2009)
- [22] [http://www.intersol.de/dateien/db\\_int\\_flachdach\\_pt\\_web.pdf](http://www.intersol.de/dateien/db_int_flachdach_pt_web.pdf) ;(16-01-2009)
- [23] <http://www.tenesol.com/fr/produits/structures.php> ; (8-01-2009)
- [24] <http://www.activsolar.pt/prod02.htm> ; (27-11-2008)
- [25] [http://www.efapower.efacec.pt/img\\_upload/Fotovoltaico/Dados\\_solarix\\_Ptr.pdf](http://www.efapower.efacec.pt/img_upload/Fotovoltaico/Dados_solarix_Ptr.pdf) ;  
(27-11-2008)
- [26] <https://dsp>

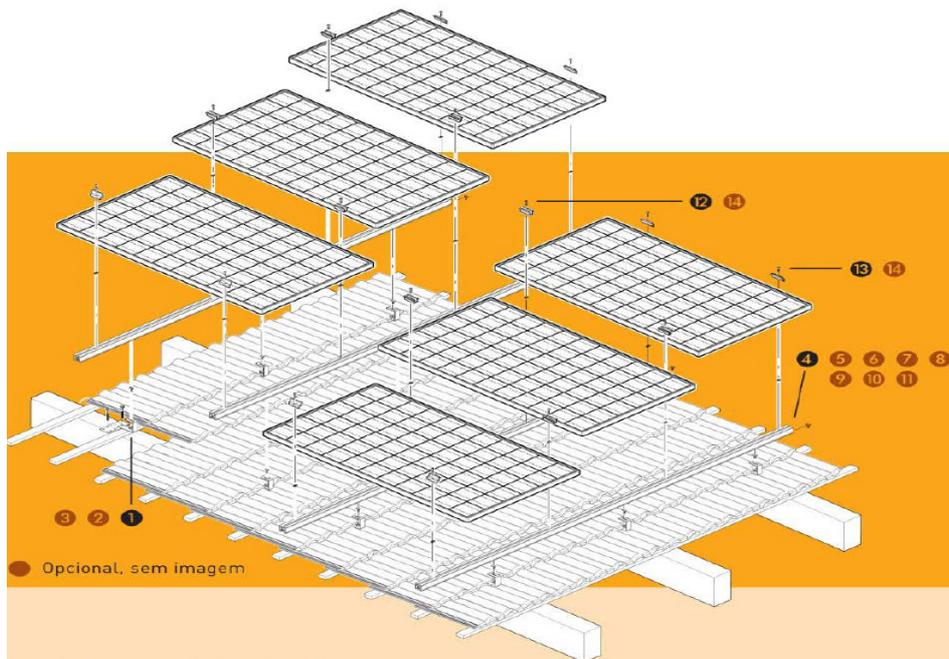
[ace.ist.utl.pt/bitstream/2295/212623/1/Aula%20Teorica\\_16.pdf](http://ace.ist.utl.pt/bitstream/2295/212623/1/Aula%20Teorica_16.pdf) ;

(10-12-2008)

[27] ” **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos / Rio de Janeiro, CRESESB, 1999**”

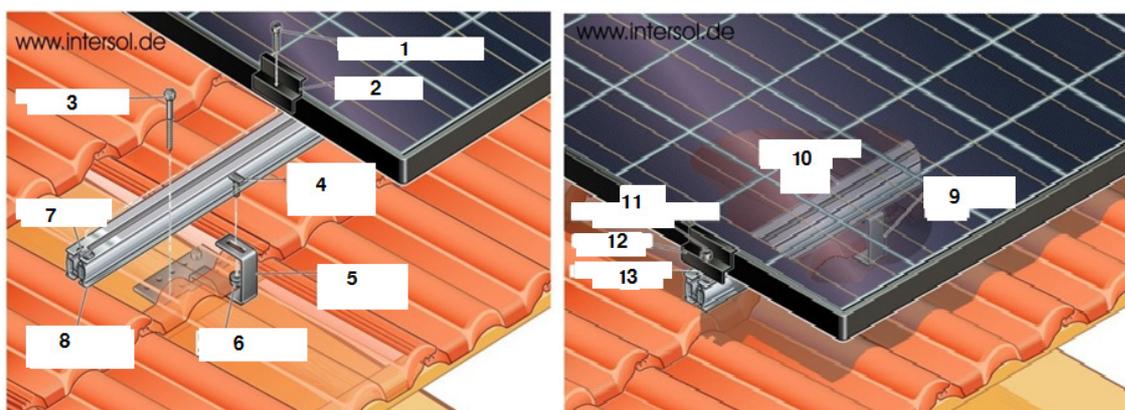
## Capítulo 8 Anexos

### A.8.1 . Montagem dos módulos verticalmente sobre as calhas horizontais de sustentação para telhados inclinados



#### Legenda :





**Figura A.8.1.** Montagem dos módulos verticalmente sobre as calhas horizontais de sustentação [16]

**Legenda :**

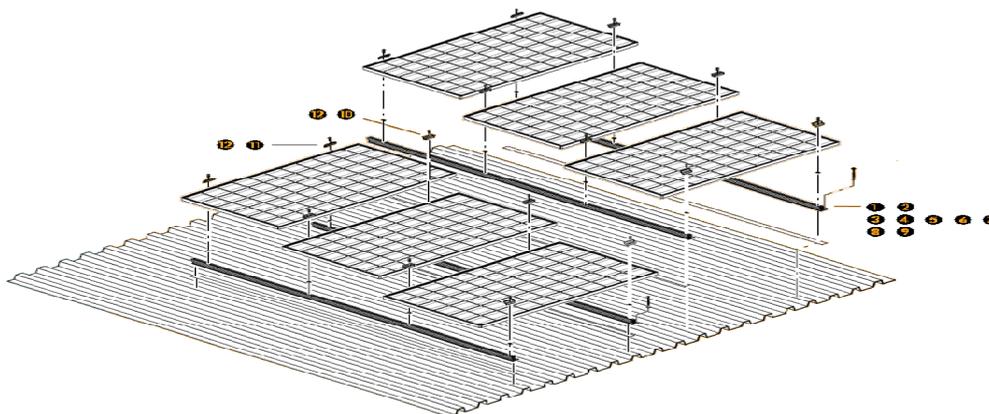
- 1 - Parafuso de cabeça cilíndrica M8**
- 2 - Fixador de fecho**
- 3 - Parafuso para madeira 2x**
- 4 - Parafuso de cabeça rectangular M10 (Aperto)**
- 5 - Gancho de telhado em aço inoxidável**
- 6 - Porca de aço inoxidável Standard**
- 7 - Painéis Fotovoltaicos**
- 8 - Travessa de alumínio 40 x 40**
- 9 - Gancho de telhado em aço inoxidável**
- 10 - Travessa de alumínio 40 x 40**
- 11 - Parafuso de cabeça cilíndrica M8**
- 12 - Fixador de fecho**
- 13 - Painéis Fotovoltaicos**

**Tabela A.8.1.** Especificações técnicas dos componentes do sistema telhado inclinado – Telhas

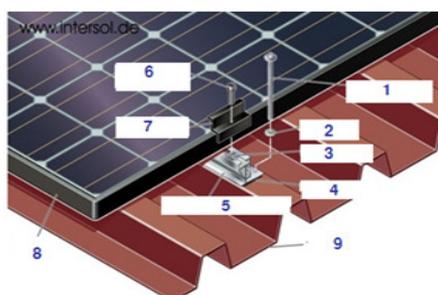
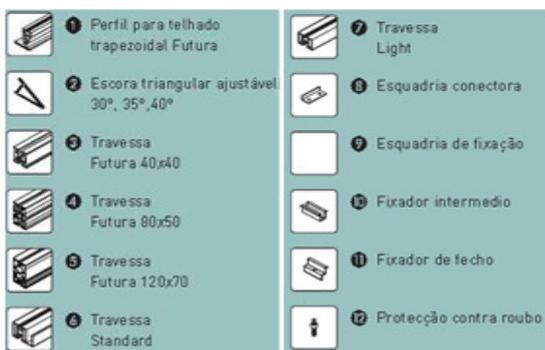
<b>COMPONENTES DO SISTEMA TELHADO INCLINADO - TELHAS</b>				
<b>Subestrutura</b>	<b>Perfil da travessa</b>	<b>Fixação dos perfis</b>	<b>Fixação do painel</b>	<b>Artigo suplementar</b>
<p><b>1. Ganchos de telhado de aço inoxidável</b></p> <p>Standard com placa larga de montagem.</p>	<p><b>4. Futura 40x40</b></p> <p>Para solicitações estáticas normais. Fixação com parafuso de cabeça rectangular. (rosca)</p>	<p><b>9. Placa conectora</b></p> <p>Para prolongamento de perfis. Fixação com parafuso de cabeça rectangular (rosca) e com cabeça ajustável.</p>	<p><b>12. Fixador intermédio</b></p> <p>Fixação com parafuso sextavado interno e porca de aperto. Fixação com parafuso sextavado interno e porca quadrada</p>	<p><b>14. Protecção contra roubo</b></p> <p>Para M8 sextavado interno.</p>
<p><b>2. Ganchos do telhado de aço inoxidável</b></p> <p>Ajuste único com placa larga de montagem.</p>	<p><b>5. Futura 80x50</b></p> <p>Para solicitações estáticas médias. Fixação com parafuso de cabeça rectangular. (rosca)</p>	<p><b>10. Esquadria conectora</b></p> <p>Para prolongamento de perfis. Fixação com parafuso de cabeça rectangular (rosca) e com cabeça ajustável.</p>	<p><b>13. Fixador de fecho</b></p> <p>Fixação com parafuso sextavado interno e porca de aperto. Fixação com parafuso sextavado interno e porca quadrada.</p>	
<p><b>3. Ganchos do telhado de aço inoxidável</b></p> <p>Ajuste duplo com placa larga de montagem.</p>	<p><b>6. Futura 120x70</b></p> <p>Para solicitações estáticas médias. Fixação com parafuso de cabeça rectangular. (rosca)</p>	<p><b>11. Esquadria conectora em Z</b></p> <p>Para ligações tipo viga-pilar.</p>		
	<p><b>7. Standard</b></p> <p>Para solicitações estáticas normais. Canal de cabo inclusive. Fixação com parafuso ajustável.</p>			

## A.8.2 . Montagem dos módulos horizontalmente sobre as calhas verticais de sustentação para telhados de placa metálica trapezoidal e para telhados de placas de fibrocimento onduladas.

1. Montagem dos módulos horizontalmente sobre calhas verticais de sustentação para telhados de placa metálica trapezoidal



### Legenda :



### Legenda :

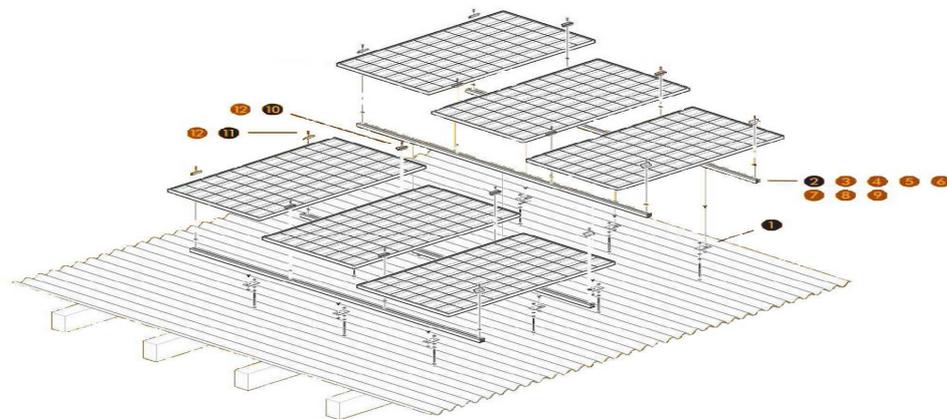
- 1 - Parafuso
- 2 - Anilha
- 3 - Porca de aperto M8
- 4 - Fita adesiva Industrial
- 5 - Perfil para telhado trapezoidal
- 6 - Parafuso de cabeça cilíndrica M8
- 7 - Fixador de fecho
- 8 - Painéis Fotovoltaicos
- 9 - Telhado trapezoidal

**Figura A.8.2.** Montagem dos módulos horizontalmente sobre as calhas verticais de sustentação para telhados de placas metálica trapezoidal [18]

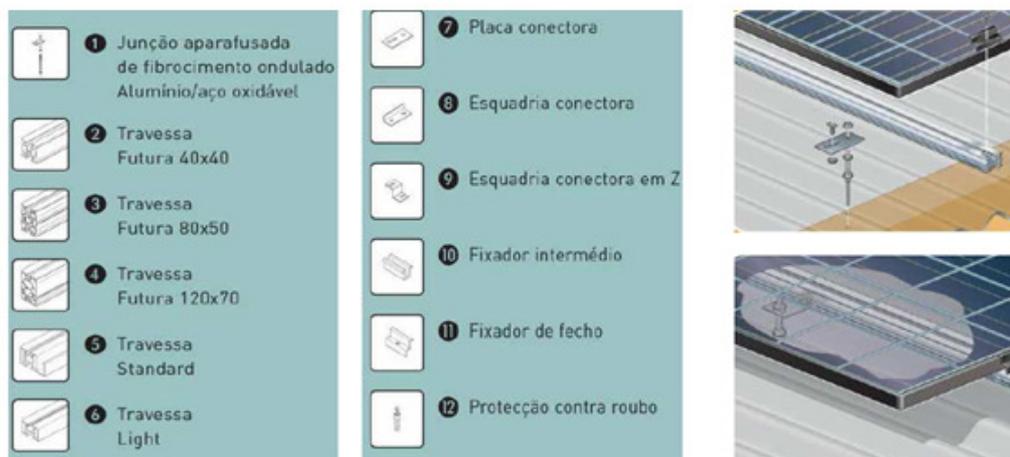
**Tabela A.8.2.** Especificações técnicas dos componentes do sistema telhado inclinado – Telhado Trapezoidal

<b>COMPONENTES DO SISTEMA TELhado INCLINADO - TELhado TRAPEZOIDAL (combináveis individualmente)</b>				
<b>Subestrutura</b>	<b>Perfil da travessa</b>	<b>Fixação dos perfis</b>	<b>Fixação do painel</b>	<b>Artigo suplementar</b>
<p><u>1. Perfil de telhado trapezoidal</u></p> <p>Futura com fita adesiva industrial e aparafusamento</p>	<p><u>3. Futura 40x40</u></p> <p>Para solicitações estáticas normais. Fixação com parafuso de cabeça rectangular. (rosca)</p>	<p><u>8. Placa conectora</u></p> <p>Para prolongamento de perfis. Fixação com parafuso de cabeça rectangular (rosca) e com cabeça ajustável.</p>	<p><u>10. Fixador intermédio</u></p> <p>Fixação com parafuso sextavado interno e porca de aperto. Fixação com parafuso sextavado interno e porca quadrada</p>	<p><u>12. Protecção contra roubo</u></p> <p>Para M8 sextavado interno.</p>
<p><u>2. Suporte triangular ajustável a 30°, 35°, 40°</u></p> <p>Para inclinação suplementar.</p>	<p><u>4. Futura 80x50</u></p> <p>Para solicitações estáticas médias. Fixação com parafuso de cabeça rectangular. (rosca)</p>	<p><u>9. Esquadria conectora</u></p> <p>Para prolongamento de perfis. Fixação com parafuso de cabeça rectangular (rosca) .</p>	<p><u>11. Fixador de fecho</u></p> <p>Fixação com parafuso sextavado interno e porca de aperto. Fixação com parafuso sextavado interno e porca quadrada.</p>	
	<p><u>5. Futura 120x70</u></p> <p>Para solicitações estáticas médias. Fixação com parafuso de cabeça rectangular. (rosca)</p>			
	<p><u>6. Standard</u></p> <p>Para solicitações estáticas normais. Canal de cabo inclusive. Fixação com parafuso ajustável.</p>			
	<p><u>7. Light</u></p> <p>Para solicitações estáticas reduzidas. Fixação com parafuso ajustável.</p>			

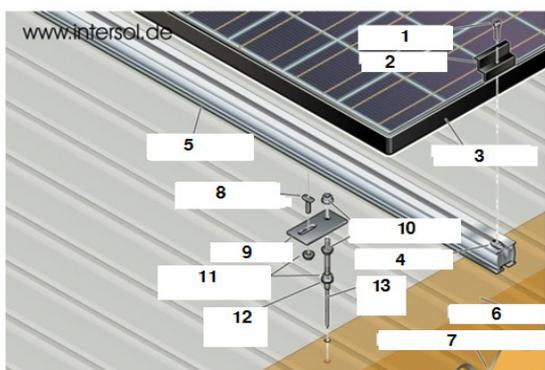
2. Montagem dos módulos horizontalmente sobre calhas verticais de sustentação para telhados de placa de fibrocimento



**Legenda :**



**Legenda :**



- 1 - Parafuso de cabeça cilíndrica M8
- 2 - Fixador de fecho
- 3 - Painéis Fotovoltaicos
- 4 - Porca de aperto M8
- 5 - Travessa de alumínio 40 x 40
- 6 - Travessa do telhado
- 7 - Telhado de fibrocimento ondulado
- 8 - Parafuso de cabeça rectangular M10 (Aperto)
- 9 - Placa de ligação
- 10 e 11 - Porca de aço inoxidável M10
- 12 - Anilha
- 13 - Parafuso

**Figura A.8.3.** Montagem dos módulos horizontalmente sobre as calhas verticais de sustentação para telhados de placas onduladas de fibrocimento [18]

### A.8.3. Sistemas de integrar directamente os paineis em coberturas inclinados

#### 1º Exemplo:

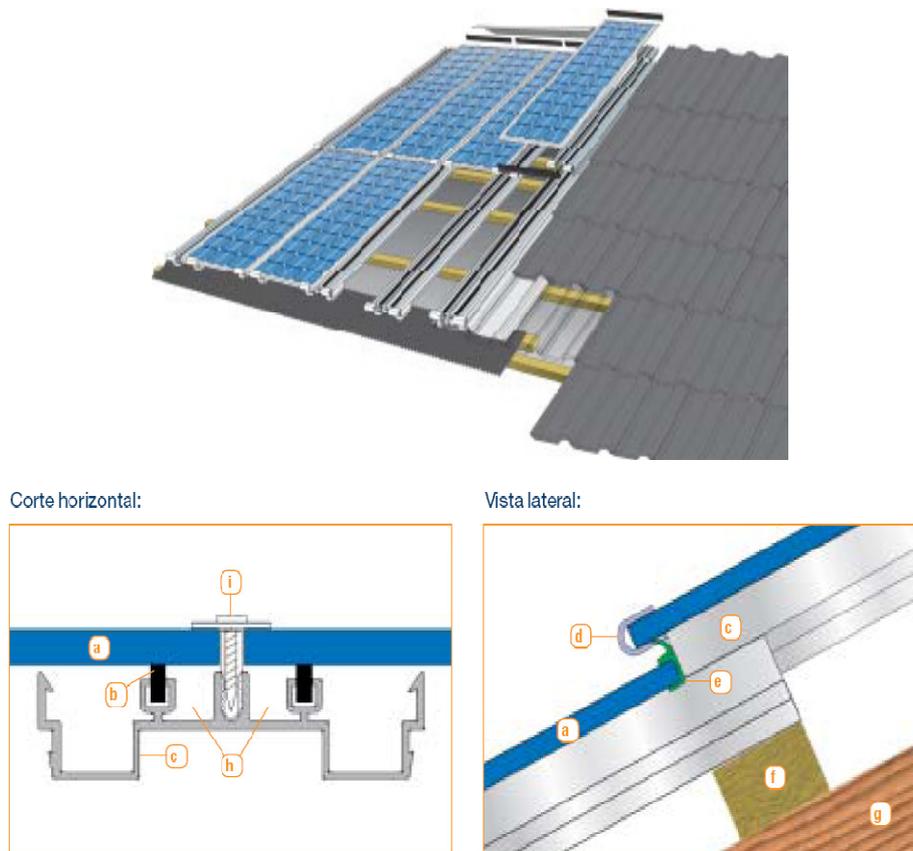


Figura A.8.4. Sistemas de montagem para integrar paineis em coberturas inclinados, Solar Roof III [19]

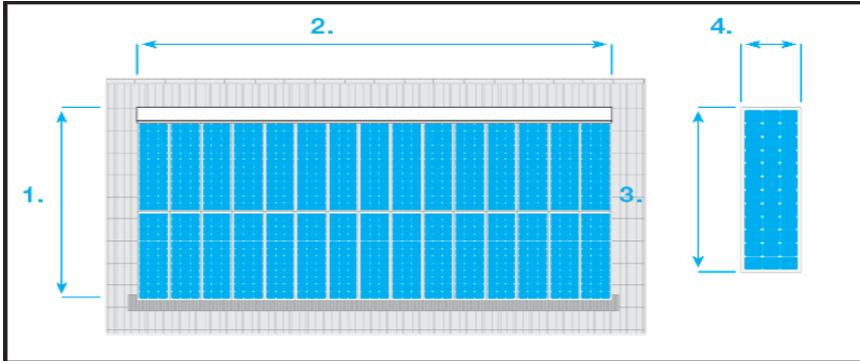
#### Legenda :

##### *Vista do conjunto*

- a- Painel fotovoltaico
- b- Elemento de borracha para assentar o painel
- c- Perfil de apoio para o painel
- d- Gancho
- e- Elemento de borracha para proteger os cantos
- f- Ripa
- g- Viga
- h- Drenagem
- i- Protecção contra a sucção

## 1. Planificação da superfície dos Painéis fotovoltaicos

### Planeamento para a colocação dos painéis



1. Altura dos módulos
2. Largura dos módulos
3. A altura do campo de painéis é igual:

$$(\text{Número de painéis verticais} \times (\text{altura dos painéis} - 20 \text{ mm})) + 150 \text{ mm}$$

4. A largura do campo de painéis é igual a :

$$(\text{Número de painéis horizontais} \times (\text{largura dos módulos} + 5 \text{ mm}))$$

### 2º Exemplo:

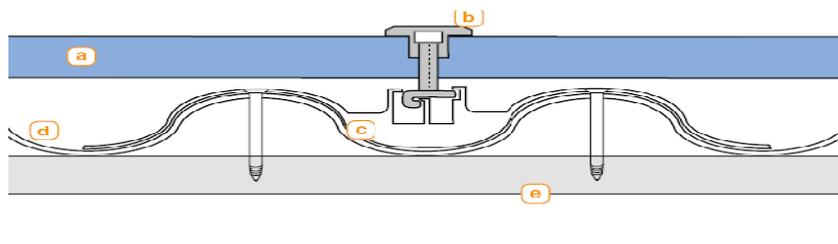
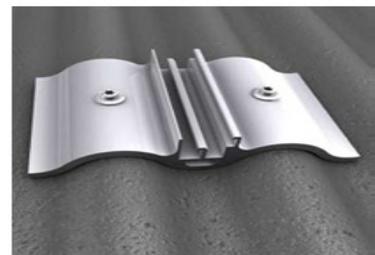
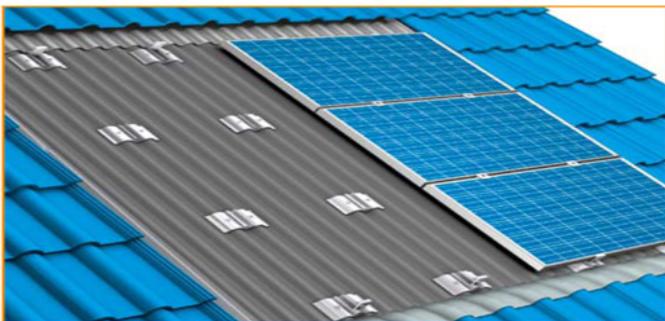


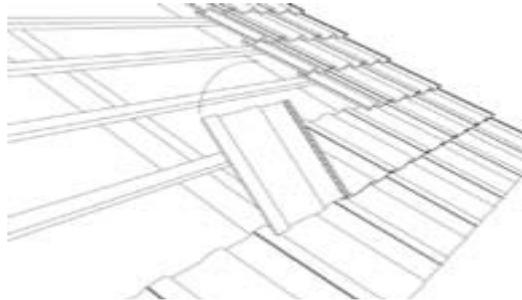
Figura A.8.5. Sistemas de montagem para integrar painéis em coberturas inclinados, Conergy Solar Delta [20]

**Legenda :**

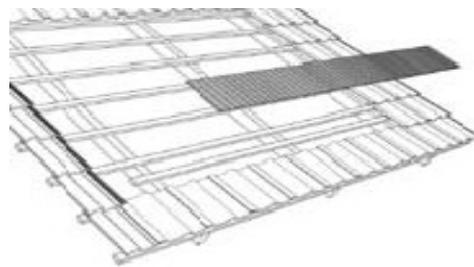
- a- Painel FV**
- b- Protecção contra a sucção**
- c- Perfil para fixar o painel à base**
- d- Telhado de chapa ondulada**
- e- Vigas do telhado**

**Etapas de montagem :**

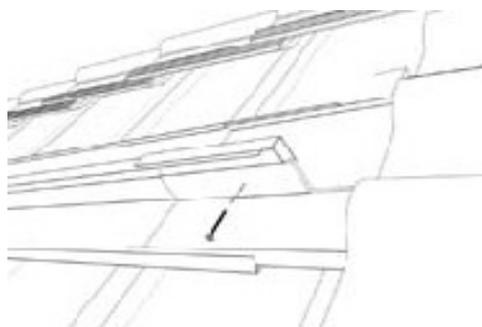
1. Remover a cobertura do telhado



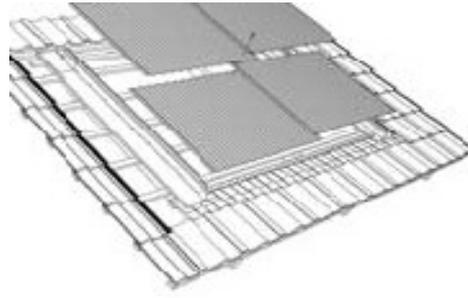
2. Colocar uma banda isolante (banda para proteger da humidade)



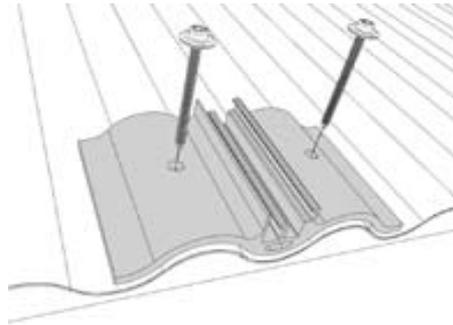
3. Montar os perfis



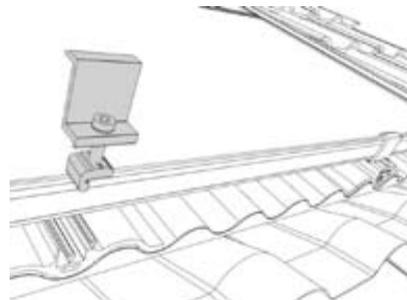
4. Montar a chapa ondulada onde os painéis vão ser fixados



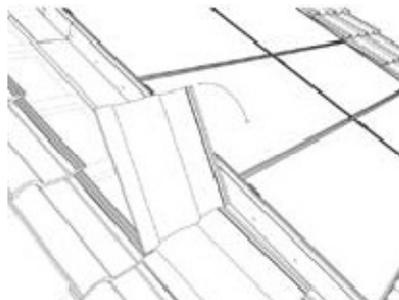
5. Montar os adaptadores



6. Utilizar os grampos onde os perfis vão encaixar



7. Colocar as telhas em volta dos painéis



#### A.8.4. Exemplo de aplicação de ganchos para telhados inclinados

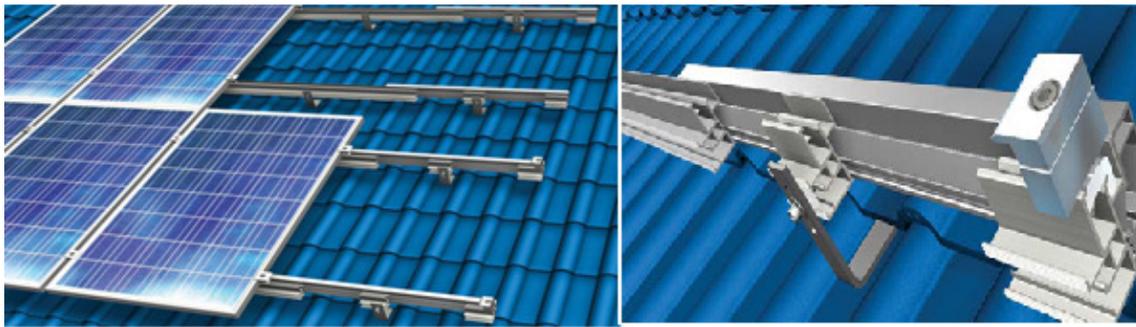


Figura A.8.6. Aplicação de ganchos para fixar as calhas [15]

#### A.8.5. Utilização de grampos de rebordo em telhados de placa metálica trapezoidal



Figura A.8.7. Grampos para telhados de placa metálica trapezoidal [14]

### A.8.6 .Colocação de parafusos de fixação em telhados

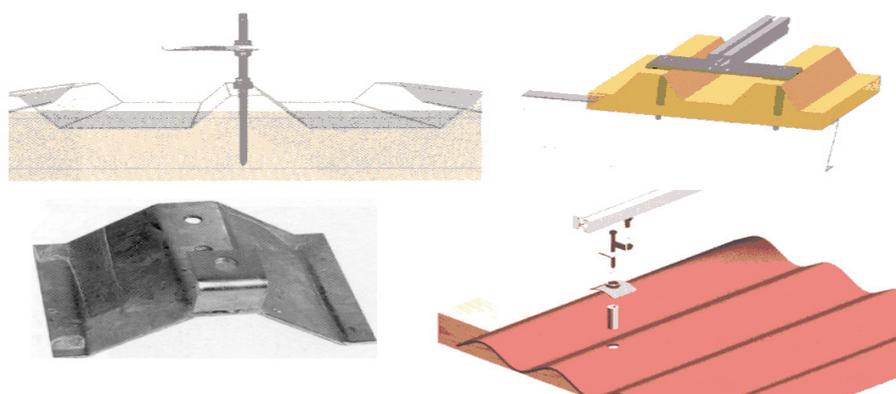


Figura A.8.8. Exemplos de colocação deste tipo de parafusos em telhados com placas de fibrocimento onduladas e em telhados de placa metálica trapezoidal [2]

### A.8.7 . Fixação dos painéis nos sistemas de montagem através de calhas utilizando para o efeito a técnica do aperto do ponto

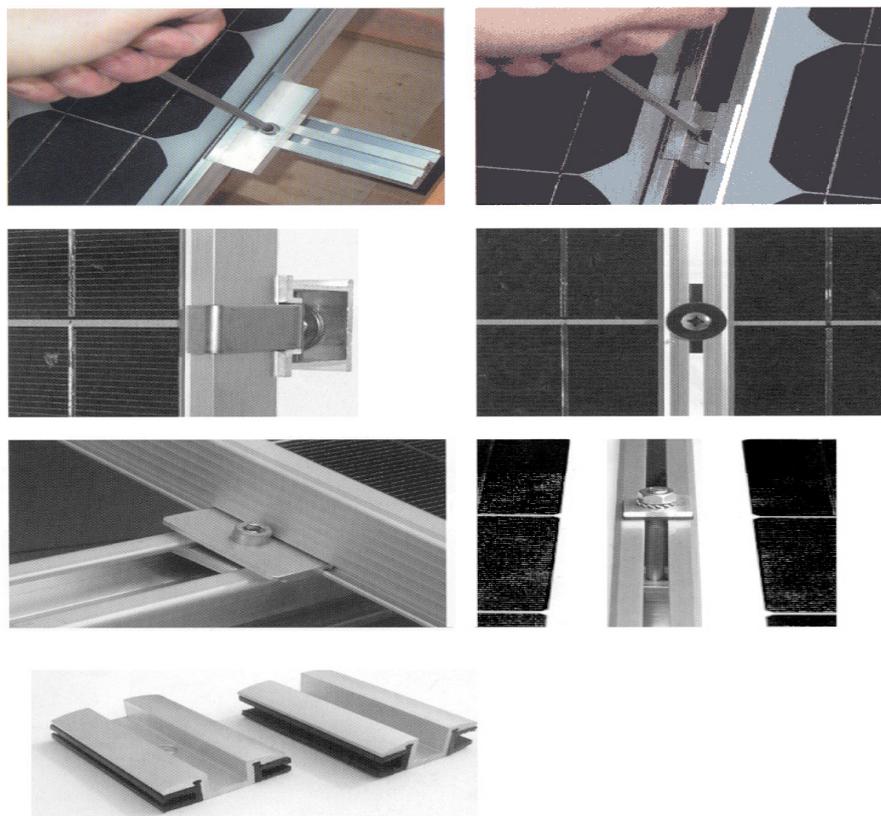


Figura A.8.9. Fixação através do aperto do ponto [2]

### A.8.8. Fixação dos painéis nos sistemas de montagem através de calhas utilizando para o efeito a técnica do aperto linear

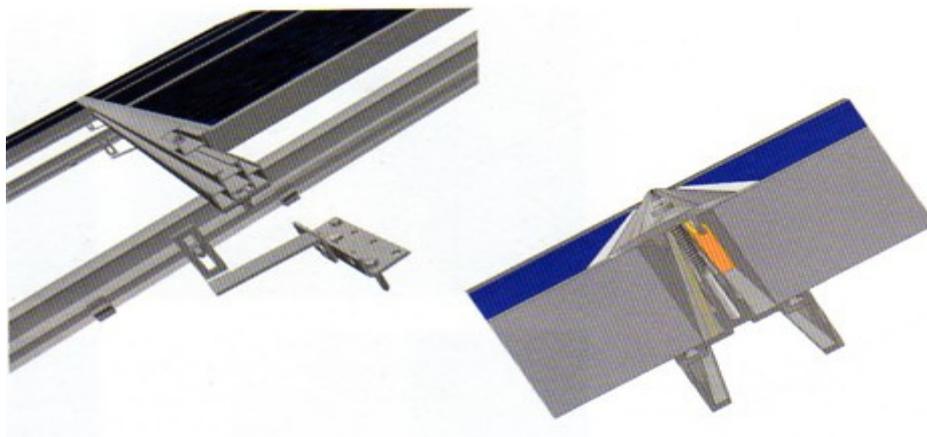


Figura A.8.10. Fixação através do aperto linear [2]

### A.8.9. Sistemas de montagem para cobertura horizontal ( Estrutura triangular colocada na cobertura sobre lajes de betão)



Figura A.8.11. Sistemas de montagem para cobertura horizontal [21]

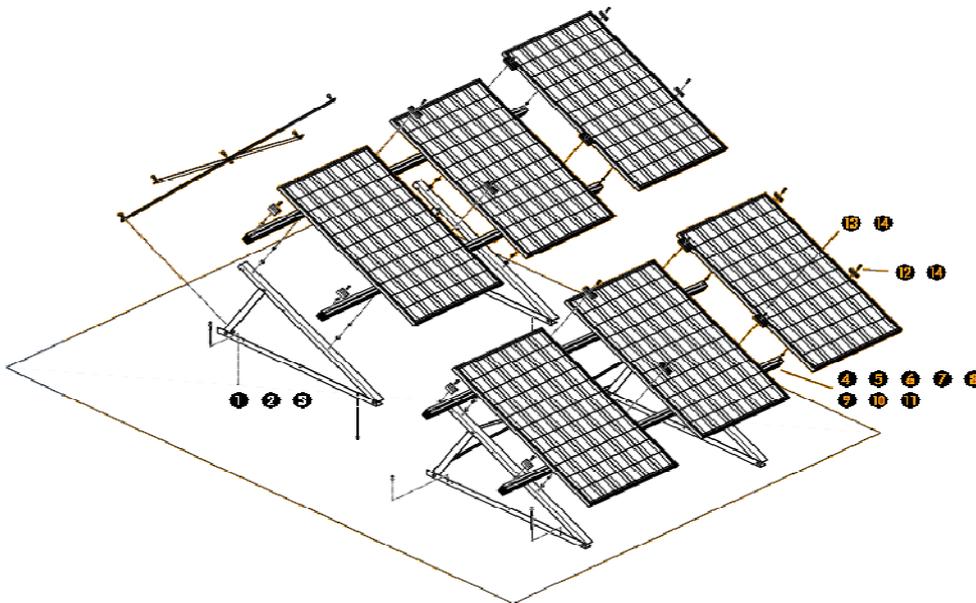


Figura A.8.12. Armação do sistema de montagem [21]

### Legenda da estrutura de montagem dos painéis:

- a. Paineis FV
- b. Calha onde o módulo vai encaixar
- c. Barra transversal de apoio dos módulos
- d. Suporte
- e. Suportes diagonais
- f. Barra de reforço
- g. Fundação de betão

### A.8.10. Exemplo de montagem de Sistemas para coberturas horizontais de suporte triangular e semi-circular



### Legenda :



Figura A.8.13. Estrutura de suporte para coberturas horizontais [22]

**Tabela A.8.3.** Especificações técnicas dos componentes do sistema do telhado plano

<b>Componentes do sistema telhado plano (combináveis individualmente)</b>				
<b>Subestrutura</b>	<b>Perfil da travessa</b>	<b>Fixação dos perfis</b>	<b>Fixação do painel</b>	<b>Artigo suplementar</b>
<p><u>1. Suporte triangular</u></p> <p>Ajustável a 30°, 35°, 40° com junção aparafusada conforme a superfície. Cruzeta conectora conforme a necessidade.</p>	<p><u>4. Futura 40x40</u></p> <p>Para solicitações estáticas normais. Fixação com parafuso de cabeça rectangular. (rosca)</p>	<p><u>9. Placa conectora</u></p> <p>Para prolongamento de perfis. Fixação com parafuso de cabeça rectangular (rosca) e com cabeça ajustável.</p>	<p><u>12. Fixador intermédio</u></p> <p>Fixação com parafuso sextavado interno e porca de aperto. Fixação com parafuso sextavado interno e porca quadrada</p>	<p><u>14. Protecção contra roubo</u></p> <p>Para M8 sextavado interno.</p>
<p><u>2. Suporte semi-circular</u></p> <p>Com placas de lastros.</p>	<p><u>5. Futura 80x50</u></p> <p>Para solicitações estáticas médias. Fixação com parafuso de cabeça rectangular. (rosca)</p>	<p><u>10. Esquadria conectora</u></p> <p>Para prolongamento de perfis. Fixação com parafuso de cabeça rectangular (rosca) e com cabeça ajustável.</p>	<p><u>13. Fixador de fecho</u></p> <p>Fixação com parafuso sextavado interno e porca de aperto. Fixação com parafuso sextavado interno e porca quadrada.</p>	
<p><u>3. Perfil para montagem</u></p> <p>Para suportes individuais adaptáveis.</p>	<p><u>6. Futura 120x70</u></p> <p>Para solicitações estáticas médias. Fixação com parafuso de cabeça rectangular. (rosca)</p>	<p><u>11. Esquadria conectora em Z</u></p> <p>Para ligações tipo viga-pilar.</p>		
	<p><u>7. Standard</u></p> <p>Para solicitações estáticas normais. Canal de cabo inclusive. Fixação com parafuso ajustável.</p>			
	<p><u>8. Light</u></p> <p>Para solicitações estáticas reduzidas. Canal de cabo inclusive. Fixação com parafuso ajustável.</p>			

### A.8.11. Sistemas de montagem para telhados planos designados por sistemas de tabuleiro



Figura A.8.14. Sistemas de tabuleiro [23]

#### Propriedades técnicas:

1. Fabricado em polietileno de alta densidade inalterável
2. Sem manutenção
3. Instalação fácil
4. Não necessita de ser fixado através de parafusos na estrutura

### A.8.12. Descrição de outros cuidados gerais a ter na colocação de painéis fotovoltaicos no telhado

- Os painéis devem ser montados numa orientação que maximize a exposição à luz solar e elimine ou minimize a cobertura com sombras.
- Basta um encobrimento parcial com sombra, para o débito de um painel ou sistema ficar substancialmente reduzido.
- Os painéis têm de ficar firmemente fixos com estruturas de suporte ou Kits de montagem específicos para aplicações Fotovoltaicas.
- Deve-se ter cuidado de evitar ângulos muito reduzidos em relação à horizontal para se evitar a acumulação de sujidade entre o vidro e a extremidade da estrutura.
- Deve-se certificar sempre de que a parte posterior do painel não fica sujeita ao contacto com objectos estranhos ou elementos estruturais que possam tocar-lhe, sobretudo quando o painel sob carga mecânica.
- Deve-se evitar a acumulação de sujidade na superfície do painel, uma vez que faz com que as células solares activas fiquem encobertas, levando à deterioração do desempenho eléctrico.
- Garantir que os painéis não ficarão sujeitos a cargas de neve ou ventos que excedam as cargas máximas permissíveis, nem sujeitos a forças excessivas provocadas pela expansão térmica das estruturas de apoio.
- As cargas máximas permissíveis pressupõem ventos ou neve com distribuição uniforme. Deve-se ter o cuidado de evitar montar os painéis em zonas muito sujeitas a neves à deriva e formação de pingentes e/ou blocos de gelo.

### A.8.13. Determinação variação da tensão de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos

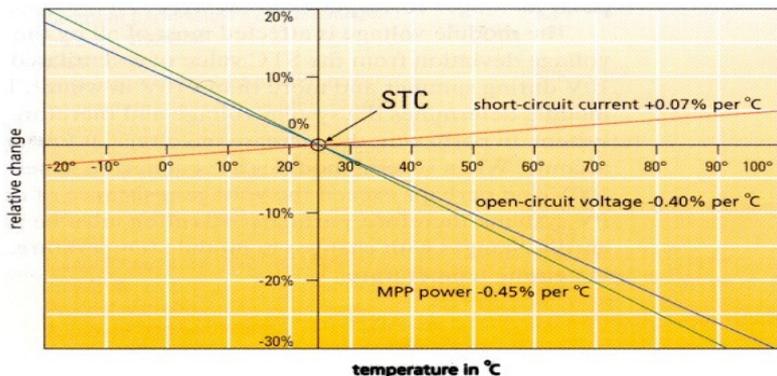


Figura A.8.15. - Dependência térmica das características eléctricas dos painéis fotovoltaicos [2]

### A.8.14. Cabos utilizados para sistemas FV

Cabos apropriados, para uso no exterior em locais secos, húmidos (resistente a água e suportam no mínimo temperaturas de 80°C). Também pode ser instalado directamente na terra, se devidamente protegido contra acções mecânicas.



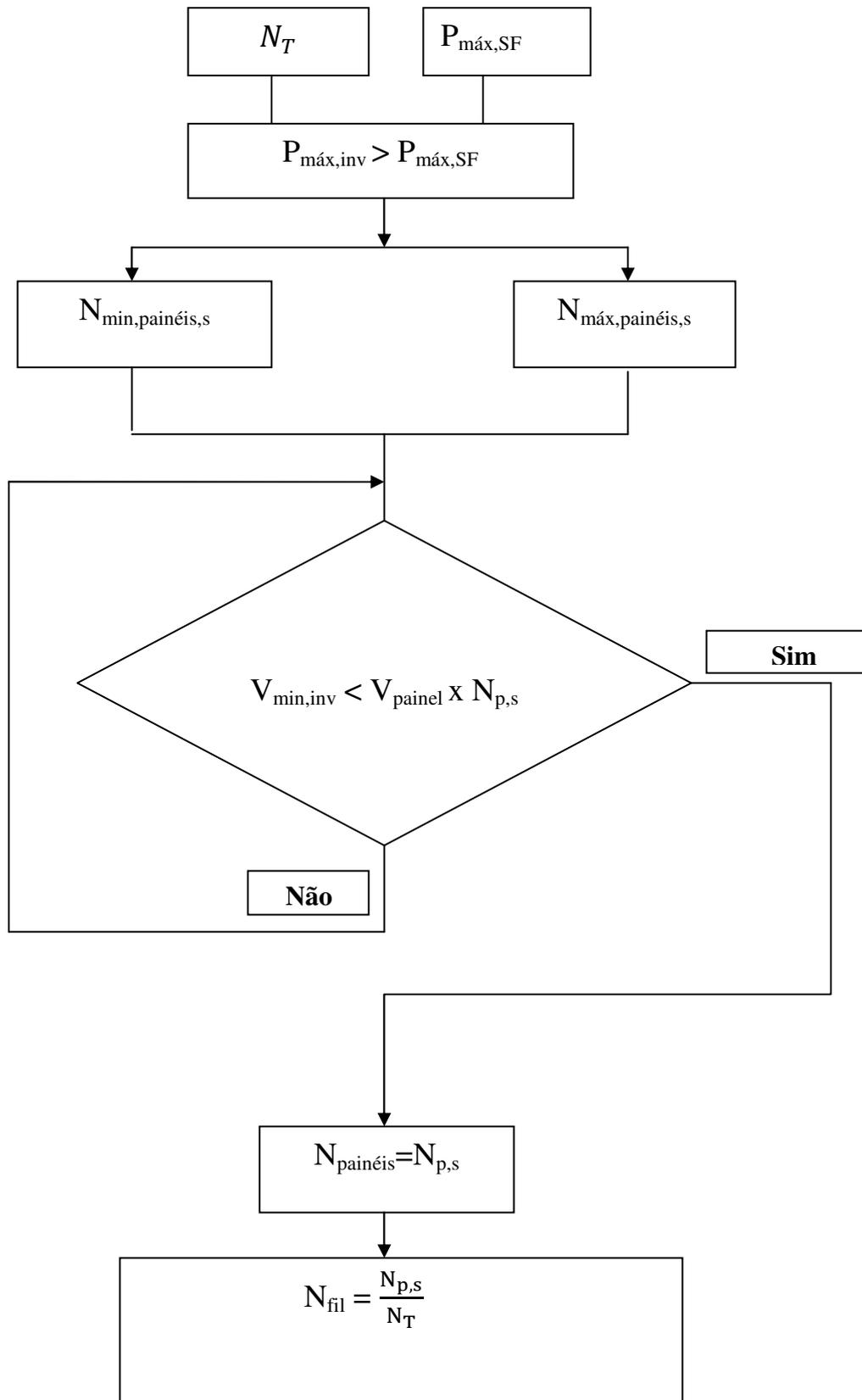
Figura A.8.16. Exemplos de cabos para instalações FV [13]

### Revestimento do cabo solar:



Figura A.8.17.- Especificações em termos da constituição de um cabo solar [14]

**A.8.15. Fluxograma que representa as várias etapas para dimensionar o Inversor e para determinar a configuração do sistema fotovoltaico**



**A.8.16. Valores de secções de cabo em função do comprimento do cabo para limites 1% e 3% de queda de tensão de 24 V**

**Tabela A.8.4** Secção do cabo em função do comprimento do cabo e da corrente para o limite de 1% de queda de tensão de 24 V

Comprimento Máximo do Fio (metros)									
Perda Percentual Máxima Permitida:					1%				
Tensão Nominal do Sistema (CC):					24 Volts				
Secção do cabo [mm <sup>2</sup> ]									
Corrente									
[Amps]	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50
0.5	16.1	20.9	43.0	64.6	107.6	172.2	269.1	376.7	538.1
1	8.1	13.5	21.5	32.3	53.8	86.1	134.5	188.3	269.1
2	4.0	6.7	10.8	16.1	26.9	43.0	67.3	94.2	134.6
3	2.7	4.5	7.2	10.8	17.9	28.7	44.8	62.8	89.7
4	2.0	3.4	5.4	8.1	13.5	21.5	33.6	47.1	67.3
5	1.6	2.7	4.3	6.5	10.8	17.2	26.9	37.7	53.8
6	1.3	2.2	3.6	5.4	9.0	14.3	22.4	31.4	44.8
8	1.0	1.7	2.7	4.0	6.7	10.8	16.8	23.5	33.6
10	0.8	1.3	2.2	3.2	5.4	8.6	13.5	18.8	26.9
12	0.7	1.1	1.8	2.7	4.5	7.2	11.2	15.7	22.4
14	0.6	1.0	1.5	2.3	3.8	6.1	9.6	13.5	19.2
16		0.8	1.3	2.0	3.4	5.4	8.4	11.8	16.8
18		0.7	1.2	1.8	3.0	4.8	7.5	10.5	14.9
20		0.7	1.1	1.6	2.7	4.3	6.7	9.4	13.5
25			0.9	1.3	2.2	3.4	5.4	7.5	10.8
30				1.1	1.8	2.9	4.5	6.3	9.0
35				0.9	1.5	2.5	3.8	5.4	7.7
40					1.3	2.2	3.4	4.7	6.7
45					1.2	1.9	3.0	4.2	6.0
50					1.1	1.7	2.7	3.8	5.4
55						1.6	2.4	3.4	4.9
60						1.4	2.2	3.1	4.5
65						1.3	2.1	2.9	4.1
70							1.9	2.7	3.8
75							1.8	2.5	3.6
80							1.7	2.4	3.4
85							1.6	2.2	3.2
90								2.1	3.0
95								2.0	2.8
100								1.9	2.7
110								1.7	2.4
120									2.2
130									2.1
140									
150									

**Tabela A.8.5** Secção do cabo em função do comprimento do cabo e da corrente para o limite de 3% de queda de tensão de 24 V

Comprimento Máximo do Fio (metros)									
Perda Percentual Máxima Permitida:					3%				
Tensão Nominal do Sistema (CC):					24 Volts				
Secção do cabo [mm <sup>2</sup> ]									
Corrente									
[Amps]	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50
0.5	48.4	90.7	129.1	193.7	322.9	516.6	807.2	1130.0	1614.3
1	24.2	40.4	64.6	96.9	161.4	258.3	403.6	565.0	807.2
2	12.1	20.2	32.3	48.4	80.7	129.1	201.8	282.5	403.6
3	8.1	13.5	21.5	32.3	53.8	86.1	134.5	188.3	269.1
4	6.1	10.1	16.1	24.2	40.4	64.6	100.9	141.3	201.8
5	4.8	8.1	12.9	19.4	32.3	51.7	80.7	113.0	161.4
6	4.0	6.7	10.8	16.1	26.9	43.0	67.3	94.2	134.5
8	3.0	5.0	8.1	12.1	20.2	32.3	50.4	70.6	100.9
10	2.4	4.0	6.5	9.7	16.1	25.8	40.4	56.5	80.7
12	2.0	3.4	5.4	8.1	13.5	21.5	33.6	47.1	67.3
14	1.7	2.9	4.6	6.9	11.5	18.4	28.8	40.4	57.7
16		2.5	4.0	6.1	10.1	16.1	25.2	35.3	50.4
18		2.2	3.6	5.4	9.0	14.3	22.4	31.4	44.8
20		2.0	3.2	4.8	8.1	12.9	20.2	28.3	40.4
25			2.6	3.9	6.5	10.3	16.1	22.6	32.3
30				3.2	5.4	8.6	13.5	18.8	26.9
35				2.8	4.6	7.4	11.5	16.1	23.1
40					4.0	6.5	10.1	14.1	20.2
45					3.6	5.7	9.0	12.6	17.9
50					3.2	5.2	8.1	11.3	16.1
55						4.7	7.3	10.3	14.7
60						4.3	6.7	9.4	13.5
65						4.0	6.2	8.7	12.4
70							5.8	8.1	11.5
75							5.4	7.5	10.8
80							5.0	7.1	10.1
85							4.7	6.6	9.5
90								6.3	9.0
95								5.9	8.5
100								5.7	8.1
110								5.1	7.3
120									6.7
130									6.2
140									
150									

### **A.8.17. Método de cálculo da cablagem através da queda de tensão**

De acordo com a norma europeia **IEC 60364-7-712**, o cabo da fileira (cabo entre os painéis fotovoltaicos) assim como os cabos principais (cabo entre o SF-regulador de carga-baterias – inversor) tem de ser capaz de transportar 1,25 vezes a corrente de curto-circuito do sistema FV e estar protegido contra falhas de terra e curto-circuitos. Esta norma aplica-se no dimensionamento dos cabos para sistemas isolados assim como para sistemas ligados à rede. Os cabos devem ser dimensionados para os seguintes valores de queda de tensão [2].

### **Cálculo da secção transversal do cabo pelo método da queda de tensão**

Os cabos devem ser dimensionados para os seguintes valores de queda de tensão [2].

#### Quedas de tensão

As quedas de tensão usadas para o dimensionamento de cabos em sistemas isoladas são:

- 1% entre os painéis fotovoltaicos
- 1% entre o sistema FV e regulador de carga
- 1% entre o regulador de carga e as baterias
- 1% entre as baterias e o inversor
- 3% entre o inversor e as cargas de

Quanto às quedas de tensão usadas para o dimensionamento de cabos em sistemas ligados á rede são:

- 1% entre os painéis fotovoltaicos
- 1% entre o sistema FV e inversor
- 3% entre o inversor e a ligação à rede

### **Dimensionamento da secção dos cabos para Sistemas Isolados**

Para instalações fotovoltaicas em sistemas isolados é necessário dimensionar as secções dos seguintes cabos: cabo entre os painéis fotovoltaicos; cabo entre o sistema FV e o regulador de carga; cabo entre o regulador de carga e as baterias; cabo entre as baterias e o inversor e as fórmulas que se seguem permitem calcular a secção transversal dos cabos para as diferentes ligações tendo em conta as quedas de tensão acima referidas .

- Secção transversal dos cabos entre os painéis fotovoltaicos

A equação que permite determinar a secção transversal do cabo é dada por:

$$S = \frac{2 \times L \times P_{\text{máx,fil}}}{1\% \times V_{\text{máx,fil}}^2 \times K} \quad \text{Equação A.8.1}$$

Os parâmetros a considerar para determinar esta secção são dados pela tabela A.8.6:

**Tabela A.8.6.-Secção transversal do cabo entre os painéis fotovoltaicos [2]**

Parâmetros eléctricos	Símbolo	Unidade
<b>Comprimento do painel FV e da fileira</b>	$L$	$m$
<b>Secção transversal do cabo do painel fotovoltaico da fileira</b>	$S$	$mm^2$
<b>Condutividade eléctrica (<math>K_{CU} = 56 S.m</math> e <math>K_{AL} = 35 S.m</math>)</b>	$K$	$\left[ m / (\Omega \times mm^2) \right]$
<b>Potência da fileira em condições STC</b>	$P_{Fi}$	$W$
<b>Tensão da fileira</b>	$U_{\text{máx}}$	$V$
<b>Corrente da fileira</b>	$I_{Fi}$	$A$
<b>Número de fileiras do sistema FV</b>	$N$	-

- Secção dos cabos entre (Sistema FV-Regulador de carga-Baterias-Inversor) ;

A equação que permite determinar a respectiva secção transversal do cabo é dada por:

$$S = \frac{2 \times L \times P_{\text{máx,Sf}}}{1\% \times V_{\text{máx,SF}}^2 \times K} \quad \text{Equação A.8.2}$$

Os parâmetros a considerar para determinar esta secção são dados pela tabela A.8.7:

**Tabela A.8.7.-** Secção transversal dos cabo entre ( sistema FV-Regulador de carga-Baterias-Inversor) [2]

Parâmetros eléctricos	Símbolo	Unidade
<b>Comprimento do cabo principal DC (comprimento do SF ao Regulado de carga; comprimento do Regulador de carga à Bateria; comprimento da bateria ao inversor)</b>	$L_{DC}$	$m$
<b>Secção transversal dos cabos entre( o sistema FV-Regulador de carga-Baterias)</b>	$S_{DC}$	$mm^2$
<b>Condutividade eléctrica (<math>K_{CU} = 56 S.m</math> e <math>K_{AL} = 35 S.m</math>)</b>	$K$	$\left[ m / (\Omega \times mm^2) \right]$
<b>Potência máxima do sistema FV condições STC</b>	$P_{máx,SF}$	$W$
<b>Tensão máxima do sistema FV</b>	$U_{máx,SF}$	$V$
<b>Corrente máxima do sistema FV</b>	$I_{máx,SF}$	$A$
<b>Número de fileiras do sistema FV</b>	$N$	-

Secção do cabo (AC) entre o Inversor as Cargas

- A equação que permite determinar a respectiva secção transversal do cabo é dada por:

$$\bullet \quad S = \frac{2 \times L_{AC} \times I_{n,AC} \times \cos \phi}{3\% \times V_{n,inv} \times K} \quad \text{Equação A.8.3}$$

Os parâmetros a considerar para o respectivo dimensionamento são descritos pela tabela A.8.7:

**Tabela A.8.8.-** Secção transversal do cabo entre Inversor e as Cargas

Parâmetros eléctricos	Símbolo	Unidade
<b>Comprimento do cabo de alimentação AC( do Inversor às cargas</b>	$L_{AC}$	$m$
<b>Secção transversal do cabo de alimentação AC( do Inversor às cargas)</b>	$S_{AC}$	$mm^2$
<b>Condutividade eléctrica (<math>K_{CU} = 56 S.m</math> e <math>K_{AL} = 35 S.m</math>)</b>	$K$	$\left[ m / (\Omega \times mm^2) \right]$
<b>Tensão nominal da rede (monofásica: 230 V; Trifásica: 400 V)</b>	$U_{n,inv}$	$V$
<b>Corrente nominal AC do Inversor</b>	$I_{n,AC}$	$A$
<b>Factor de potência (entre 0,8 e 1)</b>	$\cos \phi$	-

## Dimensionamento da secção dos cabos para Sistemas Ligados à Rede

Para uma instalação fotovoltaica para sistemas ligados à rede é necessário dimensionar os seguintes cabos: cabo entre os painéis fotovoltaicos; cabo entre o sistema FV e o Inversor; cabo entre o Inversor e a rede.

- Secção dos cabos entre os painéis fotovoltaicos

A equação que permite determinar a respectiva secção transversal do cabo é dada por:

$$S = \frac{2 \times L \times P_{\text{máx,fil}}}{1\% \times V_{\text{máx,fil}}^2 \times K} \quad \text{Equação A.8.4}$$

Os parâmetros a considerar para o respectivo dimensionamento são descritos pela tabela A.8.9.

**Tabela A.8.9.**-Secção transversal do cabo entre os painéis fotovoltaicos

Parâmetros eléctricos	Símbolo	Unidade
<b>Comprimento do painéis fotovoltaicos e da fileira</b>	$L_M$	$m$
<b>Secção transversal do cabo do painel fotovoltaico da fileira</b>	$S_M$	$mm^2$
<b>Condutividade eléctrica ( <math>K_{CU} = 56 S.m</math> ; <math>K_{AL} = 35 S.m</math> )</b>	$K$	$\left[ m / (\Omega \times mm^2) \right]$
<b>Potência da fileira em condições CTS</b>	$P_{Fi}$	$W$
<b>Tensão da fileira</b>	$U_{\text{máx}}$	$V$
<b>Corrente da fileira</b>	$I_{Fi}$	$A$
<b>Número de fileiras do sistema FV</b>	$N$	-

### Secção dos cabos entre o sistema FV e o Inversor

A equação que permite determinar a respectiva secção transversal do cabo é dada por:

$$S = \frac{2 \times L \times P_{\text{máx,Sf}}}{1\% \times V_{\text{máx,SF}}^2 \times K} \quad \text{Equação A.8.5}$$

Os parâmetros a considerar para o respectivo dimensionamento são descritos pela tabela A.8.10 .

**Tabela A.8.10.-**Secção transversal do cabo entre ( sistema FV e o Inversor)

Parâmetros eléctricos	Símbolo	Unidade
<b>Comprimento do cabo principal DC( entre o SF e o Inversor)</b>	$L_{DC}$	$m$
<b>Secção transversal dos cabos entre sistema FV e o Inversor</b>	$S_{DC}$	$mm^2$
<b>Condutividade eléctrica ( <math>K_{CU} = 56 S.m</math> e <math>K_{AL} = 35 S.m</math>)</b>	$K$	$\left[ m / (\Omega \times mm^2) \right]$
<b>Potência máxima do sistema FV condições CTS</b>	$P_{máx,SF}$	$W$
<b>Tensão máxima do sistema FV</b>	$U_{máx,SF}$	$V$
<b>Corrente máxima do sistema FV</b>	$I_{máx,SF}$	$A$
<b>Número de fileiras do sistema FV</b>	$N$	-

- Secção transversal do cabos entre Inversor e a ligação à rede

A equação que permite determinar a respectiva secção transversal do cabo é dada por:

- 

$$S = \frac{\sqrt{3} \times L_{AC} \times I_{n,AC} \times \cos \phi}{3\% \times V_{n,inv} \times K} \quad \text{Equação A.8.6}$$

Os parâmetros a considerar para o respectivo dimensionamento são descritos pela tabela A.8.11 .

**Tabela A.8.11.-** Secção transversal do cabo entre Inversor e a ligação à rede

Parâmetros eléctricos	Símbolo	Unidade
<b>Comprimento do cabo de alimentação AC( do Inversor à rede</b>	$L_{AC}$	$m$
<b>Secção transversal do cabo de alimentação AC( do Inversor à rede)</b>	$S_{AC}$	$mm^2$
<b>Condutividade eléctrica ( <math>K_{CU} = 56 S.m</math> e <math>K_{AL} = 35 S.m</math>)</b>	$K$	$\left[ m / (\Omega \times mm^2) \right]$
<b>Tensão nominal da rede (Trifásica: 400 V)</b>	$U_{n,Inv}$	$V$
<b>Corrente nominal AC do Inversor</b>	$I_{n,AC}$	$A$
<b>Factor de potência (entre 0,8 e 1)</b>	$\cos \phi$	-