

2013

Instituto Politécnico de Coimbra

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA

# **Reabilitação Energética de Edifícios Sistemas Solares Térmicos**

**MESTRADO EM EQUIPAMENTOS E SISTEMAS MECÂNICOS**

AUTORA | Luciana Isabel de Matos Nogueira Dias

ORIENTADORES | Avelino Virgílio Fernandes M. de Oliveira

| António Manuel de Morais Grade

Coimbra, dezembro, 2013

# **Reabilitação Energética de Edifícios**

## **Sistemas Solares Térmicos**

Relatório de Estágio apresentado para obtenção do grau de Mestre em  
Equipamentos e Sistemas Mecânicos

**Autor**

**Luciana Isabel de Matos Nogueira Dias**

**Orientadores**

**Avelino Virgílio Fernandes Monteiro de Oliveira**

ISEC

**António Manuel de Morais Grade**

ISEC

**Supervisor de Estágio**

**Ricardo José Duarte Rodrigues**

SOLARGUS



## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores Avelino Virgílio de Oliveira e António Manuel Grade por terem aceitado serem meus orientadores de estágio.

Ao Engenheiro Ricardo Rodrigues pela orientação e apoio prestado durante todo o meu estágio.

Dirijo também o meu sincero reconhecimento à Solargus, funcionários e direcção, que me integraram e sempre esclareceram as minhas dúvidas.

Aos meus pais e a toda a família por todo o apoio e incentivo dado ao longo de todo o meu percurso académico.



## RESUMO

Os valores de dependência energética, quer do nosso país, quer da União Europeia, em relação a países terceiros, o crescimento do consumo mundial de energia primária registado nos últimos anos e a grandeza da fatia relativa aos edifícios na procura final de energia exigem a adopção de medidas que estimulem uma redução geral de consumos energéticos. Surge então a reabilitação energética como uma solução imperiosa para a resolução deste problema global. O presente trabalho insere-se no âmbito destas preocupações dando especial destaque aos sistemas solares térmicos, uma vez que foi sobre este tema que incidiu o estágio realizado no grupo Solargus – Via Solar. Esta empresa dedica-se ao fabrico e instalação de sistemas solares térmicos e aquecimentos. O estágio foi realizado no âmbito do Mestrado em Equipamentos e Sistemas Mecânicos, Área de especialização em Projecto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Com a realização deste estágio pretende-se adquirir experiência profissional na área da energia solar térmica, e consolidar aspectos leccionados ao longo do percurso académico.

**Palavras-chave:** Dependência energética, Reabilitação energética, Energia Solar Térmica, Sistemas solares térmicos.



**ABSTRACT**

The values of energy dependency, whether in our country or the European Union in relation to third countries, the growth of world consumption of primary energy registered in the last years and the greatness of the slice on the final energy demand in buildings require the adoption of measures to stimulate a general reduction of energy consumption. There is then the energy rehabilitation as a compelling solution to solving this global problem. This work falls within the framework of these concerns with particular emphasis on solar thermal systems, once it was on this topic that focused the internship at Solargus – Via Solar group. This company is dedicated to the manufacture and installation of solar thermal systems and heating. The internship was held within the master in Mechanical Equipment and Systems, specialization in Design, Installation and Maintenance of Thermal Systems, of the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

With the completion of this internship is to acquire professional experience in the field of solar thermal energy, and consolidate aspects conducted over the previous years.

**Keywords:** Energy dependency, Energy rehabilitation, Solar thermal energy, Solar thermal systems.



# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
SIMBOLOGIA.....	xiii
ABREVIATURAS .....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Âmbito e objectivos do estágio.....	1
1.2. Plano de trabalhos.....	2
1.3. Estrutura do relatório .....	3
2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ORGANIZAÇÃO.....	5
3. A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA.....	7
3.1. Reabilitação energética em Portugal.....	8
3.2. Técnicas de reabilitação energética .....	12
3.2.1. Soluções passivas de reabilitação energética .....	12
3.2.1.1. Estratégias de climatização .....	12
3.2.1.2. Isolamento térmico.....	13
3.2.1.3. Coberturas verdes.....	15
3.2.1.4. Caixilharias e vãos envidraçados .....	16
3.2.1.5. Sombreamento pelo exterior .....	18
3.2.1.6. Paredes de Trombe .....	20
3.2.1.7. Ventilação natural e arrefecimento passivo.....	22
3.2.2. Soluções activas de reabilitação energética .....	23
3.2.2.1. Sistemas solares térmicos.....	23
3.2.2.2. Sistemas de microprodução.....	24
4. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS .....	27
4.1. Colectores solares .....	29
4.1.1. Tipos mais utilizados .....	29
4.1.2. Local e modo de instalação .....	34
4.2. Depósitos de acumulação de energia solar .....	37
4.3. Tipos de circulação .....	42
4.3.1. Circulação natural .....	43
4.3.2. Circulação forçada .....	44
5. PROJECTO DE EXECUÇÃO .....	45

5.1. Introdução .....	45
5.2. Dimensionamento .....	45
5.2.1. Dados de cálculo .....	45
5.2.2. Aquecimento de águas .....	47
5.2.3. Dimensionamento da instalação solar .....	47
5.2.3.1. Determinação da tubagem no circuito primário .....	50
5.2.3.2. Determinação da bomba circuladora .....	55
5.2.3.3. Determinação do vaso de expansão .....	57
5.3. Descrição geral da instalação .....	59
5.4. Princípio de funcionamento .....	59
5.6. Instalação eléctrica.....	60
5.7. Especificações técnicas .....	61
5.7.1. Colectores solares.....	61
5.7.2. Grupo hidráulico .....	62
5.7.3. Vaso de expansão solar .....	63
5.7.4. Tubagens .....	63
5.7.5. Acessórios de tubagem .....	64
5.7.5.1. Válvulas de seccionamento .....	64
5.7.5.2. Válvulas de retenção.....	65
5.7.5.3. Válvulas de regulação (caudalímetro) .....	66
5.7.5.4. Válvulas de segurança .....	66
5.7.5.5. Válvulas misturadoras termostáticas .....	68
5.7.5.6. Purgadores de ar .....	68
5.7.5.7. Separador de ar e sujidade .....	69
5.7.6. Regulador diferencial .....	70
5.7.7. Fluido térmico .....	70
5.7.8. Depósito de acumulação.....	71
5.7.9. Estrutura metálica.....	72
5.8. Orçamento.....	73
5.10. Visita ao local .....	73
6. CONCLUSÃO.....	75
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Panoramas exterior e interior da fábrica (adaptado de <a href="http://www.solargus.pt">www.solargus.pt</a> )	5
Figura 2.2. Obras realizadas pela empresa Solargus (adaptado de <a href="http://www.solargus.pt">www.solargus.pt</a> )	5
Figura 3.1. Fontes renováveis de energia (adaptado de <a href="http://aterradofuturo.wordpress.com">aterradofuturo.wordpress.com</a> )	9
Figura 3.2. Fontes não renováveis ou fósseis (adaptado de <a href="http://aterradofuturo.wordpress.com">aterradofuturo.wordpress.com</a> )	9
Figura 3.3. Evolução das fachadas em Portugal (adaptado de Peixoto de Freitas, 2002)	15
Figura 3.4. Cobertura verde - Fundação Calouste Gulbenkian (Lisboa) (adaptado de Wikipédia)	16
Figura 3.5. Elemento fixo de sombreamento - Pala horizontal	18
Figura 3.6. Elemento móvel de sombreamento – Toldo (adaptado de <a href="http://casaraotoldos.com.br">casaraotoldos.com.br</a> )	19
Figura 3.7. Sistema de sombreamento natural (adaptado de Santos, P., 2010)	20
Figura 3.8. Aspecto exterior de uma parede de Trombe - "Casa Schäfer" (Porto Santo) (adaptado de <a href="http://www.abae.pt">www.abae.pt</a> )	20
Figura 3.9. Parede de Trombe ventilada durante o dia: A - Situação de Inverno B - Situação de Verão (adaptado de Farinha, F., 2007)	21
Figura 3.10. Princípio de funcionamento de um sistema solar térmico (adaptado de <a href="http://topfrio.pai.pt">topfrio.pai.pt</a> )	23
Figura 3.11. Tecnologia solar fotovoltaica (adaptado de <a href="http://www.ambiafrica.com">www.ambiafrica.com</a> )	25
Figura 4.1. Mapa de radiação na Europa (adaptado de <a href="http://www.energiasrenovaveis.com">www.energiasrenovaveis.com</a> )	27
Figura 4.2. Evolução da capacidade (m <sup>2</sup> ) instalada anualmente (adaptado de APISOLAR, 2012)	28
Figura 4.3. Colector solar plano sem cobertura (adaptado de Grade, A., Equipamentos Térmicos – Aulas Teóricas, 2012)	29
Figura 4.4. Colector solar plano sem cobertura (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	30
Figura 4.5. Colector solar plano com cobertura (adaptado de <a href="http://osinovadores.net23.net">osinovadores.net23.net</a> , 2010)	30
Figura 4.6. Colector solar plano com cobertura (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	31
Figura 4.7. Colectores concentradores parabólicos compostos (CPC) (adaptado de <a href="http://www.energiasrenovaveis.com">www.energiasrenovaveis.com</a> )	32
Figura 4.8. Colector de tubos de vácuo (adaptado de Grade, A., Equipamentos Térmicos – Aulas Teóricas, 2012)	33
Figura 4.9. Colector de tubos de vácuo (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	33
Figura 4.10. Diagrama solar para uma latitude de 40° (adaptado de Grade, A., Equipamentos Térmicos – Aulas Teóricas, 2012)	35
Figura 4.11. Sombras projectadas pelos próprios colectores (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	35
Figura 4.12. Ângulo de orientação dos colectores relativamente a Sul (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	36
Figura 4.13. Ângulo de inclinação dos colectores relativamente ao plano horizontal (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	37
Figura 4.14. Depósito com câmara interna (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	38

Figura 4.15. Depósito de serpentina simples (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	39
Figura 4.16. Depósito de dupla serpentina (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	39
Figura 4.17. Depósito combinado (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	40
Figura 4.18. Depósito simples com permutador externo (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)	41
Figura 4.19. Circulação natural (adaptado de <a href="http://www.solarproject.pt">www.solarproject.pt</a> )	43
Figura 4.20. Circulação forçada (adaptado de <a href="http://www.paineissolares.gov.pt">www.paineissolares.gov.pt</a> )	44
Figura 5.1. Colector solar (adaptado de catálogo Solargus)	61
Figura 5.2. Bomba Wilo – TOP – STG 25/10 (adaptado de catálogo Wilo)	62
Figura 5.3. Vaso de expansão solar (adaptado de catálogo Elbi)	63
Figura 5.4. Válvula de seccionamento (adaptado de catálogo Caleffi)	65
Figura 5.5. Válvula de retenção de charneira (adaptado de catálogo Valcontrol)	65
Figura 5.6. Válvula de retenção do tipo clapeta (adaptado de catálogo Valcontrol)	65
Figura 5.7. Regulador de caudal com caudalímetro (adaptado de catálogo Troia)	66
Figura 5.8. Válvula de segurança Caleffi série 253 (adaptado de catálogo Caleffi)	67
Figura 5.9. Válvula de segurança Caleffi série 311 (adaptado de catálogo Caleffi)	67
Figura 5.10. Válvula de segurança Caleffi série 309 (adaptado de catálogo Caleffi)	67
Figura 5.11. Válvula misturadora termostática (adaptado de catálogo Caleffi)	68
Figura 5.12. Purgador de ar (adaptado de catálogo Caleffi)	69
Figura 5.13. Separador de ar e sujidade (adaptado de catálogo Caleffi)	69
Figura 5.14. Controlador electrónico térmico diferencial (adaptado de catálogo Sorel)	70
Figura 5.15. Depósito de acumulação (adaptado de catálogo Enertres)	71
Figura 5.16. Estrutura de fixação para quatro colectores do tipo circulação forçada desenhada em Solidworks	72
Figura 5.17. Desenho técnico de um constituinte de uma estrutura de fixação	73
Figura 5.18. Exterior da Casa do Povo de Alagoa	74
Figura 5.19. Interior do local onde foi instalado o depósito	74

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Energias renováveis no balanço energético, (2011) (adaptado de Pordata, DGEG/MEE)	10
Tabela 4.1. Difusão de colectores solares térmicos em alguns países da Europa (adaptado de <i>European Solar Thermal Industry Federation – ESTIF</i> , 2007)	28
Tabela 4.2. Distâncias aconselhadas entre colectores (adaptado de <i>Revista Hidráulica 25 – Caleffi</i> , 2006)	36
Tabela 4.3. Materiais utilizados na construção de depósitos (adaptado de Grade, A., Equipamentos Térmicos – Aulas Teóricas, 2012)	42
Tabela 5.1. Dados de AQS	46
Tabela 5.2. Distribuição anual da energia térmica	47
Tabela 5.3. Distribuição anual da energia térmica	48
Tabela 5.4. Distribuição anual de energia térmica	49
Tabela 5.5. Propriedades do fluido	50
Tabela 5.6. Características do colector solar	50
Tabela 5.7. Tabela resumo dos cálculos	54
Tabela 5.8. Resumo da tubagem seleccionada	54
Tabela 5.9. Cálculo do comprimento equivalente total	54
Tabela 5.10. Cálculo da perda de carga total do circuito	54
Tabela 5.11. Valor final da perda de carga total	54
Tabela 5.12 Conteúdo em litros por metro de comprimento para diversos tubos (adaptado de <i>Instalações Solares Térmicas, INETI</i> )	60
Tabela 5.13. Tabela resumo dos cálculos	59
Tabela 5.14. Características particulares do colector	61
Tabela 5.15. Características dimensionais da tubagem	64



---

## SIMBOLOGIA

- $U$  – Coeficiente de transmissão térmica [ $W/m^2 \cdot K$ ]  
 $\beta$  – Ângulo de orientação de um colector solar [ $^\circ$ ]  
 $\alpha$  – Ângulo de inclinação de um colector solar [ $^\circ$ ]  
 $c_p$  – Calor específico de um fluido [ $J/kg \cdot K$ ]  
 $\rho$  – Massa volúmica de um fluido [ $kg/m^3$ ]  
 $\nu$  – Viscosidade cinemática de um fluido [ $m^2/s$ ]  
 $\eta_o$  – Rendimento óptico de um colector solar, adm  
 $a_1$  – Coeficiente de perdas de calor linear [ $W/m^2 \cdot K$ ]  
 $a_2$  – Coeficiente de perdas de calor quadrático [ $W/m^2 \cdot K$ ]  
 $\dot{m}$  – Caudal mássico de um fluido [ $kg/s$ ]  
 $F'U_L$  – Coeficiente de perdas [ $W/m^2 \cdot K$ ]  
 $A$  – Área [ $m^2$ ]  
 $\dot{Q}$  – Caudal volúmico de um fluido [ $m^3/s$ ]  
 $d$  – Diâmetro [ $m$ ]  
 $V$  – Velocidade [ $m/s$ ]  
 $\Delta H$  – Perda de carga [ $m$ ]  
 $f$  – Coeficiente de atrito, adm  
 $g$  – Aceleração da gravidade [ $m/s^2$ ]  
 $L$  – Comprimento [ $m$ ]  
 $V_u$  – Volume útil do vaso de expansão [ $l$ ]  
 $V_c$  – Conteúdo de líquido no circuito solar [ $l$ ]  
 $e$  – Coeficiente de dilatação do líquido, adm  
 $V_p$  – Conteúdo de líquido nos colectores solares [ $l$ ]  
 $k$  – Constante de segurança, adm  
 $V_N$  – Volume nominal do vaso de expansão [ $l$ ]  
 $P_I$  – Pressão inicial [ $Pa$ ]  
 $P_F$  – Pressão final [ $Pa$ ]



## ABREVIATURAS

AQS – Águas Quentes Sanitárias

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

ADENE – Agência para a Energia

GEE – Gases do Efeito de Estufa

ITIC – Instituto Técnico para a Indústria da Construção

PVC – Policloreto de Vinil

PNAEE – Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

RESP – Rede Eléctrica de Serviço Público

SRM – Sistema de Registo de Microprodução

ESTIF – *European Solar Thermal Industry Federation*

APISOLAR – Associação Portuguesa da Indústria Solar

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Âmbito e objectivos do estágio

Os edifícios, em 2005, foram responsáveis por 30% do consumo total de energia primária do país, correspondendo 18% ao sector residencial e 12% aos edifícios de serviços. Uma parte importante deste consumo destina-se à produção de águas quentes sanitárias, cujas principais fontes energéticas ainda são o gás e a electricidade.

A directiva europeia 2010/31/EU, que tem como objectivo a melhoria do desempenho energético dos edifícios, estabelece várias exigências, nomeadamente quanto ao desempenho energético mínimo de:

- i) Edifícios existentes, fracções autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações;
- ii) Elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos;
- iii) Sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado.

A exigência, a partir de 2009, da apresentação de um certificado energético no acto da transacção, compra ou arrendamento de imóveis, veio permitir um conhecimento mais aprofundado do comportamento energético do nosso parque de edifícios e a identificação das suas maiores deficiências. As principais recomendações feitas pelos peritos nos certificados energéticos são: a instalação de sistemas de aquecimento de Águas Quentes Sanitárias (AQS) com alta eficiência energética (32%), a colocação de isolamento térmico na envolvente (20%), a instalação de colectores solares (18%) e a utilização de envidraçados mais eficientes (10%) (Ganhão, A.,2011, *Construção sustentável – Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação*).

Com este trabalho pretende-se explorar o assunto da reabilitação energética dando especial atenção aos sistemas solares térmicos, uma vez que foi sobre esta área que incidiu o estágio realizado na empresa Solargus – Via Solar.

Os objectivos do estágio foram:

- Identificar as características dos vários tipos de sistemas solares térmicos;
- Conhecer as normas e regulamentos pelas quais estas instalações se regem;
- Interpretar projectos de sistemas solares térmicos de edifícios existentes;
- Determinar as necessidades de consumo de AQS;
- Dimensionar instalações solares térmicas, calculando e seleccionando os respectivos componentes;
- Conhecer a sequência de operações da instalação de sistemas solares térmicos;
- Elaborar orçamentos para sistemas solares térmicos.

## 1.2. Plano de trabalhos

De acordo com a disponibilidade e necessidades da empresa Solargus – Via Solar, entidade acolhedora do estágio, foram definidas as seguintes fases, supondo um volume total de 1560 horas de trabalho:

**Fase 1:** Introdução à tecnologia dos sistemas solares térmicos;

**Fase 2:** Desenho de estruturas de colectores solares usando o *software Solidworks*;

**Fase 3:** Interpretação de projectos de sistemas solares térmicos e estudo da legislação aplicável;

**Fase 4:** Dimensionamento de sistemas solares térmicos com o *software SolTerm*;

**Fase 5:** Execução de esquemas de princípio e desenhos de construção de colectores com o *software Autocad*;

**Fase 6:** Identificação de equipamentos e acessórios dos sistemas de energia solar térmica e orçamentação;

**Fase 7:** Acompanhamento de projectos solares térmicos e elaboração do relatório final.

### 1.3. Estrutura do relatório

O presente relatório está estruturado em 8 capítulos.

No presente capítulo (capítulo 1) pretende-se dar a conhecer o fundamento deste estudo e apresentar genericamente o trabalho desenvolvido. Introduzem-se o âmbito e os objectivos do estágio realizado assim como a própria estrutura do relatório de estágio.

No capítulo 2 procede-se a uma breve caracterização da empresa acolhedora do estágio.

No capítulo 3 apresenta-se uma breve introdução acerca da reabilitação energética e são descritas as diversas técnicas de reabilitação energética activas e passivas.

No capítulo 4 descrevem-se os sistemas solares térmicos. São apresentados os diferentes tipos de colectores solares, os diferentes depósitos existentes e os diferentes tipos de circulação.

No capítulo 5 é apresentado um projecto de execução prático de uma instalação solar térmica real.

No capítulo 6 são enumeradas e descritas outras tarefas realizadas ao longo do estágio, nomeadamente o desenho de estruturas de fixação de colectores utilizando o *software Solidworks*.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho realizado e indicadas algumas sugestões para trabalhos e projectos que poderão ser efectuados no futuro.

No capítulo 8 listam-se as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração deste relatório.

No final deste trabalho é apresentado um conjunto de anexos onde se poderão encontrar diversos documentos importantes na realização deste relatório.



## 2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ORGANIZAÇÃO

O grupo Solargus apresenta-se no sector das energias renováveis como pioneiro, fabricando e instalando sistemas solares térmicos desde 1974.

Este grupo é composto pela Fábrica de Radiadores do Alva, pela Via Solar – Energia Solar e Aquecimentos (*vd.* figura 2.1), ambas localizadas em Arganil e pela Sangobiar localizada em Morro Bento, Luanda.



Figura 2.1. Panoramas exterior e interior da fábrica (adaptado de [www.solargus.pt](http://www.solargus.pt))

Sendo uma das empresas com o historial mais antigo na criação de sistemas solares térmicos, contém no seu currículo os mais diferentes tipos de sistemas solares, sobretudo em sistemas de grande dimensão (*vd.* figura 2.2).



Figura 2.2. Obras realizadas pela empresa Solargus (adaptado de [www.solargus.pt](http://www.solargus.pt))

O grupo Solargus conta com diversas áreas de negócio tais como:

- Sistemas Solares Térmicos;
- Estruturas Metálicas;
- Recuperadores de Calor e Salamandras;
- Aquecimento Central (Gasóleo, Gás, Pellets, Lenha, Piso Radiante);
- Fogões a Lenha;
- Ar Condicionado;
- Energia Solar Fotovoltaica.

### 3. A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Os edifícios podem ser encarados como sistemas térmicos, ou seja, como elementos com características de transmissão e de armazenamento de energia. Assim, melhorando energeticamente a sua envolvente obteremos um sistema térmico mais eficiente e, como tal, poderão ser satisfeitas as condições de conforto dos seus ocupantes com um consumo de energia reduzido. O objectivo da reabilitação energética de edifícios identifica-se assim com o aumento do conforto dos ocupantes de um edifício e, simultaneamente, com a redução do consumo energético.

Grande parte do parque edificado construído encontra-se envelhecido apresentando deficiências devido à presença de humidades e à degradação de aspecto. Por outro lado, a maioria dos edifícios foram construídos antes da existência de regulamentação térmica dos edifícios ou da revisão desta regulamentação, podendo a sua reabilitação melhorar qualitativamente o seu desempenho criando uma melhoria na eficiência energética destes edifícios.

Entre diversos factores que podem afectar o desempenho energético de um edifício, como a degradação da construção, dos materiais e dos sistemas, a falta de manutenção, podem ainda referir-se os seguintes:

- Isolamento térmico insuficiente e/ou existência de pontes térmicas;
- Vãos envidraçados com baixo desempenho térmico;
- Protecções solares e/ou sombreamentos inadequados;
- Infiltrações de ar excessivas ou ventilação natural insuficiente.

É, então, indispensável e urgente reduzir os impactos ambientais dos edifícios existentes através da sua reabilitação energética. Daí a necessidade de promover a gestão racional da energia nestes edifícios, gerando benefícios que se podem repercutir, em sentido lato, a nível global e nacional e, em sentido restrito, a nível do utente e do consumidor.

A Directiva 2002/91/CE (Directiva comunitária sobre o desempenho energético de edifícios), o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

(RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) apontam já nesse sentido, contendo disposições dirigidas aos edifícios existentes. Por exemplo, a revisão do RCCTE, também aplicável às grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias dos edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados já existentes, define critérios mais apertados na qualidade térmica da envolvente, duplicando os requisitos de isolamento térmico de referência, introduzindo critérios mais exigentes para as pontes térmicas, e tornando mais exigentes os requisitos de protecção solar dos envidraçados. O novo RCCTE também inclui novas exigências no que se refere à qualidade do ar interior (garantia de condições mínimas de ventilação) e ao modo de suprir as necessidades de água quente (recurso a sistemas solares) nos edifícios a construir ou a reabilitar.

A reabilitação energética de um edifício existente é, portanto, uma abordagem inovadora, que tem por objectivo melhorar a qualidade térmica e racionalizar a gestão da energia, ou seja, conferir a esse edifício uma eficiência energética idêntica à de um edifício novo para o mesmo fim.

### **3.1. Reabilitação energética em Portugal**

Portugal tem grande dependência do exterior a nível energético. Em 2008, 84,6% da energia foi importada e apenas 15% foi produzida internamente.

O petróleo tem ainda um lugar de destaque no que se refere às fontes de energia principais. Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), em 2008, o consumo desta matéria-prima foi de 51,6%, enquanto o gás natural se fica pelos 17% de total de energia primária consumida. Em 2011, o consumo de petróleo representou 46,1% do total de energia primária consumida e o gás natural representou 20%.

Com o crescimento da potência instalada em fontes de energias renováveis para produção de electricidade, em 2008, o contributo destas no consumo total de energia primária foi de 17,7% e 22,9% em 2011. De entre as fontes de energia renováveis para produção de energia eléctrica, em 2011 destacaram-se os contributos da energia hídrica com 47,3%, eólica com

35,8% e biomassa com 15% (DGEG). As figuras 3.1 e 3.2 ilustram algumas das fontes de energias renovável e não renovável.

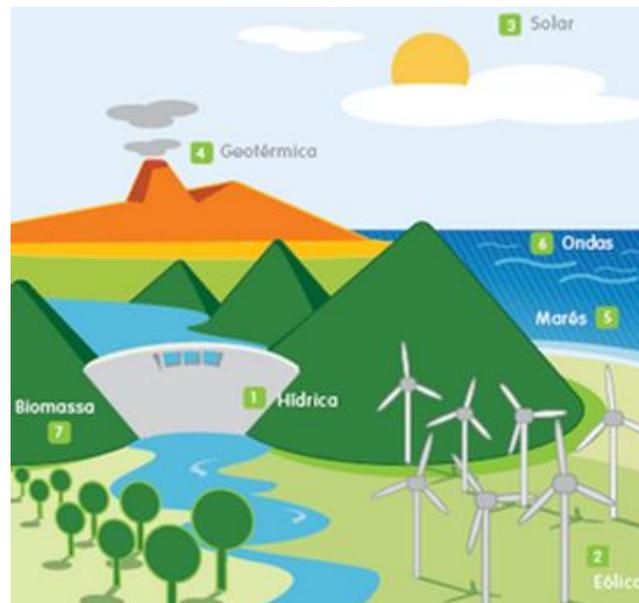


Figura 3.1. Fontes renováveis de energia (adaptado de aterradowordpress.com)



Figura 3.2. Fontes não renováveis ou fósseis (adaptado de aterradowordpress.com)

Quanto ao consumo final de energia, o sector doméstico teve, em 2010, uma contribuição de cerca de 16,6%, segundo o balanço energético efectuado pela DGEG. Os sectores com maior consumo foram o dos transportes e da indústria com 36,7% e 29,6%, respectivamente.

A energia produzida a partir de fontes renováveis tem-se difundido nos últimos anos, verificando-se um aumento no seu contributo para a produção de energia como se constata no caso da energia solar, que aumentou cerca de 30% em 10 anos. A tabela 3.1 ilustra essa realidade, com a variação dos contributos das energias renováveis para o balanço energético nacional desde 2000 até 2011, sendo que em 2011 os valores são precedidos da sigla Pro, que significa valor provisório.

**Tabela 3.1. Energias renováveis no balanço energético, (2011) (adaptado de Pordata, DGEG/MEE)**

Contribuição das energias renováveis para o balanço energético (tep - Milhares)									
Tempo	Solar - Energia térmica	Fotovoltaica - Energia eléctrica	Geotermia - baixa entalpia - Energia térmica	Geotermia - alta entalpia - Energia eléctrica	Biomassa - Energia térmica	Resíduos industriais/Lixos - Energia térmica/eléctrica	Biogás - Energia térmica/eléctrica	Eólica - Energia eléctrica	Hídrica - Energia eléctrica
2000	17,8	0,1	1,0	68,8	1185,0	1071,9	3,3	14,4	1007,0
2001	18,3	0,2	1,0	90,3	1204,0	1061,5	3,0	22,0	1236,0
2002	18,8	0,2	1,0	82,6	1529,8	1125,6	3,1	31,0	710,0
2003	19,3	0,3	1,0	77,4	1533,8	1122,9	2,9	42,7	1381,0
2004	20,2	0,3	1,0	72,2	1540,0	1133,9	6,3	70,2	872,6
2005	21,9	0,3	1,0	61,1	1555,6	1191,8	11,6	152,5	440,1
2006	23	0,4	10,0	73,3	1565,8	1180,2	10,7	251,6	986,2
2007	24,7	2,1	10,0	172,9	1591,1	1245,6	17,5	347,2	898,6
2008	29,2	3,3	10,0	165,1	1586,9	1190,0	25,1	495,1	627,5
2009	36,9	13,8	10,0	158,2	1543,6	1459,7	26,8	651,6	774,8
2010	48,1	17,3	10,0	169,5	1335,6	1790,5	31,6	789,6	1423,0
2011	Pro 59,0	Pro 24,0	Pro 10,0	Pro 181,0	Pro 1050,0	x	Pro 46,0	Pro 788,0	Pro 1042,0

No entanto, este aumento não é o suficiente para suprir as necessidades da população. A divulgação destas fontes de energia e de medidas para a eficiência energética devem-se às directivas europeias. De modo a fazer cumprir estas directivas, em grande parte dos países foi criada uma agência com o objectivo de promover a eficiência energética. Em Portugal essa agência é a ADENE – Agência para a Energia.

Muitas destas agências são responsáveis pela elaboração de publicações com sugestões para a eficiência energética e soluções para casos de reabilitações ou restauros de edifícios.

De um modo geral, estas agências realçam que reabilitar energeticamente os edifícios constitui uma das formas de contribuir para a redução dos Gases de Efeito de Estufa (GEE) e para poupanças de energia, assim como pode contribuir para a questão social em tempos de crise do sector da construção. No entanto, há ainda algum caminho a percorrer para aproveitamento deste mercado.

Segundo um estudo efectuado pelo Instituto Técnico para a Indústria da Construção (ITIC), em 2001, o parque edificado português apresentava uma taxa de edifícios com necessidades de reparação relativamente baixa, uma vez que 57% dos edifícios foi construído após 1971. Cerca de 59% dos edifícios existentes nessa época não mostravam necessidades de reparação, enquanto 38% apresentavam pequenas, médias ou grandes necessidades de reparação. Os edifícios muito degradados representavam 3% do parque edificado.

Nos dias de hoje existem milhões de edifícios em Portugal e continuam a construir-se anualmente vários milhares. É extremamente importante construir edifícios eficientes, mas é mais importante ainda reabilitar os edifícios já existentes, melhorando a sua eficiência.

O edificado existente não pode simplesmente ser abandonado ou transformado em mais toneladas de resíduos por tratar. Pelo contrário, a sua reabilitação é, para além de um acto de valorização dos recursos históricos, uma oportunidade para promover a sustentabilidade ambiental. Será portanto desejável desenvolver intervenções de reabilitação do meio edificado que conciliem a preservação do património, a actualização das condições de funcionalidade e conforto, e principalmente a melhoria do desempenho ambiental e energético (Jardim, F., 2009).

## 3.2. Técnicas de reabilitação energética

### 3.2.1. Soluções passivas de reabilitação energética

#### 3.2.1.1. Estratégias de climatização

- Estratégias de Aquecimento Passivo

As estratégias de aquecimento passivo utilizam a energia solar para fazer o aquecimento da habitação, contribuindo para o conforto interior, sem recorrer a sistemas activos de climatização (que conseqüentemente consomem energia, aumentam a factura energética e também os GEE).

Estas estratégias devem ser desenvolvidas tendo em conta a orientação solar, o correcto dimensionamento dos vãos e o tipo de actividade a desenvolver em cada divisão do edifício. Podem combinar diferentes tipos de aproveitamento da energia – ganhos directos e / ou indirectos.

Nos ganhos directos, como a própria designação indica, é feito o aproveitamento da radiação solar directa sobre vãos, maximizando assim os ganhos térmicos para o aquecimento do interior.

Nos ganhos indirectos, o aquecimento do interior do edifício é feito de modo mais lento. Exemplo deste modo de aproveitamento da energia são as “paredes de Trombe” (vd. 3.2.1.6) – parede maciça que absorve a energia solar que nela inicia ao longo do dia, armazenando-a e irradiando calor para o interior da habitação no período da noite.

As estufas também constituem um meio para controlar o conforto no interior da habitação, uma vez que atenuam as trocas térmicas entre o exterior e o interior.

- Estratégias de Arrefecimento Passivo

À semelhança do referido para as estratégias de aquecimento passivo, também as estratégias de arrefecimento passivo não recorrem a meios activos de climatização (com consumo de energia) para alcançar o conforto interior.

A orientação solar é também aqui um factor determinante para o desenvolvimento destas estratégias que se baseiam principalmente na ventilação natural e no controle da radiação solar directa das superfícies envidraçadas (quer sejam com recurso a elementos fixos – palas, por exemplo – ou dispositivos móveis – de que são exemplo os estores), embora existam outros meios passivos de fazer o arrefecimento.

A ventilação natural ocorre quando se verificam diferenças de pressão entre o interior e o exterior, ou seja, a massa específica do ar frio é superior logo terá tendência a baixar, enquanto o ar quente, por ter massa específica inferior terá tendência a subir, provocando assim a renovação do ar entre o interior e o exterior.

O arrefecimento passivo pode ainda ser feito por outros meios, de que são exemplo o arrefecimento pelo solo, arrefecimento evaporativo e arrefecimento radiativo. Estas formas de arrefecimento passivo serão tratadas posteriormente no tópico 3.2.1.7.

Existem ainda outros aspectos que irão influenciar o arrefecimento natural, como por exemplo o desempenho energético dos caixilhos, bem como o tipo de vidro existente, o tipo e utilização de protecção dos vãos, a existência de vegetação, a presença de água, bem como a utilização de cores claras nas superfícies pelo facto de absorverem menos radiação.

### **3.2.1.2. Isolamento térmico**

A estratégia mais eficiente para reduzir o consumo de energia nos edifícios é a optimização do isolamento térmico. Esta solução permite diminuir a perda de calor e, portanto, é a condição necessária para reduzir a procura energética destinada ao aquecimento.

Um bom isolamento conduz a uma diminuição de perdas de calor para o exterior no Inverno e reduz os ganhos de calor no Verão. Estima-se que cerca de 60% da energia usada para aquecimento é desperdiçada devido às fugas relacionadas com a ausência ou insuficiência de isolamento dos elementos opacos como paredes, coberturas e pavimentos, e ainda devido à fraca utilização de vidros duplos nos vãos envidraçados.

O modo de aplicação do material isolante é diverso, dependendo do grau de isolamento que se pretende obter, do volume do edifício a reabilitar, da disponibilidade económica e logicamente do tipo de material utilizado.

A capacidade de isolamento térmico de um elemento da envolvente é traduzida pelo respectivo coeficiente de transmissão térmica,  $U$ , sendo que, quanto maior for o coeficiente, menor capacidade de isolamento terá o elemento. Ou seja, a redução de  $U$ , resultante do aumento da espessura de isolamento térmico, corresponde a um maior investimento inicial e a menores consumos energéticos durante a exploração do edifício.

Um sistema de isolamento térmico com as características técnicas e espessura adequadas e de forma contínua pelo exterior dos edifícios (paredes, pavimento térreo e coberturas), permite obter as seguintes vantagens, dificilmente superáveis por sistemas alternativos (Tirone e Nunes, 2007):

- Eliminação de todas as pontes térmicas que causam o aparecimento de condensações e conseqüentemente de fungos no interior, devendo os pormenores de execução garantir a verdadeira continuidade do isolamento térmico. Este sistema garante permeabilidade ao vapor e impermeabilidade à água;
- Sucesso na execução do assentamento do sistema de isolamento térmico, facilitado pela colocação ser visível;
- Protecção estrutural do edifício das diferenças térmicas e adversidades climáticas, bem como de todos os materiais pesados que compõem a envolvente. Assim é assegurada a integridade física dos edifícios, evitando-se sinais de envelhecimento típicos da construção tradicional.
- Conservação da inércia térmica dos materiais pesados, contribuindo para o equilíbrio das temperaturas no interior dos edifícios, independentemente das amplitudes térmicas, características do clima mediterrânico. O equilíbrio térmico do interior do edifício não é afectado uma vez que os materiais não estão em contacto directo com o ar exterior.
- Manutenção da ocupação dos edifícios durante as obras de remodelação.

Conforme demonstrado na figura 3.3, em Portugal tem-se assistido a uma evolução significativa da forma como se executam as fachadas dos edifícios.

---

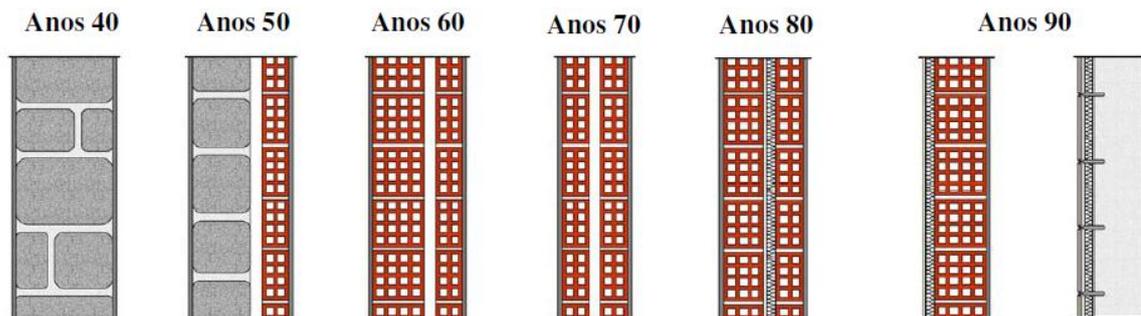


Figura 3.3. Evolução das fachadas em Portugal (adaptado de Peixoto de Freitas, 2002)

### 3.2.1.3. Coberturas verdes

As coberturas verdes contribuem para a sustentabilidade ecológica do ambiente urbano. São constituídas por um sistema de engenharia ligeiro que permite a plantação e crescimento de plantas e flores sobre uma laje convencional. Este é um sistema integrado por seis camadas sobrepostas ao telhado do edifício, para assegurar um correcto isolamento, quer para a integridade dos materiais de construção, quer para a vida do reino botânico que acolhe.

A vegetação adequada para as coberturas verdes é escolhida em função das condições climáticas próprias de cada cidade e das características físicas do edifício. Em geral, ainda que se concebam coberturas verdes com vegetação caduca ou perene, consideram-se ideais aquelas espécies cuja altura é baixa, que crescem e se expandem com rapidez, com alta resistência à seca e carentes de necessidades especiais de irrigação ou nutrição. Para além dos benefícios para o meio ambiente e da componente visual (*vd.* figura 3.4) trazem como vantagens uma maior longevidade do telhado, um aumento da eficiência energética nos edifícios pelas suas propriedades isolantes, reduzindo assim os custos de aquecimento e arrefecimento sem necessitar de isolamento térmico e uma melhoria da acústica do edifício ([casa-e-energia.blogspot.pt/](http://casa-e-energia.blogspot.pt/)).



**Figura 3.4. Cobertura verde - Fundação Calouste Gulbenkian (Lisboa) (adaptado de Wikipédia)**

#### **3.2.1.4. Caixilharias e vãos envidraçados**

A escolha da caixilharia e do tipo de vidro para os vãos envidraçados é preponderante no comportamento térmico do edifício.

Na escolha da caixilharia é necessário ter em conta a capacidade de isolamento acústico e térmico. Os materiais mais utilizados são:

- Caixilharia de madeira;
- Caixilharia de alumínio;
- Caixilharia de alumínio com corte térmico;
- Caixilharia de policloreto de vinil (PVC).

A caixilharia em PVC e madeira tem um melhor desempenho que a caixilharia em alumínio com e sem corte térmico. Entre as soluções de caixilhos em alumínio tem melhor desempenho o caixilho fixo e o giratório em relação ao caixilho de correr.

A madeira é um material mais ecológico, durável (com um tempo de vida de cerca de 40 anos) e bastante resistente, se for de origem de florestas certificadas (áreas de produção florestal – naturais ou plantadas pelo homem – que são administradas de uma forma adequada do ponto de vista técnico-científico, ambiental, social e económico), e se receber tratamento adequado quase não necessita de manutenção.

O alumínio é um material bastante resistente e durável com acabamento de preferência anodizado, no entanto tem uma grande energia incorporada e tem um grande impacto no aquecimento global.

O PVC é uma material bastante resistente, moderadamente durável (com um tempo de vida de cerca de 25 anos) e reciclável. No entanto, o PVC branco tende a mostrar descoloração ao envelhecer e é um derivado da indústria petroquímica.

A renovação de ar das caixilharias contribui para a ventilação natural e evita a produção de condensações no interior. Estas renovações de ar implicam perdas de energia pelo que é necessário criar um equilíbrio entre elas. No mercado existem grelhas de ventilação aplicáveis em caixilhos de madeira, alumínio ou PVC que permitem a ventilação com a janela fechada. As aberturas nos caixilhos são reguladas manualmente permitindo o aumento do caudal de ventilação natural no interior e a remoção do vapor de água, tanto de Verão como de Inverno.

A orientação dos vãos envidraçados determina a escolha do tipo de vidro. Os envidraçados orientados a Norte devem evitar as perdas de calor para o exterior e os expostos a Sul devem reduzir a entrada da radiação solar.

O vidro de baixa emissividade ou também designado de vidro de isolamento térmico reforçado é um vidro que permite um óptimo isolamento térmico ao reduzir as perdas de calor. Este vidro pode ter um factor solar baixo ou elevado. O factor solar do vidro deve ser tido em consideração com o coeficiente de transmissão térmica do vidro. Os vidros com factor solar baixo para além do isolamento térmico no Inverno proporcionam uma boa protecção contra a radiação, sendo ideais para uso em envidraçados com exposição ao sol directa e sem protecção solar. Os vidros com factor solar elevado proporcionam a entrada da radiação do sol e da luz natural e igualmente permitem um óptimo isolamento térmico, sendo ideais quando o objectivo é maximizar as trocas solares e luminosas.

O vidro duplo pode integrar no seu interior uma lâmina de ar seco ou um gás de isolamento térmico (por exemplo árgon) aumentando o seu desempenho térmico e luminoso, no entanto é uma solução mais dispendiosa.

Em Portugal, estima-se que 20 a 35% das necessidades de aquecimento são devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados. No âmbito do Plano Nacional de Acção para a

Eficiência Energética (PNAEE), a medida “Janela Eficiente” visa o tratamento de superfícies envidraçadas, quer na utilização de vidro duplo, quer na utilização de estruturas de suporte com corte térmico, quer na utilização de vidros eficientes (de baixa emissividade).

### 3.2.1.5. Sombreamento pelo exterior

O sombreamento tem como principal objectivo a protecção solar e por isso funciona como uma estratégia de arrefecimento. Dependendo do tipo de sistema pode também funcionar como um elemento que evita a saída de ar quente contribuindo assim para a estratégia de aquecimento, bem como garantir melhores condições de luz natural e por isso funcionar como uma estratégia de iluminação natural.

As palas horizontais (*vd.* figura 3.5) ou verticais, galerias, arcadas, paredes reticuladas, são alguns exemplos de elementos fixos de sombreamento. Estes sistemas fixos apresentam a desvantagem de proporcionarem um adequado sombreamento apenas numa certa parte do dia e em certas estações, além de poderem estar a limitar a entrada de luz noutras alturas do ano em que a luz natural até poderia ser desejada.



Figura 3.5. Elemento fixo de sombreamento - Pala horizontal

Um sistema de sombreamento fixo faz parte integrante do exterior do edificado. Por isso devem ser tidas em consideração algumas atenções como a altura, comprimento e profundidade do elemento afixado ou a sua exacta fixação em relação às dimensões do vão, de modo a obter o máximo de benefícios dos raios solares no Inverno, deixando que os raios passem pelo vão, ou então, na estação de arrefecimento, interceptá-los.

A eficiência de um sistema fixo varia consoante as estações e a posição do sol e por isso os sistemas móveis podem ser mais adequados por evitarem alguns problemas nesse sentido. As portadas, os toldos (*vd.* figura 3.6), estores de lâminas ajustáveis, as cortinas, telas de rolo e as venezianas são alguns exemplos de sistemas móveis, que podem ser abertos grande parte do tempo, sendo fechados apenas quando a inclinação dos raios solares o exigir. Alguns destes sistemas podem ser ainda usados para aumentar o efeito de isolamento térmico na estação de aquecimento.



**Figura 3.6. Elemento móvel de sombreamento – Toldo (adaptado de casaraotoldos.com.br)**

Os sistemas de sombreamento móveis podem também ser uma boa ferramenta para gerir a entrada de luz natural, pois a entrada de luz directa num espaço é uma característica muito atraente. Por vezes, esta pode ser indesejável se incidir directamente sobre os ocupantes ou sobre o plano de trabalho e por isso estes sistemas podem ajudar a reflectir a luz solar directa, proporcionando uma boa penetração da luz natural.

Existem, também, sistemas de sombreamento naturais, conforme apresentado na figura 3.7. Neste tipo de sombreamento é necessário contabilizar os custos de manutenção dos elementos naturais e ter em atenção o tipo de vegetação escolhida. Pode ser interessante escolher árvores de folha caduca para garantir sombreamento no Verão e maximizar os ganhos solares no Inverno.

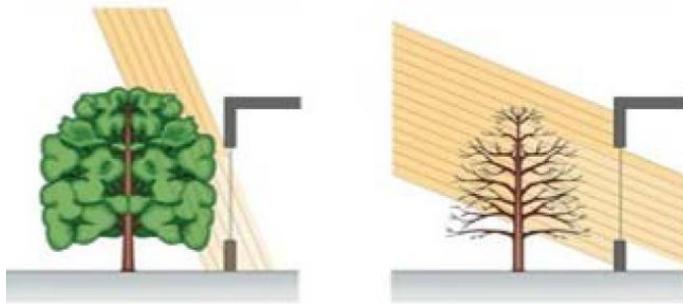


Figura 3.7. Sistema de sombreamento natural (adaptado de Santos, P., 2010)

### 3.2.1.6. Paredes de Trombe

A parede de Trombe constitui uma solução de construção passiva capaz de reduzir a factura energética através da captação de energia solar durante os dias de Inverno e da transmissão de calor acumulado durante a noite, para os espaços interiores.

As paredes de Trombe (*vd.* figura 3.8) são constituídas por uma superfície exterior em vidro e uma parede interior de pedra, betão, terra compacta, material cerâmico ou outro material com boa capacidade de armazenamento térmico distanciados de cerca de 5 a 20 cm, formando uma caixa-de-ar. Este espaço pode ser ou não ventilado.



Figura 3.8. Aspecto exterior de uma parede de Trombe - "Casa Schäfer" (Porto Santo) (adaptado de [www.abae.pt](http://www.abae.pt))

Nas paredes de Trombe não ventiladas o aquecimento processa-se por acção directa da radiação solar que atravessa o vidro e incide na parede cuja superfície deve ser de cor escura. Devido às altas temperaturas que se geram, desenvolvem-se fluxos de calor por condução que

atravessam a parede, até ao interior. A transferência de calor é feita lentamente sendo este acumulado na parede durante o dia e gradualmente libertado durante a noite. No período nocturno é indispensável a utilização de um sistema de oclusão que minimize as perdas de calor. Esta solução adequa-se bastante bem a climas frios ou temperados e com boa insolação.

As paredes de Trombe ventiladas são semelhantes às anteriores possuindo, no entanto, orifícios de termo-circulação na parte superior e inferior permitindo assim que estas contribuam tanto para o aquecimento como para o arrefecimento, consoante as necessidades. No Inverno, tanto de noite como de dia, as aberturas no vidro devem manter-se fechadas para a minimização das perdas térmicas. Os orifícios de ventilação existentes na parede, que funciona como elemento acumulador, devem estar abertos durante o dia para que o calor existente na caixa-de-ar se transmita ao interior da habitação não só por condução como também por convecção (*vd.* figura 3.9 – A). Este processo de convecção consiste na passagem do ar quente da caixa-de-ar para o interior da habitação pela abertura superior, aquecendo-a, e na entrada de ar frio proveniente do compartimento pela abertura inferior. A partir do momento em que a radiação solar seja pouco significativa os orifícios de ventilação do elemento de armazenamento térmico devem ser encerrados de forma a evitar perdas de calor por inversão da circulação do ar. No Verão, além de se prever o sombreamento do vidro, a parede contribui para o arrefecimento através da existência de um orifício superior no vidro e inferior no elemento acumulador que favoreça a ventilação (*vd.* figura 3.9 – B). Durante a noite, no Verão, devem estar abertos os orifícios de ventilação do vidro (superior e inferior) para que ocorra o arrefecimento na caixa-de-ar e consequentemente da parede.

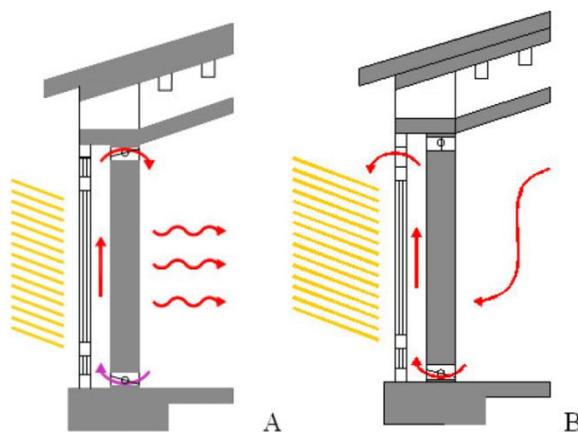


Figura 3.9. Parede de Trombe ventilada durante o dia: A - Situação de Inverno B - Situação de Verão (adaptado de Farinha, F., 2007)

### 3.2.1.7. Ventilação natural e arrefecimento passivo

A ventilação tem por finalidade evacuar o ar interior viciado e substituí-lo por ar exterior novo. Deste modo, contribui decisivamente para a melhoria da qualidade do ar no interior dos edifícios e, por conseguinte, do conforto e bem-estar dos seus ocupantes.

A ventilação natural ocorre apenas devido a fenómenos naturais, ou seja, desprovida de meios mecânicos auxiliares. Esta verifica-se quando existem diferenças de pressão de ar entre os ambientes exterior e interior, diferenças essas provocadas pela acção do vento e pela diferença de temperatura entre o ambiente exterior e o ambiente interior.

No Inverno, quando a temperatura exterior apresenta quase sempre valores abaixo das condições de conforto interessa balizar as infiltrações. No entanto, a renovação do ar interior é uma medida necessária à manutenção das condições de salubridade interior dos edifícios pelo que deve ser sempre assegurado um mínimo recomendável através de um sistema de ventilação adequado. No Verão, a ventilação natural assume um papel de relevo no arrefecimento nocturno dos edifícios.

O arrefecimento passivo pode ser conseguido de variadas formas:

- Arrefecimento evaporativo: Esta estratégia baseia-se na diminuição da temperatura através da evaporação da água. Quando o decréscimo é acompanhado de um aumento do conteúdo de vapor de água, trata-se de um arrefecimento evaporativo directo. Neste caso, o ar exterior é arrefecido por evaporação da água antes de entrar no edifício.
- Arrefecimento radiativo: Nesta estratégia de arrefecimento, faz-se uso da emissão de radiação por parte dos elementos da envolvente exterior do edifício. As perdas por radiação ocorrem tanto no período diurno como no período nocturno. No entanto, é durante o período nocturno que os seus efeitos se fazem sentir mais em virtude da ausência de radiação solar directa.
- Arrefecimento pelo solo: O solo, estando a uma temperatura inferior à do edifício, pode contribuir, no Verão, para uma dissipação de calor. No caso de arrefecimento por contacto directo com o solo, a envolvente do edificio actua como condutora do calor. Na situação de arrefecimento por contacto indirecto, o interior do edifício está associado a condutas subterrâneas.

### 3.2.2. Soluções activas de reabilitação energética

#### 3.2.2.1. Sistemas solares térmicos

Apenas em 20 minutos chega à Terra tanta energia como a que toda a humanidade consome durante um ano. O sol fornece esta energia de forma natural, gratuita e sem prejudicar o meio ambiente. Posto isto, a energia solar é a energia electromagnética proveniente do sol, onde é produzida através de reacções nucleares e que, propagando-se através do espaço interplanetário, incide na superfície da Terra. O total dessa energia solar que incide na superfície da Terra num ano é superior a 10 000 vezes o consumo anual de energia bruta da humanidade. Assim, os sistemas solares térmicos aproveitam este tipo de energia para diversas aplicações tais como a produção de AQS para uso doméstico, hospitais, hotéis, etc., e também para aquecimento de piscinas.

A energia solar que incide sobre a cobertura de vidro que compõe a parte superior de um colector solar, transfere-se para o fluido circulante no interior dos tubos que constituem o colector. Este fluido, após sofrer o aquecimento, circula em circuito fechado e transfere calor para a água acumulada num depósito, aquecendo-a. Este é o princípio de funcionamento de um sistema solar térmico (vd. figura 3.10).



Figura 3.10. Princípio de funcionamento de um sistema solar térmico (adaptado de topfrio.pai.pt)

Uma vez que os sistemas solares térmicos são o principal assunto do presente relatório, este tema será abordado mais pormenorizadamente no capítulo seguinte.

### **3.2.2.2. Sistemas de microprodução**

A microprodução, ou microgeração, consiste na produção de energia eléctrica para venda ao distribuidor, através de instalações de baixa tensão e pequena potência.

Nos termos do Decreto-Lei nº 363/2007, o produtor encontra-se no pleno direito de instalar um equipamento de microgeração com uma potência máxima de 50% da potência contratada e de vender à Rede Eléctrica de Serviço Público (RESP) toda a energia que produz, devendo para isso registar-se no Sistema de Registo de Microprodução (SRM). O regime remuneratório definido é atribuído somente à energia activa entregue à RESP e pode variar entre dois tipos:

- Condições em Regime Geral: Qualquer produtor de baixa tensão que instale unidades de produção de electricidade monofásica com potência de ligação até 5,75 kW;
- Condições em Regime Bonificado: Produtor com unidades de microgeração com potências de ligação até 3,68 kW que utilizem fontes de energia renovável.

As instalações de microprodução com tarifa bonificada podem utilizar sistemas de produção de electricidade com tecnologia solar, eólica, hídrica ou de cogeração a biomassa. A solução mais utilizada é a tecnologia solar fotovoltaica. Estes sistemas utilizam painéis solares fotovoltaicos (*vd.* figura 3.11) para converter directamente a radiação solar em energia eléctrica, por efeito fotoelétrico.

Nos sistemas fotovoltaicos a radiação solar é convertida em energia eléctrica por intermédio dos chamados semicondutores, que são configurados em elementos denominados de células fotovoltaicas. Os semicondutores feitos de silício são os mais usados na construção das células e o seu rendimento possível razoável é de cerca de 8-10%. Uma vez que cada célula produz uma corrente contínua de intensidade relativamente fraca, procede-se à sua associação para obter um conjunto denominado módulo fotovoltaico. O agrupamento de módulos, colocados numa mesma estrutura de suporte, forma um painel. Quando incide luz solar com

energia suficiente sobre estas estruturas, produz-se uma corrente de electrões, obtendo-se assim energia eléctrica utilizável.



**Figura 3.11. Tecnologia solar fotovoltaica (adaptado de [www.ambiafrica.com](http://www.ambiafrica.com))**



## 4. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

A energia solar térmica é uma das formas mais rentáveis de energia renovável e tem um enorme potencial de crescimento, dentro e fora da Europa. Este tipo de energia pode reduzir, em edifícios, até 70 a 80% o consumo de energia convencional (electricidade, gás natural, gás propano, etc.) para o aquecimento de água. De acordo com a figura 4.1, Portugal é um dos países da Europa com maior disponibilidade de radiação solar. O número médio anual de horas de sol em Portugal continental é um elemento climático de extrema importância que varia entre as 2200 e as 3000 horas.

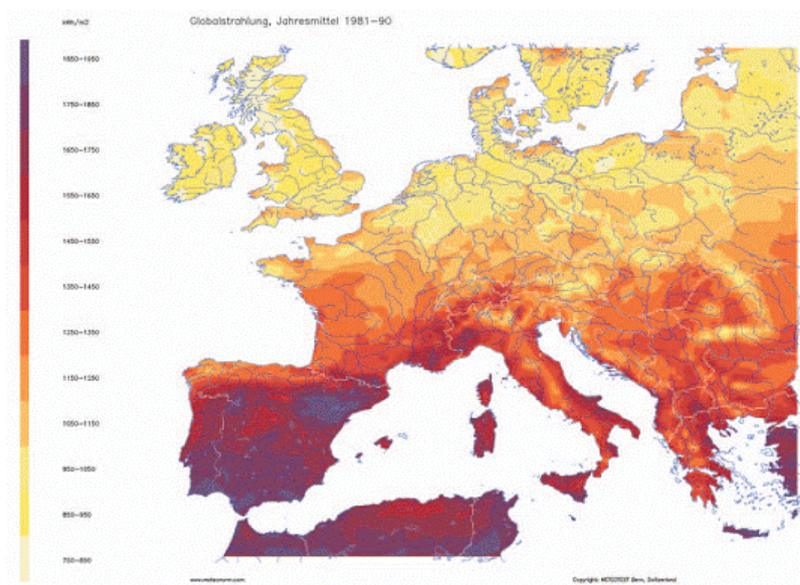


Figura 4.1. Mapa de radiação na Europa (adaptado de [www.energiasrenovaveis.com](http://www.energiasrenovaveis.com))

Contudo, este recurso poderia ser melhor aproveitado para usos tipicamente energéticos. Basta verificar alguns dos números relativos à difusão dos colectores solares térmicos na Europa para compreender que deveria ser feito algo mais em Portugal para a promoção da energia solar (*vd.* tabela 4.1).

Tabela 4.1. Difusão de colectores solares térmicos em alguns países da Europa (adaptado de *European Solar Thermal Industry Federation – ESTIF, 2007*)

Pais	2006 (existente) [m <sup>2</sup> ]	2007 (adicional) [m <sup>2</sup> ]
Alemanha	8 054 000	1 500 000
Grécia	3 287 200	300 000
Áustria	2 611 620	350 000
Itália	855 230	285 000
Espanha	702 160	325 000
França	615 600	275 000
Dinamarca	362 280	32 000
Reino Unido	250 920	70 000
Portugal	180 950	24 000

Com as medidas de dinamização do solar térmico previstas pelo PNAEE e com o Programa Solar Térmico 2009, o interesse e a procura pela energia solar sofreu um elevado aumento. Mas é de referir que, segundo a Associação Portuguesa da Indústria Solar (APISOLAR), o número de sistemas instalados durante o ano de 2012 decresceu cerca de 51% relativamente ao ano 2010, conforme apresentado na figura 4.2.

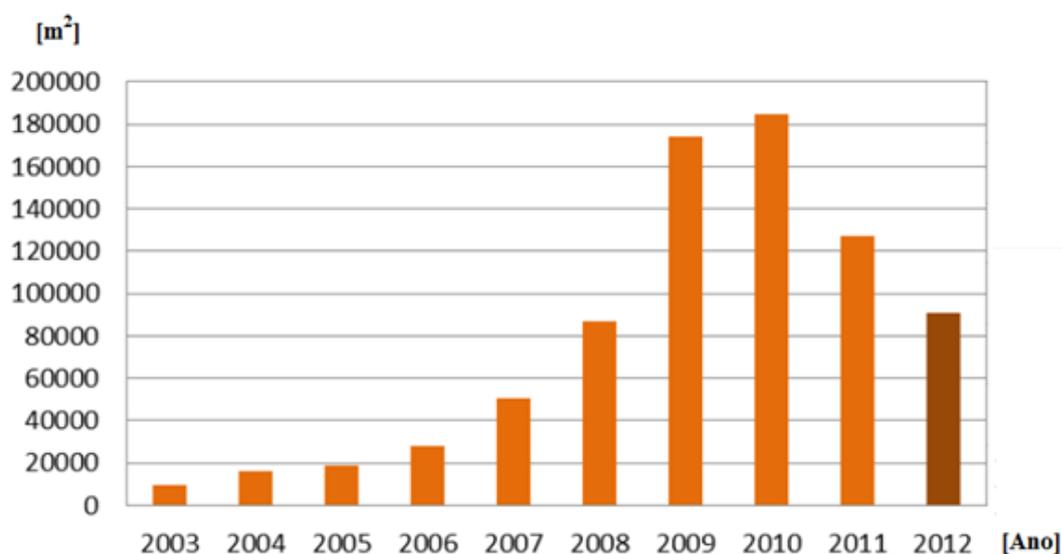


Figura 4.2. Evolução da capacidade (m<sup>2</sup>) instalada anualmente (adaptado de APISOLAR, 2012)

Já que este tipo de energia é bastante vantajoso, quer do ponto de vista energético quer ambiental, representando um contributo significativo para a redução das emissões de GEE, espera-se que esta tendência seja invertida no decorrer dos próximos anos.

## 4.1. Colectores solares

A tecnologia de aproveitamento da energia solar térmica activa mais comum é a dos colectores solares. Estes são dispositivos concebidos especificamente para recolher calor, isto é, para absorver luz do sol de maneira a produzir energia térmica. Existem diversos tipos de colectores solares, tais como o colector solar plano, os colectores concentradores, os colectores concentradores parabólicos e os colectores de tubos de vácuo.

### 4.1.1. Tipos mais utilizados

- Colector Solar Plano

Os colectores solares planos podem ser sem cobertura ou com cobertura. No primeiro caso (vd. figuras 4.3 e 4.4), estes são constituídos por uma esteira de tubos ligados nas extremidades a tubos colectores de maior diâmetro. Uma vez que não possuem cobertura, não podem superar temperaturas de 40-45°C. Deste modo, são principalmente utilizados no aquecimento de piscinas ou outras aplicações de baixa temperatura.



Figura 4.3. Colector solar plano sem cobertura (adaptado de Grade, A., Equipamentos Térmicos – Aulas Teóricas, 2012)

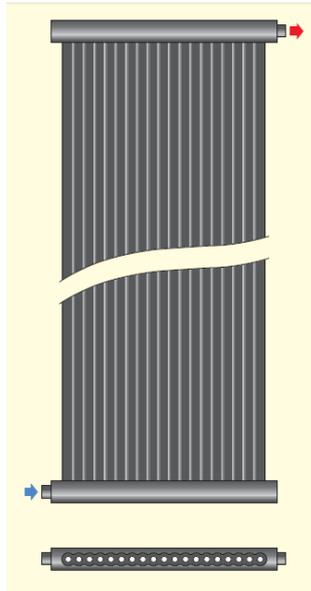


Figura 4.4. Coletor solar plano sem cobertura (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

O coletor solar plano com cobertura (vd. figuras 4.5 e 4.6) é o mais comum e é aplicado na produção de água quente a temperaturas inferiores a 60°C. É composto por uma cobertura transparente que provoca o efeito de estufa, reduz as perdas de calor e assegura, ainda, a estanquicidade do coletor. Possui uma placa absorvedora que tem como função receber a energia e transformá-la em calor, transmitindo-a para o fluido térmico que circula por uma série de tubos em paralelo ou em serpentina. Para obter maiores rendimentos existem superfícies selectivas que absorvem como um corpo negro mas perdem menos radiação. É, ainda, formado por uma caixa isolada termicamente que evita as perdas de calor, oferece rigidez e protege o interior do coletor dos agentes externos.



Figura 4.5. Coletor solar plano com cobertura (adaptado de osinovadores.net23.net, 2010)

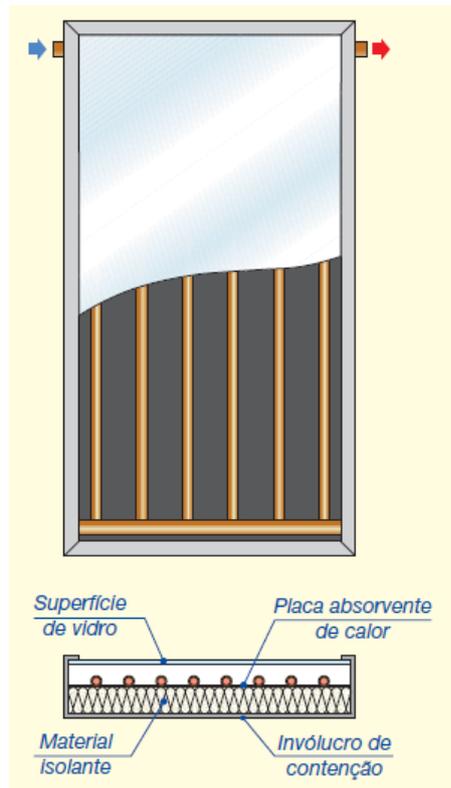


Figura 4.6. Coletor solar plano com cobertura (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

- Colectores Concentradores

Os colectores concentradores permitem atingir temperaturas mais elevadas. As perdas térmicas do receptor são proporcionais à sua superfície. Deste modo, reduzindo a superfície do receptor em relação à superfície de captação é possível reduzir as perdas térmicas na proporção dessa redução, podendo assim obter temperaturas mais elevadas. Acontece que, quanto maior é a relação entre a área de captação e a área de recepção, mais pequeno é o ângulo com a normal aos colectores segundo o qual têm que incidir os raios solares para serem captados, pelo que o colector deve manter-se sempre perpendicular aos raios solares, seguindo o sol no seu movimento aparente diurno. Isto é considerado uma desvantagem deste tipo de colectores, pois o mecanismo de controlo para fazer o colector seguir a trajectória do sol é bastante dispendioso e complicado, para além de só permitir a captação da radiação directa.

- Colectores Concentradores Parabólicos Compostos (CPC)

O desenvolvimento da óptica permitiu a descoberta de um novo tipo de colectores concentradores (*vd.* figura 4.7) que combinam as propriedades dos colectores planos, na medida em que podem ser montados em estruturas fixas e têm um grande ângulo de visão o que também permite a captação da radiação difusa, com a capacidade de produzirem temperaturas mais elevadas, como os concentradores convencionais.

A grande diferença entre estes colectores e os colectores planos é a geometria da superfície de absorção, que no caso dos concentradores parabólicos a superfície absorvedora é composta por uma grelha de alhetas em forma de acento circunflexo, colocadas por cima de uma superfície reflectora. A captação solar realiza-se nas duas faces das alhetas já que o sol incide na parte superior destas e os raios que são reflectidos acabam por incidir na parte inferior das alhetas, aumentando assim ainda mais a temperatura do fluido e diminuindo as perdas térmicas.



Figura 4.7. Colectores concentradores parabólicos compostos (CPC) (adaptado de [www.energiasrenovaveis.com](http://www.energiasrenovaveis.com))

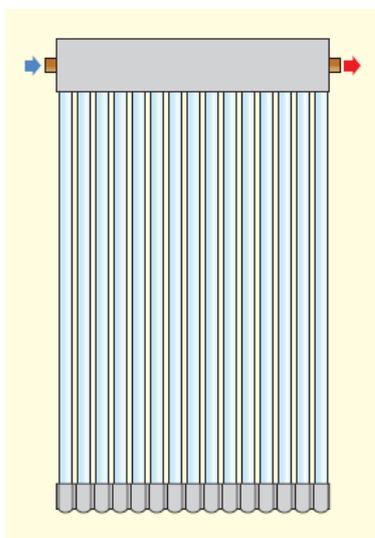
- Colectores de Tubos de Vácuo

Os colectores de tubos de vácuo (*vd.* figuras 4.8 e 4.9) consistem geralmente numa série de tubos de vidro sob vácuo, no interior dos quais estão colocados absorvedores. Esta é uma técnica de construção que permite limitar as dispersões térmicas dos colectores e assegurar, assim, rendimentos mais elevados.

Este tipo de colector pode produzir água quente até uma temperatura de 115-120°C, que permite que estes sejam utilizados no sector industrial, alimentar e agrícola. O custo bastante elevado é a principal desvantagem deste tipo de colector solar.



**Figura 4.8.** Colector de tubos de vácuo (adaptado de Grade, A., Equipamentos Térmicos – Aulas Teóricas, 2012)



**Figura 4.9.** Colector de tubos de vácuo (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

### 4.1.2. Local e modo de instalação

Os colectores solares devem ser instalados em superfícies que permitam uma boa insolação, uma fixação segura e uma manutenção adequada.

Para obter uma boa insolação existem três aspectos que devem ser considerados:

1. A formação de possíveis zonas de sombra;
2. O ângulo de orientação dos colectores;
3. O ângulo de inclinação dos colectores relativamente ao plano horizontal.

- Zonas de Sombra

O ambiente circundante pode induzir sombras nos colectores, reduzindo desta forma o seu rendimento. Deste modo, antes de decidir onde instalar os colectores deve verificar-se se existem obstáculos capazes de impedir ou limitar a irradiação directa tais como edifícios, muros, elevações, vegetação, etc. Nestes casos, a sombra induzida por estes obstáculos deve ser muito limitada ou de curta duração para não penalizar demasiado o rendimento dos colectores.

A existência ou não de sombras provocadas por obstáculos e a sua duração pode ser determinada com a ajuda de diagramas solares ( projecção estereográfica cilíndrica ou esférica) capazes de fornecer a posição do sol relativamente a cada dia do ano e a cada hora do dia. O diagrama solar da figura 4.10 refere-se a uma latitude de 40° Norte, que é aproximadamente a latitude de Portugal continental.

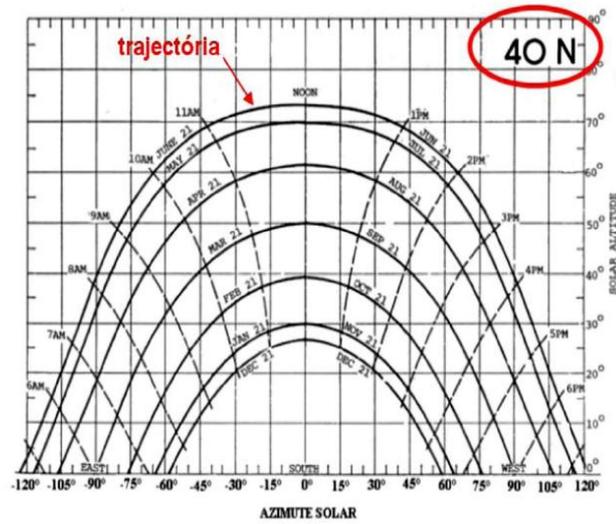


Figura 4.10. Diagrama solar para uma latitude de 40° (adaptado de Grade, A., Equipamentos Térmicos – Aulas Teóricas, 2012)

Entre as sombras induzidas pelo ambiente circundante, devem considerar-se também aquelas que os colectores possam projectar sobre si próprios quando estão dispostos em filas (vd. figura 4.11).

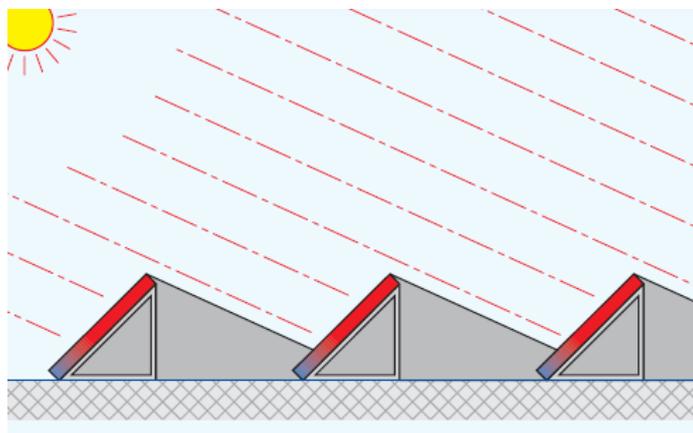
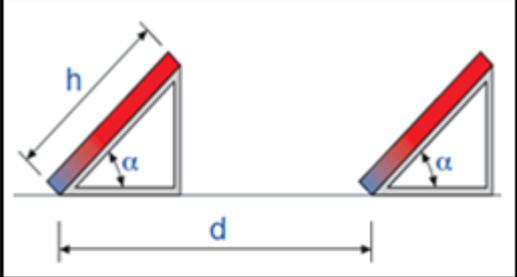


Figura 4.11. Sombras projectadas pelos próprios colectores (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

Para evitar este sombreamento, e tendo em conta as latitudes do nosso país, pode adoptar-se, entre cada fila, as distâncias indicadas na tabela 4.2. No caso de existir falta de espaço, esta distância poderá ser reduzida 25%.

Tabela 4.2. Distâncias aconselhadas entre colectores (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)



<b>Funcionamento no período estivo</b>	
para $\alpha = 30^\circ$	$\rightarrow d = h \cdot 1,9$
para $\alpha = 45^\circ$	$\rightarrow d = h \cdot 2,0$
para $\alpha = 60^\circ$	$\rightarrow d = h \cdot 2,1$
<b>Funcionamento no período outonal</b>	
para $\alpha = 30^\circ$	$\rightarrow d = h \cdot 2,3$
para $\alpha = 45^\circ$	$\rightarrow d = h \cdot 2,7$
para $\alpha = 60^\circ$	$\rightarrow d = h \cdot 2,8$

- Ângulo de Orientação

No nosso hemisfério, a orientação ideal dos colectores é a virada para o Sul geográfico (vd. figura 4.12). No entanto, são admissíveis desvios até  $\pm 20^\circ$ , pois não acarretam penalizações significativas. Com variações de orientação de  $\pm 30^\circ$  relativamente a Sul, a energia solar anual recebida tem uma redução inferior a 4%.

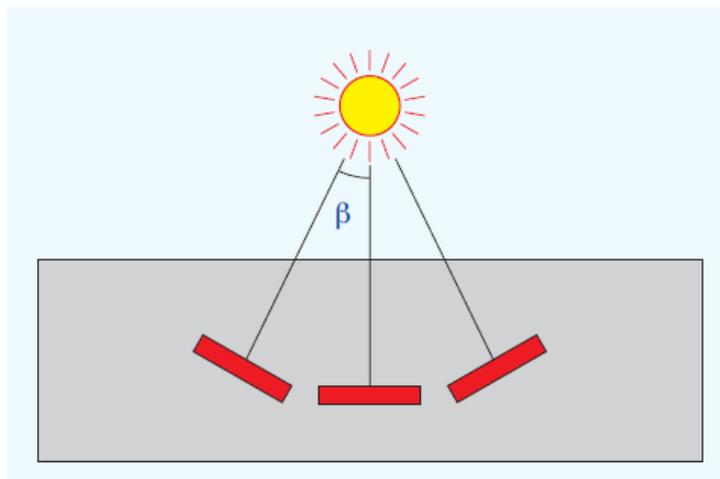


Figura 4.12. Ângulo de orientação dos colectores relativamente a Sul (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

- Ângulo de Inclinação

Se os colectores forem colocados numa cobertura inclinada, geralmente convém manter a mesma inclinação da cobertura (vd. figura 4.13).

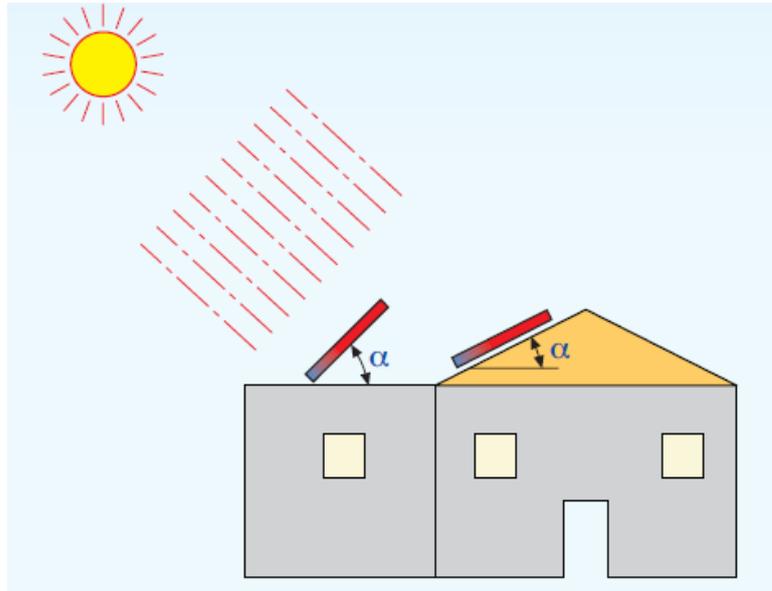


Figura 4.13. Ângulo de inclinação dos colectores relativamente ao plano horizontal (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

Pelo contrário, se os colectores estiverem colocados em superfícies planas, na nossa latitude convém adoptar os seguintes ângulos de inclinação:

- ⇒  $\alpha = 15 - 35^\circ$  para instalações com funcionamento no Verão;
- ⇒  $\alpha = 45 - 65^\circ$  para instalações com funcionamento no Inverno;
- ⇒  $\alpha = 25 - 45^\circ$  para instalações com funcionamento anual.

## 4.2. Depósitos de acumulação de energia solar

Uma vez que a energia solar não está sempre disponível torna-se necessário recorrer a sistemas de acumulação para que possamos utilizar os serviços a ela ligados de forma contínua.

Existem diferentes sistemas de acumulação que podem ser produzidos com substâncias líquidas, sólidas ou materiais com mudança de fase. Neste relatório consideraram-se apenas os sistemas com depósitos que contêm água, pois são praticamente os únicos adoptados em instalações solares para uso doméstico.

- Depósitos com Câmara Interna

Este tipo de depósito apresenta, na sua superfície lateral, uma câmara onde pode circular o líquido proveniente dos colectores (vd. figura 4.14). São utilizados sobretudo em instalações de pequenas dimensões.

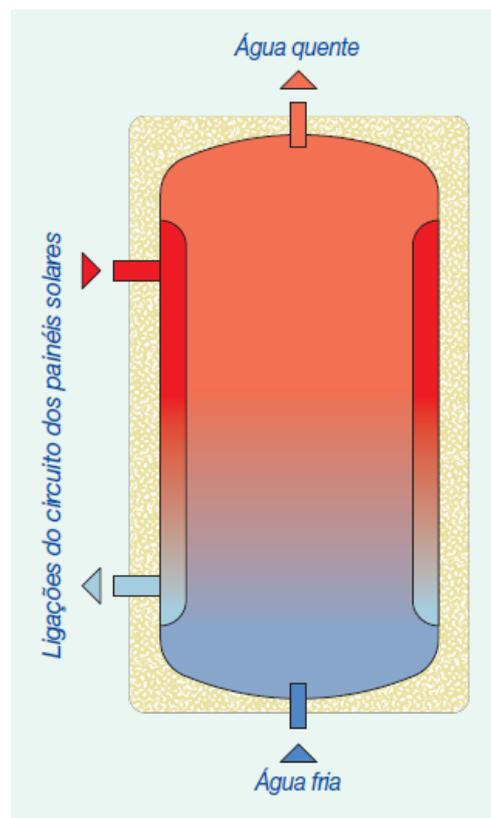


Figura 4.14. Depósito com câmara interna (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

▪ Depósitos de Serpentina

Podem ser simples (vd. figura 4.15) ou de dupla serpentina (vd. figura 4.16). Os depósitos de serpentina simples servem apenas para acumular calor. Por sua vez, os de dupla serpentina servem também para aquecer a água (se necessário) até à temperatura de utilização necessária. São utilizados em instalações de pequenas e médias dimensões.

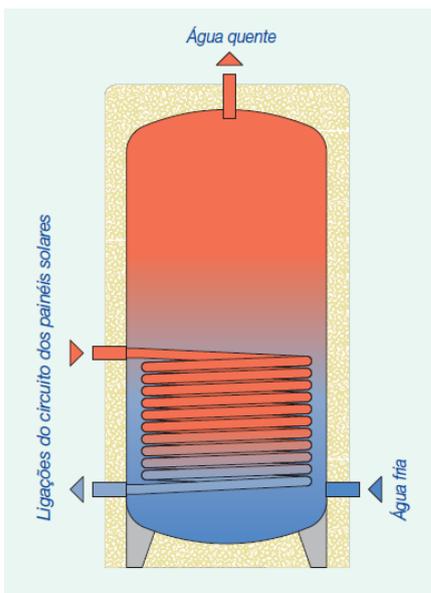


Figura 4.15. Depósito de serpentina simples (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

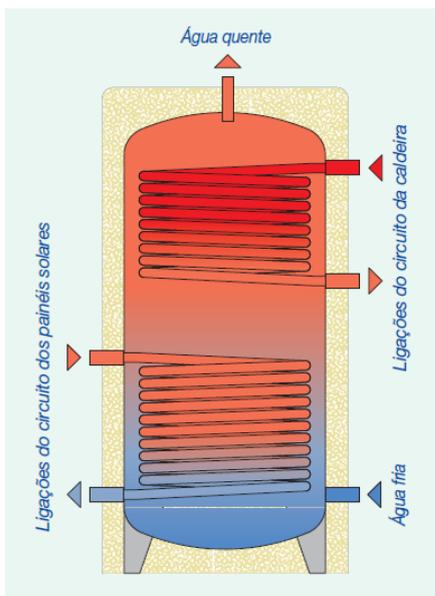


Figura 4.16. Depósito de dupla serpentina (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

### ▪ Depósitos Combinados

São depósitos com contentor duplo, também conhecidos por “*tank in tank*” que significa “depósito no depósito”. Este tipo de depósito é utilizado em instalações solares combinadas, ou seja, em instalações solares que produzem água quente sanitária e aquecimento.

O depósito maior contém a água que serve para fazer funcionar a instalação de aquecimento e, por sua vez, o mais pequeno contém a água que se destina a alimentar a instalação sanitária (vd. figura 4.17).

Os depósitos “*tank in tank*” tornam mais fácil e simples a realização das instalações solares combinadas já que permitem ligar directamente ao depósito todos os circuitos (o circuito solar, o circuito de integração do calor da caldeira, o circuito da instalação de aquecimento e o circuito da água quente sanitária).

Estes depósitos são utilizados sobretudo em instalações de pequenas e médias dimensões.

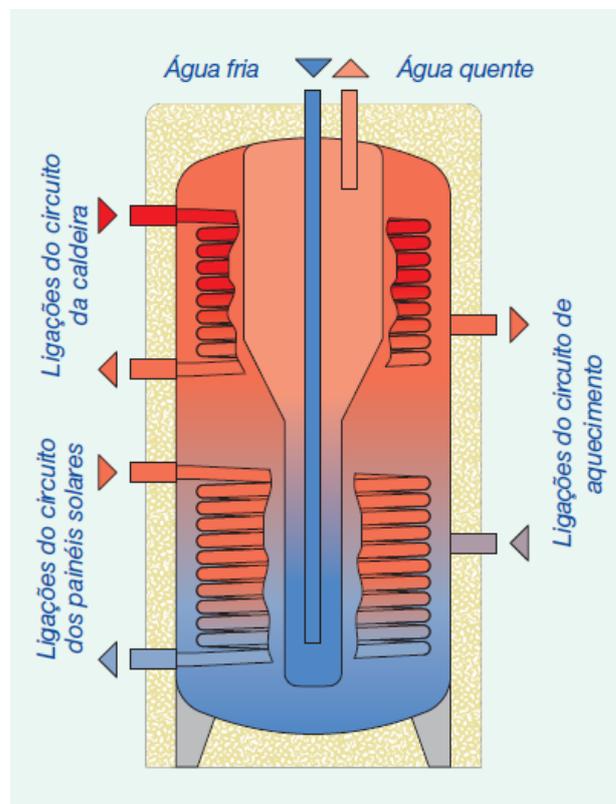


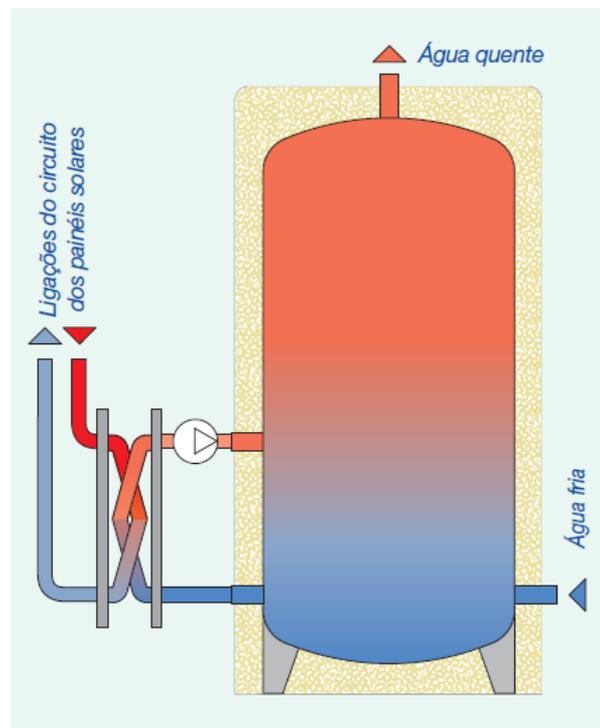
Figura 4.17. Depósito combinado (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

- Depósitos sem Permutadores Internos

Estes são constituídos por simples depósitos de acumulação (vd. figura 4.18). A troca térmica com o líquido proveniente dos colectores é efectuada com permutadores externos de placas (mais compactos) ou tubulares. Estes últimos, como possuem secções de passagem mais amplas, estão menos expostos aos perigos de bloqueio devido a incrustações e depósitos de sujidade.

Comparativamente aos permutadores internos, a utilização de permutadores externos permite uma troca térmica de potências mais elevadas, oferece a possibilidade de servir vários depósitos com um único permutador e facilita, dada a autonomia dos depósitos dos permutadores, a realização de variantes e integrações do sistema de acumulação.

Estes depósitos e o respectivo sistema de troca térmica são utilizados em instalações de médias e grandes dimensões.



**Figura 4.18.** Depósito simples com permutador externo (adaptado de Revista Hidráulica 25 – Caleffi, 2006)

- Materiais utilizados

Na tabela 4.3 apresentam-se as vantagens e desvantagens de diversos materiais utilizados na construção de depósitos.

Tabela 4.3. Materiais utilizados na construção de depósitos (adaptado de Grade, A., Equipamentos Térmicos – Aulas Teóricas, 2012)

Material	Vantagens	Desvantagens
<b>Aço vitrificado</b>	Baixo custo de produção Versatilidade de opções	Resistência à corrosão Temperaturas de armazenamento até 65°C Necessidade de protecção catódica
<b>Aço inoxidável</b>	Boa performance Resistência à corrosão	Elevado custo de produção
<b>Cobre estanhado</b>	Excelente comportamento à temperatura Resistência à corrosão	Elevado custo de produção

Dado o seu baixo custo de produção, o material mais utilizado na construção de depósitos é o aço vitrificado. Apresenta como inconveniente a necessidade de protecção interior contra a corrosão, seja mediante a pintura tipo “epóxi”, com ânodo anti-corrosão de magnésio, ou galvanizado em quente.

O aço inoxidável é uma boa opção, já que tem todas as vantagens, apresentando como principal inconveniente o seu elevado preço.

### 4.3. Tipos de circulação

A transferência do calor captado pelos colectores para o fluido térmico pode realizar-se de duas formas: por circulação forçada com uma bomba ou por circulação natural (termossifão).

A escolha entre um sistema ou outro dependerá da carga energética e da possibilidade de colocar o depósito acumulador acima da bateria de colectores. Em definitivo, o termossifão é

aconselhável para pequenas instalações e a circulação forçada é indicada para instalações médias ou grandes.

### 4.3.1. Circulação natural

Quando o depósito se encontra a um nível superior ao do colector a circulação é feita de forma natural (*vd.* figura 4.19), sem o auxílio de circuladores. À medida que a temperatura do fluido do colector aumenta este torna-se menos denso e sobe até ao depósito. O permutador de calor realiza a transferência de energia entre o fluido e a água no interior do depósito. O fluido arrefece tornando-se mais denso e assim desce novamente ao colector dando lugar ao fluido que, simultaneamente, no colector se tornou menos denso.

Este é um tipo de instalação mais barato e com menos manutenção devido à ausência de órgãos mecânicos e controlos electrónicos embora apresente como inconvenientes a menor eficiência relativamente ao sistema de circulação forçada, bem como o aspecto estético, uma vez que todo o sistema tem de ser colocado no exterior.

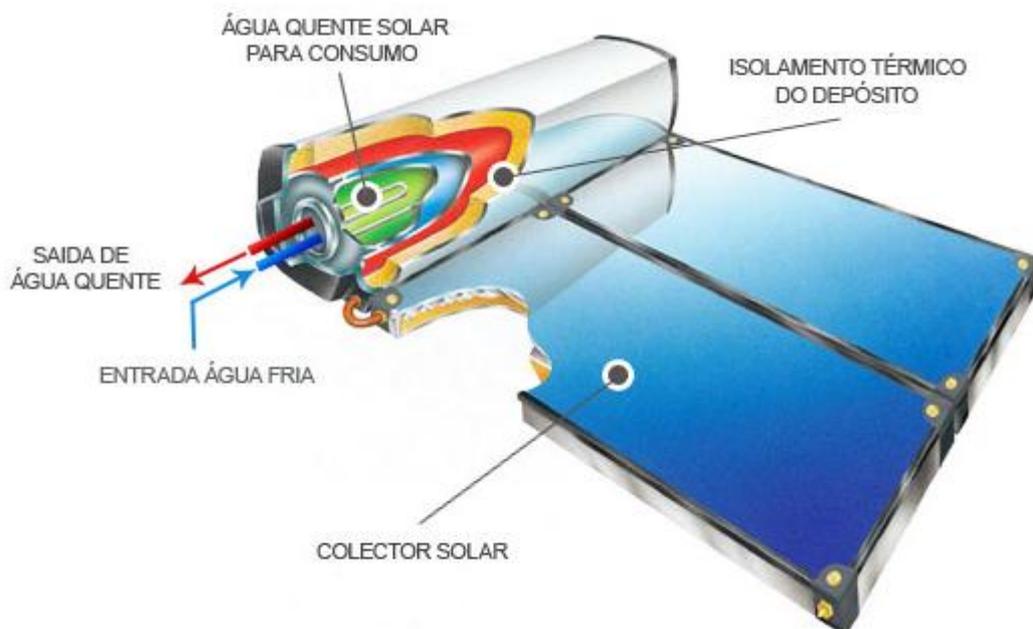


Figura 4.19. Circulação natural (adaptado de [www.solarproject.pt](http://www.solarproject.pt))

### 4.3.2. Circulação forçada

Neste tipo de sistema (vd. figura 4.20), a circulação do fluido do circuito primário é efectuada através de uma bomba circuladora que faz movimentar o fluido térmico entre o colector e o permutador do depósito acumulador. Neste caso o depósito de acumulação encontra-se fisicamente separado dos colectores (normalmente no interior do edifício, ao abrigo de intempéries e baixas temperaturas). O aquecimento da água acumulada no depósito ocorre mediante a permuta de temperatura do fluido térmico que circula num circuito fechado que transporta energia térmica dos colectores solares a um permutador do depósito. A circulação do fluido é comandada por uma unidade de controlo (regulador solar) que, em sistemas simples, reage à diferença de temperatura do fluido térmico à saída dos colectores e a temperatura da água na parte inferior do depósito de acumulação.

Este sistema é muito mais eficiente que o anterior, e é recomendado como primeira opção sempre que estejamos na presença de consumos médios/grandes de água quente sanitária.

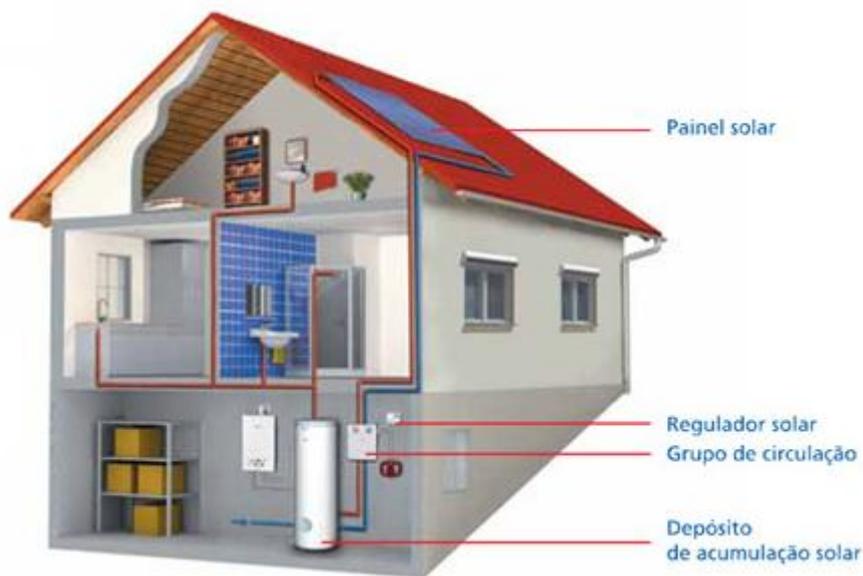


Figura 4.20. Circulação forçada (adaptado de [www.paineissolares.gov.pt](http://www.paineissolares.gov.pt))

## **5. PROJECTO DE EXECUÇÃO**

### **5.1. Introdução**

O presente projecto refere-se à implementação de um sistema solar térmico para aquecimento das águas sanitárias (AQS) do Lar de Idosos da Casa do Povo de Alagoa, sito na freguesia de Alagoa, concelho de Portalegre.

Na concepção do sistema solar térmico foram tidos em consideração aspectos de segurança, conforto e qualidade.

A instalação térmica existente é constituída pelos seguintes equipamentos, que servirão de apoio ao sistema solar sempre que este não satisfaça as necessidades energéticas:

- 1 Caldeira a gás propano;
- 1 Depósito acumulador com 500 litros.

Uma vez que este é um projecto real, executado pela empresa acolhedora do estágio curricular, foi necessário cumprir todas as exigências do caderno de encargos da obra em questão, como o número de colectores solares a instalar, a sua inclinação, o volume do depósito utilizado, etc. No entanto, efectuou-se uma análise energética ao sistema no sentido de o otimizar.

Nos anexos 1 e 2 encontra-se um esquema de princípio onde se define os princípios básicos do sistema a instalar, assim como a planta de localização dos painéis solares no telhado do edifício orientados para sul.

### **5.2. Dimensionamento**

#### **5.2.1. Dados de cálculo**

Os elementos de cálculo a seguir indicados foram recolhidos do caderno de encargos.

- Local

Morada: Rua Barreiro das Varandas, n° 48, Alagoa

Coordenadas: 39,26° N, -7,41° W

- Instalação

Azimute Solar: Sul

Inclinação: 40° (valor posteriormente alterado pela optimização energética)

Sombreamento: Nada a assinalar

- Número médio de utilizadores

A utilização média diária da instalação é de 50 utentes.

- Dados de AQS

Na Tabela 5.1 apresentam-se os dados de AQS.

**Tabela 5.1. Dados de AQS**

Temperatura da água da rede	15°C
Temperatura de acumulação da água quente	60°C
Temperatura de utilização da água quente	45°C
Volume máximo de água a 45°C, para 1 duche	40 litros

### 5.2.2. Aquecimento de águas

Atendendo ao número de utentes e a um banho de chuveiro diário, foi instalado um depósito vertical adicional de 2000 litros de modo a garantir uma adequada resposta às necessidades de AQS.

O depósito já existente (500 litros) foi mantido, sendo uma mais valia para a instalação na medida em que, desta forma, o novo depósito instalado (2000 litros) funcionará a uma temperatura mais baixa, melhorando assim a transferência de calor.

A tabela 5.2 ilustra a distribuição anual da energia térmica (*Solterm 5.1 – vd. anexo 3*) necessária para satisfazer as necessidades de AQS do Lar de Idosos da Casa do Povo de Alagoa.

Tabela 5.2. Distribuição anual da energia térmica

Mês	Energia Térmica necessária [kWh]
Janeiro	3494
Fevereiro	3134
Março	3407
Abril	3223
Mai	3208
Junho	2974
Julho	2960
Agosto	2973
Setembro	2956
Outubro	3219
Novembro	3271
Dezembro	3484
<b>ANUAL</b>	<b>38302</b>

### 5.2.3. Dimensionamento da instalação solar

Como foi referido no início do presente capítulo, o número de colectores solares a instalar era exigência do caderno de encargos. Assim, foram instalados 16 colectores solares que ocupam 32 m<sup>2</sup> em plano horizontal. Estes foram colocados com uma inclinação de 40° e um azimute

Sul, sendo que, também o valor do ângulo de inclinação era exigência do caderno de encargos. Tendo em consideração os dados anteriormente apresentados, a instalação do sistema permitirá obter os resultados da tabela 5.3.

Tabela 5.3. Distribuição anual da energia térmica

Mês	Energia Térmica necessária [kWh]	Energia Térmica fornecida [kWh]	Energia Térmica de apoio [kWh]
Janeiro	3494	1683	1811
Fevereiro	3134	1698	1436
Março	3407	2114	1293
Abril	3223	2225	999
Mai	3208	2463	745
Junho	2974	2466	508
Julho	2960	2713	247
Agosto	2973	2744	228
Setembro	2956	2488	468
Outubro	3219	2206	1013
Novembro	3271	1787	1484
Dezembro	3484	1548	1936
<b>ANUAL</b>	<b>38302</b>	<b>26135</b>	<b>12167</b>

Apesar da instalação ter seguido as exigências do caderno de encargos, efectuou-se uma análise energética ao sistema de modo a optimizá-lo, recorrendo, uma vez mais, ao *Solterm 5.1*.

Os critérios utilizados pelo *software* para a optimização da instalação solar foram:

- Aumentar a fracção solar;
- Reduzir o desperdício de energia solar;
- Reduzir o fornecimento de energia de apoio;
- Optimizar a orientação dos colectores.

De todos os critérios mencionados, a optimização da orientação dos colectores solares foi o único que sofreu alteração, modificando o ângulo de inclinação para 38° (*vd.* anexo 4). Desta

forma, conseguir-se-ia um aumento da energia térmica fornecida, diminuindo, assim, a energia térmica de apoio (vd. tabela 5.4).

Tabela 5.4. Distribuição anual de energia térmica

Mês	Energia Térmica necessária [kWh]	Energia Térmica fornecida [kWh]	Energia Térmica de apoio [kWh]
Janeiro	3494	1656	1838
Fevereiro	3134	1683	1451
Março	3407	2117	1290
Abril	3223	2249	975
Mai	3208	2502	706
Junho	2974	2505	469
Julho	2960	2732	228
Agosto	2973	2753	220
Setembro	2956	2496	460
Outubro	3219	2197	1023
Novembro	3271	1762	1508
Dezembro	3484	1520	1964
<b>ANUAL</b>	<b>38302</b>	<b>26172</b>	<b>12131</b>

No caso de fixarmos a capacidade do depósito e optimizarmos o número de colectores solares, usando o critério da redução do fornecimento de energia de apoio, obter-se-ia uma instalação solar com 17 colectores para o mesmo ângulo de inclinação optimizado de 38° (vd. anexo 5). O aumento da energia térmica fornecida seria ainda mais significativo, mas, em contrapartida, o custo da instalação solar seria mais elevado, uma vez que o cliente teria de suportar a despesa de mais um colector solar.

- Dados de cálculo

Na tabela 5.5 apresentam-se as propriedades do fluido [calor específico ( $c_p$ ), massa volúmica ( $\rho$ ) e viscosidade cinemática ( $\nu$ )] para uma mistura de 25% de anticongelante.

Tabela 5.5. Propriedades do fluido

Propriedades do Fluido	
$c_p$ [J/kg.°C]	3976
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1018,3
$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	0,0000012

Na tabela 5.6 são apresentadas as características do colector solar, nomeadamente o rendimento óptico do colector ( $\eta_o$ ), o coeficiente de perdas de calor linear ( $a_1$ ), o coeficiente de perdas de calor quadrático ( $a_2$ ), a área e o conteúdo em água.

Tabela 5.6. Características do colector solar

Características do Colector	
$\eta_o$	0,81
$a_1$ [W/m <sup>2</sup> .K]	3,954
$a_2$ [W/m <sup>2</sup> .K]	0,009
Área [m <sup>2</sup> ]	1,999
Conteúdo em água [l]	1,47

### 5.2.3.1. Determinação da tubagem no circuito primário

As tubagens dos sistemas solares permitem a circulação do fluido em toda a instalação. O seu diâmetro mínimo deve ser calculado por forma a que as perdas de carga não atinjam valores superiores ao razoável. Assim, a secção da tubagem é condicionada por uma velocidade máxima de circulação dos fluidos.

De acordo com o manual de Instalações Solares Térmicas, do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), a velocidade máxima recomendada é de 1,5 m/s para o circuito primário. Relativamente a perdas de carga, é recomendado que, por cada metro linear de tubo, não deve exceder os 40 mm c. a.

Assim, com base nestes requisitos e no manual de Instalações Solares Térmicas do INETI, foi adoptada a seguinte metodologia de cálculo do diâmetro adequado para a tubagem do sistema solar térmico.

1) Caudal mássico do fluido térmico [ $\dot{m}$ ]

$$\dot{m} = \frac{10F'U_L}{C_p}$$

em que:

$\dot{m}$  – Caudal mássico do fluido térmico por unidade de área de colectores [ $kg/s \cdot m^2$ ]

$F'U_L$  – Coeficiente de perdas térmicas [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

Nota: Para um colector do tipo selectivo, o valor de  $F'U_L$  deverá ser entre 3 e 6, sendo que foi escolhido o valor intermédio ( $F'U_L = 4,5$ ).

$C_p$  – Calor específico [ $J/kg \cdot ^\circ C$ ]

2) Caudal mássico total do fluido térmico

$$\dot{m}_t = \dot{m} \times A_c$$

em que:

$\dot{m}_t$  – Caudal mássico total do fluido térmico [ $kg/s$ ]

$\dot{m}$  – Caudal mássico do fluido térmico por unidade de área [ $kg/s \cdot m^2$ ]

$A_c$  – Área dos colectores [ $m^2$ ]

3) Caudal volúmico do fluido térmico

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}_t}{\rho}$$

em que:

$\dot{Q}$  – Caudal volúmico do fluido térmico [ $m^3/s$ ]

$\dot{m}_t$  – Caudal mássico total do fluido térmico [ $kg/s$ ]

$\rho$  – Massa volúmica [ $kg/m^3$ ]

4) Diâmetro interior mínimo

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}}{\pi \cdot V}}$$

em que:

$d$  – Diâmetro interior do tubo [ $m$ ]

$\dot{Q}$  – Caudal volúmico do fluido térmico [ $m^3/s$ ]

$V$  – Velocidade [ $m/s$ ]

Nota: Assumiu-se uma velocidade de 0,5 m/s sendo este valor posteriormente corrigido.

## 5) Perda de carga

$$\Delta H = f \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot L \text{ [m. c. a]}$$

em que:

$\Delta H$  – Perda de carga produzida [m. c. a]

$f$  – Coeficiente de atrito

$d$  – Diâmetro interior do tubo [m]

$V$  – Velocidade [m/s]

$g$  – Aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

$L$  – Comprimento [m]

Como já foi referido anteriormente, de acordo com o manual de Instalações Solares Térmicas, do INETI, a perda de carga ( $\Delta H$ ) não deverá exceder os 40 mm c. a. por cada metro linear de tubo.

## 6) Tabela resumo dos cálculos

Na tabela 5.7 apresentam-se os resultados dos cálculos para o dimensionamento da tubagem.

No anexo 6 encontra-se um esquema da divisão da tubagem em troços (A, B, C e D) para os cálculos do diâmetro como estava indicado no caderno de encargos.

Tabela 5.7. Tabela resumo dos cálculos

Ponto	A	B	C	D
N.º de colectores	16	12	8	4
Área total [m <sup>2</sup> ]	31,98	23,99	15,99	8,00
Caudal mássico do fluido térmico [kg/s.m <sup>2</sup> ]	0,011	0,011	0,011	0,011
Caudal mássico total do fluido térmico [kg/s]	0,362	0,271	0,181	0,090
Caudal mássico total do fluido térmico [kg/h]	1303	977	652	326
Caudal volúmico do fluido térmico [l/h]	1280	960	640	320
Velocidade [m/s]	0,5	0,5	0,5	0,5
Diâmetro [mm]	30	26	21	15
Diâmetro corrigido [mm]	33	26	20	16
Velocidade corrigida [m/s]	0,42	0,50	0,57	0,44
Número de Reynolds	11430	10880	9430	5893
Coefficiente de Atrito	0,0295	0,0305	0,0314	0,0356
Comprimento [m]	1	1	1	1
Perda de carga linear produzida [mm.c.a]	7,871	15,077	25,615	22,156
Tubo Seleccionado (diâmetro comercial)	35	28	22	18

## 7) Resumo da tubagem seleccionada

Na tabela 5.8 indica-se um resumo da tubagem seleccionada.

Tabela 5.8. Resumo da tubagem seleccionada

Designação	Diâmetro Interno [mm]	Diâmetro Comercial [mm]	Perdas de Carga Linear [mbar/m]
Tubo A	33	35	0,786
Tubo B	26	28	1,506
Tubo C	20	22	2,559
Tubo D	16	18	2,213

### 5.2.3.2. Determinação da bomba circuladora

Para o dimensionamento da bomba circuladora foi necessário determinar a perda de carga total do circuito. Para tal, seguiu-se a metodologia proposta pelo manual de Instalações Solares Térmicas, do INETI, em comprimentos equivalentes.

Uma vez que para o dimensionamento da tubagem foi calculada a perda de carga linear produzida (*vd.* tabela 5.7), procedeu-se então ao cálculo do comprimento equivalente total para cada ponto do circuito, por forma a encontrar a perda de carga total.

Na tabela 5.9 apresenta-se o comprimento total equivalente para cada ponto do circuito.

Tabela 5.9. Cálculo do comprimento equivalente total

Ponto	Acessório ou Singularidade	Quantidade	Comp. Equiv. [m]	Comp. Equiv. Total [m]	Total [m]
A	Tubagem [m]	19	1,0	19,0	58,3
	Derivação em T	8	1,2	9,6	
	Entrada em depósito	3	1,4	4,2	
	Saída de depósito	2	1,0	2,0	
	Curva de 90°	11	0,3	3,3	
	Válvula de retenção	2	8,5	17,0	
	Válvula de seccionamento	6	0,4	2,4	
	Válvula de regulação	2	0,4	0,8	
B	Tubagem [m]	10	1,0	10	10,4
	Válvula de regulação	1	0,4	0,4	
C	Tubagem [m]	10	1,0	10	10,4
	Válvula de regulação	1	0,4	0,4	
D	Tubagem [m]	10	1,0	10	10,4
	Válvula de regulação	1	0,4	0,4	

A tabela 5.10 mostra o valor da perda de carga total do circuito.

Tabela 5.10. Cálculo da perda de carga total do circuito

Ponto	Perda de carga linear produzida [m.c.a.]	Comprimento Equivalente Total [m]	Perda de carga total [m.c.a.]
A	0,0079	58,3	0,46
B	0,0151	10,4	0,16
C	0,0256	10,4	0,27
D	0,0222	10,4	0,23
<b>Perda de carga total do circuito</b>			<b>1,11</b>

Uma vez que não se dispunha do valor da perda de carga em cada uma das baterias de colectores, esta foi estimada recorrendo ao Manual de Planeamento – Sistemas Solares Térmicos, da *Junkers*, com base no número de colectores por bateria e no caudal por colector.

Convém referir ainda que foi acrescentado o valor de 20% ao valor total da perda de carga de forma a garantir eventuais considerações que possam ter falhado.

Na tabela 5.11 indica-se o valor final da perda de carga total utilizado para o dimensionamento da bomba circuladora.

Tabela 5.11. Valor final da perda de carga total

Perda de carga total do circuito [m.c.a.]	Perda de carga nos colectores [m.c.a.]	Perda de carga total [m.c.a.]	Perda de carga total + 20% [m.c.a.]
1,11	0,92	2,03	2,44

A bomba circuladora foi determinada utilizando o *software wilo-select* disponibilizado pela *WILO* (vd. anexo 7). Para tal foram utilizados os seguintes valores:

- Caudal fornecido pelo *Solterm 5.1* – 1,296 m<sup>3</sup>/h.
- Perda de carga – 2,44 m.c.a.

### 5.2.3.3. Determinação do vaso de expansão

O vaso de expansão para o circuito primário foi dimensionado seguindo a metodologia indicada na Revista Hidráulica 25 da Caleffi.

#### 1) Cálculo do volume útil

$$V_U = (V_C \cdot e + V_P) \cdot k$$

em que:

$V_U$  – Volume útil do vaso de expansão [l]

$V_C$  – Conteúdo de líquido no circuito solar [l]

$e$  – Coeficiente de dilatação do líquido

Nota: Para a mistura água-glicol  $e = 0,070$ .

$V_P$  – Conteúdo de líquido nos colectores solares [l]

$k$  – Constante de segurança

Nota: Valor normalmente assumido  $k = 1,1$ .

A tabela 5.12 indica o volume, em litros, por metro de comprimento, para os diâmetros necessários.

**Tabela 5.12. Conteúdo em litros por metro de comprimento para diversos tubos (adaptado de Instalações Solares Térmicas, INETI)**

Diâmetro [mm]		Capacidade
Exterior	Interior	[l/m]
18	16	0,201
22	20	0,314
28	26	0,531
35	33	0,855

## 2) Cálculo do volume nominal

$$V_N = V_U \cdot (P_F + 1)/(P_F - P_I)$$

em que:

$V_N$  – Volume nominal do vaso de expansão [l]

$V_U$  – Volume útil do vaso de expansão [l]

$P_I$  – Pressão inicial [bar]

$P_F$  – Pressão final [bar]

## 3) Tabela resumo dos cálculos

Na tabela 5.13 apresentam-se os resultados dos cálculos para o dimensionamento do vaso de expansão.

Tabela 5.13. Tabela resumo dos cálculos

N.º de colectores	16
Conteúdo de líquido / colector [l]	1,47
Conteúdo de líquido nos colectores ( $V_P$ ) [l]	23,52
Conteúdo de líquido das tubagens e outros componentes [l]	28,00
Conteúdo de líquido no circuito solar ( $V_C$ ) [l]	51,52
Coefficiente de dilatação do líquido (e)	0,07
Constante de segurança (k)	1,10
Volume útil ( $V_U$ ) [l]	29,84
Pressão final ( $P_F$ ) [bar]	5,50
Pressão inicial ( $P_I$ ) [bar]	2,88
Volume nominal ( $V_N$ ) [l]	74,03
Volume comercial [l]	80,00

O vaso de expansão terá um volume de 80 litros.

### 5.3. Descrição geral da instalação

A instalação é basicamente constituída pelos seguintes equipamentos:

- 16 Colectores solares;
- 1 *Kit* hidráulico com bomba de circulação no circuito primário do sistema solar;
- 1 Depósito de acumulação solar de 2000 litros;
- 1 Caldeira a gás propano (existente);
- 1 Depósito de acumulação de 500 litros (existente).

### 5.4. Princípio de funcionamento

O sistema solar é constituído por dois circuitos que trocam energia térmica entre si no permutador de calor (permutador de serpentina do depósito de acumulação solar).

- Circuito primário – Neste circuito, circula o fluido térmico que absorve a energia da radiação solar. A radiação incidente no colector solar aquecerá o fluido do circuito

primário que trocará calor com a água de consumo através do permutador de calor do depósito de acumulação solar.

- Circuito secundário – Neste circuito, circula a água de consumo. A água proveniente da rede entra no depósito de acumulação solar onde é aquecida pelo fluido existente no circuito primário através do permutador de calor do depósito, entrando, depois, em circulação no circuito secundário. O depósito de acumulação existente na instalação receberá a água previamente pré-aquecida do depósito de acumulação solar. Receberá ainda o fluido quente proveniente da caldeira a gás, também já existente na instalação, e efectuará a transferência de calor para a água sempre que o sistema solar não satisfaça as necessidades térmicas.

O controlo do aquecimento do depósito de 2000 litros é assegurado por um controlador de temperatura diferencial, com sondas de temperatura na tubagem da saída dos colectores solares e no depósito de AQS.

Sempre que a diferença de temperatura ultrapassar 3°C este controlador ligará a bomba do circuito primário do aquecimento solar.

No caso da temperatura desejada no depósito de 500 litros não for atingida, este dará ordem de arranque à caldeira, efectuando o apoio ao sistema solar.

## **5.6. Instalação eléctrica**

A instalação eléctrica associada à instalação solar inclui a adaptação do quadro eléctrico existente na sala técnica, que alimentará os seguintes equipamentos:

- Bomba do circuito primário do sistema solar;
- Controlador de temperatura diferencial.

A partir deste quadro serão estabelecidos todos os circuitos de alimentação, comando e controlo dos equipamentos previstos nesta instalação.

## 5.7. Especificações técnicas

### 5.7.1. Colectores solares

Neste projecto foram instalados colectores solares da marca Solargus, modelo ESP1 (vd. figura 5.1), com as características apresentadas na tabela 5.14.



Figura 5.1. Colector solar (adaptado de catálogo Solargus)

Tabela 5.14. Características particulares do colector

Características Particulares	
Superfície bruta	2,306 m <sup>2</sup>
Superfície de óptica	1,991 m <sup>2</sup>
Pressão máxima de trabalho	8 bar
Rendimento óptico	81,10%

Os colectores solares instalados são constituídos por uma placa absorvente em alumínio, com tratamento superficial altamente selectivo. A cobertura é em vidro, temperado e com baixo conteúdo de ferro, o isolamento inferior é em lã de rocha com 50 mm de espessura, que se apoia na placa de alumínio do fundo. O isolamento lateral tem tiras de fibra de vidro e possui

uma carcaça em alumínio anodizado, fortemente isolada. Os colectores têm quatro ligações para a união entre os captadores através de acessórios de fácil montagem.

Neste projecto optou-se que os colectores fossem ligados em paralelo de canais quatro a quatro, formando assim quatro conjuntos de quatro colectores. Esta forma de ligação tem a vantagem de ter um custo reduzido, um bom rendimento e uma menor perda de carga.

Os colectores solares estão devidamente certificados inseridos dentro da marca de certificação europeia *SOLAR KEYMARK*.

### 5.7.2. Grupo hidráulico

A movimentação do fluido térmico no circuito primário realiza-se com a ajuda de uma bomba circuladora. Como já foi referido anteriormente, a bomba foi determinada utilizando o *software wilo-select*, obtendo assim uma bomba circuladora com as seguintes características:

- Bomba Wilo – Star – STG 25/4 (vd. figura 5.2);
- Tensão nominal de 230 V;
- Potência nominal de 15,5 W;
- Pressão máxima de 10 bar;
- Caudal máximo de 3,5 m<sup>3</sup>/h;
- Altura máxima de 4,0 m.



Figura 5.2. Bomba Wilo – Star – STG 25/4 (adaptado de catálogo Wilo)

### 5.7.3. Vaso de expansão solar

O vaso de expansão tem como finalidade compensar a dilatação que ocorre no fluido quando este é aquecido.

Como foi anteriormente determinado, o vaso de expansão solar tem uma capacidade de 80 litros. Para esta instalação optou-se por um vaso de expansão da marca Elbi, modelo DS-80 (vd. figura 5.3).



Figura 5.3. Vaso de expansão solar (adaptado de catálogo Elbi)

### 5.7.4. Tubagens

- Tubagem do circuito primário

O material utilizado na tubagem do circuito primário é o cobre. É um material amplamente utilizado em todo o tipo de instalações neste domínio, por ser tecnicamente adequado e economicamente competitivo.

O cobre resiste à corrosão, tanto dos líquidos que circulam pelo seu interior, como dos agentes exteriores, tais como, ar, humidade ou outros elementos que entrem em contacto com ele. A sua maleabilidade e ductilidade permitem uma cómoda manipulação e uma grande facilidade para realizar traçados complicados.

Como foi dimensionado anteriormente, a tubagem tem as características dimensionais apresentadas na tabela 5.15.

Tabela 5.15. Características dimensionais da tubagem

Designação	Diâmetro Interno [mm]	Diâmetro Comercial [mm]
Tubo A	33	35
Tubo B	26	28
Tubo C	20	22
Tubo D	16	18

- Isolamento da tubagem

Toda a tubagem de água quente foi devidamente isolada.

O isolamento térmico da tubagem foi executado com tubos de espuma elastomérica flexível, com espessura de 20 mm, sendo este o valor indicado para tubagem de cobre de diâmetro igual ou inferior a 35 mm, de acordo com o manual de Instalações Solares Térmicas, do INETI.

Os tubos de espuma elastomérica flexível foram colados à tubagem com cola de contacto, sendo as juntas devidamente colmatadas com cinta auto-adesiva do mesmo material.

- Tubagem do circuito secundário

A tubagem do circuito secundário a utilizar para interligação entre o depósito da alimentação da rede de distribuição e os demais componentes é em aço inoxidável AISI 316L.

## 5.7.5. Acessórios de tubagem

### 5.7.5.1. Válvulas de seccionamento

As válvulas de seccionamento têm como função estabelecer ou interromper o fluxo do fluido.

Na instalação foram utilizadas válvulas de esfera da marca Caleffi (*vd.* figura 5.4), com corpo em latão e acabamento exterior cromado.



Figura 5.4. Válvula de seccionamento (adaptado de catálogo Caleffi)

### 5.7.5.2. Válvulas de retenção

As válvulas de retenção são utilizadas quando se pretende que a passagem do fluido se dê apenas num único sentido, impedindo a circulação no sentido contrário.

Neste projecto foram utilizadas válvulas de retenção da marca Valcontrol. Foi utilizada uma válvula de retenção de charneira (vd. figura 5.5) com corpo em bronze e uma válvula de retenção do tipo clapeta (vd. figura 5.6) em aço inox.



Figura 5.5. Válvula de retenção de charneira (adaptado de catálogo Valcontrol)



Figura 5.6. Válvula de retenção do tipo clapeta (adaptado de catálogo Valcontrol)

### 5.7.5.3. Válvulas de regulação (caudalímetro)

As válvulas de regulação, como o próprio nome indica, regulam o caudal de fluido. Foram utilizadas válvulas de regulação da marca Troia (vd. figura 5.7) com corpo em latão. O caudalímetro tem visor rotativo e indicação permanente do caudal, em litros por minuto.



Figura 5.7. Regulador de caudal com caudalímetro (adaptado de catálogo Troia)

### 5.7.5.4. Válvulas de segurança

Estes dispositivos são instalados em todos os circuitos sujeitos a pressões e a variações de temperatura. São imprescindíveis para proteger os componentes da instalação e actuam com limitador da pressão no circuito.

No presente projecto foram instaladas válvulas de segurança da marca Caleffi. Foi instalada uma válvula de segurança Caleffi, da série 253 (vd. figura 5.8), antes do vaso de expansão, controlando assim a pressão do circuito primário. Foi também instalada uma válvula de segurança da série 311 (vd. figura 5.9) para protecção do termoacumulador. Procedeu-se, ainda, à instalação de uma terceira válvula de segurança combinada por temperatura e pressão, da série 309 da Caleffi (vd. figura 5.10), no topo do termoacumulador de água quente solar, de modo a que esta possa controlar e limitar a temperatura e pressão da água quente, evitando assim que se possam atingir temperaturas superiores a 100°C com formação de vapor. No caso de serem atingidos os valores de regulação, a válvula descarrega para a atmosfera uma quantidade de água suficiente para fazer com que a temperatura e a pressão reentrem nos limites de funcionamento da instalação.



**Figura 5.8. Válvula de segurança Caleffi série 253 (adaptado de catálogo Caleffi)**



**Figura 5.9. Válvula de segurança Caleffi série 311 (adaptado de catálogo Caleffi)**



**Figura 5.10. Válvula de segurança Caleffi série 309 (adaptado de catálogo Caleffi)**

#### 5.7.5.5. Válvulas misturadoras termostáticas

As válvulas misturadoras termostáticas permitem a mistura da água fria da rede com a água quente do depósito para uma dada temperatura regulada, pretendida para o consumo.

Neste projecto foi utilizada uma válvula misturadora termostática da marca Caleffi (vd. figura 5.11) de fabrico em latão com acabamento exterior cromado. A sua temperatura e pressão estática máximas de trabalho são de, respectivamente, 85°C e 14 bar.

O dimensionamento desta válvula foi feito recorrendo a um *software* disponibilizado pela Caleffi, cujo relatório se encontra no anexo 8.



Figura 5.11. Válvula misturadora termostática (adaptado de catálogo Caleffi)

#### 5.7.5.6. Purgadores de ar

Os purgadores de ar são dispositivos que têm por finalidade deixar escapar os gases das tubagens do sistema, geralmente o ar. A ausência de ar no sistema é de extrema importância para não impedir a circulação dos fluidos. Nos pontos mais elevados da instalação deve ser contemplado um purgador, pelo facto de estes locais serem favoráveis a acumulação de bolhas de ar.

No presente projecto foram instalados purgadores de ar automáticos da marca Caleffi da série 250 (vd. figura 5.12). Estes possuem corpo em latão e acabamento exterior cromado.



Figura 5.12. Purgador de ar (adaptado de catálogo Caleffi)

#### 5.7.5.7. Separador de ar e sujidade

Os separadores de ar e sujidade são utilizados para eliminar de forma contínua o ar contido nos circuitos hidráulicos das instalações solares. Assim, por forma a proteger a bomba circuladora e de modo a garantir uma boa transferência do calor na instalação, foi instalado, na tubagem de admissão à bomba, um separador de ar e de sujidade da marca Caleffi da série 251 (*vd.* figura 5.13). Este possui corpo em latão e acabamento exterior cromado.



Figura 5.13. Separador de ar e sujidade (adaptado de catálogo Caleffi)

### 5.7.6. Regulador diferencial

A instalação solar dispõe de um sistema de controlo que é encarregue do comando da instalação: arranque e paragem da bomba e fornecimento de energia aos pontos de consumo.

Na instalação foi utilizado um controlador electrónico térmico diferencial TDC1 da marca Sorel (vd. figura 5.14). As sondas de temperatura são de imersão, com bainha em cobre.

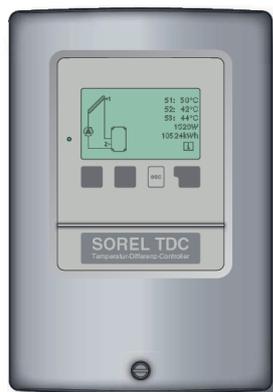


Figura 5.14. Controlador electrónico térmico diferencial (adaptado de catálogo Sorel)

O controlador possui sistema anti-legionela e permite acesso às seguintes funções:

- Indicação da temperatura nos colectores;
- Indicação da temperatura nos depósitos de acumulação;
- Registo do número de horas de funcionamento;
- Informação sobre o funcionamento da bomba de circulação;
- Cálculo da energia térmica obtida;
- Possibilidade de regulação do diferencial de temperatura de funcionamento;
- Informação e regulação da temperatura máxima no acumulador.

### 5.7.7. Fluido térmico

O fluido térmico é aquele que circula dentro dos absorsores e que transfere à água quente sanitária a energia térmica absorvida.

No presente projecto, o fluido de transferência térmica é uma dissolução de água e 25% de propilenoglicol.

### 5.7.8. Depósito de acumulação

O depósito de acumulação, como já foi referido, tem uma capacidade de 2000 litros, sendo esta uma exigência do caderno de encargos. Para tal foi escolhido um depósito, Enertres, modelo DPSA-2000 (vd. figura 5.15), com as seguintes características:

- Em aço de carbono com tratamento esmaltado;
- Capacidade de 2000 litros;
- Serpentina simples;
- Temperatura máxima de trabalho de 70°C;
- Pressão máxima de trabalho de 6 bar;
- Altura de 2,470 m; Diâmetro de 1,300 m; Peso de 410 kg.



Figura 5.15. Depósito de acumulação (adaptado de catálogo Enertres)

### 5.7.9. Estrutura metálica

Os colectores solares foram instalados na cobertura do edifício sobre uma estrutura metálica apropriada, em alumínio de alta resistência.

Na empresa não existiam quaisquer desenhos técnicos das estruturas metálicas de fixação dos colectores solares fabricadas. Assim, foram desenhadas todas as estruturas recorrendo ao *software Solidworks*. Na figura 5.16 é possível verificar uma das estruturas desenhadas, sendo esta utilizada para a fixação de quatro colectores solares do tipo circulação forçada (estrutura utilizada no projecto de execução anteriormente descrito).



Figura 5.16. Estrutura de fixação para quatro colectores do tipo circulação forçada desenhada em Solidworks

Foram desenhados todos os componentes de cada uma das estruturas fabricadas fazendo um desenho técnico de cada um com as respectivas medidas para o seu fabrico. Na figura 5.17 pode observar-se o desenho técnico, com as respectivas medidas, de um dos componentes constituintes da estrutura de fixação apresentada na figura 5.16.





**Figura 5.18. Exterior da Casa do Povo de Alagoa**



**Figura 5.19. Interior do local onde foi instalado o depósito**

## 6. CONCLUSÃO

O estágio realizado na empresa Solargus – Via Solar focou-se, essencialmente, no estudo de sistemas solares térmicos, sendo este tema uma solução bastante importante na reabilitação energética de edifícios. As situações reais estudadas possibilitaram a aquisição de competências técnicas que foram sendo desenvolvidas com o acompanhar de diversos casos de estudo.

Relativamente aos objectivos do estágio pode dizer-se que estes foram alcançados, contribuindo assim para a adesão de conhecimentos numa vertente mais prática, como o dimensionamento de um sistema solar ou a elaboração de um orçamento do mesmo.

A realização deste estágio foi bastante positiva, pois foi um primeiro contacto com o mundo profissional, tendo assim a oportunidade de analisar situações reais e trabalhar com profissionais qualificados e com vastos conhecimentos na área dos sistemas solares térmicos.

A ligação das diversas matérias abordadas ao longo de todo o curso com a realidade do dia-a-dia é uma mais-valia, não só pela partilha de conhecimentos como também pela motivação proporcionada para o futuro ingresso no mundo profissional.

Numa abordagem futura, seria interessante aprofundar o tema da reabilitação energética, recorrendo não só à instalação de sistemas solares térmicos como também a todas as outras soluções existentes, como por exemplo a optimização do isolamento térmico. Seria também interessante analisar um edifício existente em Portugal, fazendo um diagnóstico das suas deficiências do ponto de vista energético e determinar as melhores soluções, em termos de custo / benefício, para a sua reabilitação energética.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INETI (2007). *Instalações Solares Térmicas – Curso de Instaladores Solares Térmicos*. Lisboa.
- Ganhão, A. (2011). *Construção sustentável – Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da F.C.T. da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Ferreira, M. (2009). *A eficiência energética na reabilitação de edifícios*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia do Ambiente da F.C.T. da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Santos, J. (2008). *Estudo de sistemas solares térmicos para aplicação a micro-cogeração*. Relatório de Projecto de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da F.E. da Universidade do Porto, Porto.
- Caldas, L. (2010). *Manual de Boas Práticas – Gestão Energética e de Água dos Edifícios dos Palácios de Justiça*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- APISOLAR (2012). *Observatório Solar Térmico – Estatísticas Solar Térmico 2012*.
- Farinha, V. (2007). *Práticas de projecto e construtivas para a construção sustentável*. Departamento de Engenharia Civil da E.S.T. da Universidade do Algarve, Faro.
- Jardim, F. (2009). *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga.
- DGGE (2004). *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. Lisboa. ISBN 972-8268-33-5.
- Varandas, J. (2010). *Reabilitação Energética de Edifícios Antigos*. *Pedra & Cal*, nº 45, p.26-27.
- Santos, P. (2010). *Reabilitação Energética de um Edifício de Serviços*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga.
- Santos, M. (2010). *Reabilitação Energética de um Edifício Escolar*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga.
- Cóias, V. (2007). *Reabilitação Energética dos Edifícios*. *Pedra & Cal*, nº 34, p.7-10.
- Cóias, V., Fernandes, S. (2006). *Reabilitação Energética dos Edifícios: Porquê*. Fórum da Energia.

Cóias, V., Fernandes, S. (2008). *Reabilitação Energética dos Edifícios Existentes*. Câmara Municipal de Beja.

Rodrigues, A. (2011). *Reabilitação energética dos edifícios: caracterização em termos energéticos dos edifícios existentes e elaboração de proposta de reabilitação numa perspectiva custo/benefício*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga.

DGGE (2004). *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. Lisboa. ISBN 972-8268-33-5.

Silva, S. *et al.* (2012). *Seminário Reabilitação Energética de Edifícios*. Universidade do Minho, Braga. ISBN 978-989-96543-6-5.

(2006). *As instalações solares*. *Revista Hidráulica*, nº 25.

Apontamentos de Equipamentos e Processos Térmicos.

[http://ecocasa.pt/construcao\\_content.php?id=23](http://ecocasa.pt/construcao_content.php?id=23).

<http://casa-e-energia.blogspot.pt/2008/10/coberturas-verdes.html>.

[http://www.afrizal.pt/pdf/ENERGIAS\\_ALTERNATIVAS/S\\_CONCEITO\\_ENERGIA\\_SOLAR.pdf](http://www.afrizal.pt/pdf/ENERGIAS_ALTERNATIVAS/S_CONCEITO_ENERGIA_SOLAR.pdf).

[http://www.ecourses.ou.edu/cgi-](http://www.ecourses.ou.edu/cgi-bin/view_anime.cgi?file=moodyChart.swf&course=fl&chap_sec=08.3)

[bin/view\\_anime.cgi?file=moodyChart.swf&course=fl&chap\\_sec=08.3](http://www.ecourses.ou.edu/cgi-bin/view_anime.cgi?file=moodyChart.swf&course=fl&chap_sec=08.3).

## **ANEXOS**

Anexo 1 – Esquema de princípio

Anexo 2 – Planta de localização dos colectores solares

Anexo 3 – Relatório energético 1 (*software Solterm 5.1*)

Anexo 4 – Relatório energético 2 (*software Solterm 5.1*)

Anexo 5 – Relatório energético 3 (*software Solterm 5.1*)

Anexo 6 – Esquema da tubagem

Anexo 7 – Relatório do cálculo da bomba circuladora (*software wilo-select*)

Anexo 8 – Relatório do cálculo da válvula misturadora termostática (*software da Caleffi*)

Anexo 9 – Orçamento final