

# **COMPARAÇÃO ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO A ENERGIA SOLAR PARA O CONFORTO TÉRMICO DOS OCUPANTES DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

**Joana Filipa Colaço Mascarenhas**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Energia e Climatização de Edifícios

Orientador: Professor António Mortal

**Faro, 2015**



## Ficha Técnica

**Título:** Comparação energética de sistemas de aquecimento a energia solar para o conforto térmico dos ocupantes de um edifício residencial

**Autor:** Joana Filipa Colaço Mascarenhas

**Objetivo:** obtenção do grau de mestre em Energia e Climatização de Edifícios

**Orientação científica do trabalho:** Professor António Mortal

**Contactos do autor:** joanamascarenhas85@gmail.com

**Local:** Faro

**Ano:** 2015

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluídas.

---

(Joana Filipa Colaço Mascarenhas)

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Ao Professor António Mortal por toda a ajuda disponibilizada durante o desenvolvimento deste projeto.

A todos os docentes do Departamento de Engenharia Mecânica que contribuíram para a minha formação académica.

Um especial agradecimento aos meus pais e aos meus irmãos que de forma indireta e direta sempre me ajudaram na concretização dos meus objetivos.

A todos os meus colegas, por todo o companheirismo durante estes anos de universidade.

Ao meu namorado, por sempre me apoiar e ajudar nas fases mais complicadas.

## **Resumo**

O presente trabalho tem como objetivo o estudo, a análise térmica e económica e a respetiva comparação entre dois sistemas solares para aquecimento do ambiente interior através de um piso radiante para um edifício unifamiliar de tipologia T3.

Numa primeira fase realizou-se uma pesquisa sobre o sistema solar térmico e o sistema fotovoltaico, assim como a sua ligação ao piso radiante, apresentando alguns estudos realizados sobre os mesmos.

O estudo térmico realizou-se através do método ASHRAE, calculando as cargas térmicas do edifício, projetado apenas para este estudo, e através da folha de cálculo do Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). Com os resultados obtidos foi possível dimensionar o sistema solar térmico e fotovoltaico através do programa SolTerm e PVsyst, e estimar a quantidade de painéis a utilizar, depósito e bomba de calor. Seguiu-se uma estimativa dos custos de ambos os sistemas.

Por fim, discutem-se os resultados obtidos e conclui-se que o sistema fotovoltaico é o sistema economicamente mais viável e mais versátil.

### **Palavras-chave:**

Sistema solar térmico

Sistema fotovoltaico

Piso radiante

Análise económica

## **Abstract**

This current paper’s objective consists on the study, thermal and economic analysis and comparison between two solar systems solutions to heat the interior of a small familiar building using a radiant floor system.

In a first stage, a research was made regarding Solar Thermal Systems and Photovoltaic Systems and also their ability to work with Radiant Floor systems, using for that former studies about the subject.

The Thermal study was based on the ASHRAE method and the REH Spreadsheet, they were used to determine the thermal charges of the building, which was designed only for this study. With the results obtained it was possible to choose a Solar Thermal System and a Photovoltaic System using SolTerm and PVsyst softwares, and estimate de number modules and deposit and heat pump capacities. Then the cost of both systems was estimated for comparison.

To conclude, all the data and results are discussed proving that the Photovoltaic System is the more economically viable and flexible of both.

### **Key-Words:**

Solar Thermal Systems

Photovoltaic Sytems

Radiant floor systems

Economic analysis

# ÍNDICE GERAL

INDICE DE FIGURAS .....	vi
INDICE DE TABELAS .....	viii
INDICE DE GRÁFICOS .....	viii
1 Introdução .....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Enquadramento e objetivos do trabalho .....	1
2 Energia Solar.....	4
2.1 Radiação solar .....	5
3 Sistema solar térmico .....	11
3.1 Coletores solares térmicos.....	12
3.2 Ligação entre coletores .....	16
3.3 Permutadores de Calor .....	18
3.4 Depósitos de acumulação.....	19
3.5 Tipos de Sistemas Solares Térmicos.....	22
4 Sistemas Fotovoltaicos.....	27
4.1 Sistemas conectados à rede .....	28
4.2 Sistemas Híbridos .....	28
4.3 Sistemas Autónomos.....	29
4.4 Tecnologias Fotovoltaicas.....	30
4.5 Célula Fotovoltaica .....	30
4.5.1 Efeito Fotovoltaico.....	31
4.5.2 Células Fotovoltaicas .....	31
4.5.3 Modelo equivalente de uma célula fotovoltaica.....	32
4.6 Corrente de curto-circuito e tensão em circuito aberto .....	33
4.7 Fator de forma e rendimento .....	33
4.8 Potência elétrica .....	34
4.9 Efeito da radiação.....	34
4.10 Efeito da temperatura .....	34
4.11 Módulos e painéis fotovoltaicos.....	35
4.12 Díodos de desvio e díodos de fileira .....	37
4.13 Características técnicas dos módulos .....	38
4.14 Inversores .....	38
4.14.1 Escolher um inversor.....	39
4.14.2 Baterias.....	39
5 Piso Radiante.....	43
5.1 Funcionamento do piso radiante .....	43

5.2	Constituição do Piso Radiante .....	44
5.3	Vantagens e Desvantagens do Piso Radiante.....	45
5.4	Tubagens .....	45
5.5	Estado da arte.....	46
5.5.1	Piso Radiante assistido por um sistema Solar Térmico.....	46
5.5.2	Piso Radiante assistido por Solar Fotovoltaico.....	49
6	Necessidades de aquecimento e arrefecimento .....	52
6.1	Balço energético dos edifícios.....	52
6.2	Conforto Térmico.....	54
6.3	Cargas Térmicas em Edifícios .....	57
6.3.1	Cargas Térmicas de Aquecimento.....	58
6.3.2	Cargas Térmicas de Arrefecimento.....	61
6.4	Regulamento do desempenho energético dos edifícios de habitação.....	64
7	Caso de Estudo.....	67
7.1	Caracterização do edifício.....	67
7.2	Cálculo das cargas térmicas de aquecimento .....	69
7.2.1	Método ASHRAE .....	69
7.2.2	Folha de cálculo do regulamento .....	70
7.3	Dimensionamento painéis solares térmicos .....	73
7.4	Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos.....	77
7.5	Resultados obtidos e discussão .....	80
8	Conclusão.....	86
9	Bibliografia .....	88
Anexos	.....	92

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Aproveitamento da energia solar na Terra [2] .....	4
Figura 2.2 - Estações do ano e o movimento da Terra em torno do sol [27] .....	5
Figura 2.3 - Ilustração dos ângulos $\alpha$ e $as$ [28] .....	6
Figura 2.4 - Coordenadas de orientação da superfície, $a_w$ e $\beta$ , e o ângulo $\gamma$ [28]	7
Figura 2.5 - Espectro eletromagnético [29] .....	7
Figura 2.6 - Luz solar e o seu percurso através da atmosfera [30] .....	8
Figura 3.1 - Padre Himalaia e o seu invento, o Pirelióforo [31] .....	11
Figura 3.2 - Constituição do painel solar [34] .....	13
Figura 3.3 - Coletor plano sem cobertura [35] .....	13
Figura 3.4 - Coletor plano [36] .....	14
Figura 3.5 - Coletores tubo de vácuo [37] .....	14
Figura 3.6 - Coletor CPC [38] .....	15
Figura 3.7 - Ligação em série [3] .....	17
Figura 3.8 - Ligação em paralelo [3] .....	17
Figura 3.9 - Ligação em paralelo de canais [3] .....	18
Figura 3.10 - Permutador de calor [39] .....	19
Figura 3.11 - Depósito de câmara interna [40] .....	20
Figura 3.12 - Depósito de serpentina simples [40] .....	20
Figura 3.13 - Depósito combinado [40] .....	21
Figura 3.14 - Depósito com permutador externo [40] .....	21
Figura 3.15 - Circuito termossifão [41] .....	23
Figura 3.16 - Circulação forçada [41] .....	24
Figura 3.17 - Sistema Direto e Sistema Indireto [42] .....	25
Figura 4.1 - Energia solar fotovoltaica: Princípio de funcionamento [44] .....	27
Figura 4.2 - Exemplo de um sistema híbrido com energia eólica [45] .....	29
Figura 4.3 - Exemplo de um sistema autónomo constituído por um gerador fotovoltaico, regulador de carga, acumulador e consumidor final [46] .....	30
Figura 4.4 - Exemplo de configuração em série de painéis fotovoltaicos [47] ....	35
Figura 4.5 - Exemplo de painéis fotovoltaicos ligados em paralelo [47] .....	36
Figura 4.6 - Exemplo de uma associação mista de painéis fotovoltaicos [47] ....	37
Figura 4.7 - Díodos de bypass e díodos de fileira [2] .....	37
Figura 4.8 - Inversor DC/AC inserido num sistema FV [2] .....	39
Figura 5.1 - Construção de um piso radiante [48] .....	44
Figura 5.2 - Vários tipos de disposição de tubagens de um piso radiante [48] ...	46
Figura 5.3 - Esquema do sistema solar com piso radiante com um depósito de armazenamento sazonal subterrâneo [24] .....	48
Figura 5.4 - Diagrama de fluxo de aquecimento do sistema [10] .....	50
Figura 6.1 - Radiação solar ao longo do ano por orientações [16] .....	54

Figura 7.1 - Projeto do edifício em estudo.....	68
Figura 7.2 - Caracterização do edifício no REH .....	71
Figura 7.3 - Caracterização da envolvente exterior do edifício .....	71
Figura 7.4 - Caracterização da cobertura .....	71
Figura 7.5 - Caracterização dos vãos envidraçados .....	71
Figura 7.6 - Caracterização dos vãos envidraçados (continuação).....	72
Figura 7.7 - Caracterização do pavimento térreo .....	72
Figura 7.8 - Pontes térmicas lineares do edifício .....	72
Figura 7.9 - Seleção do concelho no SolTerm .....	73
Figura 7.10 – Definição do sombreamento e outros detalhes do local.....	74
Figura 7.11 - Perfil de consumo de água quente .....	74
Figura 7.12 - Escolha do depósito no Solterm .....	75
Figura 7.13 - Esquema do sistema solar com 6 coletores solares .....	75
Figura 7.14 – Desempenho do sistema solar para os 6 coletores Sonnenkraft SKR500.....	76
Figura 7.15 - Introdução de dados no programa PVsyst.....	77
Figura 7.16 - Radiações inclinada e horizontal em kWh/m <sup>2</sup> .dia .....	77
Figura 7.17 - Especificações do sistema fotovoltaico .....	79
Figura 7.18 - Escolha do tipo de painéis pretendidos.....	79
Figura 7.19 - Resultado da simulação no programa PVsyst.....	80

## INDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Vantagens e desvantagens dos coletores solares existentes [adaptado de: 33].....	16
Tabela 3.2 - Diferenças entre os tipos de ligação de coletores [3].....	18
Tabela 4.1 - Rendimentos das diferentes tecnologias.....	32
Tabela 6.1 - Níveis de metabolismo em função da atividade desenvolvida [17]	56
Tabela 6.2 - Correspondência entre PMV e a sensação térmica [6].....	56
Tabela 6.3 - Condições de cálculo segundo a norma ISO 7730 [6].....	57
Tabela 7.1 – Áreas úteis das zonas da habitação.....	68
Tabela 7.2- Características dos vãos envidraçados.....	69
Tabela 7.3 - Coeficientes de transmissão térmica do edifício.....	69
Tabela 7.4 - Resumo dos dados obtidos durante o projeto (o autor).....	82
Tabela 7.5 - Investimento dos sistemas solares em estudo (o autor).....	83

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 7.1 - Oscilação das cargas térmicas de aquecimento da envolvente .....	81
Gráfico 7.2 - Oscilação da temperatura exterior .....	81
Gráfico 7.3 - Ganhos solares nos envidraçados .....	82

## Lista de Acrónimos e Siglas

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
REH	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
CPC	Coletores Concentradores
AQS	Águas quentes sanitárias
COP	Coefficient of Performance
CT	Cargas térmicas
FV	Fotovoltaico
AC	Corrente alternada
DC	Corrente Contínua

## Lista de Símbolos

A	Área, $m^2$
Q	Carga Térmica, W
U	Coefficiente de Transmissão Térmica, $W/(m^2 \cdot C)$
$E_{diário}$	Energia útil de aquecimento diária, kWh/dia
S	Radiação solar anual, kWh/ $m^2$
$E_{pv}$	Energia annual do Sistema fotovoltaico, kWh/dia
$P_{pv}$	Potência do fotovoltaico, kW



# 1 INTRODUÇÃO

---

## 1.1 MOTIVAÇÃO

No tempo que vivemos, o recurso a energias renováveis tem aumentado significativamente, muito devido aos elevados preços praticados pelas empresas fornecedoras de combustíveis fósseis e pela sua iminente escassez. Desta forma, as energias renováveis tem ganho um grande destaque nas habitações portuguesas, seja através de painéis solares para aquecimento de águas quentes sanitárias, seja para aquecimento ambiente através de um piso radiante, ou até mesmo um painel solar fotovoltaico para geração de eletricidade, entre outros

O sol é a nossa principal fonte de energia e algumas fontes de energia renováveis são formas indiretas da energia solar. Neste aspeto, Portugal é um privilegiado devido à sua localização e consegue aproveitar da melhor forma a energia solar.

## 1.2 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS DO TRABALHO

O edifício em estudo neste trabalho é um edifício desenhado apenas para fins de projeto e foi pensado para uma família de três pessoas, com aquecimento ambiente através de um piso radiante alimentado por um sistema solar.

Este trabalho permite a realização de um estudo sobre as cargas térmicas de um edifício através do método ASHRAE, assim como a utilização da folha de cálculo do Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, que dará a conhecer o valor de energia útil para a estação de aquecimento da habitação, e permite, também, compreender o funcionamento térmico do mesmo.

O objetivo do projeto é a determinação do melhor sistema de aquecimento, através de uma análise económica, com recurso a energias renováveis para aquecimento de habitações unifamiliares.

No segundo capítulo encontra-se uma pequena abordagem à energia solar, nomeadamente sobre a sua importância e o que a constitui.

O terceiro capítulo explora o sistema solar térmico, juntamente com os seus componentes. Inicia-se com uma explicação sobre o primeiro equipamento de captação de energia, criado no século passado. Posteriormente explica-se os diferentes tipos de coletores solares, tipos de ligação entre coletores, depósitos de acumulação, permutadores de calor e por fim, os tipos de circulação das instalações solares.

No quarto capítulo está descrito o sistema fotovoltaico. Este capítulo apresenta os tipos de sistemas fotovoltaicos (híbridos, autónomos, conectados à rede), as tecnologias fotovoltaicas, e todos os componentes que constituem um sistema solar fotovoltaico.

O quinto capítulo fala sobre o piso radiante, sobre o seu funcionamento, constituição, tubagens e sobre as suas vantagens e desvantagens. Pretende-se neste capítulo falar sobre a investigação realizada sobre os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos alimentando um piso radiante.

No sexto capítulo fala-se sobre as necessidades de aquecimento e arrefecimento, do balanço energético dos edifícios e do conforto térmico. Explica-se o método ASHRAE para o cálculo de cargas térmicas. No final, faz-se uma breve abordagem ao Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH).

O sétimo capítulo aborda o caso de estudo, descrevendo o método de cálculo e discutindo os resultados obtidos. Apresenta também o dimensionamento dos dois tipos de sistemas solares e qual o mais eficiente economicamente para o aquecimento da habitação em estudo.

Por fim, as conclusões retiradas deste estudo são descritas no oitavo capítulo e no nono capítulo encontram-se as referências bibliográficas.



## 2 ENERGIA SOLAR

“O sol está situado a cerca de 150 milhões de quilómetros, sendo a estrela mais próxima da terra, esta fornece-nos a quase totalidade da energia consumida”. (...) a energia solar é produzida no centro do sol por uma reação termonuclear, de onde se liberta uma onda de calor pela fusão do hidrogénio de hélio, resultando temperaturas de vários milhões de graus centígrados no seu interior, e cerca de 5500 °C à sua superfície.” [Francisco Moita 1985 DGEG]

A utilização das energias renováveis tem crescido consideravelmente ao longo dos anos, muito devido às questões ambientais e climáticas provocadas pelo aumento sucessivo das emissões de poluentes para o meio ambiente, tendo como resultado o aquecimento global.

O sol é a nossa principal fonte de energia e é um recurso praticamente inesgotável e constante, quando comparado com a nossa escala de existência neste planeta. Portugal é um privilegiado no que diz respeito à energia solar, sendo que é dos países com mais radiação solar por  $m^2$  em toda a Europa.

A energia solar pode ser usada para aquecer e iluminar edifícios, aquecimento de piscinas, para fornecimento de águas quentes sanitárias nos sectores doméstico, serviços, indústria e agropecuária. Também possibilita a produção de elevadas temperaturas para a produção de vapor de processo ou geração de eletricidade, através de tecnologias de concentração de radiação [1]. Outro fato é que a energia solar não produz ruídos, não polui e é dos sistemas mais altamente fiáveis e duradouros. [2]

Muitas fontes de energia como a biomassa, eólica, energia dos oceanos, hidráulica são fontes indiretas de energia solar:

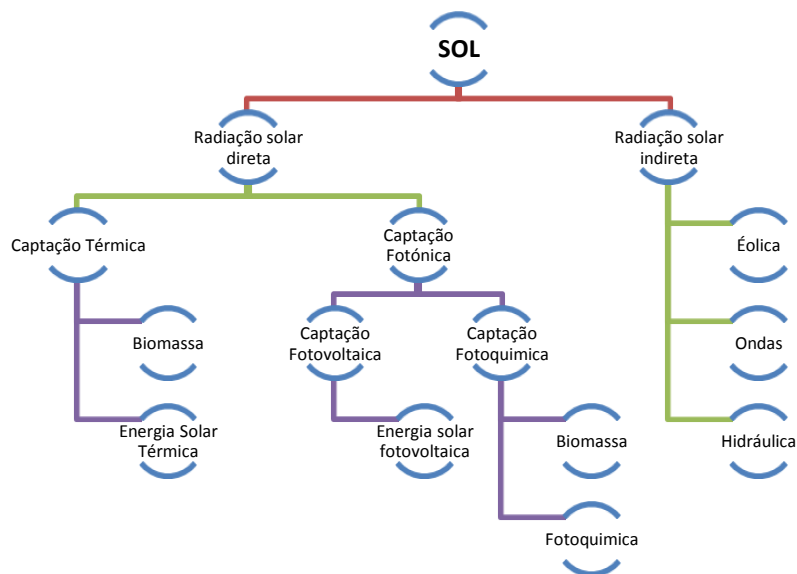


Figura 2.1 - Aproveitamento da energia solar na Terra [2]

## 2.1 RADIAÇÃO SOLAR

A energia solar (a energia proveniente do sol sob a forma de ondas eletromagnéticas) é responsável por todos os processos físicos e químicos e pelos fenômenos que se fazem sentir à superfície da Terra. Porém, apenas uma pequena parte da energia irradiada pelo sol atinge a superfície da Terra, e esta quantidade varia de lugar para lugar, havendo, então, uma variação e uma distribuição desigual desta energia à superfície da atmosfera e no globo.

Além das condições atmosféricas, a disponibilidade de radiação solar depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e do ano). Isto deve-se à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução) [27]. Durante o movimento anual, a Terra descreve em trajetória elíptica um plano que é inclinado de aproximadamente  $23.5^\circ$  em relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos da posição do sol para uma determinada data.



Figura 2.2 - Estações do ano e o movimento da Terra em torno do sol [27]

A duração solar do dia (período de visibilidade do Sol ou de claridade) varia, em algumas regiões e períodos do ano, de zero horas (Sol abaixo da linha do horizonte durante o dia todo) e 24h (Sol sempre acima da linha do horizonte). As variações são mais intensas nas regiões polares e nos períodos de Solstício. O inverno corre próximo à linha do equador e durante os equinócios [27].

A posição angular do sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do equador (Norte positivo) é denominado de declinação solar, e este ângulo apresenta variações de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites [28]:

$$-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$$

Somando a declinação com a latitude local pode-se determinar a trajetória do movimento aparente do sol para um determinado dia em uma dada localidade na Terra. A declinação solar varia entre  $-23.45^\circ$  no solstício do inverno (21 de Dezembro) e  $+23.45^\circ$  no solstício de verão (21 ou 22 de Junho), sendo nula dos equinócios da primavera (20 ou 21 de Março) e do outono (21 de Setembro), pois a duração do dia é igual à duração da noite.

As relações geométricas entre os raios solares, que variam de acordo com o movimento aparente do sol, e a superfície terrestre, são descritas através dos seguintes ângulos [28]:

**Ângulo de incidência ( $\gamma$ ):** ângulo formado entre os raios do sol e a normal à superfície de captação.

**Ângulo de azimutal da superfície ( $a_w$ ):** ângulo entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul. O deslocamento angular é tomado a partir do Norte.

$$-180^\circ \leq a_w \leq 180^\circ$$

O ângulo será positivo quando a projeção se encontra à esquerda do Norte, e negativo quando se encontra à direita.

**Ângulo azimutal do sol ( $a_s$ ):** ângulo entre a projeção do raio solar no plano horizontal e a direção Norte-Sul. Obedece à mesma convenção do azimutal da superfície.

**Altura solar ( $\alpha$ ):** ângulo compreendido entre o raio solar e a projeção do mesmo sobre um plano horizontal.

**Inclinação ( $\beta$ ):** ângulo entre o plano da superfície em questão e a horizontal.

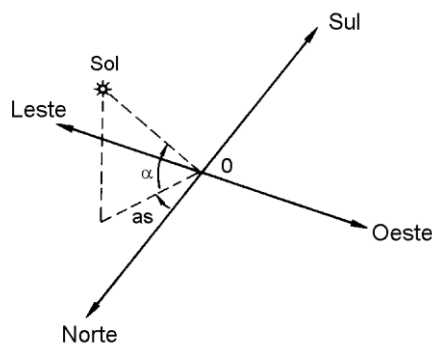


Figura 2.3 - Ilustração dos ângulos  $\alpha$  e  $a_s$  [28]

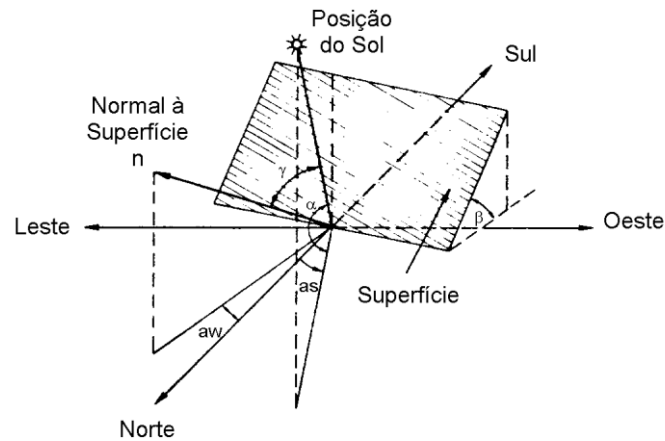


Figura 2.4 - Coordenadas de orientação da superfície,  $a_w$  e  $\beta$ , e o ângulo  $\gamma$  [28]

Devido à grande distância entre a Terra e o Sol, apenas uma pequena parte da energia solar emitida chega à Terra. Esta energia é constituída por várias classes de radiação eletromagnética evidenciando características comuns, mas produzindo efeitos distintos em virtude dos comprimentos de onda serem diferentes [6].

A radiação solar é um fenómeno de natureza eletromagnética, propagando-se segundo um movimento ondulatório, e a sua velocidade é de 300 000 Km/s, levando cerca de 8 minutos a chegar à Terra. A energia solar chega à Terra na forma de radiação eletromagnética, com comprimentos de onda entre os 0,1  $\mu\text{m}$  (raios-x) até 100 m (ondas de rádio). A Terra mantém o equilíbrio térmico entre a captação de radiação solar com comprimentos de onda curtos (0,3 até 2,0  $\mu\text{m}$ ) e o fluxo de saída de radiação com comprimentos de onda longos (3,0 até 30  $\mu\text{m}$ ). Apenas um pequeno intervalo é considerado em aplicações terrestres, porque 99% da energia solar possui comprimentos de onda entre 0,28 e 4,96  $\mu\text{m}$ . O valor atual da constante solar, cuja definição é a intensidade de radiação solar numa superfície normal aos raios solares, logo a seguir à atmosfera terrestre, é de 1367  $\text{W}/\text{m}^2$ .

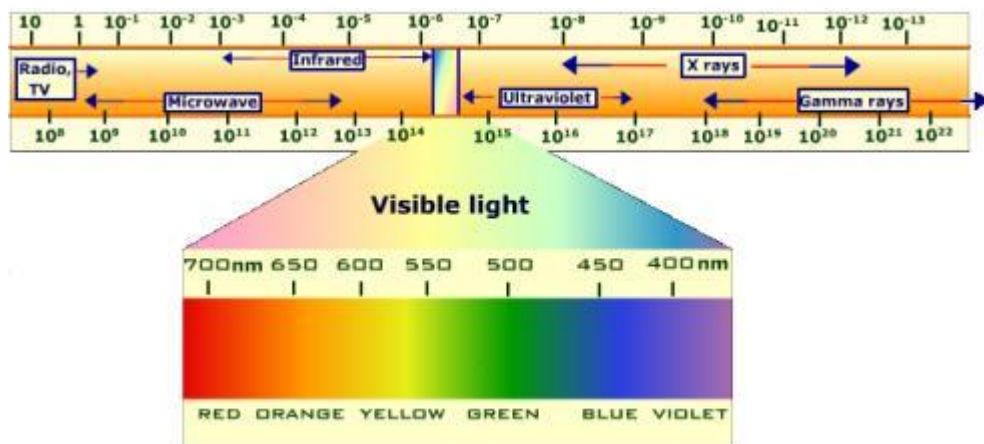


Figura 2.5 - Espectro eletromagnético [29]

A energia produzida pelo Sol mantém a temperatura dentro dos 40 milhões de °C no centro do seu núcleo, e é emitida para o espaço em quantidades e forma que nos permitem dizer que o Sol é equivalente a um corpo negro a 5760 K.

Cerca de 35% da energia emitida pelo Sol é refletida para o espaço e absorvida pela atmosfera terrestre e assim teremos três tipos de radiação:

- **Radiação Difusa:** Radiação que alcança a terra após ter sido dispersada de raios solares diretos por moléculas em suspensão na atmosfera.
- **Radiação Direta:** Radiação que vem segundo a direção do sol, produzindo sombras bem definidas em qualquer objeto.
- **Radiação Refletida:** Proveniente da reflexão no chão e em objetos circundantes.



Figura 2.6 - Luz solar e o seu percurso através da atmosfera [30]

A decomposição da radiação térmica é traduzida pela seguinte expressão:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

Onde:

$\alpha$  = Razão entre a radiação absorvida e a radiação térmica incidente na superfície (“absortividade”);

$\rho$  = Razão entre a radiação refletida e a radiação térmica incidente na superfície (“refletividade”)

$\tau$  = Razão entre a radiação transmitida e a radiação térmica incidente na superfície (“transmissividade”)

Além desta igualdade associada à radiação térmica de um determinado corpo, também se verifica que o próprio corpo emite radiação térmica através da sua superfície para a sua vizinhança. O fluxo de energia radiante que sai de um corpo opaco ( $\tau=1$ ) com uma superfície refletora é composto por uma componente refletora e outra emitida, sendo que o fluxo emitido depende da temperatura e das características do material da superfície do corpo. Um corpo cuja superfície não seja refletora é considerado um corpo negro desde que na ausência de radiação emitida e transmitida não produza radiação visível ao olho humano; um corpo negro é um bom absorvedor de radiação e um perfeito emissor de radiação térmica.

A lei de Wien relaciona o comprimento de onda da radiação térmica, na qual se verifica a máxima emissão monocromática do corpo negro com a sua temperatura (T):

$$\lambda_{max} = \frac{2897.6}{T} [\mu m] \quad (2)$$

Constata-se que quando a temperatura do corpo negro aumenta, o valor da potência máxima emitido pela sua superfície corresponde a comprimentos de onda cada vez menores. Conclui-se que superfícies com temperaturas elevadas são emissoras de radiação térmica principalmente com comprimentos de onda curtos enquanto que superfícies com temperaturas baixas são emissoras na faixa dos comprimentos de onda longos.



### 3 SISTEMA SOLAR TÉRMICO

O Padre Manuel António Gomes, mais conhecido como Padre Himalaia, nascido no século passado, foi o inventor do mais avançado equipamento de captação de energia solar da sua época, o Pirelióforo.



Figura 3.1 - Padre Himalaia e o seu invento, o Pirelióforo [31]

O Pirelióforo, cujo significado etimológico do grego é “*eu trago o fogo do Sol*”, foi galardoado na exposição universal de St. Louis em Abril de 1904 com duas medalhas, uma de prata e outra de ouro. Este equipamento consistia num espelho parabólico, com uma superfície refletora de 80 metros quadrados, formado por 6177 pequenos espelhos que refletiam a luz do Sol numa capsula refratária, que funcionava como um recipiente e onde se colocavam metais a fundir. Era capaz de gerar temperaturas na ordem dos 3500 °C [31].

Apesar deste engenho a utilização da energia solar só começou na década de 80 para aquecimento de águas sanitárias, logo a seguir ao choque petrolífero, mas mesmo assim este aproveitamento energético não teve grande impacto, sendo um dos fatores apontados a falta de qualidade dos equipamentos e das instalações efetuadas. Contudo, ainda existem equipamentos da altura, com cerca de 20 anos de funcionamento, que prova que este tipo de instalação tem um ciclo de vida bastante longo. No ano de 2003 foi lançado o programa “Água Quente Solar para Portugal”, que preconizava o binómio Equipamento Certificado e Instaladores Certificados, o qual garante o correto funcionamento das instalações e a recuperação do investimento. Outro objetivo deste programa era impulsionar a instalação de 1 milhão de  $m^2$  até 2010 a uma taxa de 150.000  $m^2$  ao ano. Contudo, até 2006 apenas tinham sido instalados cerca de 28.300  $m^2$  de coletores solares térmicos [31]

De todas as fontes de energia renováveis que existem a energia solar é a mais importante, uma vez que as outras fontes de energia renováveis como a dos oceanos, biomassa, eólica e combustíveis fósseis, são formas indiretas da energia solar. A energia solar pode ser transformada em duas formas: a energia solar térmica e a energia solar elétrica. As aplicações da energia solar térmica passam pelo aquecimento de águas sanitárias, seja em habitações coletivas como em habitações residenciais, aquecimento ambiente e de piscinas, entre outros [32].

### 3.1 COLETORES SOLARES TÉRMICOS

Os coletores solares são os componentes centrais das instalações de aproveitamento de energia solar térmica e tem como função captar e converter a luz solar (radiação de onda curta) em calor e transferir a energia obtida, com o mínimo de perdas, para o resto do sistema, através de água, óleo ou outro fluido, dependendo da temperatura de funcionamento do sistema. É constituído por vários elementos, que se encarregam de captar, armazenar e distribuir a energia e ainda controlar todo o sistema. Existem ainda elementos de apoio para quando a capacidade do sistema para produzir é insuficiente, como esquentadores e caldeiras. O seu funcionamento baseia-se em dois fenómenos: a absorção de calor pelas superfícies escuras e o movimento de subida dos fluidos líquidos em circuitos com variações de temperatura. Além disto os coletores solares tem as seguintes características [32] [33]:

- Possuir uma superfície de absorção que permita um elevado nível de captação da energia radiante incidente para os baixos comprimentos de onda, da ordem de 0.3 e 3.0  $\mu\text{m}$ .
- Apresentar um reduzido índice de perdas, através da utilização de um bom isolamento térmico.
- Possuir baixo nível de emissividade para a radiação solar nos comprimentos de onda mais comuns que se situam entre 3.0 e 30  $\mu\text{m}$ .

Os elementos constituintes de um sistema solar térmico são:

- Coletor solar: Um ou mais, que transformam a radiação incidente em energia térmica;
- Sistema de circulação: conjunto de equipamentos e acessórios que fazem com que o fluido de trabalho circule do coletor solar para o depósito acumulador (no circuito primário), e a água a aquecer, circule desde a entrada do depósito, até à sua saída e conseqüente consumo;
- Unidade de depósito (acumulador): reservatório que acumula a água quente até que esta seja necessária para consumo;
- Unidade de controlo: elementos de regulação que asseguram o correto funcionamento do sistema;
- Unidade de apoio: sistemas complementares de aquecimento que apenas são acionados quando as radiações recebidas pelo painel não são suficientes para o nível de aquecimento desejado.

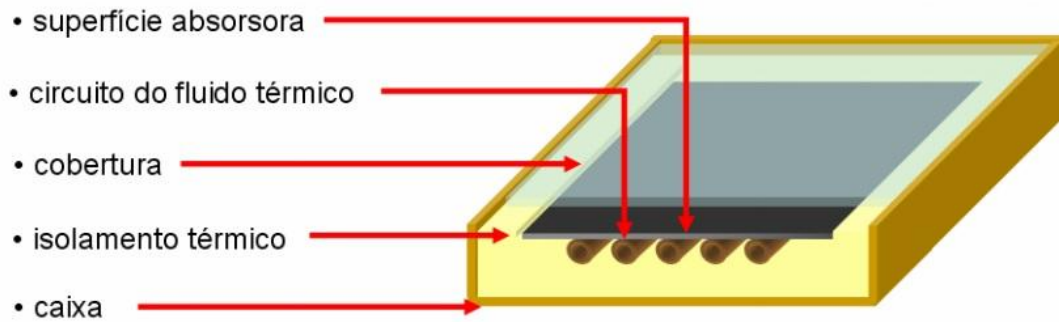


Figura 3.2 - Constituição do painel solar [34]

A figura 3.2 identifica os componentes de um painel solar: uma superfície absorvedora que capta a radiação e a transmite ao fluido que aí circula, uma cobertura e uma caixa termicamente isolada.

Existem vários tipos de coletores solares térmicos: planos sem cobertura, planos, tubos de vácuo e coletores concentradores. Cada um deles é mais adequado para determinada gama de temperaturas.

### Coletores planos sem cobertura

Os coletores planos sem cobertura, ou coletores para baixa temperatura, são fundamentalmente utilizados para o aquecimento de piscinas. São constituídos por um conjunto de tubos flexíveis ligados em paralelo, sem cobertura nem isolamento. Apresentam uma eficiência ótica elevada mas possuem um coeficiente de perdas muito elevado.

São de fácil aplicação e económicos em relação a outros coletores, mas em contrapartida possuem uma eficiência reduzida para sistemas de altas temperaturas, devido às perdas térmicas com o exterior. As perdas térmicas são reduzidas quando se pretende temperaturas baixas, próxima da temperatura ambiente.

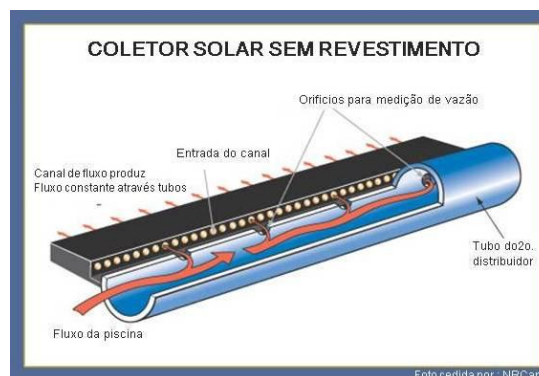


Figura 3.3 - Coletor plano sem cobertura [35]

### Coletores Planos

Este tipo de coletores são utilizados para o aquecimento de AQS e no aquecimento ambiente ( $<60^{\circ}\text{C}$ ). São constituídos por uma caixa exterior que aloja o isolamento térmico, os tubos para escoamento do fluido, uma placa absorvedora preta, uma cobertura transparente de vidro e um sistema de vedação. Atua como um recetor, que recolhe a energia do Sol, aquecendo a placa absorvedora, e tem como missão receber a energia, transformando-a em calor para poder transmiti-la ao fluido térmico.



Figura 3.4 - Coletor plano [36]

### Coletores de tubos de vácuo

Os coletores de tubos de vácuo no seu interior utilizam vácuo para diminuir as perdas térmicas, aumentando assim a temperatura final da água. São compostos por uma série de tubos, cada um composto pelo seu absorvedor, o que faz com que os raios solares incidam perpendicularmente na sua superfície durante todo o dia, permitindo uma eficiência superior relativamente aos coletores planos.



Figura 3.5 - Coletores tubo de vácuo [37]

## Coletores Concentradores

Utilizam refletores especiais com a finalidade de aumentar a intensidade da radiação sobre a superfície absorvente, conseguindo assim altas temperaturas no fluido transportador de calor. A desvantagem é a necessidade de possuir um sistema de seguimento para conseguir que o coletor esteja permanentemente orientado em direção a Sul.

Permitem a obtenção de temperaturas que podem ultrapassar os 300°C, não sendo utilizados para sistemas de aquecimento de edifícios ou de águas sanitárias. Podem ser do tipo cilíndrico ou de revolução e são utilizados em centrais solares térmicas.

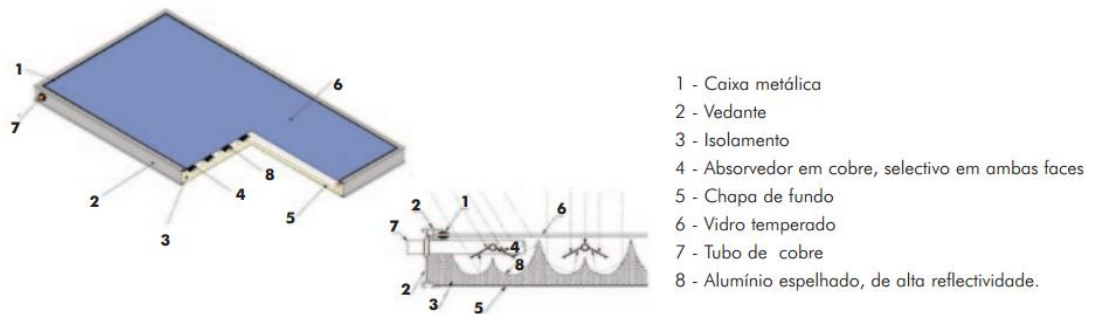


Figura 3.6 - Coletor CPC [38]

		COLETOR			
		Plano sem cobertura	Plano com cobertura	CPC	Tubos de vácuo
VANTAGENS		Os coletores substituem a cobertura do telhado, reduzindo os custos com a cobertura	Mais económico que outros coletores	Gera altas temperaturas	Apresenta uma redução significativa de perdas de calor por condução no interior dos tubos
		Disponível em diversas formas podendo tornar-se uma solução estética	Vasta oferta de montagem, no telhado, integrado na fachada e de instalação livre	Alta eficiência mesmo com baixa radiação	Alta eficiência com baixa radiação, permitindo a captação de energia mesmo com temperaturas negativas, bastando existir luz
		Económico, sendo o seu investimento menor.	Boa relação custo/performance	Indicado para AQS e aquecimento ambiente	O vácuo reduz consideravelmente a perda de calor por condução no interior dos tubos
				Suporta aplicações de calor com mais eficiência que outros coletores	Suporta, com um mínimo efeito na eficiência, o vento e a chuva
					Suporta aplicações de calor com mais eficiência que outros coletores
					Atinge elevadas temperaturas (temp. máx até 160°C), podendo ser utilizado em sistemas de ar condicionado e produção de calor
DESvantagens					Suporta cargas térmicas com mais eficiência que os coletores planos
					Um tubo danificado ou partido não obriga a parar o sistema
					Facilidade de transporte e apresenta um baixo preço
		Menor temperatura de utilização	Menor eficiência relativamente a outros coletores	Necessidade do coletor se manter sempre perpendicular aos raios solares, sendo o mecanismo de controlo para seguir a trajetória do Sol dispendioso	Mais caro que um coletor plano
	Baixa performance relativamente a outros devido à necessidade de uma maior superfície instalada de coletores	Não serve para gerar altas temperaturas	Só permite captação de radiação direta		
		Necessita de mais espaço no telhado que outros coletores	Mais caro que um coletor plano		

Tabela 3.1 - Vantagens e desvantagens dos coletores solares existentes [adaptado de: 33]

### 3.2 LIGAÇÃO ENTRE COLETORES

Para uma distribuição uniforme do caudal é preciso que todas as filas de coletores tenham o mesmo número de coletores para assegurar perdas de carga iguais em todas elas, sem aumentar os custos com acessórios.

Os coletores podem ser ligados entre si de três maneiras distintas:

### **Ligação em série**

O caudal de circulação, neste caso, é igual em todos os coletores. A ligação de entrada a cada fila realizar-se-á pelo tubo de ligação inferior do primeiro coletor e a saída pelo tubo de ligação superior do último coletor da linha. O inconveniente deste tipo de ligação é a grande perda de pressão e ser necessário a utilização de bombas mais potentes para se fazer a circulação.

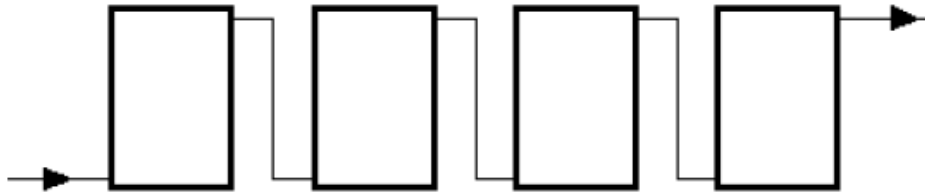


Figura 3.7 - Ligação em série [3]

### **Ligação em paralelo**

A ligação em paralelo proporciona comportamentos térmicos similares em todos eles sempre que o número em cada fila não supere os valores estabelecidos pelo fabricante. Proporciona também um maior rendimento, mas por outro lado, aumenta o diâmetro e comprimento das tubagens pois o caudal total é a soma dos caudais em todos os coletores. Aumenta também o número de acessórios da instalação de bombagem, o que encarece a instalação.

O inconveniente deste tipo de ligação é a possível ocorrência de estagnação de fluxo em determinados coletores quando o seu número total ultrapassa o valor 4 e 5, o que prejudicará o ganho de energia.

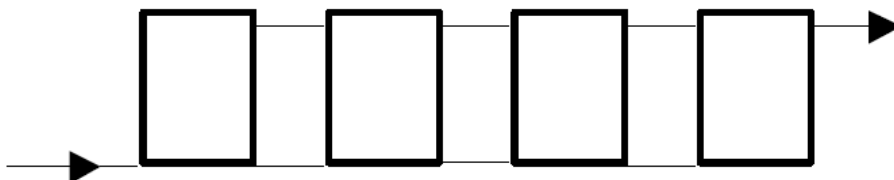


Figura 3.8 - Ligação em paralelo [3]

### Ligação em paralelo de canais

Quando a ligação é feita em paralelo de canais o fluido térmico percorre todos os coletores, mas possui uma perda de carga mais baixa que na ligação em paralelo e possui um rendimento mais elevado, mas por outro lado tem a vantagem de ser necessário um menor comprimento de tubagens.

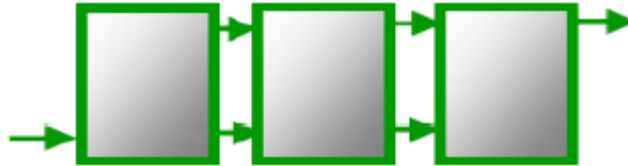


Figura 3.9 - Ligação em paralelo de canais [3]

A tabela seguinte mostra as principais diferenças entre os três tipos de ligação dos coletores solares:

	Ligação em série	Ligação em paralelo	Ligação em paralelo de canais
<b>Custo</b>	Baixo	Elevado	Baixo
<b>Tipo de instalação</b>	Simple	Mais complexa	Simple
<b>Coletor a utilizar</b>	Qualquer um	Qualquer um	Depende
<b>Nº de coletores</b>	Ilimitado	Ilimitado	Limitado a quatro
<b>Rendimento</b>	Menor	Elevado	Elevado
<b>Perda de Carga</b>	Elevada	Menor	Menor

Tabela 3.2 - Diferenças entre os tipos de ligação de coletores [3]

### 3.3 PERMUTADORES DE CALOR

Os parâmetros que caracterizam os permutadores de calor são o rendimento e a eficácia de permuta. O rendimento tem como definição a relação entre a energia obtida e a energia introduzida, sendo que a diferença percentual entre estas não deverá ser superior a 5%.

A eficácia define-se como a relação entre a energia calorífica permutada e a máxima que teoricamente deveria permutar. Esta depende da área de superfície de permuta, da forma e da geometria da mesma e do material utilizado.

Quanto menor for a eficácia, maior será a temperatura com que o fluido térmico volta aos coletores, diminuindo o rendimento destes e da instalação. Por outro lado, quanto maior for a eficácia, mais elevado será o custo do equipamento.

Os permutadores de calor podem ser internos, quando estão integrados no acumulador de água quente, ou externos dependendo do tipo de aplicação e do depósito em causa. Os permutadores internos mais utilizados são os de serpentina e de camisa. Os permutadores externos mais utilizados são os permutadores de placas.

A potência de permuta recomendada é de  $750 \text{ W/m}^2$  de coletor.

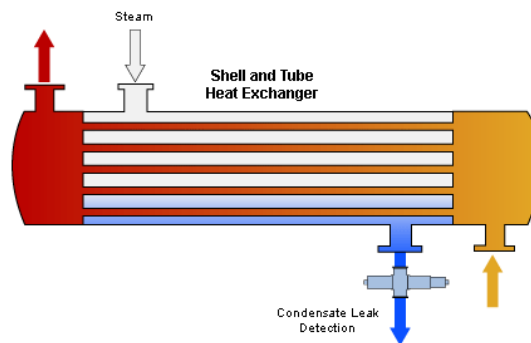


Figura 3.10 - Permutador de calor [39]

### 3.4 DEPÓSITOS DE ACUMULAÇÃO

A energia absorvida pelos painéis solares é uma energia que não é controlada e que normalmente nunca coincide com as necessidades durante o dia, seja para AQS seja para aquecimento. Desta forma, é necessário armazenar o calor captado num depósito de acumulação.

As características que estes depósitos devem ter são: perdas térmicas reduzidas, um volume adequado, temperatura de utilização adequada, uma rápida resposta ao consumo, boa integração no edifício, um baixo custo, longa duração e segurança.

Além das características também existem dois tipos de geometria: a vertical e a horizontal. A vertical é a mais aconselhada pois favorece a estratificação da temperatura da água e tem custos reduzidos de instalação, ocupa menos espaço e possui uma maior eficácia do isolamento térmico. Já na posição horizontal a estratificação da água no seu interior não é tão favorecida.

Existem vários tipos de depósitos:

### **Depósito de Câmara Interna**

Este tipo de depósito apresenta na sua superfície lateral uma câmara onde pode circular o fluido térmico proveniente dos painéis.

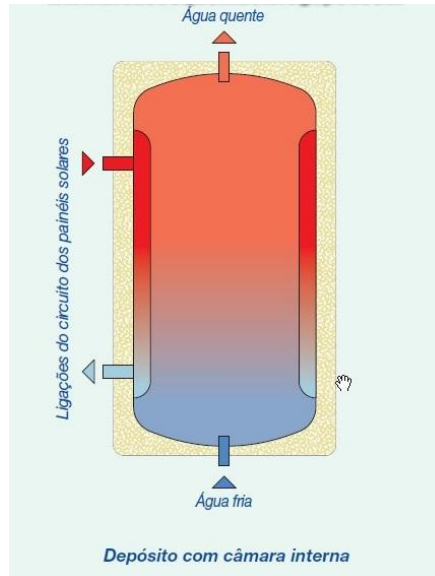


Figura 3.11 - Depósito de câmara interna [40]

### **Depósito de Serpentina**

Podem ser de dois tipos, serpentina dupla ou simples. Os de serpentina simples servem apenas para acumular calor, enquanto que os de serpentina dupla servem também para aquecer a água até à temperatura de utilização desejada.

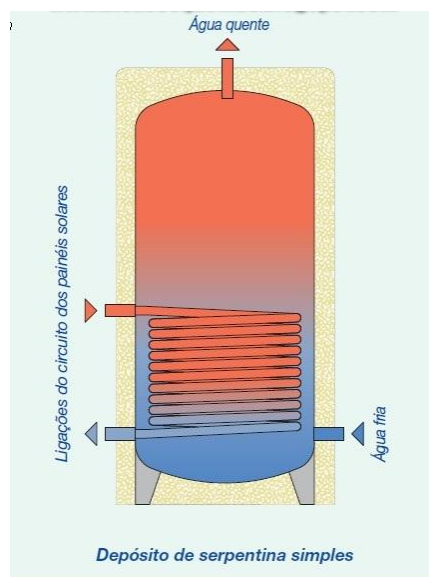


Figura 3.12 - Depósito de serpentina simples [40]

### Depósitos Combinados

Utilizados usualmente em instalações combinadas de AQS e aquecimento, sendo indicados em instalações de médias dimensões.

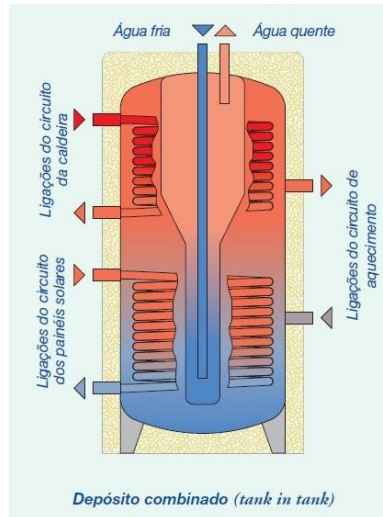


Figura 3.13 - Depósito combinado [40]

### Depósitos sem Permutadores Internos

Neste tipo de depósitos a troca térmica com o líquido oriundo dos painéis dá-se através de permutadores de calor externos. É indicado para instalações médias ou grandes dimensões.

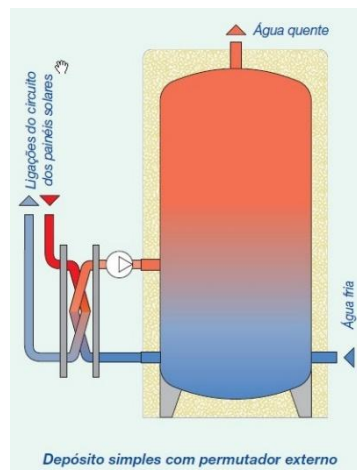


Figura 3.14 - Depósito com permutador externo [40]

### 3.5 TIPOS DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

As instalações solares distinguem-se quanto ao seu tipo de circulação, o seu carácter público ou privado, os componentes utilizados e a sua integração e a aplicação de destino.

Desta forma, os tipos de classificação existentes são:

- Classificação segundo o tipo de circulação: circulação natural ou termossifão ou circulação forçada;
- Classificação segundo o sistema de transferência de calor entre o coletor e o acumulador: transferência direta ou indireta;
- Classificação das instalações segundo o tipo de energia a auxiliar: instantâneo ou de acumulação.

#### **Circulação de termossifão**

A circulação de termossifão é usada quando há a possibilidade de colocar o depósito a um nível superior dos coletores solares. Desta maneira, após a incidência da radiação no coletor, o fluido em contato com a placa absorvedora aquece, diminuindo a sua densidade, subindo até ao depósito. Ou seja, a água que se encontra no fundo do depósito será a primeira a ser aquecida, fazendo com que esta suba e a água fria que se encontra mais acima acabe por descer. Forma-se assim uma corrente. É um processo natural, sem recurso a outros tipos de energia e sem estar sujeito a avarias. No entanto, poderá ocorrer uma inversão no sentido da circulação, quando a luz solar é reduzida ou mesmo nula, por exemplo, à noite, onde o líquido existente no depósito poderá sofrer arrefecimento. Para que se evite este tipo de situações é necessário o uso de válvulas antirretorno, ou existir um desnível aproximado de 30 cm. Este tipo de circulação é usado em habitações, que tenham um reduzido consumo de água quente sanitária, com excelentes performances.

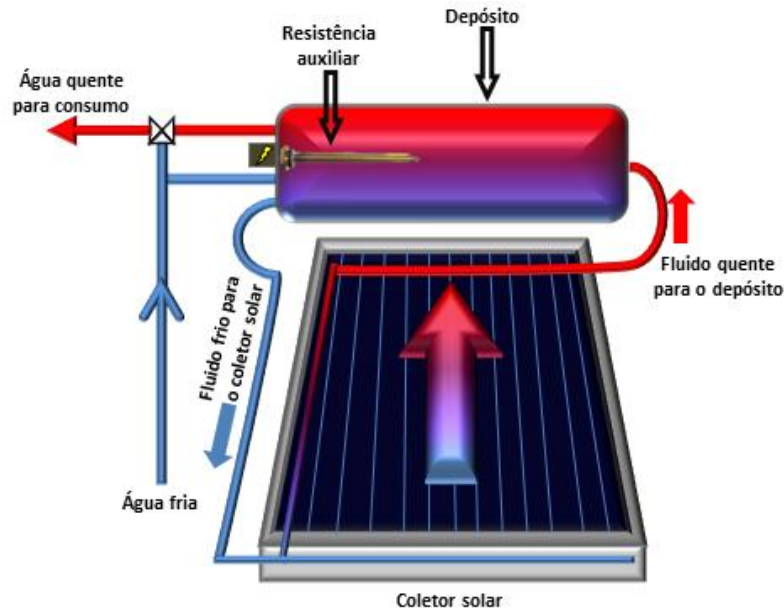


Figura 3.15 - Circuito termossifão [41]

### Circulação forçada

Recorre-se à circulação forçada do fluido quando a circulação por termossifão não é possível, quando o depósito não pode estar acima do coletor e quando se pretende uma maior potência de aquecimento. A circulação, neste caso, faz-se por meio de equipamento mecânico, apresentando um rendimento superior. A bomba é comandada pelo grupo de regulação e controlo, ligando-a sempre que necessário. É um sistema muito mais estético, pois o acumulador é instalado separadamente dos coletores num local protegido. As suas vantagens são, por exemplo, sendo o acumulador colocado verticalmente, resultando numa melhor estratificação dos níveis de temperatura, leva a que haja um maior aproveitamento da energia solar. Outra vantagem é que sendo o acumulador colocado num local protegido, as perdas térmicas do depósito diminuem significativamente. Contudo, este sistema tem um investimento mais elevado que o sistema por circulação de termossifão.



Figura 3.16 - Circulação forçada [41]

### **Transferência Térmica: Direto e Indireto**

A transferência térmica é o processo pelo qual se transfere o calor dos coletores com a água sanitária de consumo, existindo para isso dois tipos de sistemas: o direto e o indireto.

Na transferência direta o líquido que percorre os painéis é a água destinada ao consumo, produzindo uma circulação direta entre os tubos dos coletores e o acumulador. Neste caso, não é necessário o uso de permutador de calor e desta forma o líquido que está em circulação não pode conter agentes antioxidantes para a proteção dos tubos interiores dos coletores nem agentes anticongelantes. Este tipo de circulação não é apropriado para as regiões com temperaturas negativas.

A transferência térmica indireta é caracterizada pela incorporação de um permutador de calor (interno ou externo ao acumulador) entre o fluido quente dos coletores e a água sanitária de consumo contida no acumulador. Ao usar-se um permutador de calor, a eficiência da instalação vai reduzir, a montagem ficará mais complicada e cara. Contudo, são equipamentos recomendados devido a, por exemplo, razões higiénicas, pois como o fluido primário pode conter agentes anticongelantes e antioxidantes é necessário que este seja separado da água de consumo.

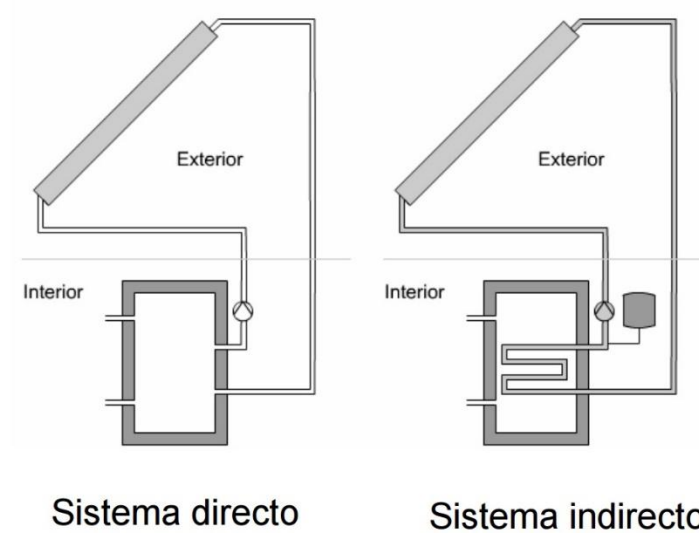


Figura 3.17 - Sistema Direto e Sistema Indireto [42]

### **Instantâneo e de Acumulação**

Quando o recurso solar não consegue satisfazer as necessidades de AQS, deve entrar em funcionamento um sistema de apoio energético que deverá estar incorporado na instalação. Este apoio baseia-se normalmente numa resistência alimentada com energia elétrica ou num sistema a gás que se ativa automaticamente. Este equipamento auxiliar poderá ter duas configurações: instantâneo ou de acumulação.

Na configuração instantânea, é um equipamento de reduzidas dimensões que aquece a água conforme esta circula por ele, característica permitida devido a uma serpentina interior que está acoplada termicamente ao sistema de aquecimento.

A configuração de acumulação corresponde aos equipamentos convencionais, baseados na acumulação de água quente para utilizar quando necessário.



## 4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O consumo de energia elétrica tem sofrido um aumento exponencial nas últimas décadas acompanhado com o uso de combustíveis fósseis como o petróleo, gás natural e carvão, o que tem vindo a preocupar a comunidade internacional. Desta forma, o incentivo ao uso das energias renováveis tem sido intensificado, para que não se recorra aos combustíveis fósseis para se obter energia elétrica. Os benefícios das energias renováveis são muitos, não poluem, são sustentáveis, disponíveis em todo o mundo, não destroem o clima e podem cobrir o consumo mundial. Assim, e devido ao desenvolvimento de parques eólicos e fotovoltaicos, a comunidade científica tem realizado investigações de forma a tornar os sistemas fotovoltaicos mais eficientes e de investimento reduzido [43].

O mercado fotovoltaico tem crescido a uma taxa anual de 35%, sendo que é a energia solar fotovoltaico que mais está a crescer, em termos relativos.

Os sistemas de energia solar fotovoltaica convertem a energia proveniente da radiação solar que atinge a superfície terrestre em energia elétrica e possuem alta fiabilidade, um custo de operação reduzido, fácil portabilidade e adaptabilidade dos módulos e qualidades ecológicas.



Figura 4.1 - Energia solar fotovoltaica: Princípio de funcionamento [44]

Existem três tipos de sistemas fotovoltaicos:

- Sistemas conectados à rede;
- Sistemas Híbridos;
- Sistemas Isolados

A orientação dos painéis solares influencia a produção de eletricidade obtida. Para maximizar a radiação solar incidente sobre o painel ao longo do dia e ao longo do ano, os painéis devem ter uma inclinação com um ângulo igual ao da latitude a que se encontram. Alguns painéis já possuem um sistema de *tracking*. Este sistema localiza o sol e viram o painel na sua direção. A quantidade total de radiação solar é expressa em termos de horas de pico solar. Numa hora de pico solar, a potência é de  $1000 \text{ W/m}^2$  e a energia resultante é de  $1 \text{ kWh/m}^2$ .

A corrente elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos é contínua. Para a converter em corrente alternada utiliza-se um inversor, onde em muitos casos já vem incorporado no módulo fotovoltaico.

Os sistemas FV, nos quais é necessário armazenar eletricidade, possuem outros dois componentes: baterias e controladores de carga. As baterias servem para guardar a energia produzida e os controladores de carga monitorizam e protegem a bateria de sobrecargas ou descargas totais, sendo que ambos são colocados entre os painéis e o inversor. No caso dos sistemas ligados à rede, é ainda preciso fazer a ligação através de um Posto Transformador.

Por fim e para completar o sistema fotovoltaico existem ainda os seguintes acessórios: hardware de montagem, cablagem, caixas de junção, equipamento de solo e proteção contra sobrecargas.

#### **4.1 SISTEMAS CONECTADOS À REDE**

Os sistemas conectados à rede (grid connection) utilizam um elevado número de painéis fotovoltaicos mas não utilizam armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede. Os painéis fotovoltaicos são ligados diretamente aos inversores e em seguida à rede elétrica. São sistemas cada vez mais populares, principalmente nos países europeus onde as grandes companhias elétricas utilizam a geração distribuída para evitar a extensão de algumas e a construção de outras redes elétricas. Estes sistemas exigem alguma complexidade no projeto dos inversores, pois deverão satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada [43].

#### **4.2 SISTEMAS HÍBRIDOS**

Os sistemas híbridos (hybrid system) apresentam mais de uma fonte de geração de energia, que podem ser: turbinas eólicas, geração diesel, células de combustível, módulos fotovoltaicos, entre outros. São sistemas com uma configuração muito complexa e necessitam de um controlo para otimização do uso de todas as fontes de energia para se obter uma máxima eficiência na entrega da energia ao utilizador final [43].

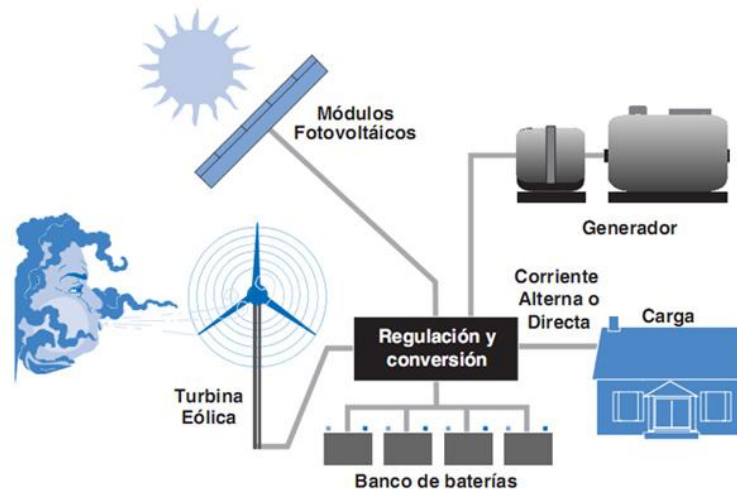


Figura 4.2 - Exemplo de um sistema híbrido com energia eólica [45]

### 4.3 SISTEMAS AUTÓNOMOS

A configuração deste tipo de sistema faz com que a carga seja retirada pelos painéis fotovoltaicos, sendo utilizada em situações em que a extensão da rede elétrica ou o uso de outra forma de geração de energia se torna muito dispendiosa. Para pequenas localidades situadas a mais de 3 Km da rede convencional de energia elétrica, a geração através dos painéis fotovoltaicos será a opção mais vantajosa [43].

Existem quatro tipos de sistemas isolados e cada um depende da carga a ser provida e a utilização ou não de armazenamento de energia:

- Carga DC sem armazenamento de energia;
- Carga DC com armazenamento de energia;
- Carga AC sem armazenamento de energia;
- Carga AC com armazenamento de energia.

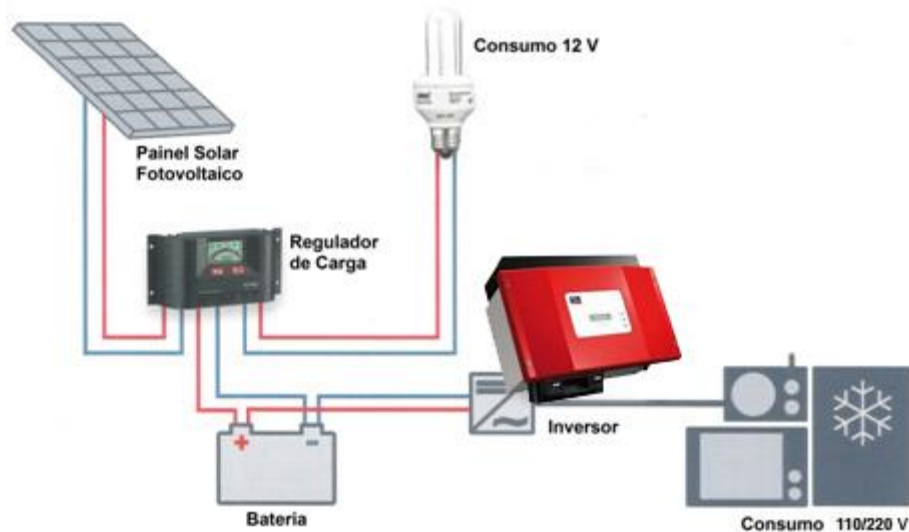


Figura 4.3 - Exemplo de um sistema autônomo constituído por um gerador fotovoltaico, regulador de carga, acumulador e consumidor final [46]

#### 4.4 TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS

O componente principal dos sistemas fotovoltaicos é o módulo fotovoltaico, que é composto por um material semicondutor, tipicamente silício, constituinte de areia, que se carrega eletricamente quando submetido à luz solar. Os módulos, cujas potências situam-se entre os 50 e os 100 W, são constituídos por células fotovoltaicas, que produzem tipicamente potências elétricas da ordem de 1.5 W, que corresponde a uma tensão de 0.5 V e uma corrente de 3 A. As células são ligadas em série ou paralelo para formarem módulos ou painéis fotovoltaicos. Os contactos de metal nas extremidades de cada célula constituem os terminais, que absorvem os eletrões livres, concentrando assim a energia.

#### 4.5 CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica foi concebida em 1876 e converte diretamente a energia solar em eletricidade, sendo a forma mais comum de o fazerem através do efeito fotovoltaico [52].

São constituídas por um material semicondutor, o silício, ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, isto é, à conversão direta da radiação solar em potência elétrica produzida em curto-circuito [52].

Uma célula fotovoltaica que fosse constituída por cristais de silício puro não produziria energia elétrica, porque para haver corrente elétrica seria necessário existir uma diferença de potencial entre duas zonas da célula [52].

Deste modo, a célula é composta por duas camadas de material semicondutor dopadas de forma diferente: na camada *n* existe um excesso de elétrons periféricos e na camada *p*, existe um déficit de elétrons. Existe também uma diferença de potencial entre as duas camadas. Os elétrons periféricos (na camada *n*) ao captarem a energia dos fótons saltam a barreira do potencial, criando assim uma corrente contínua. Para a condução desta corrente, existem dois elétrodos nas camadas de semicondutor. O elétrodo superior é em forma de grelha por forma a deixar passar os raios luminosos e sobre este elétrodo é deposta uma camada antirreflexos de forma a aumentar a quantidade de luz absorvida [52].

#### **4.5.1 Efeito Fotovoltaico**

O efeito fotovoltaico converte diretamente a energia solar em eletricidade. O efeito fotovoltaico dá-se em materiais semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia, chamadas bandas de valência e bandas de condução. À passagem dos elétrons de valência da banda de valência para a banda de condução denomina-se condução elétrica [52].

#### **4.5.2 Células Fotovoltaicas**

Existem três tipos de células fotovoltaicas: as células monocristalinas, as células policristalinas e as células de silício amorfo.

##### **Células monocristalinas**

O Silício monocristalino é o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado. Constroem-se a partir de barras cilíndricas de Silício monocristalino, obtido em fornos especiais, serrados em bolachas com espessuras de 0.4 a 0.5 mm, e a célula é obtida de um único cristal, o que é ideal para potenciar o efeito fotovoltaico. Tem uma eficiência elevada, contudo apresenta dois inconvenientes: o preço elevado e elevado período de retorno do investimento.

##### **Células policristalinas**

Estas células são obtidas a partir de lingotes de Silício através da fusão de Silício puro, em moldes especiais, arrefecidos lentamente. O processo de fabricação é mais barato que o do Silício cristalino.

### **Células Amorfo**

Estas células obtêm-se pela deposição de finas capas de plasma de Silício microcristalino sobre vidro, plásticos e outros materiais. O rendimento destas células é mais baixo do que nas células cristalinas mas, mesmo assim, a corrente produzida é razoável. A sua gama de aplicações são os pequenos produtos de consumo como os relógios, calculadoras, mas podem ser utilizadas em instalações solares.

Em seguida, é apresentada uma tabela com os rendimentos típicos e teóricos obtidos com cada uma destas tecnologias:

<b>Material da célula Solar</b>	<b>Eficiência da Célula</b>
Silício monocristalino	11-16%
Silício policristalino	10-14%
Silício Cristalino de película fina	6-8%

**Tabela 4.1 - Rendimentos das diferentes tecnologias**

#### **4.5.3 Modelo equivalente de uma célula fotovoltaica**

O modelo de uma célula fotovoltaica pode resumir-se a uma fonte de corrente. As expressões da corrente e da tensão de circuito aberto aos terminais da célula são [52]:

$$I = I_S - I_D = I_S - I_0 \left( e^{\frac{V}{mVT}} - 1 \right) \quad (3)$$

Onde:

$I_S$  = Corrente elétrica gerada pelo feixe de radiação luminosa, constituído por fotões, ao atingir a superfície ativa da célula (efeito fotovoltaico). A junção p-n funciona como um díodo que é atravessado por uma corrente interna unidirecional  $I_D$ , que depende da tensão  $V$  aos terminais da célula;

$I_D$  = Corrente que se fecha através do díodo;

$I_0$  = Corrente inversa máxima de saturação do díodo;

$V$  = Tensão aos terminais da célula;

$m$  = Fator de idealidade do díodo (díodo ideal:  $m=1$ ; díodo real:  $m>1$ );

$VT$  = Potencial térmico:  $VT = \frac{kT}{q}$ ;

$T$  = Temperatura absoluta da célula em K ( $0^\circ\text{C} = 273,16\text{K}$ )

$Q$  = Carga elétrica do eletrão ( $q = 1.6 \times 10^{19}\text{C}$ ).

## 4.6 CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO E TENSÃO EM CIRCUITO ABERTO

Existem dois pontos de operação da célula, curto-circuito e circuito aberto.

No caso de curto-circuito temos [52]:

$$V = 0; ID = 0$$

$$I = I_S = I_{CC}$$

$I_{CC}$  é o valor máximo da corrente de carga, igual à corrente gerada por efeito fotovoltaico. O seu valor é uma característica da célula, sendo um dado fornecido pelo fabricante para determinadas condições de radiação incidente e temperatura.

No caso de circuito aberto [52]:

$$I = 0$$

$$V_{ca} = m \times Vt \times \ln \left( 1 + \frac{I_S}{I_0} \right) \quad (4)$$

A tensão em vazio é o valor máximo da tensão aos terminais da célula, que ocorre quando esta está em vazio.

## 4.7 FATOR DE FORMA E RENDIMENTO

Fator de forma, FF, expressa a aproximação da representação da curva I-V a um retângulo. Quanto maior for a qualidade das células, mais próxima da forma retangular será a curva I-V, ou seja, a curva pode ser utilizada para qualificar as células [52].

$$FF = \frac{I_{PPM} \times V_{PPM}}{I_{CC} \times V_{OC}} \quad (5)$$

O FF tem um valor menor que uma unidade, comum entre 0.7 e 0.8 para células de Silício.

O rendimento,  $\eta$ , é a relação entre o ponto de potência máxima de uma célula e a potência da radiação solar incidente sobre a célula [52]:

$$\eta = \frac{P_{max}}{A \times G} \quad (6)$$

Em que,

A =Área da célula;

G =Radiação solar incidente por unidade de superfície.

## 4.8 POTÊNCIA ELÉTRICA

A potência elétrica de saída ( $P$ ) de um módulo fotovoltaico é o produto entre a tensão e a corrente de saída [52]:

$$P = VI = V[I_{CC} - \left( I_o \left( e^{\frac{V}{mVT}} - 1 \right) \right)] \quad (7)$$

E o ponto de potência máxima é calculado da seguinte forma [52]:

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \quad (8)$$

## 4.9 EFEITO DA RADIAÇÃO

A potência de saída aumenta com o aumento da radiação incidente. A corrente de curto-circuito aumenta de forma aproximadamente linear com o aumento da radiação incidente ao passo que o valor de tensão de circuito aberto pouco varia com a variação da radiação.

## 4.10 EFEITO DA TEMPERATURA

A temperatura é um parâmetro importante, uma vez que, estando as células expostas aos raios solares, o seu aquecimento é considerável. Além disso, uma parte da incidência solar absorvida não é convertida em energia elétrica, mas sim dissipada sob a forma de calor. Esta é a razão porque a temperatura de uma célula é sempre superior à temperatura ambiente.

Para estimar a temperatura da célula, a partir da temperatura ambiente, utiliza-se a seguinte equação [52]:

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} \times (219 + 823 \times Kt) \quad (9)$$

Onde:

$T_c$  = Temperatura da célula em °C ;

$T_a$  = Temperatura ambiente medida em °C;

$Kt$  = Índice de claridade;

**NOCT** = Temperatura nominal de funcionamento da célula.

#### 4.11 MÓDULOS E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Os módulos fotovoltaicos são constituídos por agrupamentos de células ligadas em série e em paralelo de forma a se obter os valores desejáveis de tensão e corrente.

##### Associação de células em série

A associação em série permite obter maiores tensões, mantendo a corrente estipulada do módulo. Num agrupamento ligado em série, as células são atravessadas pela mesma corrente e a característica resultante deste agrupamento é obtida pela adição das tensões aos terminais das células, para um mesmo valor de corrente:

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (10)$$

e,

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_N \quad (11)$$

Não se deve ultrapassar a tensão máxima de associação que é normalmente indicada pelo fabricante.

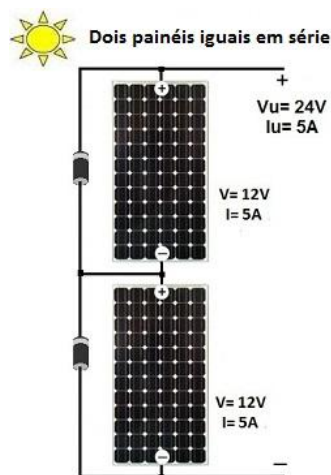


Figura 4.4 - Exemplo de configuração em série de painéis fotovoltaicos [47]

### Associação de células em paralelo

Num agrupamento ligado em paralelo, as células são submetidas à mesma tensão e as intensidades de corrente adicionam-se. Assim, obtêm-se maiores correntes, mantendo a tensão estipulada do módulo.

$$U_T = U_1 = U_2 = \dots = U_N \quad (12)$$

e,

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N \quad (13)$$

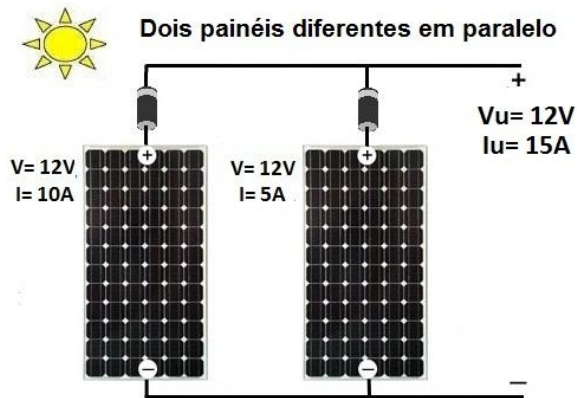


Figura 4.5 - Exemplo de painéis fotovoltaicos ligados em paralelo [47]

### Associação mista de módulos fotovoltaicos

Com a associação mista obtêm-se as características das associações em série e em paralelo, como maiores valores de corrente e tensão.

$$U_T = U_1 = U_2 = \dots = U_N \quad (14)$$

e,

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N = n \times I \quad (15)$$

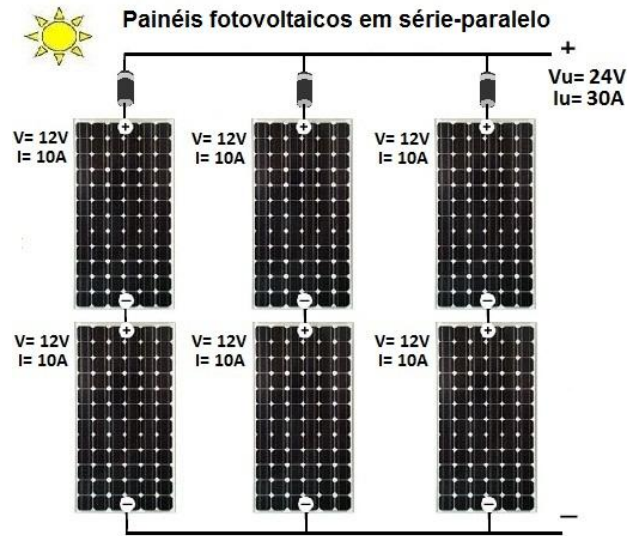


Figura 4.6 - Exemplo de uma associação mista de painéis fotovoltaicos [47]

#### 4.12 DÍODOS DE DESVIO E DÍODOS DE FILEIRA

De forma a prevenir a ocorrência de eventuais avarias nas associações de módulos fotovoltaicos em série, utilizam-se díodos de desvio (bypass) em paralelo, de modo a desviar a corrente (da célula solar) produzida pelos outros módulos, colocando fora de serviço apenas o módulo com defeitos.

É comum existirem díodos de passagem nas caixas de ligações colocados pelos fabricantes. O mesmo se sucede nas associações em paralelo, sendo usados díodos de fileira para evitar correntes inversas e curto-circuitos entre fileiras em caso de avaria ou o aparecimento de potenciais diferentes nas fileiras.

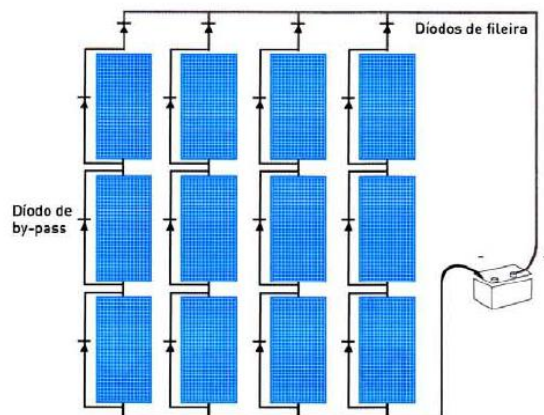


Figura 4.7 - Díodos de bypass e díodos de fileira [2]

### 4.13 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS

A Norma Europeia EN 50380 especifica quais as características técnicas que os fabricantes devem apresentar nas folhas descritivas das características dos módulos fotovoltaicos, sendo que nem todos os fabricantes respeitam esta norma, não fornecendo todas as características técnicas que a norma impõe, que são:

- Potência nominal de pico;
- Tensão no ponto de potência máxima;
- Corrente no ponto de potência máxima;
- Tensão em circuito aberto;
- Corrente em curto-circuito;
- Coeficiente de variação da tensão em função da temperatura;
- Coeficiente de variação da corrente em função da temperatura.

Estes valores são importantes para se poderem realizar estimativas da quantidade de energia gerada, bem como para verificar a compatibilidade de ligação com outros componentes do sistema fotovoltaico. Todos estes valores são obtidos em condições de teste.

O coeficiente de temperatura é muito importante porque em dias em que o valor de radiação é elevado, a temperatura nas células aumenta, podendo chegar aos 70°C, causando uma redução do rendimento. Por outro lado, a baixas temperaturas, o valor de tensão em circuito aberto aumenta, colocando em risco o estado da célula fotovoltaica.

As características construtivas dos módulos também devem ser evidenciadas, nomeadamente:

- Dimensões (Comprimento e largura);
- Espessura;
- Peso.

Estas características construtivas são também muito importantes para a realização do projeto, porque nos permitem escolher as estruturas de suporte e o espaço que os módulos vão ocupar.

### 4.14 INVERSORES

Muitos equipamentos elétricos, como por exemplo eletrodomésticos, estão disponíveis apenas em corrente alternada, com tensão de 230/400V, que é a tensão nominal das redes de distribuição a nível europeu. Existem equipamentos domésticos, nomeadamente televisões, frigoríficos, etc, que são fabricados para funcionarem com corrente contínua (CC ou DC) à tensão de 12V, mas são normalmente mais caros.

Desta forma, para se obter uma tensão de 230V ou 230/400V, em sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia em baterias de acumuladores (tensão DC), usam-se onduladores, mais conhecidos por inversores DC/AC.

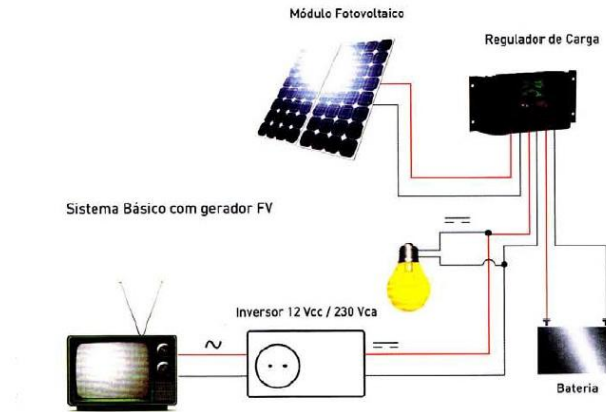


Figura 4.8 - Inversor DC/AC inserido num sistema FV [2]

#### 4.14.1 Escolher um inversor

Tendo sido definido o inversor que mais se adequa ao seu uso, é necessário saber qual a potência requerida para alimentar os aparelhos através do inversor. Normalmente, os eletrodomésticos tem uma etiqueta onde está escrita a potência (em Watt) ou a corrente (em Ampere) que consomem, e neste caso basta multiplicar os Amperes pela tensão, de modo a saber a potência do aparelho. Também é preciso considerar a potência de entrada do aparelho e não a sua potência de saída, da mesma forma, para alimentar os motores monofásicos de indução.

#### 4.14.2 Baterias

Em sistemas fotovoltaicos autónomos, dado que a produção e o consumo de energia muitas vezes não coincidem, quer ao longo do dia, quer ao longo dos dias do ano, o armazenamento de energia assume um papel fundamental. Para tal são utilizadas baterias, as quais devem possuir tempos de vida útil longos em condições de carga e descargas diárias, também conhecidas como baterias de alta profundidade de carga. Outras características importantes são a sua elevada eficiência de carga, mesmo para baixas correntes de carga e uma baixa razão de auto descarga.

As baterias são uma forma de armazenamento de energia, pois são capazes de transformar diretamente energia elétrica em energia potencial química e posteriormente converter, diretamente, a energia potencial química em elétrica. Cada bateria é composta por um conjunto de células eletroquímicas ligadas em série de modo a obter a

tensão elétrica desejada. De forma a proteger as baterias contra sobrecargas são utilizados controladores de carga.

### **Tipos de Baterias**

Existem diferentes tipos de baterias e cada uma com uma utilização específica. As baterias podem ser classificadas em duas categorias, primária e secundária. As baterias primárias não podem ser recarregadas, ou seja, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia elétrica, devem ser descartadas. As secundárias podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente elétrica aos seus terminais.

Os sistemas fotovoltaicos utilizam baterias do tipo recarregáveis sendo as de chumbo-ácido e as de níquel-cádmio as mais comuns.

O ciclo de carga/descarga das baterias repete-se diariamente, pelo que deve ser tido em conta o valor da percentagem de descarga no dimensionamento, uma vez que irá determinar o tempo de vida útil da bateria. Em resultado do processo de carga/descarga a capacidade da bateria diminui, sendo a perda de capacidade maior quanto maior for a profundidade de descarga. Para aumentar a durabilidade das baterias é necessário garantir um ciclo de carga/descarga adequado, de acordo com as recomendações do fabricante. O nível de carga de uma bateria nunca deve ser inferior ao valor máximo permitido para a sua profundidade de carga. A escolha da bateria a ser utilizada em sistemas fotovoltaicos autónomos requer a avaliação das suas características. Para além da razão custo/desempenho, capacidade, requisitos de manutenção, tamanho e espaço necessário à sua instalação, a sua eficiência e razão de auto descarga devem também ser tidos em conta.

- **Baterias chumbo-ácido**

Estes tipos de baterias possuem este nome porque são constituídas por uma solução aquosa de ácido sulfúrico. São formadas por elementos constituídos por duas placas de polaridades opostas, isoladas entre si e banhadas pela solução de ácido sulfúrico. A capacidade é medida pela quantidade de carga elétrica, ou seja, pelo número de horas que uma determinada corrente pode ser fornecida por uma bateria totalmente carregada, e expressa em Ampere-hora (Ah), isto é o produto da corrente em amperes pelo tempo em horas corrigido para a temperatura de referência.

Devido ao seu baixo custo e à grande disponibilidade no mercado, as baterias de chumbo-ácido são frequentemente utilizadas nos sistemas solares fotovoltaicos autónomos. A célula eletroquímica de chumbo-ácido possui uma tensão nominal de 2Vcc. Assim, várias destas células são ligadas em série de modo a obter nos terminais da bateria valores de tensão desejáveis. No mercado existem baterias de chumbo-ácido de 12, 24 e 48V. No entanto a tensão nos terminais da bateria depende do seu estado de

carga e do processo de carga/descarga, baixando durante o processo de descarga e subindo durante o processo de carga.

- **Bateria níquel-cádmio**

As baterias níquel-cádmio são também utilizadas em sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica, apresentando uma estrutura física semelhante às das baterias chumbo-ácido, utilizando hidróxido de níquel para as placas positivas, óxido de cádmio para as placas negativas e hidróxido de potássio para o eletrólito.

As baterias de níquel-cádmio, quando comparadas com as baterias de chumbo-ácido, são menos afetadas por sobrecargas e podem ser totalmente descarregadas. Como não estão sujeitas a sulfatação, possuem um custo mais elevado que as de chumbo-ácido.



## 5 PISO RADIANTE

---

Durante as últimas décadas, o aquecimento através de piso radiante tem crescido significativamente. Na Alemanha, Áustria e Dinamarca, 30% a 50% dos novos edifícios de habitação possuem aquecimento por piso radiante. Na Coreia, cerca de 90% das residências são aquecidas por sistemas radiantes. Por volta do ano 100 A.C., os Coreanos usavam fumos de exaustão de uma lareira para aquecer um pavimento de pedra. O fumo era transmitido a partir da lareira (usada para cozinhar) sob o piso para uma parede oposta, onde o fumo era puxado para cima como uma chaminé. Desta forma, a massa do pavimento era usada como acumuladora térmica. Durante estes tempos também os Romanos usavam o mesmo sistema de aquecimento. O arquiteto Frank Lloyd Wright introduziu o sistema de aquecimento por piso radiante nos Estados Unidos da América nas suas habitações Usonian em 1930, onde a água circulava em tubagens de aço distribuindo calor. Nos anos de 1950 e 1960, instalações de aquecimento por piso radiante usando tubagens de cobre ou aço eram instaladas na Europa média. Infelizmente, neste tempo, os edifícios não eram bem isolados sendo necessário temperaturas muito elevadas no piso para aquecer as habitações, o que fez com que os pisos radiantes ganhassem uma má reputação. No fim dos anos 70, a introdução das tubagens de plástico para os pisos radiantes levou a que os sistemas se tornassem standard, especialmente na Alemanha, Suíça, Áustria e nos países nórdicos. Hoje em dia, as tubagens de plástico do tipo PEX são as mais usadas [22].

A climatização de edifícios permite a criação de conforto térmico aos seus ocupantes através da diminuição da humidade relativa do ar interior e do aumento da temperatura ambiente. Um sistema de climatização funciona com o apoio de um aparelho que absorve/injeta calor e um elemento que emite calor, existindo para a distribuição da fonte para a emissão um conjunto de tubos. Um exemplo deste tipo de climatização são os pisos radiantes.

A transmissão de calor por piso radiante dá-se 40% por convecção e 60% por radiação e é afetada por: temperatura do ar ambiente, radiação térmica, movimento do ar e vestuário.

### 5.1 FUNCIONAMENTO DO PISO RADIANTE

Piso radiante tanto pode ser usado para aquecimento como para arrefecimento, mas obtém um melhor desempenho em modo de aquecimento [23]. No modo de aquecimento, o funcionamento do piso radiante consiste, na impulsão de água a uma temperatura moderada proveniente de um depósito de inércia, através de circuitos de tubos de polietileno reticulado, que estão envolvidos numa camada de argamassa aditivada que permite o preenchimento de todos os orifícios. Esta camada, situada sob o pavimento, absorve a energia térmica dissipada pelos tubos, armazenando-a e dissipando-a lentamente para o pavimento. Este por sua vez emite energia, sobre a

forma de calor através da radiação e de convecção natural. O grande benefício consiste no preenchimento de uma elevada área de permuta (aproximadamente a área de cada divisão) por um material de elevada inércia térmica (argamassa) [13]. Os coletores solares ao serem associados a um piso radiante, aumentam consideravelmente o rendimento do piso, pois este funciona a temperaturas relativamente baixas.

Como explicado em [23], qualquer sistema de aquecimento hidráulico deverá ser equipado com um vaso de expansão, porque quando a água é aquecida num sistema de aquecimento, o líquido expande-se, o que é inevitável. A almofada de ar que é fornecida num tanque de expansão permite que a água se expanda e contraia naturalmente, sem causar danos no sistema de aquecimento ou nas pessoas na sua proximidade. Sem um tanque de expansão, um sistema de aquecimento hidráulico poderia romper ou explodir, causando graves danos tanto a bens como a pessoas. O sistema de controlo gere a quantidade de calor transferido para cada divisão do edifício, evitando que haja desconforto e permitindo o máximo de eficiência do sistema.

Ao usar o piso radiante para arrefecimento, o seu princípio de funcionamento iria ser semelhante ao de aquecimento, porém, e como neste circuito a água circula a temperaturas mais baixas seria necessário o uso de uma bomba de calor, por exemplo [23].

## 5.2 CONSTITUIÇÃO DO PISO RADIANTE

A constituição do piso radiante varia de fabricante para fabricante, mas têm em comum o conceito geral de funcionamento: tubagens, argamassa aditivada ou fluidificada, placa isolante (reduz a propagação de energia térmica para o piso inferior ou para o solo) e faixa perimetral (evita que o calor se propague lateralmente para outras divisões) [13].

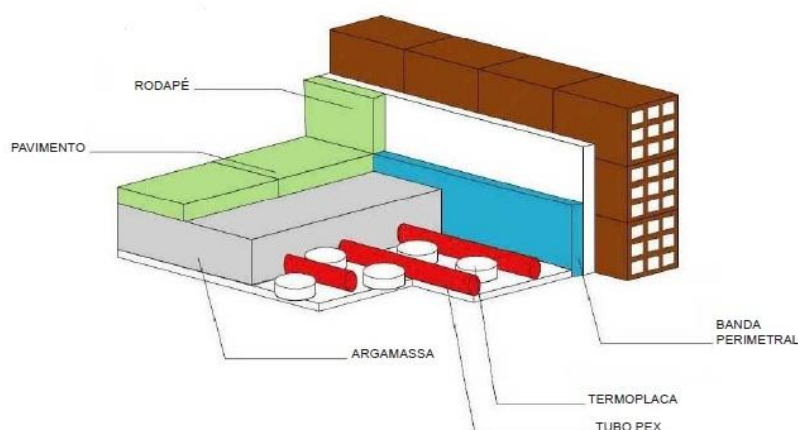


Figura 5.1 - Construção de um piso radiante [48]

### 5.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PISO RADIANTE

Uma das vantagens do piso radiante é a climatização através do mesmo. Esta não envolve correntes de ar e permite uma distribuição uniforme do calor, que emana de toda a superfície do pavimento e se centra sobretudo nas áreas onde nos movimentamos e onde é mais necessário. Por outro lado, proporcionam níveis muito elevados de conforto e fornecem ar quente de boa qualidade e saudável [14]. Este sistema pode ser instalado em quase todos os tipos de pavimento.

O piso radiante é compatível com a maioria das fontes de energia, sejam estas, caldeiras a gás, a gasóleo, a biomassa ou elétricas, mas também bombas de calor e especialmente a coletores solares térmicos, já que estes trabalham com água a baixa temperatura.

O fato de a área de transferência de calor ser muito superior, quando comparada com outros sistemas, a temperatura média da água dos circuitos de alimentação é muito mais baixa, situando-se entre os 30°C e os 40°C, o que vai representar uma poupança de energia bastante considerável, e funcionando nestas gamas de temperatura, a sua associação a painéis solares térmicos ou painéis fotovoltaicos torna-se fácil e confere-lhes um grau de independência relativamente a energias fósseis ou energia elétrica. Além disso, os coletores solares aumentam significativamente o seu rendimento.

Uma vez que fica embebido no piso, para além de se tornar invisível, não constitui um elemento inestético como um radiador convencional e, desta forma, não constitui um problema no que diz respeito a decoração e elimina-se o risco de queimaduras ou ferimentos, especialmente em crianças. Este tipo de sistema elimina praticamente a 100% o ruído provocado pela circulação da água.

As desvantagens deste sistema são poucas. Uma delas é a difícil instalação em edifícios prontos, devendo ser instalado durante a construção do edifício, mais propriamente quando a laje esteja pronta (pavimento uniforme) e as paredes rebocadas. Outra desvantagem é o tempo de resposta do sistema, sendo mais lento que outros sistemas de aquecimento e irá depender do acabamento do piso. Num piso de madeira o tempo de resposta será maior que num piso de cerâmica. Por fim, o piso radiante não possui capacidade de renovação do ar e o arrefecimento é apenas sensível (este sistema não consegue alterar a humidade absoluta do ar). Para este efeito deverá ser conjugado com outro dispositivo de tratamento de ar [23].

### 5.4 TUBAGENS

Como referiu [23], a disposição da tubagem de um piso radiante não pode ser aleatória. A colocação do tubo deve ser disposta de forma a distribuir o calor de forma homogénea por toda a superfície. Junto a sumidores (janelas normalmente) é importante aumentar o fluxo de calor e uma das formas consiste em encurtar o espaçamento entre a tubagem logo à entrada na divisão (água a maior temperatura).

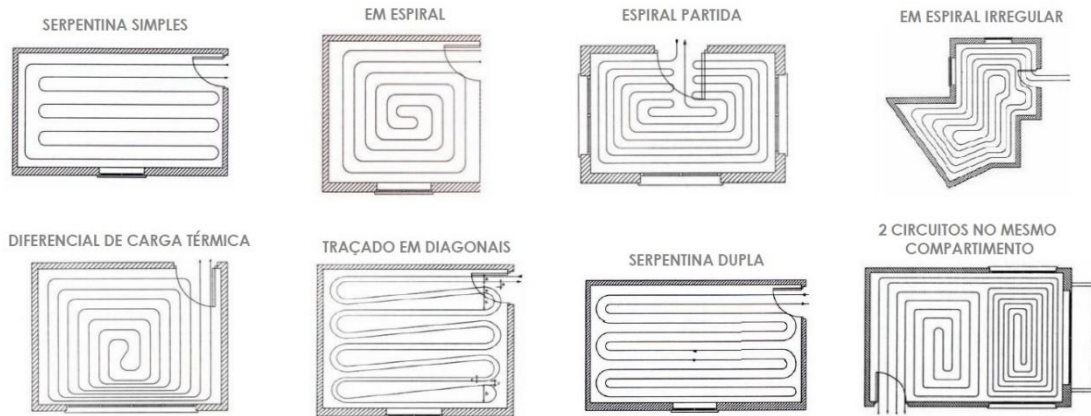


Figura 5.2 - Vários tipos de disposição de tubagens de um piso radiante [48]

## 5.5 ESTADO DA ARTE

Os sistemas de aquecimento assistidos por energia solar são cada vez mais populares. O uso da energia solar aumenta a sua eficiência e torna-se elevada quando o mesmo está acoplado um sistema de aquecimento radiante interior, partindo do princípio que, temperaturas de fornecimento baixas significa uma menor exigência de temperatura, fazendo com que a perda de calor do sistema seja menor [26].

### 5.5.1 Piso Radiante assistido por um sistema Solar Térmico

É certo que o ser humano precisa de se sentir confortável termicamente para que possa trabalhar eficientemente no seu local de trabalho. Para tal, e para se conseguir um ambiente interior termicamente favorável, o conforto térmico humano deverá ser tido em conta. Recentemente, as aplicações de piso radiante em habitações tem aumentado significativamente na Europa, e pelo menos quase todos os novos edifícios tem sistemas de piso radiante. Os componentes básicos de aquecimento usando piso radiante são semelhantes ao sistema de aquecimento de águas domésticas. O piso radiante alimentado por energia solar opera a baixas temperaturas (menos de 32°C), e a sua taxa de transferência de calor para o ambiente dá-se através de radiação e convecção [25].

O sistema solar térmico é constituído por dois circuitos hidráulicos que trocam energia térmica, entre si, num permutador de calor. No circuito primário circula o fluido (anticongelante) que absorve a energia da radiação solar. A radiação incidente no coletor solar irá aquecer o fluido do circuito primário, que irá trocar calor com a água do depósito destinado ao aquecimento, através do permutador de serpentina. No circuito secundário circula o termofluido destinado ao piso radiante. Este termofluido passa sempre pela caldeira de apoio, podendo esta, sempre que necessário, elevar a sua temperatura.

Badran e Hamdan, realizaram estudos teóricos e experimentais utilizando sistemas de aquecimento de piso radiante através de coletores solares e tanques solares, respetivamente. Os resultados obtidos mostraram que o aquecimento através dos coletores solares é mais eficiente em 7% que o sistema através de tanques solares, e também necessitam de menos operação e manutenção [22].

Na China, o projeto de aquecimento para a estação de comboios “Tibet Lhasa Railway Station”, demonstra que a sua sala de estar com o sistema de piso aquecido a energia solar, consegue alcançar uma temperatura interior de 20°C durante o Inverno. Contudo, no Verão, com a radiação solar muito elevada e a temperatura do ar também elevada, a necessidade de um ar-condicionado e refrigeração irá prevalecer sobre este sistema. Este fenómeno é bastante evidente no sul da China (e agora também no norte devido às mudanças constantes de clima nos recentes anos). Apesar disto, a tendência aponta para que no futuro os edifícios sejam construídos com sistemas integrados alimentados a energia solar [25].

Zhai et al., (2007) construíram um sistema solar capaz de aquecer, arrefecer, ventilação natural e fornecimento de água quente em Shangai. O sistema é composto por 140 m<sup>2</sup> de coletores solares, dois chillers de adsorção, tubagem para o aquecimento por piso radiante, permutador de calor e um depósito de acumulação de 2.5 m<sup>3</sup>. O sistema era usado para aquecimento no inverno, arrefecimento no verão, ventilação natural durante a primavera e outono e fornecimento de água quente durante todo o ano ao edifício com 460 m<sup>2</sup>. Após 1 ano de operação, confirmou-se que o sistema solar contribuiu com cerca de 65% do total de energia do espaço envolvido para as condições climáticas de Shangai. O calor era transferido das tubagens para o piso e era transmitido para o espaço por convecção [25].

Jin et al, desenvolveram um método de cálculo para a temperatura superficial de um piso radiante. Neste estudo evidenciam a importância da temperatura superficial do piso como sendo um dos parâmetros mais importantes, já que afeta a capacidade de aquecimento/arrefecimento do sistema. Para evitar o desconforto e a condensação no piso, a temperatura da superfície do piso não deve ser inferior a 19°C, mas também não deverá exceder os 29°C, como refere a norma ISO Standard 7730. As conclusões deste artigo referem que o efeito da condutividade térmica da argamassa, onde estão imersos os tubos, tem pouca influência na temperatura superficial do piso quando a condutibilidade é superior a 2 (W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) [23].

Liping Liu, Yanzhen Que e Hua Zhang, desenvolveram um estudo, também em Shangai, sobre o armazenamento de energia solar durante a estação de não aquecimento para ser fornecida na estação de aquecimento. Utilizaram o método das diferenças finitas para determinar a temperatura transitória da água no depósito de armazenamento e a temperatura transiente do piso em torno do depósito. O sistema é constituído por um coletor solar de tubos evacuados, um depósito de armazenamento cilíndrico subterrâneo, uma fonte auxiliar de aquecimento, um piso radiante, etc. Neste sistema a energia solar é absorvida pelo coletor solar e posteriormente é transferida para o depósito de armazenamento subterrâneo durante o Verão. A energia solar é depois transferida do depósito para o piso radiante apenas na estação de aquecimento, onde a fonte auxiliar de calor é acionada somente quando a temperatura da água no depósito é

insuficiente para manter a habitação com a temperatura do ar interior de projeto. O esquema deste estudo encontra-se na figura 5.3 [24].

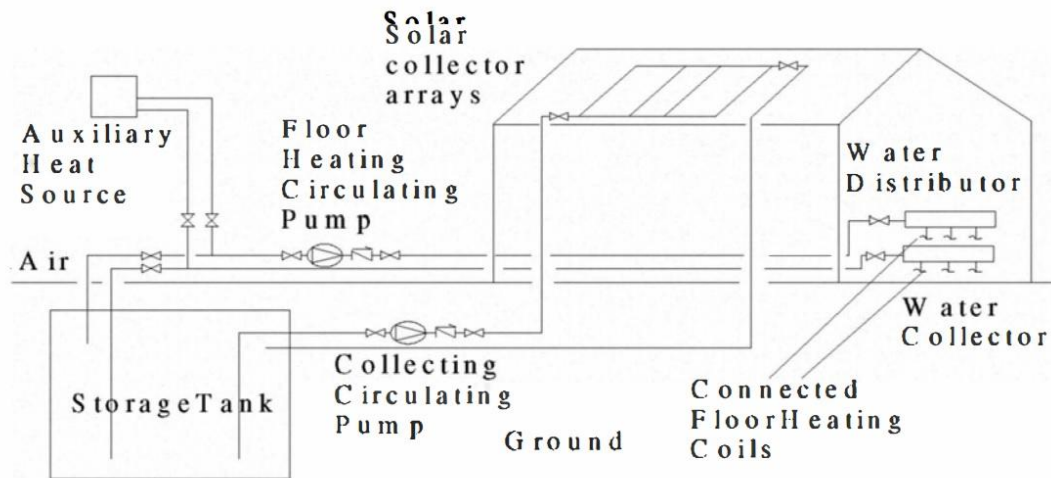


Figura 5.3 - Esquema do sistema solar com piso radiante com um depósito de armazenamento sazonal subterrâneo [24]

O edifício considerado tem uma área de  $460 \text{ m}^2$  e necessita de aquecimento de Dezembro a Março. O coletor solar está montado na cobertura do edifício, virado a sul, com uma inclinação de  $34^\circ 10'$  na horizontal. A temperatura de projeto do ar interior, do ar exterior e a velocidade média do vento no Inverno é de  $18^\circ\text{C}$ ,  $-2^\circ\text{C}$  e  $3.1 \text{ m/s}$ , respetivamente. A profundidade do depósito de armazenamento e a sua altura é de  $2.0 \text{ m}$  e  $8.0$ , respetivamente. A espessura do depósito e a espessura de isolamento é de  $0.3 \text{ m}$  e  $0.5 \text{ m}$ , respetivamente. Os resultados obtidos mostram que a amplitude da temperatura da água no depósito é maior em depósitos com volume menor e é menor em depósitos com volume maior. Um depósito maior é mais desejado porque permite uma dissipação mais rápida do calor mantendo a temperatura do mesmo baixa. Por outro lado, um depósito maior significa um custo inicial elevado. Também com as áreas de coletor o estudo mostrou que quanto maior, maior será a temperatura da água. Mas quanto maior a temperatura, maior serão as perdas na parede do depósito. Mas, sendo a temperatura da água elevada, a perda de calor da parede do depósito para o solo circundante também será maior, que por sua vez fará com que a perda de calor do coletor para o meio ambiente também seja maior, levando à diminuição da eficiência do mesmo. A fração solar em função da área de coletores para diferentes volumes de depósitos indica que depósitos menores implicam frações solares menores. O efeito do tamanho do depósito na fração solar desaparece quando o volume do depósito torna-se suficientemente grande. Quando o raio do depósito é maior que  $3.5 \text{ m}$ , o efeito torna-se desprezível. Verificou-se também que a fração solar é cerca de  $47\%$  para  $60 \text{ m}^2$  de área de coletores e para depósitos com  $R=3.5 \text{ m}$ . A fração solar diminui quando o piso radiante começa a funcionar [24].

Yeo et. al, investigaram as mudanças e as poupanças energéticas de aquecimento em edifícios na Coreia, e concluíram que as habitações mais modernas com sistemas de

aquecimento de piso radiante possuem menos perda de calor devido ao seu invólucro mais forte, mas também possuem um maior consumo de energia [25].

### 5.5.2 Piso Radiante assistido por Solar Fotovoltaico

A constituição deste tipo de sistema consiste num campo de módulos fotovoltaicos constituídos por células de silicone policristalinas, baterias onde é armazenada eletricidade, um inversor que converte corrente contínua para corrente alternada, que por sua vez irá alimentar uma bomba de calor. A bomba de calor funciona fornecendo água quente ao piso radiante [10].

M. Izquierdo, Pablo de Agustin e E. Martin, realizaram um estudo sobre um sistema de painéis fotovoltaicos com bomba de calor para aquecimento através de piso radiante, num laboratório térmico na Universidade de Madrid, que serve como protótipo para o estudo de sistemas de aquecimento/arrefecimento com eletricidade proveniente dos fotovoltaicos, como fonte de energia principal e é constituído pelo próprio edifício a ser climatizado, a estação de clima, o campo de fotovoltaicos com o seu próprio sistema de armazenamento, uma bomba de calor e o piso radiante. O laboratório tem uma área de  $27.5 \text{ m}^2$  sendo dividido em duas divisões internas e numa delas encontra-se o sistema de armazenamento, o inversor, o controlador *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* e o sistema de controlo e medida. O laboratório é normalmente ocupado por três pessoas que usam a outra divisão. A carga térmica de aquecimento máxima, num regime permanente, é cerca de 3.0 kW, e por vezes pode alcançar os 6.0 kW no início do processo de aquecimento no momento em que a inércia térmica do edifício é mais importante. A estação de clima mede a temperatura exterior de bolbo seco, a radiação solar global nos planos inclinados e horizontal, velocidade do vento, humidade relativa, etc. Para o dia 15 de Fevereiro de 2013, a radiação máxima solar medida foi acima dos  $1050 \text{ W/m}^2$  e a energia solar interceptada foi  $6.41 \text{ kWh/m}^2$ . A temperatura mínima registada foi  $1.9 \text{ }^\circ\text{C}$ . O campo de fotovoltaicos consistia em 16 módulos ocupando uma área total de  $21 \text{ m}^2$ . Cada módulo, com uma eficiência nominal de 14%, era composto por 48 células policristalinas de silicone de  $0.156 \text{ m} \times 0.156 \text{ m}$ , e podia gerar uma potência nominal de 180 W, sendo a potência nominal total instalada de 2.9 kW. O ângulo de inclinação medido foi  $40^\circ$ . Os painéis estavam conectados entre si de tal forma que o array podia gerar uma corrente contínua total de 48 V de diferença de potencial. A eletricidade era direcionada para o laboratório onde o MPPT controlava o modo de controlo do campo de fotovoltaicos e fornecia o sistema de armazenamento, que era composto por duas baterias de 250 Ah. A bomba de calor tinha como capacidade de aquecimento/arrefecimento 5-6 kW e era movida pelo inversor. O condensador era um sistema indireto que usava água como fluido secundário. A água, 840 l/h, circulava num circuito fechado situado debaixo do piso, ou seja no piso radiante, onde através do condensador transferia calor ao edifício. A bomba de calor podia ser acionada através do sistema fotovoltaico, ou se necessário, através da rede elétrica. A temperatura interior deveria ser mantida entre os  $18^\circ\text{C}$  e os  $23^\circ\text{C}$ , respeitando os limites legais espanhóis. O piso radiante com uma área de  $24 \text{ m}^2$  estava dividido em dois circuitos de modo a fornecer calor ou frio às duas divisões do laboratório, e era

constituído por uma placa de poliestireno expandido com baixa condutividade térmica que isolava o piso radiante do solo. Sobre esta camada estava outra feita de plástico flexível onde um certo número de espaçadores era distribuído de forma a facilitar a instalação das tubagens. A instalação era coberta com uma camada adicional de HIPS (High Impact Polystyrene). A distribuição das tubagens para o fluido térmico era feita de High-Density Polyethylene (HDPE) com uma diâmetro externo/interno de 0.020/0.016 m, respectivamente. Todo o piso radiante foi coberto com uma camada de betão com 0.05 m de espessura e um ladrilho com 0.02 m de espessura instalado sobre uma camada fina de cola que a fixava ao betão. De forma a isolar a fundação, foi colocada ao longo do seu perímetro uma camada de isolamento com 0.02 m de espessura. A junção entre o perímetro da camada de isolamento e o rodapé foi feito com uma junta elástica. O coeficiente total de transferência de calor do piso radiante é de  $7.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$ . O período de recolha de dados situou-se entre os dias 10 e 17 de Fevereiro de 2013. Concluiu-se que para todos os dias exceto o dia 11, o sistema foi capaz de manter a temperatura de conforto interior para temperaturas exteriores entre os  $1^\circ\text{C}$  e os  $16^\circ\text{C}$ , respetivamente, dentro dos limites legais espanhóis,  $18^\circ\text{C}$  e  $23^\circ\text{C}$ . No dia 11 foi necessário recorrer a eletricidade da rede para conseguir produzir aquecimento para o piso radiante. A fração solar rondou sempre os 90%, a eficiência global foi cerca de 18.2 % e o COP da bomba 2.84 [10].

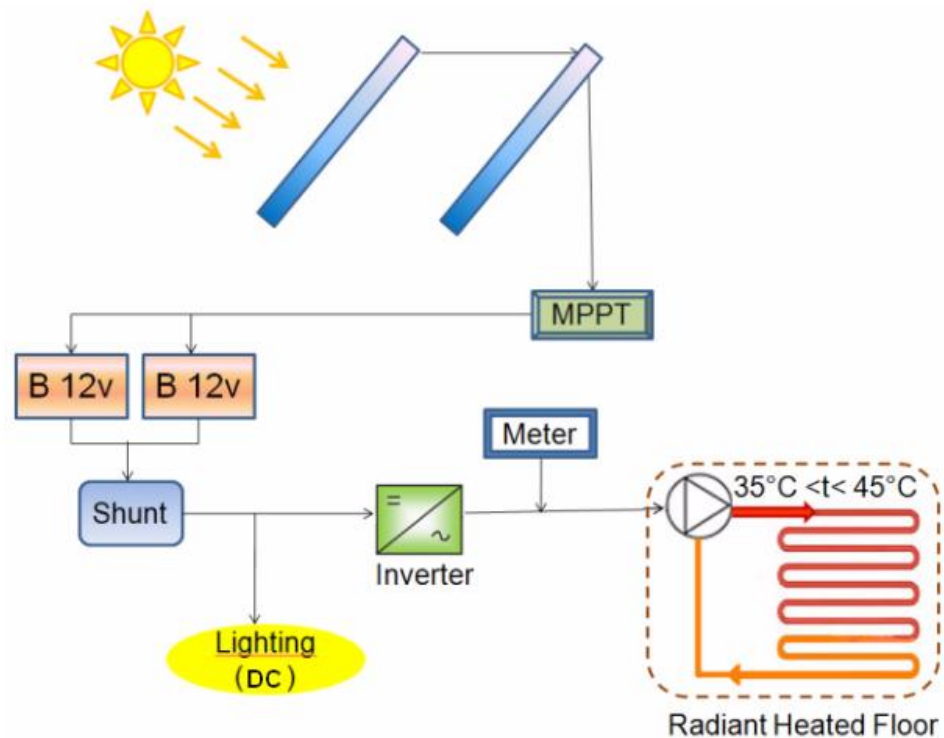


Figura 5.4 - Diagrama de fluxo de aquecimento do sistema [10]



## 6 NECESSIDADES DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO

### 6.1 BALANÇO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

“O balanço energético de um edifício contabiliza as energias que entram e saem na operação da sua estrutura, para utilização dos espaços interiores e no exterior à sua volta, a fim de os humanos fazerem o melhor aproveitamento da respetiva construção.” [15]

Para a realização de um balanço energético de um edifício consideram-se os ganhos de calor relativos à energia solar e à ocupação interna, as perdas e os ganhos por infiltração e por condução através da envolvente, a energia fornecida para aquecimento/arrefecimento, entre outros fatores como a inércia térmica da construção. Dependendo do período climático pode interessar maximizar ou minimizar os diferentes tipos de ganhos e perdas, como se pode observar na seguinte tabela:

		Condução	Convecção	Radiação	Evaporação
Inverno	Promover ganhos			Promover ganhos solares	
	Reduzir perdas	Minimizar perdas por transmissão	Minimizar infiltrações		
Verão	Evitar ganhos	Minimizar ganhos por transmissão	Minimizar infiltrações	Minimizar ganhos solares	
	Promover perdas	Promover perdas pelo solo	Promover ventilação	Promover arrefecimento por radiação	Promover arrefecimento por evaporação
	Fontes calor	Sol	Atmosfera	Céu / Sol	Atmosfera

Quadro 1 – Estratégias de conforto térmico [16]

Durante a estação de aquecimento as perdas por condução devem ser restringidas através da aplicação de materiais isolantes nos elementos construtivos (paredes, pavimentos, coberturas e envidraçados). Também as perdas por infiltração e o efeito da ação do vento devem ser restringidas e, para tal uma boa aplicação de uma vedação eficiente nas caixilharias, boa proteção dos ventos dominantes com vegetação e escolha de uma boa localização para o edifício são as escolhas a fazer. Por fim, a última estratégia de aquecimento é promover os ganhos solares, que durante o Inverno são

muito importantes. As estratégias de arrefecimento passam por promover a ventilação natural (aplicações em habitações com inércia térmica leve, em climas tropicais e nos sistemas de arrefecimento por ventilação), restringir os ganhos solares (aplicação a todos os climas que necessitam de arrefecimento), promover o arrefecimento por evaporação (em climas temperados secos e climas de regiões desérticas áridas e muito secos – típica arquitetura do médio oriente), e por último, promover o arrefecimento por radiação (corresponde a todos os climas quentes de influência continental de elevadas amplitudes térmicas (por exemplo, Algarve, Alentejo e Andaluzia (Espanha)) [16].

A localização do sol ao longo do ano é de grande importância para a definição da localização dos vãos envidraçados num edifício, assim como para a sua dimensão e para o tipo de vidro que se escolhe. Uma fachada orientada a sul receberá um maior nível de radiação solar do que fachadas noutras orientações, sendo que no Verão é uma fachada mais facilmente protegida dessa mesma radiação. Importa assim, captar o máximo de radiação solar disponível durante o Inverno, de forma a promover o aquecimento do edifício, e durante o Verão minimizar esses mesmos ganhos solares. Uma fachada orientada a Este durante o Inverno receberá pouca radiação, pois o sol nasce próximo da orientação sudeste, incidindo na fachada durante poucas horas do período da manhã e com um pequeno ângulo de incidência. No Verão, a radiação incide com abundância nesta fachada durante longas horas da manhã, desde o nascer do sol, que ocorre cedo, até às 12h, sendo que os ângulos de incidência são próximos da perpendicular à fachada, o que maximiza a captação de energia solar, que nesta estação é indesejável. Numa fachada orientada a Oeste, que é semelhante à fachada Este, é no período da tarde que ocorrem as maiores temperaturas do ar no exterior, conjugando-se dois efeitos muito negativos: durante o Inverno, esta fachada recebe pouca radiação durante poucas horas do período da tarde e os ângulos de incidência são elevados, o que reduz o efeito da radiação; por outro lado, na estação de arrefecimento, a radiação solar incide em abundância nesta fachada, durante longas horas da tarde, desde o meio-dia ao pôr-do-sol, que ocorre tarde e próximo da orientação Noroeste. A fachada a Oeste é a fachada mais problemática durante o Verão. Por fim, a fachada a Norte, durante o Inverno não recebe nenhuma radiação direta, porém recebe radiação difusa a partir da abóbada celeste. No Verão recebe uma pequena fração da radiação direta do sol no princípio da manhã e fim da tarde [16].

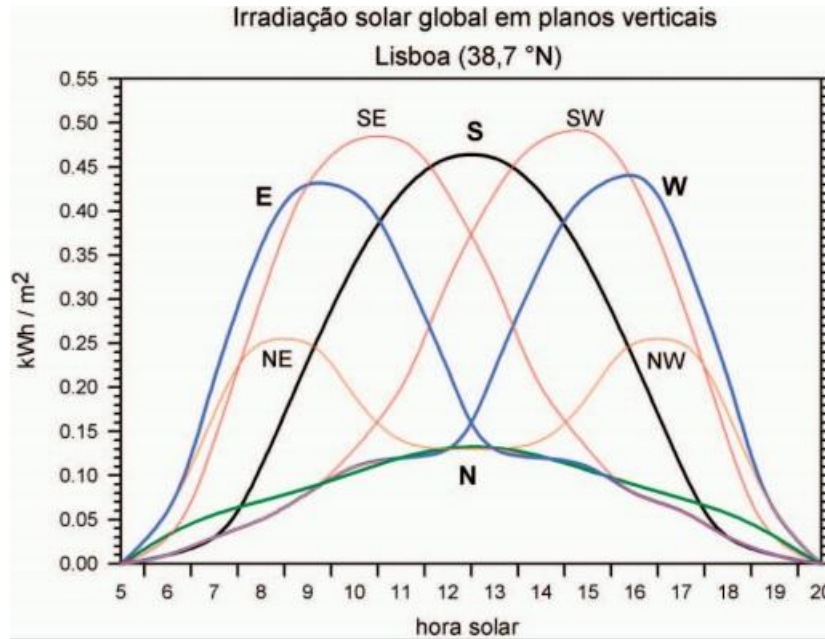


Figura 6.1 - Radiação solar ao longo do ano por orientações [16]

## 6.2 CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico pode ser definido como a sensação de bem-estar relativamente à temperatura interior ambiente, dependendo de um equilíbrio entre o calor produzido e as perdas de calor para o meio ambiente. O mesmo depende de vários fatores, tais como fatores individuais (vestuário, metabolismo, sexo, idade, etc) e fatores ambientais (temperatura do ar, humidade relativa do ar, temperatura média da radiação das superfícies circundantes e da velocidade do ar) [adaptado de 17].

As condições interiores pretendidas para um determinado ambiente dependem da função a que esse mesmo local se destina, local de trabalho, residência, meio de transporte, local de lazer, por exemplo. Nos locais onde o ser humano passa mais tempo, as condições ambientais interiores devem-lhe proporcionar uma vida agradável, visto que as mesmas influenciam não só o rendimento, como a produtividade e até a taxa de acidentes. Um indivíduo está confortável quando o seu metabolismo consegue manter a sua temperatura corporal nos 37°C, aproximadamente, sem que seja necessário realizar um esforço considerável [6].

O corpo humano produz calor de modo a que a taxa metabólica seja sempre superior a zero (equação 16).

$$M = E \pm R \pm C \pm S \quad (16)$$

Onde,

M = Taxa metabólica.

E = Taxa de calor perdido por evaporação, respiração.

R = taxa de radiação.

C = Taxa de condução e convecção.

S = Taxa de armazenamento de calor no corpo (valor muito reduzido).

O balanço térmico efetuado pelo corpo humano depende da energia produzida pelo mesmo (atividade metabólica) e das perdas de calor com o exterior. A atividade metabólica depende da atividade física realizada. A dissipação de energia é conseguida por fenómenos de condução, convecção, radiação e evaporação [17].

### **Condução**

Quando a transferência de calor se realiza através de sólidos ou líquidos que não estão em movimento (contacto entre um corpo quente e um frio) [5].

### **Convecção**

Quando a transferência de calor se realiza através dos fluidos em movimento, e por isso só tem lugar nos líquidos e nos gases (o movimento do ar) [5].

### **Radiação**

Todas as substâncias radiam energia térmica sob a forma de ondas eletromagnéticas. Quando esta radiação incide sobre outro corpo, pode ser parcialmente refletida, transmitida ou absorvida. Apenas a fração que é absorvida surge como calor no corpo [5].

### **Evaporação**

Uma via de grande importância em fisiologia é a evaporação, que constitui uma perda de calor. Esta evaporação, através da sudorese, dá-se a nível da pele e arrefece a sua superfície.

A sensação de conforto térmico depende do equilíbrio térmico entre a produção de energia pelo corpo somado dos ganhos de energia do meio e as perdas para o mesmo, com o objetivo de manter a temperatura interna do corpo em cerca de 37°C.

Na tabela seguinte são indicados os intervalos de valores de atividades metabólicas em função da atividade desenvolvida.

<b>Atividade</b>	<b>Met</b>	<b>W</b>
Em repouso	80-100	0.8 – 1.0
Atividade sedentária	100-120	1.0 – 1.2
Trabalho leve	140-180	1.4 – 1.8
Trabalho oficinal médio	200-300	2.0 – 3.0
Ginástica	300-400	3.0 – 4.0
Desporto de competição	400-600	4.0 – 6.0

$1 \text{ met} = 58.15 \text{ W/m}^2$ , Equivalente a uma pessoa sentada em situação de descanso, área medida do corpo humano,  $A = 1.75 \text{ m}^2$

Tabela 6.1 - Níveis de metabolismo em função da atividade desenvolvida [17]

É impossível que todos os ocupantes de um certo espaço tenham o mesmo “conforto térmico”, devido à conjugação de variáveis ambientais e individuais [17].

Uma metodologia desenvolvida por Fanger e adaptada pela norma ISO 7730 avalia a sensação de conforto térmico baseado na aplicação de dois índices, um designado por PMV e outro designado por PPD. Estes dois índices caracterizam a resposta dum grande grupo de indivíduos que serviram de avaliadores de sensação de conforto térmico em ambientes com diferentes condições. O índice PMV traduz a votação média previsível dos indivíduos de acordo com a seguinte escala física [6]:

<b>Sensação Térmica</b>	<b>PMV</b>
<b>Muito quente</b>	+3
<b>Quente</b>	+2
<b>Ligeiramente quente</b>	+1
<b>Neutro</b>	0
<b>Ligeiramente frio</b>	-1
<b>Frio</b>	-2
<b>Muito frio</b>	-3

Tabela 6.2 - Correspondência entre PMV e a sensação térmica [6]

Segundo a tabela o valor de PMV pode variar entre os valores -3 (muito frio) e +3 (muito quente). A equação a seguir expressa a diferença entre o calor gerado e o calor libertado pelo corpo humano [17].

$$M = (0.303e^{-2.100 \times M} + 0.028) \times [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad (17)$$

Onde:

M = Nível de atividade metabólica;

W = Trabalho mecânico exterior;

H = Perda de calor sensível;

$E_c$  = Trocas de calor por evaporação na pele;

$C_{res}$  = Trocas de calor por convecção na respiração;

$E_{res}$  = Trocas de calor evaporativas na respiração.

O índice PPD é um indicador de previsão de percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições do ambiente. Este índice é calculado com base no PMV, e a zona de conforto térmico é obtida quando o PMV está entre -0.5 e 0.5, o que implica que o PPD seja inferior a 10%.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0.03353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)} \quad (18)$$

Foram desenvolvidas folhas de cálculo e os dados de entrada devem estar dentro dos parâmetros definidos pela norma ISO 7730, de forma a garantir a convergência do processo de cálculo. Os dados definidos pela norma são: [6]

<i>Metabolismo:</i>	<b>46 a 232 W/m<sup>2</sup></b>
<i>Resistência térmica do vestuário:</i>	0.0 a 0.31 m <sup>2</sup> .°C/W
<i>Temperatura do ar:</i>	10 a 30 °C
<i>Temperatura média radiante:</i>	10 a 40 °C
<i>Velocidade do ar:</i>	0.0 a 1.0 m/s
<i>Pressão de vapor:</i>	0 a 2700 Pa

Tabela 6.3 - Condições de cálculo segundo a norma ISO 7730 [6]

### 6.3 CARGAS TÉRMICAS EM EDIFÍCIOS

Segundo [50], as condições de temperatura e humidade interiores pretendidas na habitação devem permanecer dentro de limites bem definidos ao longo do dia e do ano. A temperatura e a humidade exteriores dependem do clima e não podem ser controladas e deve-se à radiação solar e aos seus efeitos. A radiação incidente e própria dos edifícios e a diferença de temperatura entre o seu interior e o exterior resultam num fluxo de calor que atravessa a envolvente exterior do edifício. A diferença de humidade específica entre o interior do edifício e o exterior resulta num fluxo de massa que atravessa a envolvente exterior do edifício. As trocas de calor e massa através da envolvente do edifício resultam em carga térmica sensível e latente, respetivamente. As infiltrações de ar exterior resultam também numa carga térmica sensível e latente. A utilização do edifício (ocupação, iluminação, uso de equipamento diverso) leva a que se liberte calor e vapor de água, ou seja cargas térmicas interiores. As cargas térmicas levam à alteração das condições caso não sejam removidas. Para o estudo das cargas térmicas, estas devem ser agrupadas em cargas térmicas exteriores, cargas térmicas interiores e outras cargas térmicas.

A carga térmica de uma determinada zona de um edifício é a quantidade de calor que deve ser retirada ou colocada nessa mesma zona para que as condições interiores, temperatura e humidade relativa, não sofram variações significativas relativamente aos

valores pretendidos. A carga térmica é influenciada pelas condições climáticas exteriores e pelas condições interiores verificadas no espaço.

Como dito anteriormente, as cargas térmicas exteriores irão depender da humidade, temperatura e radiação, e resultam das trocas de calor e massa através da envolvente exterior do edifício. Neste caso, devem ser consideradas as cargas resultantes do fluxo de calor através da cobertura, de paredes exteriores e do pavimento (assente no solo), infiltrações através das janelas, claraboias e portas exteriores e cargas devidas a fluxos de massa através dos elementos construtivos, no caso de serem materiais porosos. As cargas térmicas internas dependem mais das condições de funcionamento do edifício e são resultantes do metabolismo das pessoas, do calor resultante da iluminação e do funcionamento de equipamentos nos locais climatizados [50].

Para o cálculo das cargas térmicas de um edifício deve-se ter um conhecimento prévio das:

- Condições interiores previstas para a zona condicionada;
- Condições interiores de espaços adjacentes não condicionados;
- Condições exteriores climáticas;
- Caracterização térmica da construção das envolventes opacas e transparente [6].

O método utilizado para o cálculo das cargas térmicas no edifício do caso estudo será o método ASHRAE. Em 1895 foi realizada a 1ª reunião anual da ASHVE (American Society of Heating and Ventilation Engineers) e em 1904 foi fundada a ASRE (American Society of Refrigeration Engineers), de modo a superar as dificuldades encontradas no cálculo das cargas térmicas de edifícios, pois devido à inexistência de dados climáticos, tornava-se difícil de obter resultados rigorosos. Assim, estas duas organizações, colaborando, procederam à formulação de “standards” e na publicação de relatórios e investigações realizadas. Em 1922 a ASHVE publicou o seu primeiro manual técnico sobre a prática corrente de aquecimento e ventilação e em 1932 a ASRE publicou os primeiros dados climáticos, sendo que estes manuais passaram a ser publicados anualmente, com edições revistas e atualizadas. Todavia, os manuais continuaram a ser alvos de muitas atualizações até se conseguir realizar um cálculo com uma precisão mais rigorosa, sendo que foi em 1967 que surgiu o Handbook of Fundamentals da ASHRAE [51].

### **6.3.1 Cargas Térmicas de Aquecimento**

A carga térmica de aquecimento é a potência máxima que a instalação de aquecimento tem que possuir para garantir o conforto térmico de todas as zonas habitáveis caso não existam ganhos solares nem ganhos internos. Esta potência é calculada somando todas as perdas por condução através da envolvente do edifício e as perdas por renovação do ar. As perdas por condução incluem as perdas pelas paredes (zonas homogêneas + pontes térmicas), pelas coberturas, pavimentos, envidraçados, portas, zonas enterradas e zonas adjacentes não aquecidas. O cálculo das cargas térmicas para uma situação de inverno é calculado com base nas piores condições possíveis, ou seja, a temperatura exterior é a mais baixa ocorrida com uma probabilidade de ocorrência de pelo menos

95%, não existem ganhos solares, nem ganhos internos e pretendesse manter a temperatura das zonas climatizadas constante e igual a 20°C.

Assim, o cálculo simplificado das cargas térmicas de aquecimento consiste em determinar:

- Perdas de calor através de: paredes, envidraçados, teto, pavimento e outras superfícies (carga sensível);
- Perdas associadas às infiltrações de ar através de: frestas e das aberturas de janelas e portas, materiais de construção porosos e outras quaisquer aberturas (carga sensível e latente) [6].

**Envolvente em contacto com o ambiente exterior (Cobertura, teto, parede, envidraçado e pavimento):**

$$\dot{Q} = U \times A \times (t_i - t_o) \quad (19)$$

Onde:

Q = Carga térmica [W]

U = Coeficiente de transmissão térmica [ $W/(m^2 \cdot C)$ ]

A = Área de transferência de calor [ $m^2$ ]

$t_i$  = Temperatura interior [°C]

$t_o$  = Temperatura exterior [°C]

**Envolvente em contacto com o solo**

- Paredes:

$$\dot{Q} = U \times A \times (t_i - t_g) \quad (20)$$

Onde:

$t_g$  = Temperatura do solo de projeto [°C]

- Pavimento assente no solo:

$$\dot{Q} = F \times P \times (t_i - t_o) \quad (21)$$

Onde:

F = Coeficiente periférico de perdas [W/(m°C)]

P = Perímetro [m]

$t_i$  = Temperatura interior [°C]

$t_o$  = Temperatura exterior [°C]

- Pavimento abaixo do nível do solo:

$$\dot{Q} = U \times A \times (t_i - t_g) \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})] \quad (22)$$

**Envolvente em contacto com o ambiente interior não aquecido (Teto, Parede, Envidraçado e Pavimento):**

$$\dot{Q} = U \times A \times (t_i - t_{amb.int}) \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})] \quad (23)$$

Onde:

$t_{amb.int}$  = Temperatura ambiente interior da zona não condicionada [°C]

**Infiltrações:**

- Sensível:

$$\dot{Q}_S = \dot{m} \times c_p \times (t_i - t_o) \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})] \quad (24)$$

Onde:

$c_p$  = Calor específico a pressão constante [J/(Kg°C)]

- Latente:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_o \times (W_i - W_o) \times h_{fg} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})] \quad (25)$$

Onde:

$\dot{m}_o$  = Caudal mássico associado à renovação de ar [ $m^3/h$ ]

$W_i$  = Conteúdo de humidade do ar interior [kg/kg ar seco]

$W_o$  = Conteúdo de humidade do ar exterior [kg/kg ar seco]

$h_{fg}$  = Entalpia de vaporização da água à temperatura interior [kJ/kg ar seco]

### **Cargas Térmicas Adicionais de Aquecimento – Ventilação (Ar Novo):**

- Sensível:

$$\dot{Q}_S = \dot{m}_o \times c_p \times (t_i - t_o) \quad (26)$$

- Latente:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_o \times (W_i - W_o) \times h_{fg} \quad (27)$$

### **Cargas Térmicas Adicionais de Aquecimento – Condução/Tubagem:**

$$\dot{Q} = U \times A \times \Delta T_m \quad (28)$$

Onde:

$\Delta T_m$  = Diferença entre a temperatura média do escoamento e a temperatura do ar envolvente [°C]

#### **6.3.2 Cargas Térmicas de Arrefecimento**

A carga térmica de arrefecimento consiste nos fluxos de calor sensível e latente que o sistema de condicionamento de ar deve retirar ao ar ambiente para assegurar a manutenção da sua temperatura e da sua humidade relativa.

Numa situação típica de Verão, a carga térmica de um edifício varia significativamente ao longo do dia, devido principalmente à radiação solar incidente no edifício.

A metodologia de cálculo da carga térmica de arrefecimento é muito mais complexa que o cálculo da carga térmica de aquecimento.

Neste cálculo consideram-se os seguintes ganhos de calor:

- Condução através das paredes, envidraçados, teto, pavimento e outras superfícies (carga sensível);
- Radiação solar através dos envidraçados (carga sensível);
- Iluminação artificial (carga sensível);
- Pessoas (carga sensível e latente);
- Equipamento (carga sensível e latente);
- Infiltrações de através de: frestas e aberturas de janelas e portas, materiais de construção porosos e outras quaisquer aberturas (carga sensível e latente) [6].

### **Envolvente em contato com o ambiente exterior**

- Paredes e coberturas:

$$\dot{Q} = U \times A \times CLTD \quad (29)$$

Onde:

CLTD = Valor da diferença fictícia de temperatura exterior-interior que na ausência de radiação solar e, em regime permanente, conduz a uma carga térmica igual ao valor real calculado pelo método das funções de transferência.

- Envidraçado e Pavimento (para a diferença de temperatura entre o interior e o exterior):

$$\dot{Q} = U \times A \times CLTD \quad (30)$$

- Envidraçado (devido à radiação incidente):

$$\dot{Q}_{solar} = A \times FS_{v\tilde{a}o\ envid.} \times I_{t\ max} \times CLF \quad (31)$$

$$\dot{Q}_{solar} = A \times SC_{v\tilde{a}o\ envid.} \times SHGF_{max} \times CLF \quad (32)$$

Onde:

$FS_{v\tilde{a}o\ envid.}$  = Factor solar

$I_{t\ max}$  = Inércia térmica

CLF = Cooling load factor

SHGF = Máximo ganho solar no envidraçado [ $W/m^2$ ]

SC = Coeficiente de sombreamento

**Envolvente em contato com o ambiente interior não arrefecido (Teto, parede, envidraçado e pavimento):**

$$\dot{Q} = U \times A \times (t_{amb.int} - t_i) \quad (33)$$

**Ganhos Internos**

- Iluminação:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{elec} \times CLF \quad (34)$$

Onde:

$\dot{Q}_{elec}$  = Potência elétrica em utilização pela iluminação artificial

- Ocupação:

$$\dot{Q}_S = \dot{Q}_{sens.pessoa} \times n_{pessoas} \times CLF \quad (35)$$

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{lat.pessoa} \times n_{pessoas} \quad (36)$$

Onde:

$\dot{Q}_{sens.pessoa}$  = Taxa de calor sensível libertada por uma pessoa

$n_{pessoas}$  = Número de ocupantes

$\dot{Q}_{lat.pessoa}$  = Taxa de calor latente libertado por uma pessoa

- Equipamento:

$$\dot{Q}_S = \dot{Q}_{sens.equipamento} \times CLF \quad (37)$$

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{lat.equipamento} \quad (38)$$

Onde:

$\dot{Q}_{sens.equipamento}$  = Carga sensível associado aos equipamentos

$\dot{Q}_{lat.equipamento}$  = Carga latente associado aos equipamentos

- Infiltrações:

$$\dot{Q}_S = \dot{m}_o \times c_p (t_o - t_i) \quad (39)$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_o \times (w_o - w_i) \times h_{fg} \quad (40)$$

## 6.4 REGULAMENTO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Em 1990, o decreto-lei nº 40/90 de nome Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE, impunha os requisitos para melhorar o comportamento térmico e a utilização da energia em Portugal, de forma a não existirem necessidades energéticas excessivas durante as estações de aquecimento e arrefecimento, sendo que em 2006 foi alvo de uma atualização.

Com a Diretiva 2002/91/CE, Desempenho energético dos edifícios (EPBD), estabeleceu-se que todos os estados membros da União Europeia teriam de criar um sistema de certificação energética para que todos os consumidores pudessem obter informações sobre as características e qualidades térmicas do edifício, seja para edifícios novos, remodelados ou de serviços. Assim em 2006 aprovou-se através do Decreto-Lei nº 78/2006 o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), através do Decreto-Lei nº 79/2006 o Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Decreto-Lei nº 80/2006 que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Em 2010 a Diretiva 2010/31/EU, reformulou a diretiva anterior possibilitando o melhoramento da sistematização e a aplicação do sistema de sistematização energética e seus respetivos regulamentos num único diploma. Surgiu assim o Decreto-Lei nº 118/2013 que inclui o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

O regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação, REH, *“estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento técnico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente”* [18].

*“O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação aplica-se aos edifícios destinados a habitação, nas seguintes condições:*

- a) Projeto e construção de edifícios novos;*
- b) Grande intervenção na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes;*

c) *Avaliação energética dos edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes, no âmbito do SCE.*” [18]

No caso dos edifícios abrangidos pelo REH, a sua aplicação deve ser verificada:

- a) *“No caso de edifícios de habitação unifamiliares, para a totalidade do edifício;*
- b) *No caso de edifícios de habitação multifamiliares, para cada fração constituída ou, em edifícios em projeto ou em construção, para cada fração prevista constituir;*
- c) *No caso de edifícios mistos, para as frações destinadas a habitação, independentemente da aplicação do RECS às restantes frações.*” [18]

O decreto-lei 118/2013 determina os requisitos específicos para o comportamento térmico dos edifícios, como [18]:

- O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N<sub>ic</sub>) de um edifício de habitação novo, e estabelece que esse valor não poderá exceder o valor máximo de energia útil para aquecimento (N<sub>i</sub>) definido em portaria;
- O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N<sub>vc</sub>) de um edifício de habitação novo, não poderá exceder o valor máximo de energia útil para arrefecimento (N<sub>v</sub>) definido em portaria;
- Todos os requisitos anteriormente descritos devem ser satisfeitos sem ultrapassarem os valores limites de qualidade térmica da envolvente estabelecidos em portaria e relativos aos seguintes parâmetros:
  - a) Valor máximo do coeficiente de transmissão térmica superficial dos elementos na envolvente opaca;
  - b) Valor máximo do fator solar dos vãos envidraçados horizontais e verticais.
- O valor da taxa de renovação horária nominal de ar para as estações de aquecimento e de arrefecimento de um edifício de habitação novo, calculado de acordo com o estabelecido pela DGEG, deve ser igual ou superior ao valor mínimo de renovações horárias a definir em portaria;
- O recurso a sistemas passivos que melhorem o desempenho energético do edifício deve ser promovido, e o respetivo contributo considerado no cálculo das necessidades de energia do edifício, com base em normas europeias ou regras definidas pela DGEG;
- As novas moradias unifamiliares com uma área útil inferior a 50 m<sup>2</sup> estão dispensadas da verificação dos requisitos de comportamento térmico.



## 7 CASO DE ESTUDO

---

O seguinte estudo tem como objetivo identificar o sistema a energia solar mais eficiente para climatizar um edifício unifamiliar recorrendo a um sistema de piso radiante, realizando uma análise económica.

Foram realizados dois cálculos, o primeiro através do método ASHRAE, onde é traçado um perfil diário para a habitação numa situação de Inverno, o segundo, através da folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, de acordo com o REH (Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto), onde se obtém a energia útil para a estação de aquecimento. Posteriormente realizou-se uma análise energética e económica de forma a determinar qual dos dois sistemas solares será mais eficiente. O método ASHRAE, neste projeto, apenas servirá para determinação da potência que um sistema de climatização deveria fornecer ao edifício e para observação da evolução das cargas térmicas ao longo do dia mais desfavorável de Inverno. Será o valor da energia útil de aquecimento que irá ser utilizado no dimensionamento dos painéis solares no programa SolTerm e dos módulos fotovoltaicos no programa PVsyst.

### 7.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Para uma correta determinação das necessidades energéticas do edifício foi necessário proceder à determinação de parâmetros como secções, o pé-direito, se os espaços são úteis ou não úteis, entre outros.

O edifício (Figura 7.1) em estudo é um edifício não edificado, desenhado e pensado apenas para fins de estudo do projeto. Trata-se de uma habitação unifamiliar com uma tipologia T3, com dez divisões: três quartos, duas casas de banho, uma sala, uma cozinha, uma dispensa, um roupeiro e um corredor. A sua área bruta e área útil é de  $170,34 m^2$  e  $144,82 m^2$ , respetivamente, com um pé-direito de  $2,7 m$ , localizado na cidade de Olhão. Foi atribuída uma espessura de 30 cm para as paredes exteriores e 15 cm para as paredes interiores.

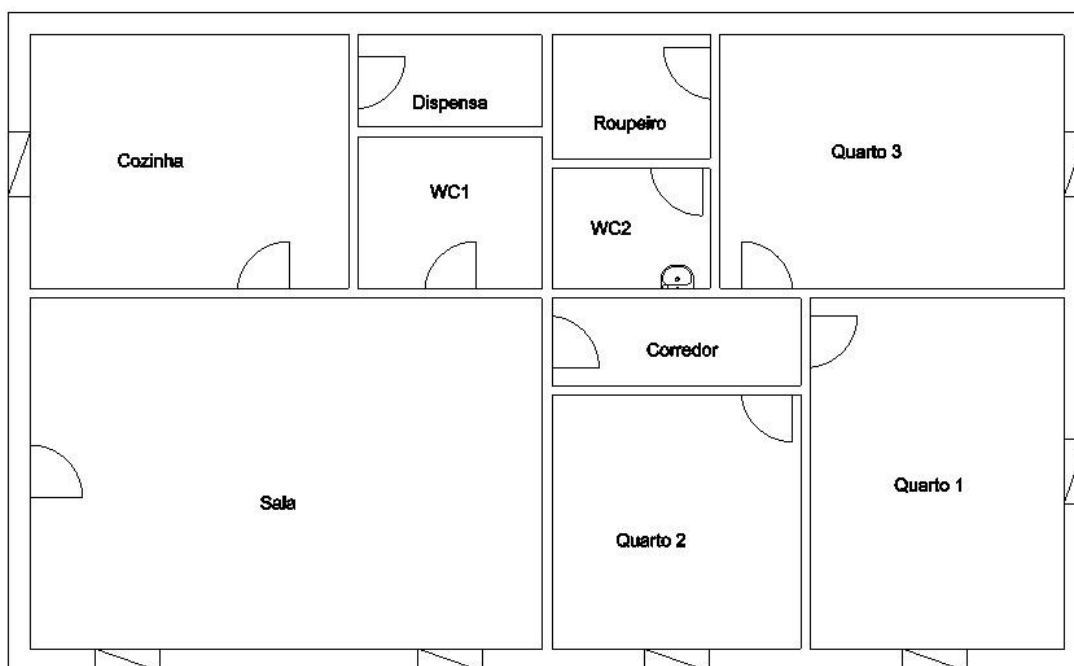


Figura 7.1 - Projeto do edifício em estudo

As áreas úteis de cada zona da casa encontram-se na tabela 7.1:

Zona	Áreas (m <sup>2</sup> )
Quarto 1	21,3
Quarto 2	15,11
Quarto 3	20,9
Sala	43
Casa de banho 1	6,69
Casa de banho 2	4,53
Cozinha	19,33
Roupeiro	4,71
Dispensa	4,06
Corredor	5,19

Tabela 7.1 – Áreas úteis das zonas da habitação

No que diz respeito aos envidraçados os mesmos perfazem uma área total de  $7 \text{ m}^2$  e são distribuídos da seguinte forma:

Compartimento	Largura (m)	Comprimento (m)	Orientação
Quarto 1	1,0	1,0	Este
	1,0	1,0	Sul
Quarto 2	1,0	1,0	Sul
Quarto 3	1,0	1,0	Este
Cozinha	1,0	1,0	Oeste
Sala	1,0	1,0	Sul
	1,0	1,0	Sul

Tabela 7.2- Características dos vãos envidraçados

Os coeficientes de transmissão térmica são os coeficientes de referência fornecidos pelo REH e encontram-se na tabela 7.3:

	Coeficientes de transmissão térmica U [W/(m <sup>2</sup> °C)]
Janelas	2.9
Paredes exteriores	0.5
Cobertura	0.4
Pavimento	0.5

Tabela 7.3 - Coeficientes de transmissão térmica do edifício

## 7.2 CÁLCULO DAS CARGAS TÉRMICAS DE AQUECIMENTO

### 7.2.1 Método ASHRAE

Através do método ASHRAE calculou-se a carga térmica de aquecimento de projeto da habitação unifamiliar através de um cálculo simplificado onde se determinaram as perdas de calor das paredes exteriores, envidraçados, cobertura e pavimento, para uma temperatura interior de  $20 \text{ °C}$ , tendo em conta os ganhos solares através dos envidraçados. Este cálculo traça um perfil diário para o dia mais rigoroso de Inverno, no mês de Janeiro:

- Paredes exteriores:

$$Q_{paredes \text{ ext total}} = 24,47 \text{ [kWh/dia]}$$

- Pavimento:

$$Q_{pavimento\ total} = 19,04 [kWh/dia]$$

- Cobertura:

$$Q_{cobertura} = 24,12 [kWh/dia]$$

- Envidraçados exteriores:

$$Q_{envidraçados\ ext} = 7,19 [kWh/dia]$$

- Ventilação:

$$Q_{ventilação} = 9,21 [kWh/dia]$$

Os ganhos solares foram calculados através da equação (32), e não possuem qualquer tipo de sistema de sombreamento:

$$\dot{Q}_{solar} = 16,39 [kWh/dia]$$

O total da carga térmica para o dia mais rigoroso da estação de aquecimento foi de 67,64 kWh/dia. Este resultado são valores de projeto e tem em atenção as temperaturas exteriores do local do edifício. Verificou-se que a carga térmica mais elevada se situa entre as 5h e as 6h, obtendo um valor máximo de 4303 W, e este valor teria de ser “vencido” pelo sistema de climatização.

### 7.2.2 Folha de cálculo do regulamento

Neste caso, utilizou-se a folha de Excel do Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, para o cálculo dos indicadores energéticos, sendo nesta situação as necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de aquecimento. São dados dois valores, o de cálculo e o de referência. O valor de cálculo é o valor do edifício em estudo, e o valor de referência é o valor para um edifício de referência.

O primeiro passo a realizar será a caracterização da fração em estudo, ou seja, um edifício T3 localizado na cidade de Olhão, novo, com uma classe de inércia térmica forte e uma área útil de pavimento de 144,82 m<sup>2</sup>. Considerou-se que a taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento é de 0,4 Rph.

**Caracterização da Fração:**

Edifício/FA situada no município  Região NUTS III  Região

a uma altitude de  m distância à costa  Rugosidade

Edifício situado

Área útil de Pavimento  Pé-direito médio  ROADMAP

Tipologia  Classe de Inércia Térmica do Edifício

Figura 7.2 - Caracterização do edifício no REH

**Envolveinte Exterior:**

<sup>1)</sup> A caixa-de-ar de considera-se fortemente ventilada se  $A > 1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$   
<sup>2)</sup> A face interior do revestimento exterior é de baixa emissividade se  $\epsilon \leq 0,2$

PAREDES EXTERIORES	Orientação	Cor	Fachada Ventilada?	Grau de ventilação <sup>(1)</sup>	Emissividade <sup>(2)</sup>	Área	Pala horizontal $\alpha$	Pala vertical à esquerda $\beta_{\text{esq}}$	Pala vertical à direita $\beta_{\text{dir}}$	U	U <sub>REF</sub>
Descrição						m <sup>2</sup>	*	*	*	W/m <sup>2</sup> .°C	W/m <sup>2</sup> .°C
PE1	Norte	Clara	Não			45,09	0	0	0	0,50	0,50
PE1	Sul	Clara	Não			41,09	0	0	0	0,50	0,50
PE1	Este	Clara	Não			25,54	0	0	0	0,50	0,50
PE1	Oeste	Clara	Não			26,54	0	0	0	0,50	0,50

Figura 7.3 - Caracterização da envolvente exterior do edifício

A figura 7.3 mostra a caracterização da envolvente exterior do edifício, constituída por 4 paredes exteriores, orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste, de cor clara, e com um coeficiente de transmissão térmica de  $0,50 \text{ [W/(m}^2\text{°C)]}$ .

A cobertura (Figura 7.4) possui uma área de  $170,34 \text{ m}^2$  e um coeficiente de transmissão térmica de  $0,4 \text{ [W/(m}^2\text{°C)]}$ .

COBERTURAS EXTERIORES	Cor	Revestimento com caixa-de-ar ventilada?	Grau de ventilação <sup>(1)</sup>	Emissividade <sup>(2)</sup>	Área	U <sub>ascendente</sub>	U <sub>descendente</sub>	U <sub>REF</sub>
Descrição					m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> .°C	W/m <sup>2</sup> .°C	W/m <sup>2</sup> .°C
Cob1	Clara	Não			170,34	0,40	0,40	0,40

Figura 7.4 - Caracterização da cobertura

No que diz respeito aos envidraçados exteriores, possuem um coeficiente de transmissão térmica de  $2,90 \text{ [W/(m}^2\text{°C)]}$ , vidro duplo e um fator solar de 0,5 (Figuras 7.5 e 7.6):

VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Orientação	Área	Vão Envidraçado à Face Exterior da Parede?	Tipo de vidro	Obstrução do Horizonte $\alpha_h$	Pala horizontal $\alpha$	Pala vertical à esquerda $\beta_{\text{esq}}$	Pala vertical à direita $\beta_{\text{dir}}$	U <sub>vidr</sub>	U <sub>REF</sub>
Descrição		m <sup>2</sup>			*	*	*	*	W/m <sup>2</sup> .°C	W/m <sup>2</sup> .°C
V1	Sul	4,00	Não	Duplo	45	0	0	0	2,90	2,90
V2	Este	2,00	Não	Duplo	45	0	0	0	2,90	2,90
V3	Oeste	1,00	Não	Duplo	45	0	0	0	2,90	2,90

Figura 7.5 - Caracterização dos vãos envidraçados

<sup>(iii)</sup> Factor solar do vidro para uma incidência normal ao vão.

<sup>(iv)</sup> Factor solar global do vão com todos os dispositivos de proteção solar permanentes ou móveis totalmente ativados (para uma incidência normal à superfície). Caso não existam é igual ao factor solar do vidro.

<sup>(v)</sup> Factor solar global do vão com todos os dispositivos de proteção solar permanentes totalmente ativados (para uma incidência normal à superfície). Caso não existam é igual ao factor solar do vidro.

VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Classe da Caixilharia	Permeabilidade da Caixa de Estore	Fracção Envidraçada $F_g$	Factor Solar do vidro $g_{LW}$ <sup>(iii)</sup>	FS Global Prot. Perm. e Móveis $g_{LT}$ <sup>(iv)</sup>	FS Global Prot. Perm. $g_{LTP}$ <sup>(v)</sup>	FS de Inverno $g_i$	FS de Verão $g_v$	FS de Verão de Referência $g_{vREF}$
V1	3	Não tem	0,7	0,5	0,04	0,04	0,04	0,04	
V2	3	Não tem	0,7	0,5	0,04	0,04	0,04	0,04	
V3	3	Não tem	0,7	0,5	0,04	0,04	0,04	0,04	

Figura 7.6 - Caracterização dos vãos envidraçados (continuação)

O dado a seguir introduzido diz respeito aos elementos em contacto com o solo e são calculados de acordo com a norma EN13370:2007. Nesta situação, atribuiu-se o valor de 2 [W/(m°C)] para a condutibilidade térmica do solo, pois a mesma era desconhecida.

PAVIMENTOS TÉRREOS (z≤0) <sup>(vii)</sup>	Área	R <sub>f</sub>	Perímetro Exposto P	Espessura da parede exposta w	Isolamento Perimetral?	Horizontal ou Vertical?	Espessura do Isol. dn	Extensão de Isol. D	U <sub>req</sub>	U <sub>req,REF</sub>
Descrição	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> .°C/W	m	(m)			m	m	W/m <sup>2</sup> .°C	W/m <sup>2</sup> .°C
PAVIMENTOS TÉRREOS	144,82	0,03	53,80	0,35	Sim	Vertical	0,03	1	0,55	
									-	0,50
									-	
									-	

Figura 7.7 - Caracterização do pavimento térreo

O próximo passo foi a introdução de dados nas pontes térmicas lineares, considerando que todos os cálculos serão de acordo com os valores tabelados (Figura 7.8). Na ligação entre elementos considerou-se que havia entre a fachada com pavimentos térreos, fachada com cobertura, duas paredes verticais com ângulo saliente e zona da caixa de estores:

Pontes Térmicas Lineares (envolvente exterior)

<sup>(viii)</sup> Note-se que, em ligações de fachada com pavimento intermédio ou varanda os valores tabelados do coeficiente de transmissão térmica linear  $\Psi$  apresentados dizem respeito a METADE da ligação global, correspondendo apenas à perda no andar superior ou no andar inferior.

TIPO DE LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS	Comp. B <sup>(viii)</sup>	Cálculo de acordo com?	$\Psi$ calculado	Informações adicionais			Sistema de isolamento nas paredes	$\psi$	$\psi_{REF}$
	m		W/m.°C					W/m.°C	W/m.°C
Fach. com pavimentos térreos	53,80	Valores Tabelados		-			Repartido na caixa-de-ar	0,80	0,5
Fachada com cobertura	53,80	Valores Tabelados		Isol. sob/sobre o cobertura?	Sobre		Repartido na caixa-de-ar	1,00	0,5
Dois paredes verticais em ângulo saliente	10,80	Valores Tabelados		-			Repartido na caixa-de-ar	0,50	0,4
Zona da caixa de estores				-				-	-

Figura 7.8 - Pontes térmicas lineares do edifício

O resultado obtido de necessidade nominal anual de energia útil de aquecimento foi de 35,4 [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)] e o perfil diário será de:

$$E_{diário} = \frac{35,4 \times 144,82}{4,8 \times 30} \text{ [kWh/dia]}$$

$$E_{diário} = 35,60 \text{ [kWh/dia]}$$

Assim, teremos uma energia útil diária de 35,60 (kWh/dia), e será este o valor utilizado no dimensionamento do sistema solar para fornecimento de água quente ao sistema de piso radiante da habitação residencial.

### 7.3 DIMENSIONAMENTO PAINÉIS SOLARES TÉRMICOS

Para o dimensionamento do sistema solar recorreu-se ao programa Solterm, na sua versão 5.1. Começou-se pela definição do concelho onde se localiza o edifício, seguindo-se a caracterização do sombreamento e outros detalhes sobre a localização dos coletores solares (Figura 7.9) mantendo-se a opção “por defeito” por considerar que não existem sombreamentos significativos sobre os coletores (Figura 7.10).

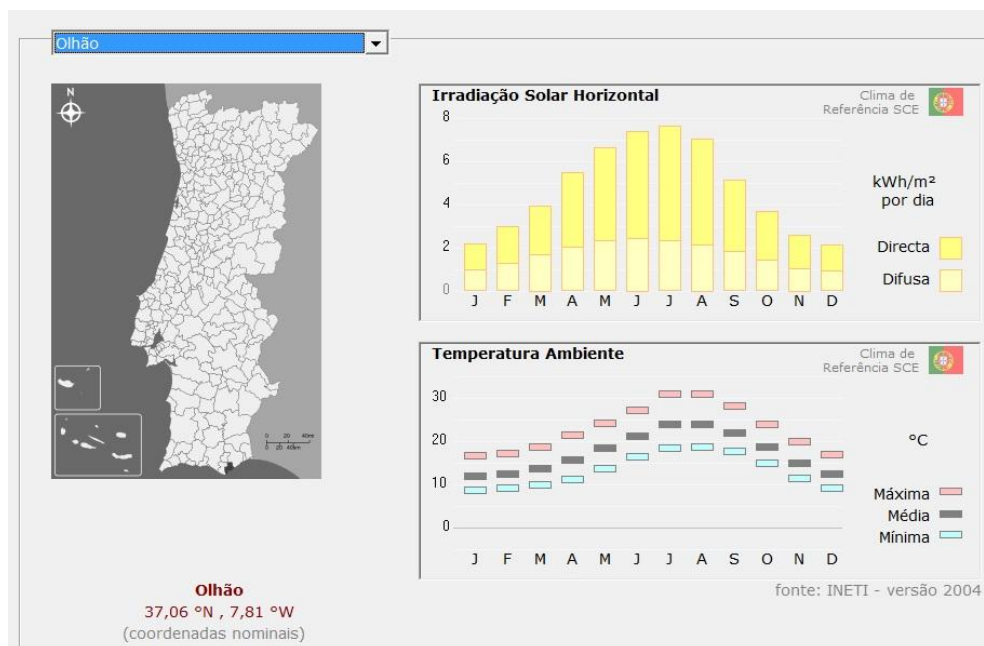


Figura 7.9 - Seleção do concelho no SolTerm

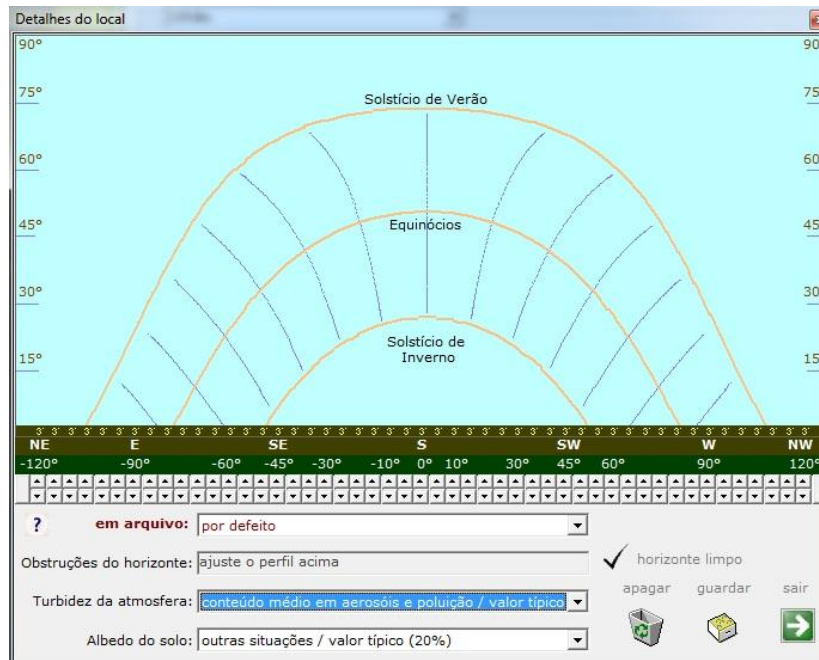


Figura 7.10 – Definição do sombreamento e outros detalhes do local

Para este projeto considerou-se que a temperatura da água de consumo será de 50°C, num total de 887 litros por dia. Assim, o perfil de consumo que se aplicou para os meses da estação de aquecimento (Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro) foi o seguinte:

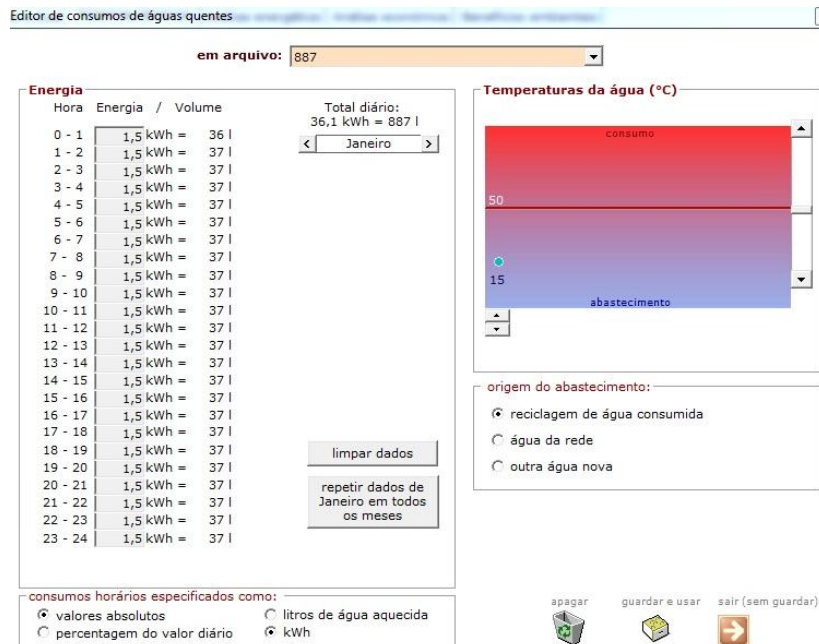


Figura 7.11 - Perfil de consumo de água quente

Considerou-se um depósito com uma capacidade acima dos 800 litros, pelo que a escolha recaiu sobre o modelo da marca Sonnenkraft Comfort E Plus de 1000 Litros.



Figura 7.12 - Escolha do depósito no Solterm

Por fim, definiu-se a quantidade de coletores a utilizar neste sistema e optou-se por utilizar 6 coletores solares Sonnenkraft SKR 500 perfazendo uma área de coletores de  $13,6 \text{ m}^2$ , com uma inclinação de  $45^\circ$  e um azimute a Sul. (Figura 7.13):

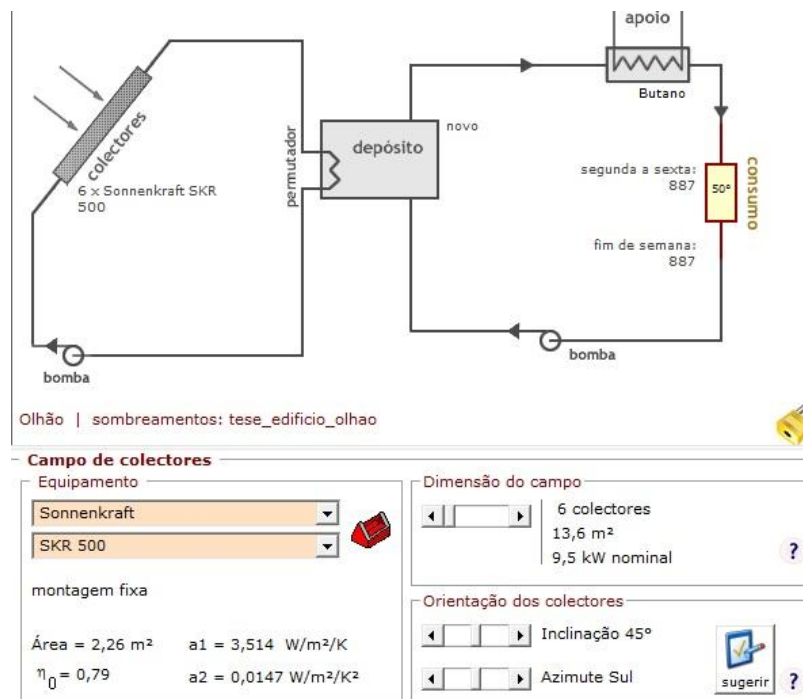


Figura 7.13 - Esquema do sistema solar com 6 coletores solares

Testou-se a simulação com seis coletores, tendo-se obtido os seguintes resultados (Figura 7.14):

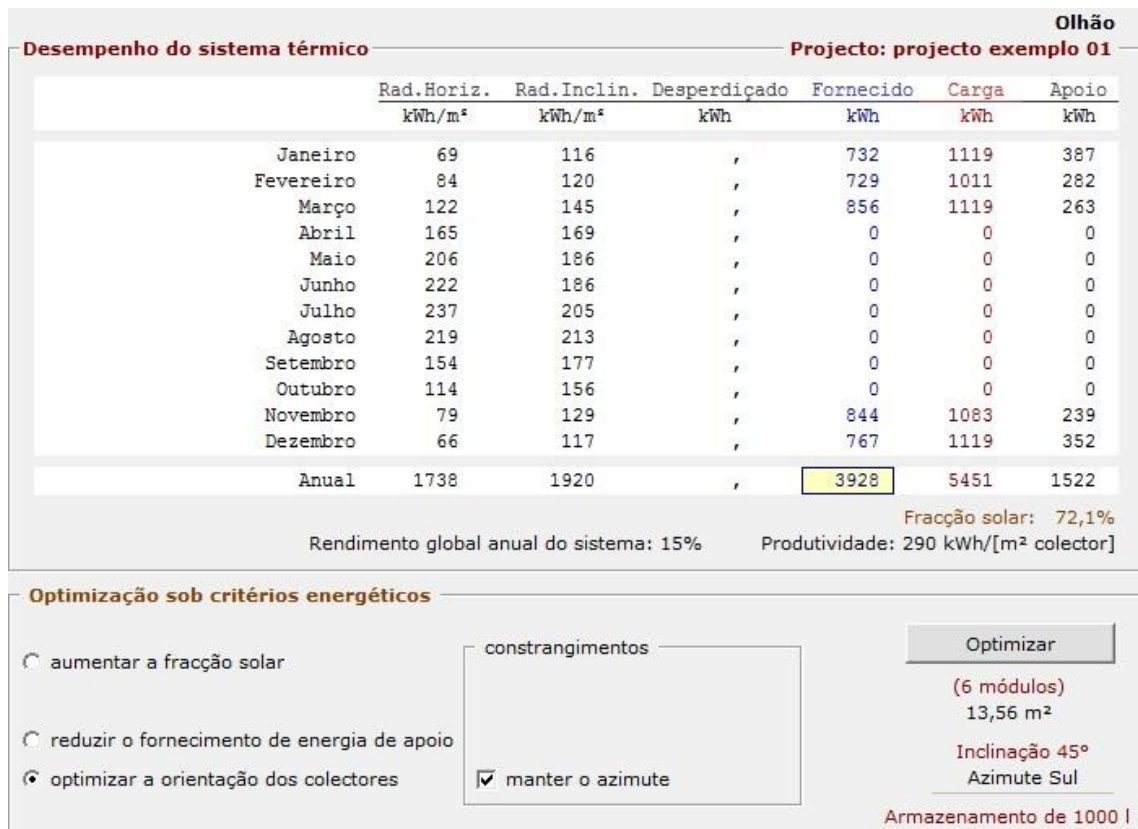


Figura 7.14 – Desempenho do sistema solar para os 6 coletores Sonnenkraft SKR500

Os resultados obtidos foram:

- Fração Solar: 72,1%
- Produtividade: 290 kWh/(m<sup>2</sup>.coletor)
- Rendimento global anual do sistema: 15%
- Área de coletores total: 13,56 m<sup>2</sup>

Testaram-se várias simulações e concluiu-se que o sistema com 6 coletores seria o ideal, pois possui uma fracção solar e área de coletores razoáveis. Verifica-se que caso o sistema não possuísse nenhum sistema solar para produção de água quente, o edifício teria de despender cerca de 5451 kWh, durante a estação de aquecimento, em sistemas convencionais, e este valor é o obtido na coluna “Carga”, ou seja, o valor acumulado (anual ou mensal) da energia solicitada para consumo.

Também se conclui que cerca de 1522 kWh teriam de ser fornecidos por um sistema de apoio, para que o sistema pudesse sempre fornecer a quantidade de água quente necessária para o aquecimento através de piso radiante. Neste caso considerou-se que o sistema de apoio seria uma caldeira.

## 7.4 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Para efeitos de dimensionamento do sistema fotovoltaico optou-se por um sistema de autoconsumo. Neste sistema o único consumo da rede que haverá será por parte da bomba de calor, caso o fotovoltaico não consiga produzir eletricidade suficiente para alimentá-la.

Foi utilizado o programa denominado “PVsyst” na versão 6.3.9. Primeiramente verificou-se a radiação solar para a cidade de Faro, visto que Olhão não se encontrava na base de dados do programa (figura 7.15).

Figura 7.15 - Introdução de dados no programa PVsyst

Através deste programa foi possível obter os dados da radiação solar diária, que se encontram na figura 7.16, o que permitiu proceder ao cálculo da potência do fotovoltaico.

	Gl. horiz. kWh/m <sup>2</sup> .day	Coll. Plane kWh/m <sup>2</sup> .day
Jan.	2.72	5.09
Feb.	3.76	5.92
Mar.	4.93	6.38
Apr.	6.42	6.71
May	7.34	6.51
June	8.02	6.52
July	8.16	6.80
Aug.	7.23	6.97
Sep.	5.72	6.76
Oct.	4.21	6.13
Nov.	3.02	5.40
Dec.	2.30	4.54
Year	5.33	6.14

Figura 7.16 - Radiações inclinada e horizontal em kWh/m<sup>2</sup>.dia

O cálculo da radiação solar para a estação de aquecimento (Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro) é a média das radiações no plano horizontal:

$$S = \frac{5,09 + 5,92 + 6,38 + 5,4 + 4,54}{5} = 5,5 \text{ [kWh/m}^2 \cdot \text{dia]}$$

Foi realizado um estudo de mercado de bombas de calor e, com base na pesquisa, admitiu-se um COP de 4,4. Assim, e considerando a energia útil de aquecimento calculada anteriormente teremos que a energia diária do sistema fotovoltaico é:

$$E_{pv} = \frac{35,6}{4,4} = 8,1 \text{ [kWh/dia]}$$

A potência do fotovoltaico é por fim calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$E_{pv} = K_{pv} \times \eta_{BOS} \times P_{pv} \times S \quad \text{[kWh]} \quad (41)$$

Onde:

$E_{pv}$  = Energia diária do sistema fotovoltaico, kWh

$K_{pv}$  = Fator de diminuição de potência, aproximadamente 0,9

$\eta_{BOS}$  = Fator de perdas nas cablagens, inversor e regulador de carga (considera-se o valor de 0,75 para sistemas ligados à rede e 0,9 para sistemas não ligados à rede)

$P_{pv}$  = Potência do painel fotovoltaico (kW)

$S$  = Radiação solar média diária (kWh/m<sup>2</sup>)

Utilizando a fórmula (41) teremos:

$$8,1 = 0,9 \times 0,75 \times P_{pv} \times 5,5$$

$$P_{pv} \approx 2,2 \text{ kW}$$

A potência requerida para o painel fotovoltaico foi colocada no espaço “Power” e escolheu-se uma inclinação de painéis com 45° e um azimute de 0° (figura 7.17). Escolheu-se também o tipo, a tecnologia, a disposição da montagem e as propriedades de ventilação do sistema fotovoltaico (figura 7.18).

The screenshot shows a software interface for configuring a photovoltaic system. It is divided into two main panels: 'Array specification' and 'Collector plane orientation'.  
In the 'Array specification' panel, there are three radio buttons: 'Active area [m²]', 'Nominal Power [kWp]' (which is selected), and 'Annual yield [MWh/year]'. Below these, there is a 'Power' input field containing '2.2 kWp' and a 'More details' button with a red 'plus!' icon.  
The 'Collector plane orientation' panel features a diagram of a solar panel tilted at 37 degrees and facing South. The 'Azimuth' is set to 0 degrees. Below the diagram, a 'Yearly Meteo Yield' box displays: 'Transposition Factor FT 1.17', 'Loss by respect to optimum -0.1%', and 'Global on coll. plane 2274 kWh/m²'. A 'Show Optimisation' button and a help icon are also present. At the bottom of this panel, there are two spinners: 'Tilt [°]' set to 37 and 'Azimuth [°]' set to 0.

Figura 7.17 - Especificações do sistema fotovoltaico

The screenshot shows a 'System Specification' dialog box with four main sections:  
1. 'Modul Type': Three options with radio buttons: 'Standard' (selected), 'Translucide Custom', and 'Not yet defined'.  
2. 'Technology': Three options with radio buttons: 'Monocrystalline cells', 'Polycrystalline cells' (selected), and 'Thin film'.  
3. 'Mounting disposition': Three options with radio buttons: 'Flat roof', 'Facade or tilt roof' (selected), and 'Ground based'.  
4. 'Ventilation property': Three options with radio buttons: 'Free standing', 'Ventilated' (selected), and 'No ventilation'.  
At the bottom of the dialog, there are three buttons: 'Back', 'Cancel', and 'OK'.

Figura 7.18 - Escolha do tipo de painéis pretendidos

A simulação obtida através do “PVsyst” foi a seguinte:



Figura 7.19 - Resultado da simulação no programa PVsyst

Observa-se que para uma potência de 2,2 kW e considerando o custo por módulo de 1€/Wp, o investimento total será de 9096€. A área total de painéis é de 15 m<sup>2</sup> e o fornecimento de energia durante a estação de aquecimento (Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro) será de 1417 kWh.

## 7.5 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Com base nos cálculos realizados através do método ASHRAE foi possível verificar as diferentes oscilações de cargas térmicas de aquecimento, assim como de ganhos solares, no edifício considerado neste estudo.

O gráfico (7.1) retrata a oscilação das cargas térmicas em função da hora do dia das diversas envolventes do edifício. O maior pico de energia regista-se entre as 7h e as 8h da manhã.

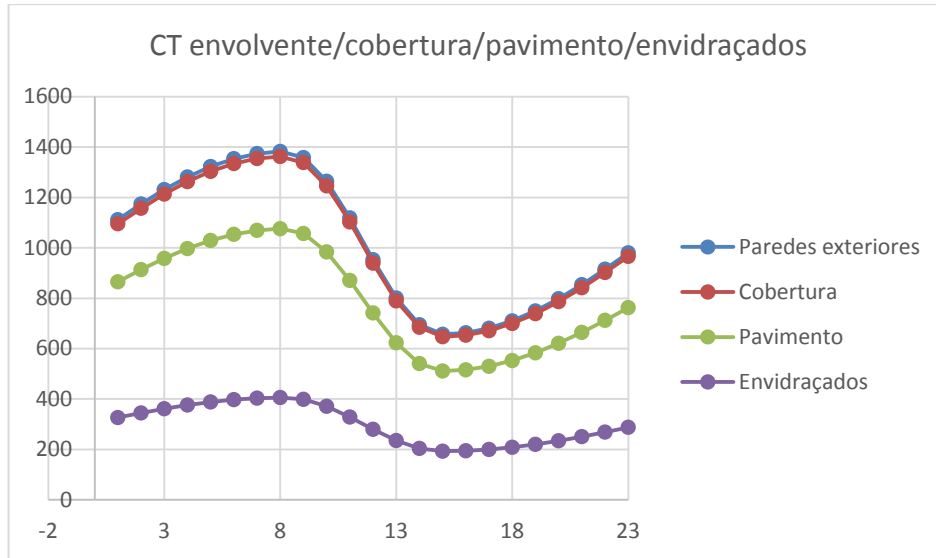


Gráfico 7.1 - Oscilação das cargas térmicas de aquecimento da envolvente

O gráfico (7.2) mostra a oscilação da temperatura exterior na cidade de Olhão, onde a mínima se regista entre as 7h e as 8h da manhã, e a máxima entre as 14h e as 15h.

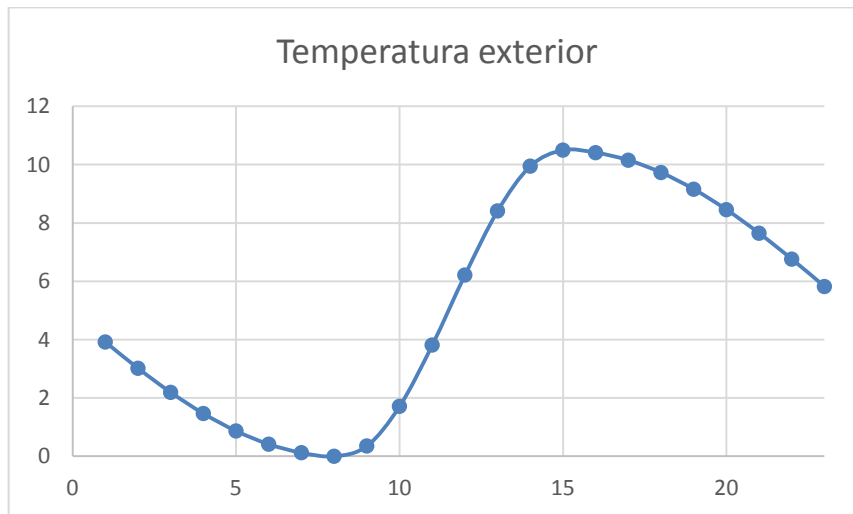
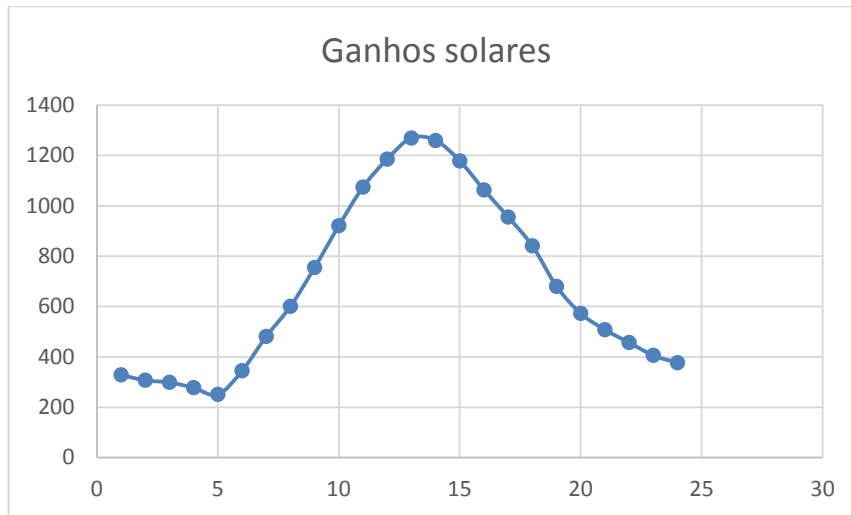


Gráfico 7.2 - Oscilação da temperatura exterior



**Gráfico 7.3 - Ganhos solares nos envidraçados**

No gráfico (7.3) encontram-se os ganhos solares obtidos através dos envidraçados. A máxima de carga térmica observada encontra-se entre as 12h e as 13h, pois nesta altura o sol encontra-se mais alto e incide bastante na parede orientada a sul, que por sua vez é onde se encontra a maioria dos envidraçados desta habitação.

A folha de cálculo do regulamento em vigor possibilitou calcular, de forma mais facilitada, as necessidades de energia útil de aquecimento da habitação, utilizando os coeficientes de transmissão térmica de referência mencionados no regulamento. Através do cálculo dimensionaram-se os dois sistemas solares que conseguissem fornecer 35,4 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) ao sistema de piso radiante.

<b>Necessidades de energia útil de aquecimento para o Inverno</b>		<b>35,4 kWh/(m<sup>2</sup>.ano)</b>	
<b>CT de aquecimento (ASHRAE)</b>		<b>67,64 kWh/dia</b>	
<b>Sistema Solar Térmico</b>		<b>Sistema Fotovoltaico</b>	
6 coletores solares		9 módulos	
Depósito 1000 litros		Inversor e cablagem	
Caldeira		Bomba de calor	
<b>Área</b>	13,56 m <sup>2</sup>	<b>Área</b>	15 m <sup>2</sup>
<b>Fornecido</b>	3928 kWh	<b>Fornecido</b>	1417 kWh
<b>Apoio</b>	1522 kWh	<b>Apoio</b>	-

**Tabela 7.4 - Resumo dos dados obtidos durante o projeto (o autor)**

A tabela 7.4 descreve os resultados obtidos nos cálculos de dimensionamento dos dois sistemas. Ambos possuem sistemas de apoio, de modo a compensar a falta de energia solar que possa ocorrer durante o Inverno. No caso do solar térmico considerou-se uma caldeira e no fotovoltaico uma bomba de calor.

Tanto o solar térmico como o fotovoltaico possuem áreas de coletores muito idênticas, mas diferem na quantidade de energia solar fornecida. No primeiro sistema verifica-se que a energia fornecida ronda os 3928 kWh, sendo que 1522 kWh são fornecidos pelo apoio. No caso do fotovoltaico, o sistema considerado fornece 1417 kWh de energia solar, mas desconhece-se o valor que a bomba de calor iria fornecer ao sistema em dias de maiores necessidades energéticas.

O principal motivo para que o solar térmico consiga fornecer mais energia solar deve-se ao fato que a captação de energia sob a forma de calor através do solar é superior à captação de energia da radiação solar a ser transformada em eletricidade.

Tendo em conta os dados obtidos nos capítulos (7.3) e (7.4), o próximo passo foi a realização da análise económica a cada um dos sistemas solares dimensionados.

Com indicado na tabela 7.4, o sistema solar térmico considerado para estudo é constituído por 6 painéis solares e 1 depósito de 1000 litros, enquanto que o sistema fotovoltaico é constituído por 9 módulos, considerando uma área de 15 m<sup>2</sup>, inversor e cablagem e uma bomba de calor.

<b>ISTEMA SOLAR TÉRMICO</b>		
<b>Equipamento</b>	<b>Qt.</b>	<b>Valor</b>
Painel Sonnenkraft SKR500	6	13 560 €
Depósito Sonnenkraft Comfort E 1000 L	1	
Caldeira	1	1 000 €
<b>TOTAL</b>		<b>14 560 €</b>
<b>SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO</b>		
<b>Equipamento</b>	<b>Qt.</b>	<b>Valor</b>
Módulo Fotovoltaico	9	9096 €
Inversor e Cablagem	1	
Bomba de calor	1	5 000 €
<b>TOTAL</b>		<b>14 096 €</b>

Tabela 7.5 - Investimento dos sistemas solares em estudo (o autor)

Para o sistema solar térmico considerou-se que os coletores solares e o depósito rondam os 1000 €/m<sup>2</sup>, e a caldeira os 1000€. O custo do equipamento fotovoltaico foi baseado nos dados apresentados pelo programa “PVsyst”, para um painel fotovoltaico, inversor e cablagem, selecionado pelo mesmo. O preço da bomba de calor também foi considerado tendo em conta os catálogos pesquisados, que ronda os 5000€. Com base nestes dados chegou-se aos valores apresentados em cima.

Tendo por base os artigos pesquisados consegue-se perceber que o solar fotovoltaico não é um sistema muito utilizado para aquecimento alimentando um piso radiante, o que leva a concluir que este tipo de combinação ainda não está de todo totalmente

explorado, mas por outro lado, o facto da energia eléctrica produzida poder ser utilizada tanto para aquecimento como para arrefecimento faz com que o investimento seja mais diluído considerando a poupança num sistema à parte de arrefecimento que teria que ser utilizado no caso de se optar por um sistema de energia solar térmica. Neste projeto apenas se considerou que existia ligação entre os módulos fotovoltaicos, bomba de calor e piso radiante, sendo que em qualquer outra situação a energia fornecida pelos módulos poderia ser direccionada para qualquer outro tipo de ligação na habitação.

Face a esta comparação a opção do sistema fotovoltaico é claramente a mais viável do ponto de vista económico, apesar do sistema solar fornecer muito mais energia útil que o fotovoltaico, sendo que deste ponto de vista a versatilidade do fotovoltaico também se irá sobrepor na escolha final.



## 8 CONCLUSÃO

---

Com o estudo realizado para esta dissertação foi possível analisar dois sistemas solares, caracterizando as necessidades energéticas de uma habitação onde a climatização é realizada através de piso radiante, sendo este alimentado por um sistema de energia solar.

A habitação unifamiliar com tipologia T3, foi desenhada apenas para este projeto e, como tal, não se encontra edificada. Os coeficientes de transmissão térmica da envolvente são os coeficientes de transmissão térmica referenciados pelo regulamento REH.

Com a caracterização energética realizada a partir do método ASHRAE foi possível estimar a quantidade de energia que o edifício iria necessitar durante a estação de aquecimento. Posteriormente e utilizando a folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, pode-se obter o valor da necessidade nominal de energia útil para aquecimento para o Inverno, que segundo a folha de cálculo tem uma duração de 4,8 meses (considerou-se os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro). O valor obtido,  $35,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ dia})$  serviu para dimensionar os sistemas solares.

O sistema solar térmico foi dimensionado através do programa SolTerm, e apenas se considerou a existência de consumo de água quente nos meses de Inverno, pois apenas irá servir para aquecimento do ambiente interior. Como tal, é normal que o rendimento do sistema tenha sido baixo, assim como a produtividade. Este sistema de aquecimento seria constituído por 6 coletores solares, com uma área de  $13,6 \text{ m}^2$  e um depósito de 1000 litros.

Para dimensionamento do fotovoltaico recorreu-se ao programa “PVsyst”, um programa de fácil utilização. Através da radiação solar incidente no coletor, obtida através deste programa, da energia útil de aquecimento calculada anteriormente e do COP da bomba de calor, foi possível realizar os cálculos necessários para estimar a potência do fotovoltaico. Os dados obtidos foram que para a potência fotovoltaica de 2,2 kW, a área dos módulos seria de  $15 \text{ m}^2$  e o rendimento para a estação de aquecimento seria de 1417 kWh.

Pode-se concluir que em termos de energia fornecida o solar térmico conseguiria fornecer uma maior quantidade de energia solar ao sistema de piso radiante. Por outro lado, durante a estação de arrefecimento iríamos obter um excesso de energia por parte deste sistema.

Relativamente à análise económica observou-se que o sistema fotovoltaico é o sistema economicamente mais viável, com um custo total de 14.096€. O custo do sistema solar térmico é de 14.560€. Todos os valores apresentados tem em conta o estudo de mercado realizado.

O sistema de piso radiante é um sistema que proporciona elevados níveis de conforto e aliado a um sistema de energia solar consegue obter uma maior poupança energética.

Neste projeto, em que o estudo é focado no aquecimento do edifício, ambos os sistemas de energia solar são bons apoios do piso radiante, apesar do solar térmico ser ligeiramente mais caro que o fotovoltaico. Por outro lado, se pretendermos utilizar o piso radiante para arrefecimento então o sistema fotovoltaico será a melhor opção porque ao produzir energia elétrica, esta pode ser usada tanto para arrefecimento como para aquecimento utilizando uma bomba de calor inverter, ao contrário do sistema solar térmico que apenas capta energia sob a forma de calor produzindo apenas água quente. Como referiu [25], durante a estação de arrefecimento existirá sempre a necessidade de um sistema de refrigeração e ar-condicionado, para o sistema solar térmico.

Além disso, o sistema solar térmico apenas garante o fornecimento de água quente a 100% nos meses de Verão, havendo sobreaquecimento e desperdício de energia, sendo que nos meses de Inverno o fornecimento de energia situa-se entre os 50% a 75%. Neste caso, o excesso de energia poderia ser aproveitada para águas para consumo ou para aquecimento de uma piscina.

## 9 BIBLIOGRAFIA

---

- [1] Desconhecido, Direção Geral de Energia e Geologia. [Online] Available: <http://www.dgeg.pt/>.
- [2] Morais, J. (2009), “Sistemas Fotovoltaicos – da teoria à prática”. PUBLINDUSTRIA.
- [3] C. Jorge e L. Eduardo (2007), “Instalações Solares Térmicas”. [Online] Available: <http://www.marioloureiro.net/tecnica/energSolar/SolarTermico2007INETI.pdf>.
- [4] N. Maria, Relatório final de estágio. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2014.
- [5] G. Pedro, Tese de Mestrado “Caracterização dos impactes da envolvente no desempenho térmico dos edifícios”, Lisboa: Instituto Superior Técnico, Janeiro de 2008.
- [6] Ruivo, C., Apontamentos da disciplina “Térmica de Edifícios”, Faro: UAlg – ISE.
- [7] Sattari S. e Farhanieh B., "A parametric study on radiant floor heating system performance", acedido a 12 de Janeiro de 2015, em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148105002624>.
- [8] M. Chuck, Solar Pro Magazine, acedido em 11 de Fevereiro, em: [www.solarprofessional.com](http://www.solarprofessional.com).
- [9] H. Kamel, "Solar energy utilization of a residential radiant floor heating system", acedido a 16 de Janeiro de 2015, em: <http://www.b-on.pt>.
- [10] Izquierdo M., et. Al, "A micro photovoltaic-heat pump system for house heating by radiant floor: some experimental results", acedido a 3 de Fevereiro de 2015, em: <http://www.b-on.pt>.
- [11] J. Xing, et. Al, "A calculation method for the floor surface temperature in radiant floor system", acedido a 20 de Janeiro de 2015, em: <http://www.b-on.pt>.
- [12] UPONOR, “Manual Técnico de aplicações de aquecimento radiante e climatização”, acedido a 23 de Junho de 2014, em: <http://www.padinho.pt/catalogos/uponor.pdf>.
- [13] Peixoto, G., Tese de Mestrado “Sistema integrado de energias renováveis numa moradia unifamiliar”, Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, 2010.
- [14] Sanitop, “Insuatherm”
- [15] Ramos, H., “Balanço energético em edifícios – Para uma política de energia em Portugal”, Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- [16] Gonçalves, H., Graça, J., “Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal”, INETI.

- [17] Rocha, T., Tese de Mestrado “Conforto Térmico no Parque Habitacional Construído – Efeito da Envolvente Construtiva”, Universidade do Minho, 2013.
- [18] Decreto-Lei nº 118/2013, D.R. I Série. 159 (20-08-13).
- [19] Portaria 349-B/2013, D.R. I Série. 232 (29-11-13).
- [20] Corvacho, H., “Nova regulamentação no domínio da Térmica dos Edifícios”, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil. Seminário – “Eficiência Energética, que futuro?”, 2014.
- [21] Sweet, J., “Solar-Powered radiant hydronic heating systems are coming into their own”, Agosto 2004.
- [22] Olsen, B. “Radiant floor heating in theory and practice”, 2002.
- [23] Batista, G., Tese de Mestrado “Sistema de controlo, regulação e comando de pisos radiantes hidráulicos”, Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2012.
- [24] Liu, L., et. Al, “Analysis of the performance of a solar floor heating system with an underground seasonal storage”, acessido a: 5 de Agosto de 2015, em: <http://www.b-on.pt>.
- [25] Kurtay C., et. Al, “Performance of solar energy driven floor heating system”, acessido a: 5 de Agosto de 2015, em: <http://www.b-on.pt>.
- [26] Ren, L. Z., et. al, “Very low temperature radiant heating/cooling indoor end system for efficient use of renewable energies”, acessido a: 12 de Agosto de 2015, em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X10001192>.
- [27] “Energia Solar”. Acessido a: 16 de Junho de 2015, em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf).
- [28] Cabral, C. (2001), “Energia Fotovoltaica”, Universidade Federal de Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola.
- [29] Desconhecido, “Visible Light Spectrum”, acessido a: 16 de Junho de 2015, em: <http://physics.tutorvista.com/light/visible-light-spectrum.html>.
- [30] Desconhecido, “Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação”, acessido a: 27 de Agosto de 2015, em: <http://www.portal-energia.com>.
- [31] Teixeira, S., “Energia solar – Conversão térmica”, acessido a: 23 de Agosto de 2015, em: [http://www.cenfim.pt/artigos/2009/energia\\_solar.pdf](http://www.cenfim.pt/artigos/2009/energia_solar.pdf).
- [32] Cerveira, M., Tese de Mestrado “Sistemas térmicos de energia solar”, Coimbra: Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Dezembro de 2012.
- [33] Castiajo, S., Tese de Mestrado “Metodologia de Manutenção de Edifícios: Sistemas Solares Térmicos”, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- [34] <http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/guia6.pdf>. Acessido a: 27 de Agosto de 2015.

- [35] <http://casa-e-energia.blogspot.pt/2008/07/sistemas-solares-termodinamicos-vs.html>.  
Acedido a 28 de Agosto de 2015.
- [36] <http://aguiarclima.com/index.php?pid=400&pdid=9>. Acedido a: 28 de Agosto de 2015.
- [37] <http://jfaquecedores.com.br/produto/Coletor-Solar-a-V%E1cuo--AP-20.html>.  
Acedido a: 28 de Agosto de 2015.
- [38] <http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/8/piscinas.pdf>. Acedido a: 28 de Agosto de 2015.
- [39] <http://www.optek.com/>. Acedido a: 28 de Agosto de 2015.
- [40] <http://dicasesquemmas.blogspot.pt/2012/05/depositos-de-acumulacao-de-energia.html>]. Acedido a: 29 de Agosto de 2015.
- [41] <http://trilhosenergeticos.pt/>. Acedido a: 30 de Agosto de 2015.
- [42] Roriz, L., [http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Solar\\_Term.pdf](http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Solar_Term.pdf). Acedido a: 30 de Agosto de 2015.
- [43] Marques, J., Tese de Mestrado “Modelação e Controlo de Conversor DC/AC para interligação de painéis fotovoltaicos à rede”, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [44] <http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>.  
Acedido a: 30 de Agosto de 2015.
- [45] <http://www.energieolica.gub.uy/index.php?page=generalidades>. Acedido a: 30 de Agosto de 2015.
- [46] <http://focusolar.com.br/solar-conversao-fotovoltaica/>. Acedido a: 30 de Agosto de 2015.
- [47] <http://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-serie.html>. Acedido a: 30 de Agosto de 2015
- [48] [http://www.luxmagna.pt/pdfs/LM\\_pisoradiante.pdf](http://www.luxmagna.pt/pdfs/LM_pisoradiante.pdf). Acedido a: 20 de Junho de 2015.
- [49] Cintra, P., Tese de Mestrado “Soluções técnicas e eficiência energética em Bungalows, incorporando microprodução”, Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.
- [50] Roriz, L., “Climatização: Concepção, Instalação e Condução de Sistemas”, 2º Edição, Edições Orion, Lisboa.
- [51] Lopes, L., Tese de Mestrado “Cálculo de Cargas Térmicas de Paredes Exteriores com Sombreamento Parcial”, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1988.
- [52] Freitas, S., Tese de Mestrado "Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos", Bragança: Instituto Politecnico de Bragança, 2008



# Anexos

## Anexo 1 – Cálculo das cargas térmicas (método ASHRAE)

Local	Olhão	
Altitude	20	m
Latitude	37	º
Patm	101325	Pa
Calor esp	1005	J/(kgºC)
Massa esp	1,2	kg/m <sup>3</sup>

Condições exteriores de projeto - Inverno		
Tmin	0	ºC
Tmax	10,5	ºC
Amp. Térmica	10,5	ºC
Wint	7,3	g/Kg

Envolvente exterior							
	U	Fator Solar	Area transf (m <sup>2</sup> )	Area N	Area S	Area E	Area O
Janelas	2,9	0,5	7	0	4	2	1
Paredes exteriores	0,5		138,26	45,09	41,09	25,54	26,54
Cobertura	0,4		170,34				
Pavimento	0,44		170,34				

Hora inicial	Hora final	Alfa	Text	Wext
0	1	0,63	3,920793	6,4
1	2	0,71	3,020257	6,4
2	3	0,79	2,193922	6,4
3	4	0,86	1,469288	6,4
4	5	0,92	0,870468	6,4
5	6	0,96	0,41739	6,4
6	7	0,99	0,125132	6,4
7	8	1,00	0,003419	6,4
8	9	0,97	0,356396	6,4
9	10	0,84	1,716291	6,4
10	11	0,64	3,816593	6,4
11	12	0,41	6,217232	6,4
12	13	0,20	8,41521	6,4
13	14	0,05	9,949992	6,4
14	15	0,00	10,5	6,4
15	16	0,01	10,41265	6,4
16	17	0,03	10,15349	6,4
17	18	0,07	9,731153	6,4
18	19	0,13	9,159693	6,4
19	20	0,19	8,458127	6,4
20	21	0,27	7,649801	6,4
21	22	0,36	6,761615	6,4
22	23	0,45	5,823125	6,4
23	24	0,54	4,865562	6,4

Pared exterior	
A (m2)	138,26
U(W/m2°C)	0,5
Tint (°C)	20
DT (°C)	Q
16,0792072	1111,55559
16,979743	1173,80964
17,8060775	1230,93414
18,5307119	1281,02811
19,1295318	1322,42453
19,5826096	1353,7458
19,8748679	1373,94962
19,9965808	1382,36363
19,6436045	1357,96238
18,283709	1263,9528
16,1834069	1118,75892
13,7827677	952,802733
11,5847896	800,856505
10,0500077	694,757035
9,5	656,735
9,58735474	662,773833
9,84651195	680,689371
10,2688474	709,885422
10,8403066	749,390398
11,5418726	797,889655
12,3501987	853,769234
13,2383853	915,169574
14,1768754	980,047395
15,1344379	1046,24369
	24471,495

Cobertura	
A (m2)	170,34
U(W/m2°C)	0,4
Tint (°C)	20
DT (°C)	Q
16,0792072	1095,57286
16,979743	1156,93177
17,8060775	1213,2349
18,5307119	1262,60859
19,1295318	1303,40978
19,5826096	1334,28069
19,8748679	1354,194
19,9965808	1362,48703
19,6436045	1338,43663
18,283709	1245,77879
16,1834069	1102,67261
13,7827677	939,102662
11,5847896	789,341224
10,0500077	684,767327
9,5	647,292
9,58735474	653,244002
9,84651195	670,901938
10,2688474	699,678187
10,8403066	738,615134
11,5418726	786,417034
12,3501987	841,493136
13,2383853	902,010619
14,1768754	965,955581
15,1344379	1031,20006
	24119,6266

Pavimento	
P(m)	53,8
F (W/m°C)	1
Tint (°C)	20
DT (°C)	Q
16,0792072	865,061345
16,979743	913,510176
17,8060775	957,966972
18,5307119	996,952301
19,1295318	1029,16881
19,5826096	1053,5444
19,8748679	1069,26789
19,9965808	1075,81605
19,6436045	1056,82592
18,283709	983,663543
16,1834069	870,667291
13,7827677	741,512904
11,5847896	623,26168
10,0500077	540,690416
9,5	511,1
9,58735474	515,799685
9,84651195	529,742343
10,2688474	552,463991
10,8403066	583,208498
11,5418726	620,952748
12,3501987	664,440688
13,2383853	712,225128
14,1768754	762,715896
15,1344379	814,232761
	19044,7914

Envidraçados ext	
A (m2)	7
U(W/m2°C)	2,9
Tint (°C)	20
DT (°C)	Q
16,0792072	326,407905
16,979743	344,688784
17,8060775	361,463374
18,5307119	376,173452
19,1295318	388,329495
19,5826096	397,526975
19,8748679	403,459818
19,9965808	405,930591
19,6436045	398,765171
18,283709	371,159292
16,1834069	328,52316
13,7827677	279,790185
11,5847896	235,171229
10,0500077	204,015157
9,5	192,85
9,58735474	194,623301
9,84651195	199,884193
10,2688474	208,457602
10,8403066	220,058225
11,5418726	234,300014
12,3501987	250,709033
13,2383853	268,739221
14,1768754	287,79057
15,1344379	307,22909
	7186,04584

Ganhos solares											
Norte			Sul			Este			Oeste		
SC		0,575	SC		0,575	SC		0,575	SC		0,575
SHGF max		63	SHGF max		801	SHGF max		486	SHGF max		486
A ilum	CLF ilum	Qilum	A ilum	CLF ilum	Qilum	A ilum	CLF ilum	Qilum	A ilum	CLF ilum	Qilum
0	0,25	0	4	0,13	239,499	2	0,09	50,301	1	0,14	39,123
0	0,23	0	4	0,12	221,076	2	0,09	50,301	1	0,13	36,3285
0	0,21	0	4	0,12	221,076	2	0,08	44,712	1	0,12	33,534
0	0,2	0	4	0,11	202,653	2	0,08	44,712	1	0,11	30,7395
0	0,19	0	4	0,1	184,23	2	0,07	39,123	1	0,1	27,945
0	0,38	0	4	0,11	202,653	2	0,2	111,78	1	0,11	30,7395
0	0,45	0	4	0,14	257,922	2	0,34	190,026	1	0,12	33,534
0	0,49	0	4	0,17	313,191	2	0,45	251,505	1	0,13	36,3285
0	0,55	0	4	0,24	442,152	2	0,49	273,861	1	0,14	39,123
0	0,6	0	4	0,33	607,959	2	0,49	273,861	1	0,14	39,123
0	0,65	0	4	0,43	792,189	2	0,43	240,327	1	0,15	41,9175
0	0,69	0	4	0,51	939,573	2	0,36	201,204	1	0,16	44,712
0	0,72	0	4	0,56	1031,688	2	0,32	178,848	1	0,21	58,6845
0	0,72	0	4	0,55	1013,265	2	0,29	162,081	1	0,3	83,835
0	0,72	0	4	0,5	921,15	2	0,26	145,314	1	0,4	111,78
0	0,7	0	4	0,43	792,189	2	0,24	134,136	1	0,49	136,9305
0	0,7	0	4	0,37	681,651	2	0,22	122,958	1	0,54	150,903
0	0,75	0	4	0,32	589,536	2	0,19	106,191	1	0,52	145,314
0	0,57	0	4	0,26	478,998	2	0,17	95,013	1	0,38	106,191
0	0,46	0	4	0,22	405,306	2	0,15	83,835	1	0,3	83,835
0	0,39	0	4	0,2	368,46	2	0,13	72,657	1	0,24	67,068
0	0,34	0	4	0,18	331,614	2	0,12	67,068	1	0,21	58,6845
0	0,31	0	4	0,16	294,768	2	0,11	61,479	1	0,18	50,301
0	0,28	0	4	0,15	276,345	2	0,1	55,89	1	0,16	44,712
		0			11809,14			3057,183			1531,386

Ventilação			
DT (°C)	DW (g/Kg)	Caudal	Qs
8,039604	0,9	0,051551	418,5949
8,489872	0,9	0,051551	442,0388
8,903039	0,9	0,051551	463,5511
9,265356	0,9	0,051551	482,4157
9,564766	0,9	0,051551	498,0049
9,791305	0,9	0,051551	509,8001
9,937434	0,9	0,051551	517,4085
9,99829	0,9	0,051551	520,5771
9,821802	0,9	0,051551	511,388
9,141854	0,9	0,051551	475,9854
8,091703	0,9	0,051551	421,3076
6,891384	0,9	0,051551	358,811
5,792395	0,9	0,051551	301,5904
5,025004	0,9	0,051551	261,6349
4,75	0,9	0,051551	247,3164
4,793677	0,9	0,051551	249,5905
4,923256	0,9	0,051551	256,3373
5,134424	0,9	0,051551	267,332
5,420153	0,9	0,051551	282,209
5,770936	0,9	0,051551	300,4731
6,175099	0,9	0,051551	321,5165
6,619193	0,9	0,051551	344,6389
7,088438	0,9	0,051551	369,0709
7,567219	0,9	0,051551	393,9994

Hora inicial	Hora final	Q FINAL
0	1	3488,27
1	2	3723,274
2	3	3927,828
3	4	4121,074
4	5	4290,04
5	6	4303,725
6	7	4236,798
7	8	4146,15
8	9	3908,242
9	10	3419,597
10	11	2767,496
11	12	2086,53
12	13	1481,001
13	14	1126,684
14	15	1077,049
15	16	1212,776
16	17	1382,043
17	18	1596,776
18	19	1893,279
19	20	2167,057
20	21	2423,744
21	22	2685,417
22	23	2959,032
23	24	3215,958
	Q	67639,84

## Anexo 2 – Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios, de acordo com o REH

<i>Indicadores Energéticos</i>		valor de cálculo	valor de referência
<b>Nic</b>	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	35,4	31,4
<b>Nvc</b>	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	7,1	19,0
<b>Qa</b>	Energia Útil necessária para preparação de AQS (kWh/ano)	2 377	2 377
<b>Wvm</b>	Energia elétrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica (kWh/ano)	0	
<b>Eren</b>	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0	
<b>Eren, ext</b>	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)		
<b>Ntc</b>	Necessidades nominais anuais globais de energia primária Ntc (kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	131,75	138,68

### *Indicadores de Desempenho*

	Valor de referência (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Valor de cálculo (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Renovável (%)
<b>Aquecimento</b>	31,4	35,4	0%
<b>Arrefecimento</b>	6,8	0,0	0%

AQS

17,3

17,3

0%

Energia Renovável (%)

0%

Emissões de CO2 (t/ano)

2,7

**Dados Climáticos**

Graus-dias

762

Zona Climática de Inverno

I1

Zona Climática de Verão

V3

Temperatura Média Exterior Inverno (°C)

12

Temperatura Média Exterior Verão (°C)

23,1

Duração da estação de aquecimento (meses)

4,8

Duração da estação de arrefecimento (meses)

4

**Indicadores de Aquecimento**

(ver separador "A-  
Transmissão")

**Indicadores de Arrefecimento**

(ver separador "D-Ganhos Verão")

**Síntese**

Ap (m<sup>2</sup>) 144,82

Pd (m) 2,70

Aenv (m<sup>2</sup>) 7,00

Classe de Inércia Térmica do Edifício Forte

**Cálculo Referência**

Aenv/Ap 5% 5%

Hext (W/°C) 259,8 215,7

Hint (W/°C) 0,0 0,0

Hecs (W/°C) 79 72

A - Transmissão

perdas de calor através da envolvente interior

perdas de calor através de elementos em contacto com o solo

	Htr (W/°C)	339,2	288,1	
B - Ventilação	Rph,i (h-1)	0,40	0,40	Perdas associadas à renovação de ar
	Hve,i (W/°C)	53,2	53,2	
	Rph,v (h-1)	0,60	-	
	Hve,v (W/°C)	79,8	-	
C - Ganhos Aquecimento	Qint,i (kWh/ano)	2002	2002	Ganhos Internos no inverno
	Qsol,i (kWh/ano)	52	817	
	Qg,i (kWh/ano)	2054	2819	
D - Ganhos Arrefecimento	Qint,v (kWh/ano)	1696	-	
	Qsol,v (kWh/ano)	1452	-	
	Qg,v (kWh/ano)	3148	8110	
E - Energia nominal para Aquecimento	Qtr,i (kWh/ano)	6203	5269	Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Qtr,i
	Qve,i (kWh/ano)	973	973	Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Qve,i
	$\eta_i$	1,00	0,60	
	Qgu,i (kWh/ano)	2046	1691	Ganhos totais úteis na estação de aquecimento Qgu,i
	Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	35,42	31	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento Nic
F - Energia para Arrefecimento	Qtr,v (kWh/ano)	1887	-	Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento Qtr,v
	Qve,v (kWh/ano)	444	-	Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento Qve,v
	$\eta_v$	0,67	0,66	
	Qg,v (kWh/ano)	3148	8110	
	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	7,14	19	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento Nvc
G - Energia Global	Aquecimento (kWhEP/m <sup>2</sup> .ano)	88,55	78,54	Energia primária para aquecimento
	Arrefecimento (kWhEP/m <sup>2</sup> .ano)	0,00	16,94	Energia primária para arrefecimento
	feh	1,00	1,00	
	Qa/Ap (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	16,42	16,42	
	AQS (kWhEP/m <sup>2</sup> .ano)	43,20	43,20	Energia primária para a preparação de AQS

Vent. Mecânica (kWhEP/m².ano)	0,00	0	Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica
Eren (kWh/ano)	0	0	
Renovável (kWhEP/m².ano)	0,00	0	Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável
Global (kWhEP/m².ano)	<b>131,75</b>	<b>138,68</b>	Necessidades nominais anuais globais de energia primária Ntc

**CLASSE  
ENERGÉTICA**

**Ntc/Nt**

**0,95**

**B-**

### Anexo 3 – Análise Energética ao sistema solar térmico (SolTerm)

-----  
SolTerm 5.1

Licenciado a UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
(Instituto Superior de Engenharia)

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico  
-----

Campo de colectores  
-----

Modelo de colector: Sonnenkraft SKR 500

6 módulos (13,6 m<sup>2</sup>)

Inclinação 45° - Azimute Sul

Coefficientes de perdas térmicas: a1= 3,514 W/m<sup>2</sup>/K a2= 0,015 W/m<sup>2</sup>/K<sup>2</sup>

Rendimento óptico: 79,4%

Modificador de ângulo transversal: a 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° 45° 50°  
55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° 90°

1,00 1,00 1,00 1,00 0,99 0,99 0,99 0,98 0,97 0,96 0,95 0,93  
0,91 0,88 0,83 0,74 0,57 0,05 0,00

Modificador de ângulo longitudinal: a 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° 45°  
50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° 90°

1,00 1,00 1,00 1,00 0,99 0,99 0,99 0,98 0,97 0,96 0,95 0,93  
0,91 0,88 0,83 0,74 0,57 0,05 0,00;

-----

## Permutador

---

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 79,4 l/m<sup>2</sup> por hora (=0,30 l/s)

---

## Depósito

---

Modelo: novo

Volume: 1000 l

Área externa: 8,61 m<sup>2</sup>

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,32 W/K

Um conjunto depósito/permutador

---

## Tubagens

---

Comprimento total: 30,0 m

Percurso no exterior: 7,0 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 25,0 mm

Espessura do tubo metálico: 1,5 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 W/m/K

-----  
Carga térmica: segunda a sexta  
-----

887

Temperatura nominal de consumo: 50°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	36	36	36					36	36			
02	37	37	37					37	37			
03	37	37	37					37	37			
04	37	37	37					37	37			
05	37	37	37					37	37			
06	37	37	37					37	37			
07	37	37	37					37	37			
08	37	37	37					37	37			
09	37	37	37					37	37			
10	37	37	37					37	37			
11	37	37	37					37	37			
12	37	37	37					37	37			
13	37	37	37					37	37			

14	37	37	37						37	37
15	37	37	37						37	37
16	37	37	37						37	37
17	37	37	37						37	37
18	37	37	37						37	37
19	37	37	37						37	37
20	37	37	37						37	37
21	37	37	37						37	37
22	37	37	37						37	37
23	37	37	37						37	37
24	37	37	37						37	37
diário	887	887	887						887	887

-----  
Carga térmica: fim-de-semana  
-----

887

Temperatura nominal de consumo: 50°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	36	36	36					36	36			
02	37	37	37					37	37			
03	37	37	37					37	37			

04	37	37	37	37	37
05	37	37	37	37	37
06	37	37	37	37	37
07	37	37	37	37	37
08	37	37	37	37	37
09	37	37	37	37	37
10	37	37	37	37	37
11	37	37	37	37	37
12	37	37	37	37	37
13	37	37	37	37	37
14	37	37	37	37	37
15	37	37	37	37	37
16	37	37	37	37	37
17	37	37	37	37	37
18	37	37	37	37	37
19	37	37	37	37	37
20	37	37	37	37	37
21	37	37	37	37	37
22	37	37	37	37	37
23	37	37	37	37	37
24	37	37	37	37	37
diário	887	887	887	887	887

-----  
Localização, posição e envolvente do sistema  
-----

Concelho de Olhão

Coordenadas nominais: 37,1°N, 7,8°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM ( LNEG(2009) [www.lneg.pt](http://www.lneg.pt)  
solterm.suporte@lneg.pt)

Obstruções do horizonte: tese\_edificio\_olhao

Orientação do painel: inclinação 45° - azimute 0°

---

Balanco energético mensal e anual

---

	Rad.Horiz.	Rad.Inclin.	Desperdiçado	Fornecido	Carga	Apoio
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh
Janeiro	69	116	,	732	1119	387
Fevereiro	84	120	,	729	1011	282
Março	122	145	,	856	1119	263
Abril	165	169	,	0	0	0
Maio	206	186	,	0	0	0
Junho	222	186	,	0	0	0
Julho	237	205	,	0	0	0
Agosto	219	213	,	0	0	0
Setembro	154	177	,	0	0	0
Outubro	114	156	,	0	0	0
Novembro	79	129	,	844	1083	239
Dezembro	66	117	,	767	1119	352
Anual	1738	1920	,	3928	5451	1522

Fracção solar: 72,1%

Rendimento global anual do sistema: 15%      Produtividade: 290 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

UNIVERSIDADE DO ALGARVE(Instituto Superior de Engenharia) | 29-09-2015  
00:19:58 |

## Anexo 4 – Desenho da habitação em estudo

