

Sistemas Energéticos

3º ano 6º semestre

Aula 21



Aula 21: Dimensionamento de Colectores Solares e de Sistemas Fotovoltaicos

Tópicos

- ***Dimensionamento de Colectores Solares***
- ***Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos***



21.1 .Dimensionamento de Colectores Solares

O dimensionamento de colectores solares visa determinar a área ideal de captação para atender à demanda de água quente, aproveitando ao máximo a energia solar disponível e garantindo eficiência, economia e conforto térmico.

◆ **Principais objectivos:**

- Atender à demanda energética de aquecimento da água;
- Aproveitar a radiação solar local conforme latitude e orientação;
- Evitar subdimensionamento, que reduz o desempenho;
- Evitar superdimensionamento, que eleva custos e riscos de superaquecimento;
- Assegurar eficiência energética e temperatura estável da água.



Resultado esperado:

Um sistema económico equilibrado, sustentável e eficiente que utiliza a energia solar de forma optimizada.



21.1.2 Necessidades Energéticas

O dimensionamento de colectores solares começa pela determinação das necessidades energéticas mensais ($E_{n,m}$) são calculadas pelo produto da potência solar necessária ao aquecimento de água pelos dias correspondentes ao mês em causa, de acordo com a seguinte expressão:

$$E_{n,m} = Q_{solar} \times n_h \times dias\ do\ mês \quad (21.1)$$

Em que:

$E_{n,m}$ - Necessidades energéticas mensais [MJ]

Q_{Solar} - Potência solar [MJ]

n_h - Número de horas de funcionamento [s]



21.2 Necessidades Energéticas

Para contabilizar as necessidades, ao calcular a quantidade de colectores solares a partir de um consumo diário desconhecido, é necessário utilizar os valores unitários de referência que constam no Procedimento Básico para a Certificação Energética de Nova Construção.



21.1.2 Necessidades Energéticas

Tabela 21.1 - Consumos diários de referência

Consumos	Litros/dia a 60°C
Vivendas unifamiliares	30 por pessoa
Vivendas multifamiliares	22 por pessoa
Hospitais e clínicas	55 por cama
Hotéis (4 estrelas*)	70 por cama
Hotéis (3 estrelas*)	55 por cama
Hotéis/Residenciais (2 estrelas*)	40 por cama
Campismo	40 por posição
Residenciais/Pensões (1 estrela*)	35 por cama
Residências (idosos, estudantes, etc.)	55 por cama
Vestiários/Duches colectivos	15 por serviço
Escolas	3 por aluno
Quartéis	20 por pessoa
Fábricas	15 por pessoa
Administrativos	3 por pessoa
Ginásios	20 a 25 por usuário
Lavandarias	3 a 5 por Kg de roupa
Restaurantes	5 a 10 por refeição
Cafetarias	1 por refeição ligeira



21.1.2 Necessidades Energéticas

Consumo equivalente à $T_{\text{utilização}}$ e à T_{rede} para cada mês, calcular-se:

$$\text{Consumo equivalente} = \text{Consumo diário}_{(T_{\text{ref}})} \times \left(\frac{T_{\text{ref}} - T_{\text{rede}}}{T_{\text{utiliz}} - T_{\text{rede}}} \right) [\text{litros}] \quad (21.2)$$

As necessidades energéticas calculam-se de:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta t [J] \quad (21.3)$$

Onde:

m - Consumo equivalente em litros a 45°C

C_p - Calor específico da água,

$$\Delta t = T_{\text{utilização}} - T_{\text{rede}} = 45 - T_{\text{rede}}$$





21.1.3 Cálculo da superfície solar colectora

Após serem obtidas as necessidades energéticas para cada mês do ano, que podem ser representadas por meio de tabelas ou graficamente pode ser construído o diagrama de consumo. O ideal seria este diagrama corresponder, ao longo do ano, o mais possível com o diagrama de incidência solar.

Assim, para cada mês do ano pode ser obtida a relação energia solar disponível/consumo, que umas vezes é maior que a unidade e outras vezes é menor, consoante os meses do ano, daí ter que se ajustar a área colectora.



21.1.3.1 Escolha da inclinação óptima

Como inclinação adequada para os colectores solares térmicos planos estacionários deve ser escolhido um ângulo fixo para todo o ano. Muitas vezes ainda que para determinada altura do ano não se maximize a captação solar, produz-se uma melhor distribuição da mesma ao longo do ano. Em geral, deve-se favorecer a captação no Inverno em detrimento dos meses de Verão, já que no Verão é comum haver energia captada em excesso.

21.1.3.1 Escolha da inclinação óptima

O critério adoptado para dimensionar a superfície colectora consiste em que a energia solar captada no período de actividade satisfaça as necessidades requeridas.

Assim, as inclinações óptimas a dar aos colectores solares térmicos para aquecimento de diversos sistemas são as indicadas na Tabela 21.2, conforme a época do ano e seu uso:

Tabela 21.2 – Inclinação óptima dos colectores solares térmicos

UTILIZAÇÃO (POR ESTAÇÃO)	INCLINAÇÃO OPTIMA DO COLECTOR
Todo o ano (AQS)	Latitude do lugar -5 °
Inverno (Aquecimento)	Latitude do lugar +15 °
Verão (Piscinas descobertas/ hotéis de temporada)	Latitude do lugar -15 °



21.1.1.3.1 Escolha da inclinação óptima

Considerando que os sistemas de refrigeração por absorção funcionarão durante os 12 meses do ano para “produção de frio”, pela tabela acima admite-se que a inclinação adequada dos colectores solares térmicos planos estacionários será a correspondente a todo o ano (Latitude do lugar -5 °). A expressão que determina a inclinação óptima é:

$$I_{\text{óptima}} = Lat + (\hat{ang}_{\text{utiliz}}) \quad (21.4)$$

Em que:

$I_{\text{óptima}}$ - Inclinação óptima do colector de acordo com a sua utilização [°]

Lat. - Latitude do lugar [°]

$\hat{ang}_{\text{utiliz}}$ - Ângulo de utilização [°]





21.1.4 Cálculo da energia aproveitável

A energia aproveitável ou energia total teórica (E_{ap}) que incide sobre cada m^2 da superfície inclinada dos colectores num dia médio de cada mês é obtida conforme indicado nos pontos seguintes:

i- É obtida a irradiação horizontal média para cada mês, através de tabelas de dados climáticos, correspondentes à latitude considerada.

H- Irradiação global horizontal média para cada mês [MJ/m^2]



21.1.4 Cálculo da energia aproveitável

ii-Depois de obtido o valor (H) são admitidos os seguintes coeficientes de correcção, $\text{Coef}_{\text{Correcção}}$:

- 1,05 - caso a localização do sistema solar térmico seja uma zona de montanha com atmosfera limpa;
- 0,95 - caso a localização seja em zonas poluídas, ou grandes cidades;
- Estimar um valor de correcção caso exista projecção de sombras sobre os colectores.

21.1.4 Cálculo da energia aproveitável

iii-Resultando do produto destes dois componentes a irradiação horizontal média para cada mês corrigida, ($H_{\text{Corrigida}}$), a qual tem a seguinte expressão:

$$H_{\text{Corrigida}} = H \times \text{Coef}_{\text{Correcção}} \quad (21.5)$$

Onde:

$H_{\text{Corrigida}}$ - Irradiação horizontal média para cada mês corrigida [MJ/m^2]

H - Irradiação horizontal média para cada mês [MJ/m^2]

$\text{Coef}_{\text{Correcção}}$ - Coeficiente correcção [Adimensional]





21.1.4 Cálculo da energia aproveitável

iv - Conhecido o valor da irradiação horizontal média para cada mês, o qual pode coincidir com o valor das tabelas ou apresentar um valor diferente pelos motivos de correcção apresentados anteriormente há que encontrar o seguinte factor:

f - Factor de inclinação [Adimensional]

O factor de inclinação (**f**) é obtido através de tabelas de latitude/inclinação para os diferentes meses do ano.

21.1.4 Cálculo da energia aproveitável

v - Com estas duas variáveis ($H_{\text{Corrigida}}$) e (f) é possível determinar a energia aproveitável ou energia total teórica (E_{ap}) que eventualmente pode incidir num dia médio do mês considerado em cada m^2 de superfície colectora. Mais, conforme descrito anteriormente o funcionamento dos sistemas térmicos solares ocorre por circulação de um fluido que entra em movimento pela acção da temperatura ou por acção de uma bomba de circulação, a qual só deve entrar em funcionamento se existir energia para aproveitar.



21.1.4 Cálculo da energia aproveitável

Assim sendo, o movimento do fluido não é verificado apenas nas primeiras horas da manhã e as últimas da tarde porque a incidência de irradiação solar não é suficiente para aquecer os colectores.

Empiricamente é demonstrado que a energia desperdiçada durante estes períodos de menor incidência solar (menor altura solar) é cerca de 6% da energia total diária (E_{ap}), com pouca variação durante as épocas do ano.

Assim, para a correcta obtenção da energia aproveitável (E_{ap}) esta deve ser multiplicada por 0,94.



$$E_{ap} = H_{Corrigida} \times f \times 0,94 \quad (21.6)$$

21.1.4 Cálculo da energia aproveitável

Onde:

E_{ap} - Energia aproveitável ou energia total teórica incidente por m^2 $[MJ/m^2]$

f - Factor de inclinação [Adimensional]

Ainda há que ter em conta aspectos estéticos ou arquitectónicos, em que havendo a necessidade de desvios da direcção Sul de um ângulo (β) entre $20^\circ < \beta < 70^\circ$, será ainda necessário multiplicar (E_{ap}) por $1,14 - 0,0085\beta$, em que (β) é expresso em graus.





21.1.5 Cálculo da intensidade útil

A irradiação que incide sobre a superfície dos colectores solares irá ter uma variação consoante as horas do dia. Assim, para efeitos de cálculo, pode ser utilizada uma intensidade média, a qual será a razão entre a energia média útil (E_{ap}) incidente ao longo do dia e o tempo que o sol está sobre o horizonte, retirando as horas de início e fim do dia em que o sol apresenta uma altura reduzida, a qual não garante irradiação suficiente sobre os colectores para colocar o fluido em circulação.

21.1.5 Cálculo da intensidade útil

A expressão que permite o cálculo da intensidade é a seguinte:

$$I = \frac{E_{ap}}{n_{hs}} \quad (21.7)$$

Sendo:

I - Irradiação global Incidente sobre a superfície do colector por unidade de área [W/m²]

E_{ap} - Energia aproveitável ou energia total teórica incidente por m² [MJ/m²]

n_{hs} - Número de horas de sol [s]





21.1.6 Rendimento de um colector solar

A energia solar é extraída de um colector através do fluido de transferência térmica, que passa pelo interior do colector, recolhendo parte do calor produzido e transmitindo para outro lugar para ser utilizado ou acumulado. O rendimento do colector solar é a percentagem da energia total incidente que é efectivamente transferida para o fluido de trabalho. Assim o rendimento dum colector solar é função da temperatura a que se encontra.

21.1.6 Rendimento de um colector solar

O Rendimento térmico obtém-se de:

$$\eta_{(T)} = \frac{q_{ext}}{A_c I} \quad (21.8)$$

A Potência extraída [W/m²] é dada por:

$$q_{ext} = q_{abs} - q_{perdas}(T) \quad (21.9)$$

A Potência absorvida em [W/m²] obtém-se de:

$$q_{abs} = A_c I \tau \alpha \quad (21.10)$$



21.1.6 Rendimento de um colector solar

As Perdas na placa absorsora em $[W/m^2]$ obtém-se como:

$$q_{perdas} = A_c U(T) (T - t_{amb}) \quad (21.11)$$

Obtêm-se então:

$$\eta_{(T)} = \frac{A_c I \tau \alpha - A U(T) (T - t_{amb})}{A I} \quad (21.12)$$

Logo:

$$\eta_{(T)} = \tau \alpha - U_L(T) \frac{(T - t_{amb})}{I} \quad (21.13)$$



21.1.6 Rendimento de um colector solar

Onde:

A_c - Área útil de captação do colector [m^2]

η - Rendimento do colector [%]

I - Irradiação global Incidente sobre a superfície do colector por unidade de área [W/m^2]

τ - Transmitância da cobertura transparente [adimensional]

α - Absortância da placa absorsora [adimensional]

U_L - Coeficiente global de perdas térmicas do colector [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$]

T - Temperatura da placa absorsora [$^\circ C$]

t_{amb} - Temperatura ambiente exterior [$^\circ C$]

F' - Factor de Irrigação [adimensional]



21.1.6 Tipos de Colectores Solares

Um **colector de tubo a vácuo** é um colector solar térmico formado por tubos de vidro evacuados, onde o vácuo reduz as perdas de calor e aumenta a eficiência na captação de energia solar, especialmente em climas frios ou nublados.



Um **colector de placa plana** é um dispositivo solar térmico que capta a radiação solar por meio de uma superfície plana absorvedora, aquecendo um fluido (água ou ar) que circula em tubos sob essa placa. É amplamente usado em sistemas de aquecimento solar de água e aquecimento ambiental.

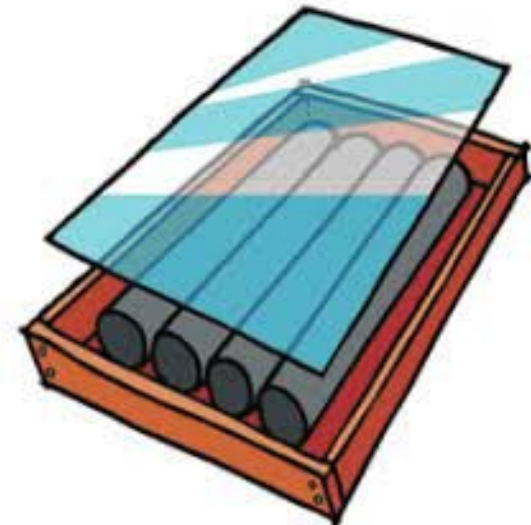


21.1.6 Tipos de Colectores Solares

Um **colector solar** com absorvedor plástico é um tipo de colector térmico de baixo custo, feito com materiais plásticos que absorvem a radiação solar para aquecer a água, sendo muito usado em piscinas e aplicações de baixa temperatura.



Um **colector solar de ar** é um sistema térmico que utiliza ar como fluido de aquecimento, captando a energia solar por meio de uma superfície absorvedora para aquecer ambientes ou secar produtos agrícolas.





21.1.6 Rendimento de um colector solar

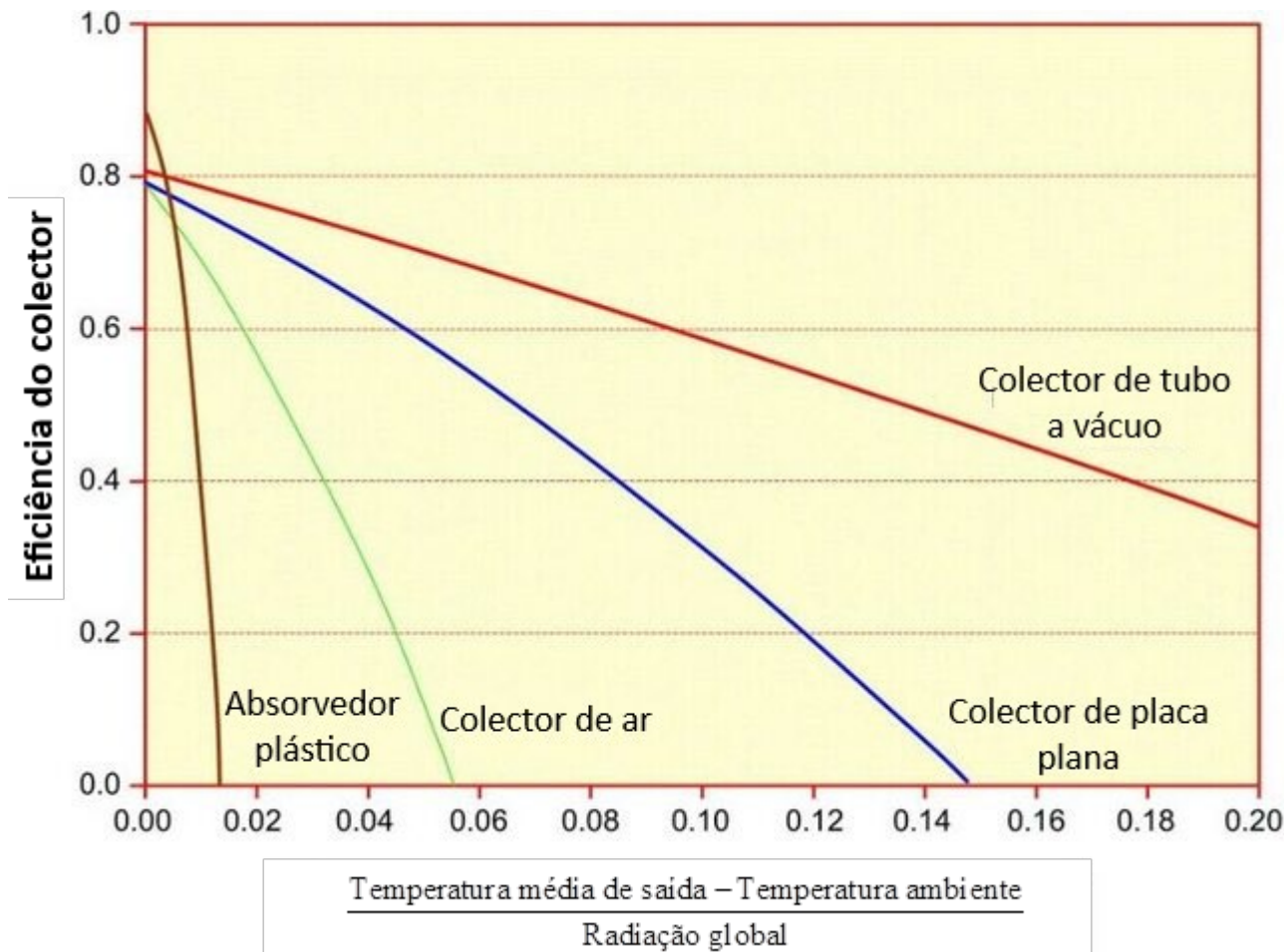


Figura 21.3: Gráfico de eficiência de colectores solares

21.1.6 Rendimento de um colector solar

Na figura anterior pode ser verificado a diminuição do rendimento do colector à medida que a temperatura média do fluido (t_f) sobe. Se $t^*=0$ (a temperatura média do fluido é igual à temperatura ambiente t_a) o rendimento é designado por rendimento óptico. Quando a temperatura de saída se igualar à temperatura de entrada, o rendimento é nulo e o colector atinge a temperatura de estagnação (máxima temperatura que o colector pode atingir para uma temperatura ambiente e radiação determinadas).



21.1.6 Rendimento de um colector solar

Da figura nota-se que a ordenada na origem depende apenas das características ópticas de dois elementos: a transmitância (τ) da cobertura transparente e a absorvidade (α) da placa, pelo que se designa por rendimento óptico do vidro e placa (η_o) e relaciona-se com as suas perdas ópticas; sendo o rendimento que o colector apresenta quando a temperatura ambiente é igual à temperatura do fluido e não existem perdas térmicas. Coincide com a ordenada da origem da curva de rendimento. Assim surge que:

$$\eta_o = \tau\alpha \quad (21.14)$$

21.1.6 Rendimento de um colector solar

Como (T) representa a temperatura da placa, não sendo de utilização prática, pelo que é preferível usar a temperatura média do fluido entre a entrada e a saída (t_f) . Como $t_f < T$, seria obtido um rendimento errado por excesso, pelo que é necessário multiplicá-lo por um factor inferior à unidade, F' (factor de irrigação), sendo este tanto menor quanto maior for a diferença entre (T) e (t_f) , representando assim a facilidade com que o calor se transmite da placa para o fluido e ficando então, como rendimento de um colector a expressão característica do colector:

$$\eta = F'\tau\alpha - F'U_L \frac{(t_f - t_{amb})}{I} \quad (21.15)$$

21.1.6 Rendimento de um colector solar

Pela expressão apresentada é verificado que as perdas associadas à conversão de energia solar em energia térmica provoca uma progressiva diminuição do rendimento do colector à medida que aumenta a diferença de temperatura entre a placa absorvora e o ambiente, de acordo com a expressão característica do colector. Para um caudal estabelecido e τ , α e U_L constantes, a equação correspondente a esta curva característica pode assemelhar-se com bastante precisão a uma recta. Caso as temperaturas dos colectores não atinjam valores muito elevados ou se a gama de temperaturas de funcionamento rondar os 90 °C a aproximação linear é suficiente.





21.1.6 Rendimento de um colector solar

Na tabela seguinte serão apresentados alguns rendimentos ópticos e coeficientes de perdas térmicas típicos para os colectores mais comuns no mercado.

Tabela 21.3 – Rendimentos ópticos e coeficientes de perdas térmicas de colectores

Tipo de colector	Características	
	$F'(\tau\alpha)$	$F' \times UL$
Não selectivo sem vidro	0.8 – 0.9	20
Não selectivo	0.7 – 0.8	8 - 9
Selectivo	0.7 – 0.8	3 – 6
C.P.C.	0.7 - 0.75	4.2/3.7 – (NS/EW)*
Tubos de vácuo	0.7 – 0.8	1.8 – 3
* - Orientação Norte-Sul e Este-Oeste		

21.1.6 Rendimento de um colector solar

A conversão de energia radiante do sol em energia térmica leva associadas perdas de radiação condução e convecção, cujo efeito é a progressiva redução do rendimento à medida que aumenta a diferença de temperatura entre a placa absorsora e o ambiente, conforme preconiza a expressão característica do colector. A cobertura de vidro, o tratamento selectivo da placa e a evacuação do ar no interior do colector e consequentemente a melhoria da sua eficiência contribuem para aumentar o rendimento dos colectores.



21.1.6 Rendimento de um colector solar

Como regra geral, o colector solar deve ser escolhido de acordo com a temperatura de utilização pretendida, de acordo com a Tabela 21.4, tendo em conta que o seu rendimento seja superior a 40%.

Tabela 21.4 – temperatura de utilização de colectores solares

Gama de Temperatura	Tipo de colector
< 40 °C	Colectores sem cobertura ou colectores planos comuns de baixo custo
40 – 70 °C	Colectores planos selectivos ou colectores do tipo CPC
70 – 100 °C	Colectores do tipo CPC, colectores de tubos de vácuo ou outros colectores estacionários de rendimento elevado Colectores concentradores para sistemas de média e grande dimensão
> 100 °C	Colectores concentradores, colectores de tubos de vácuo com CPC



21.1.7 Perdas de calor nos elementos do sistema

Factores que levam a que muitas vezes a energia diária fornecida pelo colector não coincida com a disponibilidade para os resultados pretendidos são devido às perdas que inevitavelmente se verificam nos componentes do sistema, logo ser de extrema importância o estudo quanto ao isolamento a aplicar a estes dispositivos.

Na falta de dados ou quando não se justifique o cálculo específico das perdas de calor é recomendado estimar umas perdas globais ao sistema (P_g) correspondentes a **10%**.



21.1.8 Cálculo da energia útil

Na posse dos resultados da energia incidente (E_{ap}), do rendimento real do colector (η_r) e das perdas de calor globais do sistema, pode ser calculada a energia diária captada por cada m^2 ($E_{Col.d}$) através da expressão:

$$E_{Col.d} = E_{ap} \eta_r P_g \quad (21.16)$$

Onde:

$E_{Col.d}$ - Energia captada durante o dia por m^2 de colector [MJ/m^2]

E_{ap} - Energia aproveitável ou energia total teórica incidente por m^2 [MJ/m^2]

η_r - Rendimento real do colector [%]

P_g - Percentagem correspondente as perdas globais do sistema [%]



21.1.8 Cálculo da energia útil

Como é pretendido a energia mensal captada por cada m^2 efectua-se o produto da ($E_{Col.m}$) pelos dias correspondentes ao mês em causa através da expressão:

$$E_{Col.m} = E_{Col.d} \times dias\ do\ mês_g \quad (21.17)$$

em que:

$E_{Col.m}$ - Energia captada durante o mês por m^2 de colector [MJ/m^2]



21.1.9 Cálculo da área da superfície colectora

Para o cálculo da área de superfície colectora teórica A_{sc} , efectua-se o quociente das necessidades energéticas mensais ($E_{n.m}$) pela energia captada durante o mês por m² de colector ($E_{Col.m}$) conforme a seguinte equação:

$$A_{sc} = \frac{E_{n.m}}{E_{Col.m}} \quad (21.18)$$

Onde:

A_{sc} - Área de superfície colectora teórica [m²]

$E_{n.m}$ - Necessidades energéticas mensais [MJ]

$E_{Col.m}$ - Energia captada durante o mês por m² de colector [MJ/m²]





21.1.9.1 Cálculo do número teórico de colectores

Sabendo-se a área da superfície colectora teórica (A_{sc}) necessária para satisfazer as necessidades energéticas mensais, selecciona-se o colector que melhores características apresente para a utilização em causa, nomeadamente as temperaturas que é capaz de atingir e que estão relacionadas com o rendimento térmico e o coeficiente de perdas. Quanto menores forem as perdas, maiores serão as temperaturas atingidas.

21.1.9.1 Cálculo do número teórico de colectores

Assim, sabendo a área útil de captação do colector (A_c), calcula-se o número teórico de colectores (N_{ct}) para cada mês, pela expressão seguinte:

$$N_{ct} = \frac{A_{sc}}{A_c} \quad (21.19)$$

Onde:

N_{ct} - Número teórico de colectores necessários [adimensional]

A_{sc} - Área de superfície colectora teórica [m^2]

A_c - Área útil de captação do colector [m^2]

O número real de colectores (N_{cr}) a aplicar no sistema, deve ser tido em conta o número de colectores referentes aos meses com menos irradiação solar. No entanto, deverá ser feito o estudo de forma a atribuir uma quantidade que respeite o factor custo benefício.



21.1.10 Cálculo da energia efectiva captada por mês

Depois de definido o número real de colectores a aplicar ao sistema solar, calcula-se então a energia efectiva captada por mês ($E_{Col.e}$), pelo produto da energia captada por mês por m^2 de colector ($E_{Col.m}$), área do colector (A_c) e pelo número real de colectores aplicados ao sistema (N_{cr}) pela seguinte expressão:

$$E_{Col.e} = E_{Col.m} \times A_c \times N_{cr} \quad (21.20)$$

Em que:

$E_{Col.e}$ - Energia efectiva captada por mês [MJ/m^2]

$E_{Col.m}$ - Energia captada durante o mês por m^2 de colector [MJ/m^2]

A_c - Área útil de captação do colector [m^2]

N_{cr} - Número real de colectores [adimensional]



21.2 Introdução

O dimensionamento de sistemas autónomos para instalações domésticas, pode ser efectuado sem o recurso à utilização de *software* específico, desde que não contemple um grande número de variáveis. Neste contexto, a aplicação de um conjunto de equações matemáticas simples permite executar o processo de dimensionamento de forma mais ou menos precisa.



21.2. Introdução

Um sistema fotovoltaico autónomo é fundamentalmente concebido para alimentar um conjunto de cargas que operam isoladas da rede eléctrica, durante todo o ano. Neste contexto, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico autónomo é normalmente efectuado através do conhecimento prévio da intensidade da radiação solar disponível, correspondente ao mês com menor número de horas solares equivalentes. Este tipo de sistemas, para além de integrarem os painéis solares, deve também incluir os seguintes equipamentos:





21.2.0 Introdução

- **Baterias:** a sua principal função consiste em assegurar a alimentação dos consumos de energia eléctrica nos períodos em que o recurso solar não está disponível (período nocturno);
- **Controlador de carga:** a sua principal função consiste em efectuar a gestão da carga das baterias;
- **Inversor:** para o caso de haver cargas a alimentar em corrente alternada (CA), a sua principal função consiste em converter a tensão contínua em tensão alternada, com a frequência e amplitude da rede.



21.2 Introdução

Os sistemas autónomos para alimentação de instalações domésticas ou outras, podem ser utilizados de acordo com os seguintes tipos de aproveitamento:

- Instalações utilizadas para alimentar cargas de corrente contínua (12 V, 24 V ou 48 V, CC), sendo constituídas pela associação de módulos ou Painéis FV, regulador de carga e baterias, conforme mostrado esquematicamente na Figura 21.4 Nesta situação ***não*** existe a necessidade de se utilizem inversores (sistema muito mais económico e eficiente);

21.2 Introdução

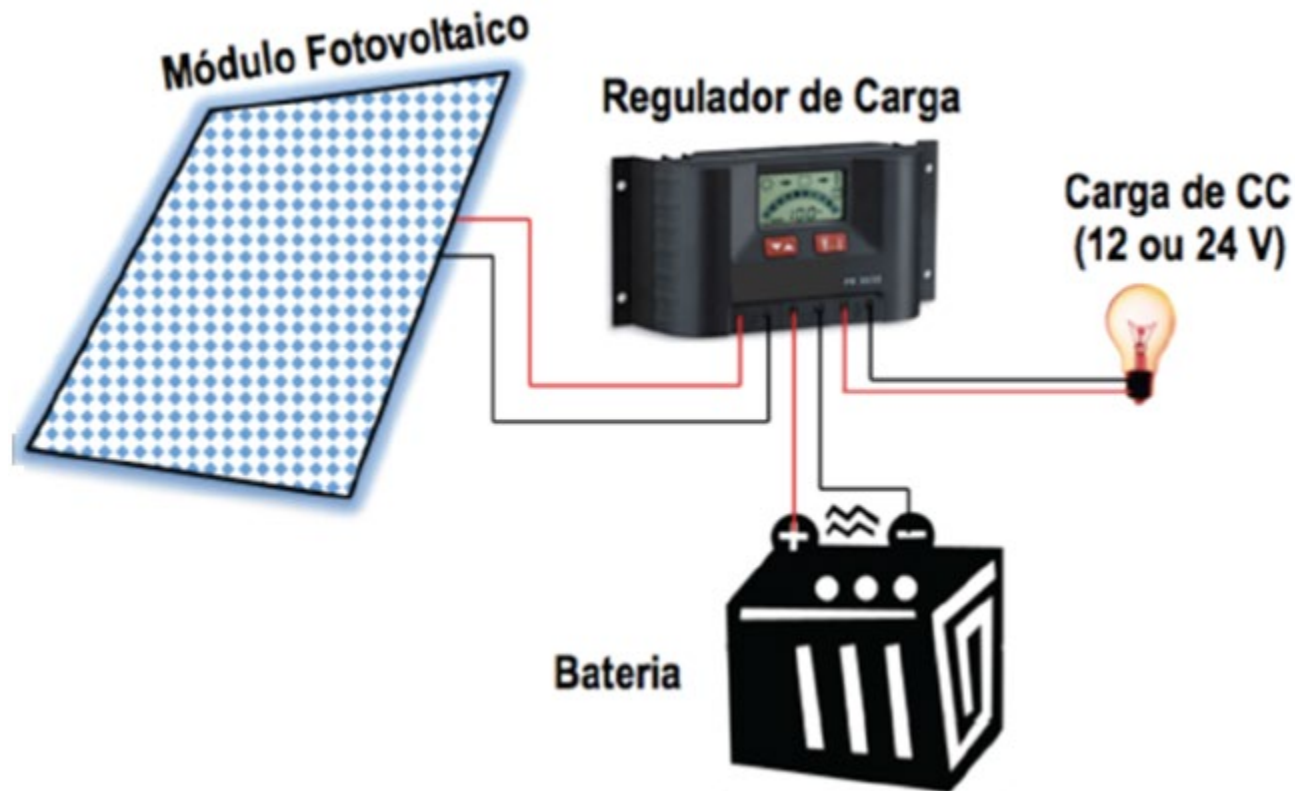


Figura 21.4 – Componentes do sistema solar fotovoltaico



21.2. Energia Fotovoltaica

- Instalações utilizadas para alimentar cargas de corrente contínua (12 V, 24 V ou 48 V, CC) e cargas de corrente alternada (230 V, 50 Hz), sendo constituídas pela associação de módulos ou painéis FV, reguladores de carga, baterias e inversor, conforme mostrado esquematicamente na Figura 21.5

É importante realçar que para ambas as situações (Figura 21.4 e Figura 21.5), o conjunto de baterias é colocado em paralelo com o fluxo de energia do sistema. Na verdade, este tipo de configuração encerra algumas vantagens em relação a uma eventual configuração em série. Com efeito, após ficar completamente carregado, o conjunto de baterias pode ser desligado do sistema de modo a que as cargas possam ser somente alimentadas pela energia que é gerada através dos painéis fotovoltaicos.



21.2 Introdução

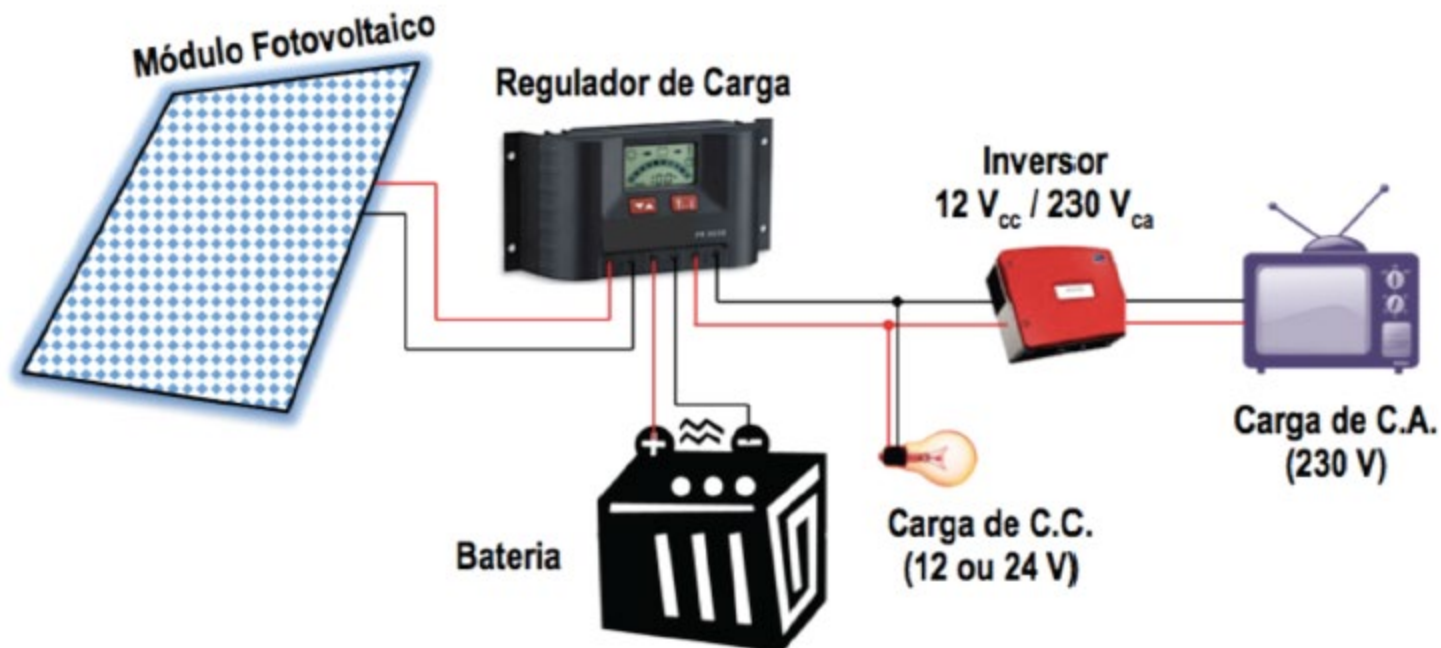


Figura 21.5 – Componentes do sistema solar fotovoltaico



21.2 Introdução

Se o sistema tiver algum grau de complexidade, é prudente que seja utilizado um software comercial específico. Por exemplo, esta última situação ocorre quando se pretende dimensionar um sistema FV autónomo para uma moradia familiar, constituída por cerca de 4 a 5 pessoas.

O processo de dimensionamento que se desenvolve em seguida, recorre a um dos métodos mais simples, entre os vários que ultimamente têm sido desenvolvidos.



21.2.1 Determinação da energia diária a fornecer aos consumos (Wh)

A primeira tarefa consiste em identificar o número, a potência e o tempo de funcionamento do conjunto de equipamentos que é necessário alimentar. A tabela a seguir configura um exemplo simples relativo ao procedimento que deverá ser executado para se efectuar o levantamento das necessidades diárias de consumo.

Tabela 21.5 – Estimativa de consumo diário de energia

Equipamentos	Número	Horas de uso/dia	Potência (W)	Energia diária (Wh/dia)
Lâmpadas de leitura				
Frigorífico				
Televisão				
Computador				
TOTAIS			ΣP_i	W_D



21.2.1 Determinação da energia diária a fornecer aos consumos (Wh)

A quantidade total de energia que é necessário prever para garantir a alimentação diária de todos os equipamentos, corresponde ao somatório das energias parciais consumidas pelos diferentes equipamentos utilizados:

$$W_D = \sum_{i=1}^n P_i \times t_i \left[\frac{kWh}{dia} \right] \quad (21.22)$$

$$W_M = W_D \times dias \text{ do mês} \left[\frac{kWh}{mês} \right]$$

Onde W_D representa a energia total consumida por dia, W_M representa a energia total consumida por mês, P_i indica a potência (W) de um determinado equipamento e t_i corresponde ao seu intervalo de tempo de funcionamento.





21.2.2 Estimativa do factor de perdas

A capacidade que um gerador fotovoltaico tem de alimentar as diversas cargas, está sujeita a algumas perdas inerentes ao sistema. Entre estas, aquelas que têm maior expressão são as que se referem às perdas nas cablagens e as perdas no inversor e regulador de carga:

- $\Rightarrow$ Rendimento (cablagens): $\eta_{cabo} = 0,97$
- $\Rightarrow$ Rendimento (regulador+inversor): $\eta_{reg+inv} = 0,85$
- $\Rightarrow$ Rendimento da bateria : $\eta_{bat} = 0,8$
- $\Rightarrow$ Rendimento total dos sistema: $\eta_{sist} = \eta_{cabo} \times \eta_{reg+inv} \times \eta_{bat}$
- $= 0,97 \times 0,85 \times 0,8 = 0,67$



21.2.2 Estimativa do factor de perdas

Além destas perdas, existem outros factores que interferem no cálculo do sistema FV. Atendendo a que a radiação solar incidente é muito variável ao longo do ano, é necessário identificar o valor da intensidade da radiação solar incidente (**mês mais desfavorável**) para o qual se deve dimensionar o gerador FV.



21.2.3 Avaliação da radiação solar incidente

A consulta dos sites (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) ou ([JRC Photovoltaic Geographical Information System \(PVGIS\) - European Commission](#)) permitem conhecer os I_M - Soma média mensal da irradiação global por metro quadrado, recebido pelos módulos do sistema dado [kWh/m^2], a E_M - Produção média mensal de electricidade do sistema definido [kWh] por 1 KW de potência e o SD_M : Desvio padrão da produção mensal de electricidade devido à variação anual [kWh]. para a cidade de Maputo.

21.2.3 Avaliação da radiação solar incidente

Tabela 21.6 Produção média mensal de electricidade do sistema definido [kWh] e Soma média mensal da irradiação global por metro quadrado recebido pelos módulos do sistema dado [kWh/m²] para a cidade de Maputo

Mês	E_M [KWh/kW/mês]	$H(i)m$ [KWh/m ²]	SD_m
Janeiro	137,5	182,9	11,3
Fevereiro	113,1	152,0	6,0
Março	91,7	125,0	3,6
Abril	55,7	79,6	1,2
Maio	32,5	51,2	1,1
Junho	24,2	38,9	1,7
Julho	29,2	46,0	1,5
Agosto	48,5	70,9	1,3
Setembro	77,5	106,6	2,3
Outubro	111,2	147,8	4,5
Novembro	124,4	166,1	7,1
Dezembro	139,4	185,9	12,2



21.2.4 Estimativa da radiação solar incidente para uma superfície com inclinação óptima

O painel deve ser instalado na direcção do Norte geográfico, para localidades que estão no hemisfério sul do nosso planeta.



Figura 21.6 – Orientação de painéis no hemisfério Sul



21.2.5 Determinação da potência do gerador FV

O gerador FV deverá ter uma potência (PFV) que deverá garantir a satisfação das necessidades de consumo diário de energia que constam na Tabela 21.5. Por outro lado, com os dados da Tabela 21.6, torna-se possível o cálculo da P_{FV} a instalar para cada dimensionamento feito (em que Ed é seleccionado como sendo o “pior” de todos os casos, ou seja, o valor mais baixo de produção energética).

$$P_{FV} = \frac{W_M}{\eta_{sistema} \times E_M} [kW] \quad (21.23)$$

Onde:

η_{sist} – é o Rendimento do sistema

W_M - é a energia total consumida por dia mês (kWh/mês)

E_M - Produção de energia associada a 1 kW instalado (kWh/mês / kW)



21.2.6 Número de Módulos por Fileira

De forma geral, é recomendado que a tensão de funcionamento do sistema aumente com o aumento de carga diária consumida. Para cargas pequenas (até 1kWh diários) pode utilizar-se 12V como valor de VDC. Já para cargas intermédias (3 a 4 kWh por dia), recomenda-se os 21.11V. Para cargas diárias maiores (acima de 4 kWh diários), deverá adoptar-se VDC de 48V. Esta escolha leva a uma diminuição de perdas pelo sistema. (Sustainable Energy Industry Association of the Pacific Islands, 2012)



21.2.6 Número de Módulos por Fileira

A associação em série permite obter tensões mais elevadas, mantendo a corrente estipulada do módulo. O número de módulos por fileira, N_s é limitado pela tensão da bateria, V_{bat} . Contudo, a tensão máxima do sistema FV deve ser sempre igual ou superior à da bateria, já que o gerador tem que carregar a bateria. Deste modo, o número de módulos por fileira é calculado através da seguinte expressão:

$$N_s > \frac{V_{bat}}{V_{max}} \quad (21.24)$$

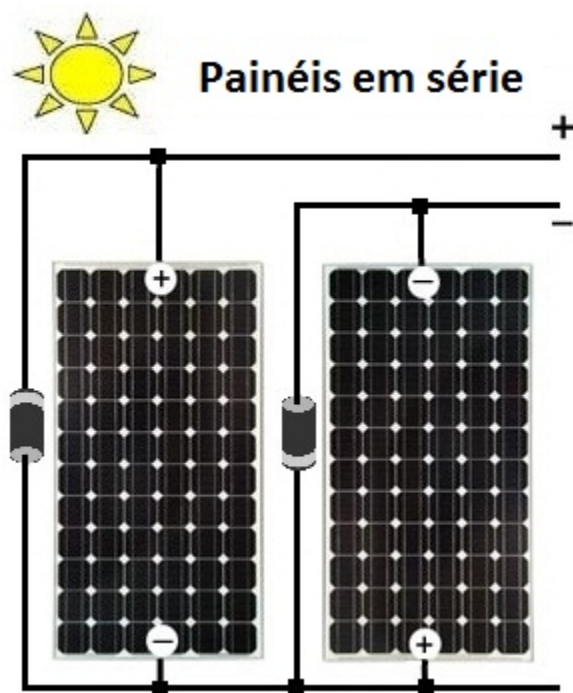
Onde:

V_{bat} Tensão em corrente contínua da bateria (V)

V_{max} corresponde à tensão máxima do módulo medida em condições padrão.



21.2.6 Número de Módulos por Fileira



Se conectarmos um painel a outro em série (Figura 21.7) - (positivo de um painel com o negativo do outro), a cada painel adicionado a corrente se mantém e as tensões se somam.

Figura 21.7 – Ligação de painéis em série





21.2.6.1 Número de Fileiras em Paralelo

A ligação em paralelo entre módulos individuais é efectuada quando se pretende obter correntes mais elevadas e manter o nível de tensão estipulada do módulo. A corrente total, I_T à saída do gerador fotovoltaico é calculada da seguinte forma:

$$I_T = N_F \times I_{\max} \Rightarrow N_F = \frac{I_T}{I_{\max}} \quad (21.24)$$

onde N_F representa o número de fileiras ligadas em paralelo e $I_{\max}$ corresponde à corrente máxima do módulo medida em condições padrão. Por outro lado, a potência do gerador FV corresponde ao produto entre a tensão do gerador ($N_s \times V_{\max}$) e a corrente total:

$$P_{FV} = (N_s \cdot V_{\max}) \times I_T \Rightarrow I_T = \frac{P_{FV}}{N_s \times V_{\max}} [A] \quad (21.25)$$

21.2.6.1 Número de Fileiras em Paralelo

Desta forma, o número de módulos por fileira é calculado através da seguinte expressão:

$$N_F = \frac{P_{FV}}{N_S \times V_{\max} \times I_{\max}} = \frac{P_{FV}}{N_S \times P_m} \quad (21.26)$$

Onde:

P_{FV} - Potência do gerador Foto Voltaico

N_s - Número de módulos em série

$V_{\max}$ - Tensão máxima no ponto de potência máxima do painel a considerar, informação que se encontra disponível na ficha técnica do mesmo [V].

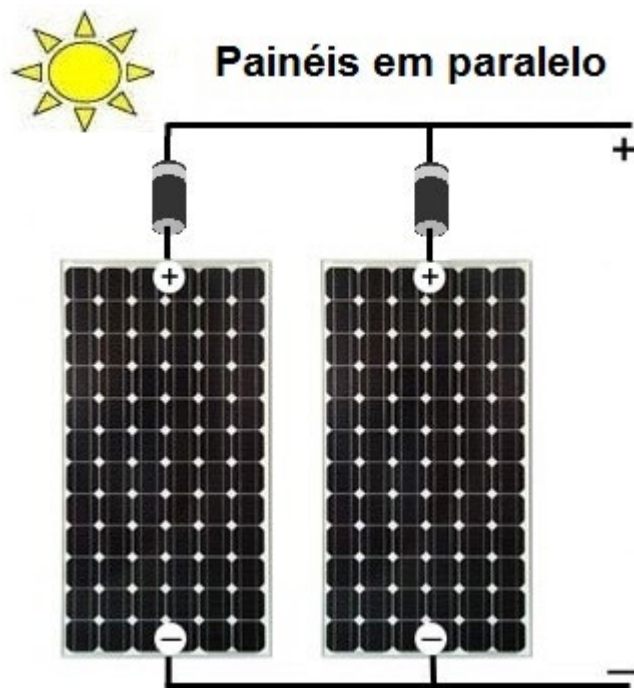
$I_{\max}$ - Corrente máxima no ponto de potência máxima do painel a considerar, informação que se encontra disponível na ficha técnica do mesmo [A].

P_m - corresponde à potência nominal do painel escolhido [W].





21.2.6.1 Número de Fileiras em Paralelo



Se conectarmos um painel a outro em paralelo (Figura 21.8) - (positivo com positivo e negativo com negativo), a cada painel adicionado, a tensão se mantém e as correntes se somam;

Figura 21.8 – Ligação de painéis em paralelo

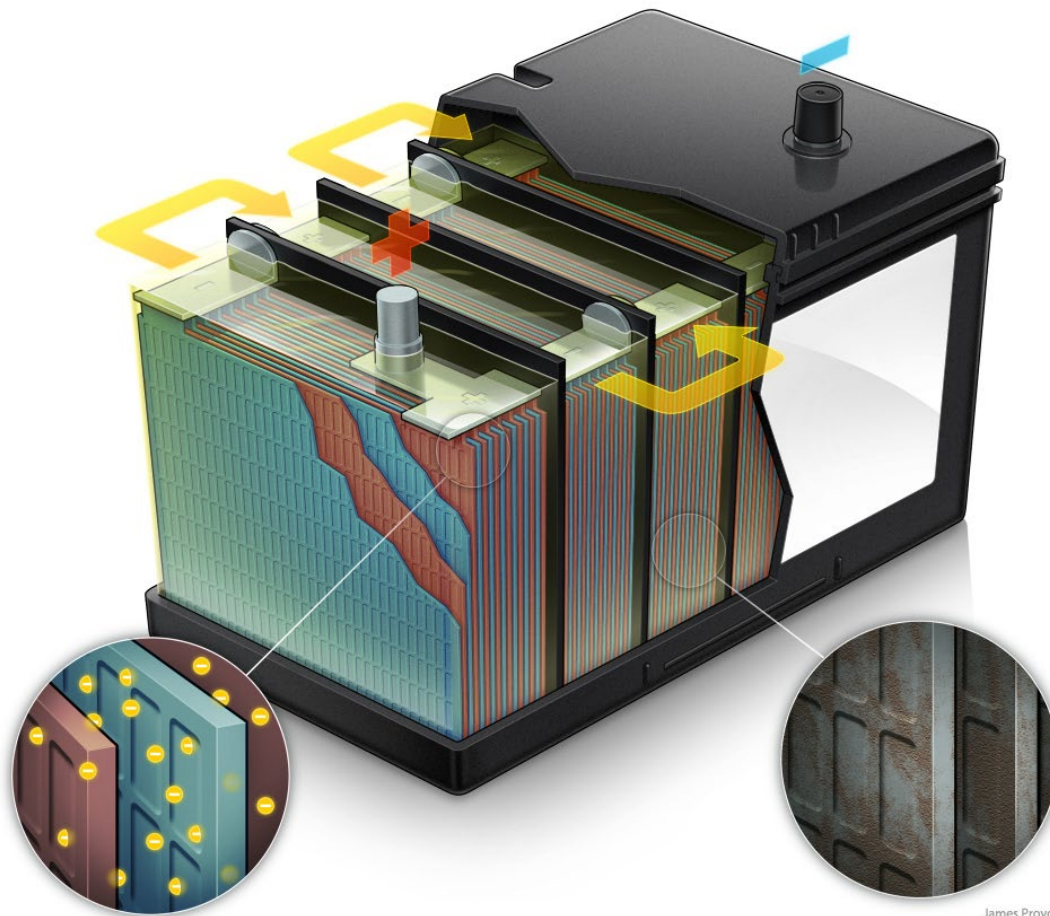


21.2.7 Capacidade da bateria de acumuladores

No âmbito da utilização de sistemas fotovoltaicos autónomos para a alimentação de instalações domésticas, é normalmente comum acontecer que a produção e o consumo de energia não coincidem tanto ao longo do dia, quanto ao longo do ano.

Neste cenário, o armazenamento de energia eléctrica assume um vector absolutamente incontornável. Neste contexto, as baterias representam uma via pela qual é possível efectuar o armazenamento de energia, já que são capazes de transformar directamente a energia eléctrica em energia potencial química e posteriormente converter, directamente, a energia potencial química em energia eléctrica.

21.2.7 Capacidade da bateria de acumuladores



James Provost.com

Figura 21.9 – bateria de acumuladores

21.2.7 Capacidade da bateria de acumuladores

Estado de Carga (State of charge – %): A quantidade de energia eléctrica armazenada pela bateria e um determinado tempo em relação a sua condição 100%. Essa medida depende de sua taxa de descarga;

Tensão de circuito aberto (Open circuit voltage – V): É a medição convencional de tensão da bateria livre de ligações com os circuitos.

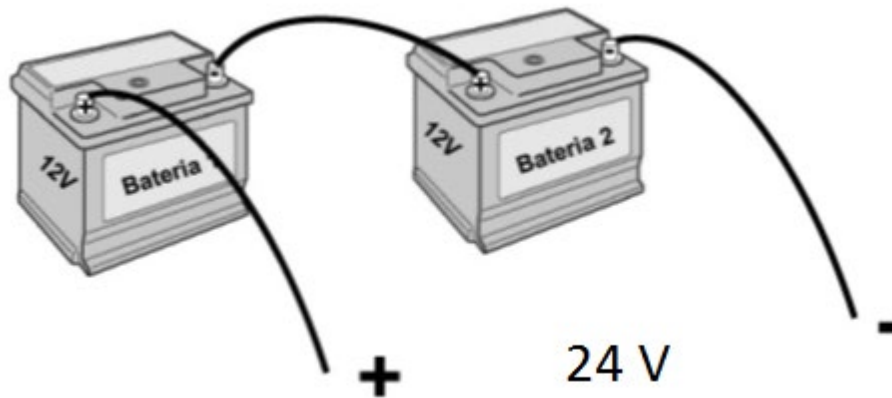
Capacidade: Trata-se da corrente máxima que a bateria fornece em Ah(ampere hora), esse valor é reduzido a medida que a bateria se descarrega;

Capacidade nominal: É uma característica dependente dos componentes internos da bateria, estes influenciam na quantidade de carga que a bateria pode fornecer dentro de 20h, e até que a tensão de descarga seja 10,5V, e com corrente de descarga constante, além de temperatura ambiente de 25°C.

Electrólito: É uma solução electrolítica composta de 34% de ácido sulfúrico e 66% de água destilada, com densidade ρ igual a 1,20 g/cm³ à 26°C.



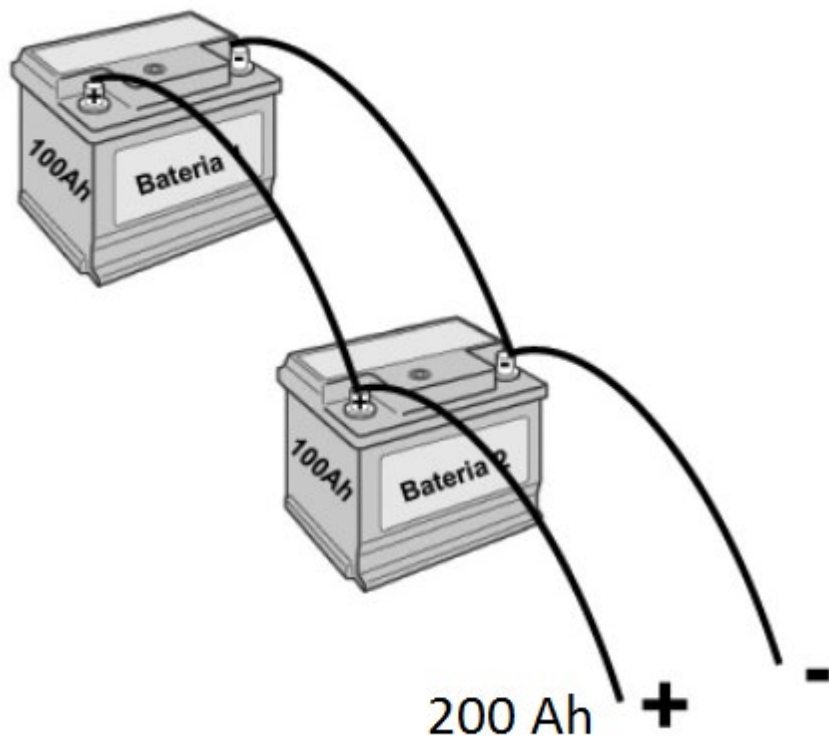
21.2.7 Capacidade da bateria de acumuladores



A ligação de baterias em série resulta numa capacidade constante, porém a tensão terminal aumenta. Como pode ser observado na Figura 21.10, o valor de tensão dobrou a capacidade manteve-se constante.

Figura 21.10 – Ligação de baterias em série

21.2.7 Capacidade da bateria de acumuladores



A ligação de baterias em paralelo resulta no aumento da capacidade do sistema, porém a tensão terminal continua a mesma. Como pode ser observado na Figura 21.11, o valor de tensão não muda, supondo que a capacidade de uma bateria seja 100Ah, o sistema total teria uma capacidade de 200Ah.

Figura 21.11 – Ligação de baterias em paralelo



21.2.7 Capacidade da bateria de acumuladores

A bateria é um dos elementos mais dispendiosos dos actuais sistemas fotovoltaicos. O seu eventual sobredimensionamento incrementa muito os custos de instalação dos sistemas FV. A utilização de baterias subentende que estes equipamentos são utilizados para fornecer a energia que é necessária para satisfazer necessidades diárias de consumo (energia das cargas) na eventualidade de não haver sol (dias de chuva), ou então dias muito nublados. Se fosse possível utilizar-se uma bateria ideal, a sua eficiência, K_{Bat} seria igual a 100% e a profundidade de descarga, KD seria também igual a 100% (ou seja, seria possível descarregar completamente a bateria sem a danificar).





21.2.7 Capacidade da bateria de acumuladores

Se esta hipotética bateria ideal fosse utilizada durante um dia, então a quantidade de carga eléctrica fornecida (expressa em Ah) da bateria, $W(Ah)$ seria calculada através da seguinte expressão:

$$W_{(Ah)} = \frac{\text{Energia diária de consumo}}{\text{Tensão da bateria}} = \frac{W_D (Wh)}{U} [Ah] \quad (21.27)$$

Contudo, em situações reais a eficiência da bateria nunca atinge 100% (por exemplo, para baterias de chumbo – ácido, os valores correntes são de 80%, e a profundidade de descarga máxima de segurança (para não se danificar a bateria) é normalmente de 60%.

21.2.7 Capacidade da bateria de acumuladores

Por outro lado, o número de dias, N_d cuja probabilidade de uma bateria ser utilizada de modo a substituir totalmente o gerador FV, corresponde normalmente a 3 ou 4 dias – céu encoberto ou chuva. Deste modo, o cálculo da capacidade de uma bateria real, CB (Ah) é efectuado através da seguinte equação:

$$C_{(Ah)} = W_{(Ah)} \frac{N_d}{\eta_{sist}} \Leftrightarrow C_{(Ah)} = \frac{W_D (Ah) \times N_d}{U \times \eta_{sist}} [Ah] \quad (21.28)$$



21.2.8 Regulador de Carga

Nos sistemas fotovoltaicos autónomos a tensão nos terminais do painel fotovoltaico deverá ser compatível com a tensão nominal da bateria; na verdade, a tensão do painel deve ser superior à tensão da bateria. Com efeito, atendendo a tensão aos terminais do painel FV depende do valor da temperatura, é importante garantir que para temperaturas elevadas a tensão gerada seja suficientemente alta para acautelar o carregamento das baterias.





21.2.8 Regulador de Carga

Por outro lado, para valores baixos de temperatura é necessário garantir que a tensão do painel fotovoltaico não supere a tensão de carga da bateria. Deste modo, a utilização de um regulador de carga tem como principal função a medição da tensão da bateria e, por conseguinte, a sua protecção contra ocorrência de sobrecargas.

Na eventualidade de a tensão no painel ser inferior à tensão da bateria, o regulador de carga evita que a bateria descarregue através do painel, através da utilização de díodos de bloqueio que evitam a passagem de corrente inversa a ocorrência de sobrecargas.



21.2.8 Regulador de Carga

As principais funções atribuídas aos reguladores de carga das baterias são as seguintes:

- Assegurar o carregamento da bateria;
- Evitar a sobrecarga da bateria;
- Bloquear a corrente inversa entre a bateria e o painel;
- Prevenir a ocorrência de descargas profundas (no caso de baterias chumbo - ácido).

21.2.8.1 Seleccção do regulador de carga MPP

A selecção do regulador de carga MPP é prevista para cumprir o seu valor de corrente máxima DC, $I_{\max \text{ DC}}$. Por isso deverá ser limitada pela corrente total, I_T à saída do gerador fotovoltaico:

$$I_{\max \text{ DC}} > I_T \Leftrightarrow I_{\max \text{ DC}} > (N_F \times I_T) \quad (21.29)$$

Sendo que a corrente a considerar é calculada por:

$$I_T = \frac{P_{FV}}{V_{DC}} [A] \quad (21.30)$$



21.2.8.1 Selecção do regulador de carga MPP

Pode ser necessária a colocação de mais que um controlador, dependendo da corrente máxima do escolhido (I_{max}). Assim, o número de controladores de carga a colocar em paralelo, pode ser calculado através da equação

$$\text{Número de Controladores} = \frac{I_T}{I_{\max DC}} \quad (21.31)$$



21.2.9 Inversores DC/AC

Por imperativo de fabrico dos equipamentos eléctricos, é normalmente utilizado a tensão de 230 V (ou 230/400 V), que corresponde à tensão nominal das redes eléctricas de distribuição de Moçambique. É importante realçar que apesar de existirem no mercado equipamentos domésticos que são fabricados de modo a funcionarem à tensão de 12 V ou 24 V (televisões, frigoríficos, etc.), a sua utilização pelos consumidores é muito reduzida já que, o seu preço é na maioria dos casos relativamente elevado. Afim de se poder dispor de uma tensão de 230 V (ou 230/400 V), em sistemas fotovoltaicos que produzem energia eléctrica em corrente continua (DC), é necessário inserir no sistema os designados inversores de corrente.





21.2.9 Inversores DC/AC

A principal função de um inversor de corrente consiste em estabelecer a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede eléctrica de corrente alternada (AC) ou a carga AC. Neste contexto, a sua principal tarefa consiste em converter o sinal eléctrico DC do gerador fotovoltaico num sinal eléctrico AC, e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede a que ficará ligado.

21.2.9.1 Seleção do inversor

Por outro lado, na eventualidade de os aparelhos (cargas) a alimentar funcionarem em corrente alternada, o inversor deve ser escolhido de modo a garantir a potência máxima simultânea (soma das potências de cada aparelho), $\sum P_i$ dos equipamentos utilizados. Neste sentido, a potência mínima requerida para o inversor, P_{inv} é calculada de acordo com a seguinte equação:

$$P_{inv} > \sum P_i \quad (21.32)$$

