

# **A UTILIZAÇÃO DE COLECTORES SOLARES NO CENTRO HISTÓRICO DO PORTO**

**MARIA INÊS AMORIM CRAVA GUEDES DA COSTA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS**

---

Orientador: Professor Doutor Vítor Carlos Trindade Abrantes Almeida

JANEIRO DE 2010

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais, Irmãs e ao Tó Luís

*Conhecimento é Poder*  
*Francis Bacon*

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho só se tornou possível com contribuição de alguns elementos, aos quais não poderia deixar de fazer um sincero agradecimento.

Desta forma, quero que fique registado uma palavra de gratidão:

Ao Prof. Vítor Abrantes, pelo aconselhamento e pela indicação de inúmeros meios que me facultou. Por toda a compreensão e pela ajuda face a todas as entraves que foram surgindo ao longo do trabalho.

Ao Eng. António Curado, pela enorme dedicação e paciência. Pela ajuda incondicional, pelo aconselhamento e por toda a transmissão de conhecimentos.

À Prof. Helena Corvacho, pelo tempo dispensado na discussão deste tema.

À Eng<sup>a</sup>. Teresa Neto, pela disponibilidade de atendimento a todas as dúvidas que surgiram.

Aos meus Pais e Irmãs, pela compreensão, pela ajuda incondicional e apoio moral. Essencialmente, pelos conselhos e ensinamentos que sempre me deram, fundamentais para toda a minha vida.

Ao Tó Luís, pela enorme ajuda, paciência e por todo o tempo dispensado. Pelos conselhos sempre tão úteis e por ser o meu grande braço direito na vida.

Ao Renato, pela ajuda essencial e por todo o tempo dispensado.

## **RESUMO**

O recurso à energia solar para a produção de águas quentes sanitárias, está a ser incentivado nos países da União Europeia após o protocolo de Quioto. Para tal, Portugal adoptou uma estratégia de implementação desta energia, através de imposições regulamentares e de criação de benefícios fiscais para os respectivos utilizadores. Em paralelo, verificou-se a necessidade de uma intervenção nos centros históricos das cidades em Portugal, devido ao elevado grau de degradação dos mesmos. O Centro Histórico do Porto é um centro urbano, com enorme valor patrimonial, aliás já reconhecido como Património Mundial da UNESCO, e que se encontra altamente degradado. Actualmente, existe inúmeros incentivos à sua reabilitação, motivado, entre outros, pelo regresso das populações ao centro da cidade, não só através do investimento com vista à melhoria do património da cidade, mas também com o objectivo de reduzir a saturação dos mercados direccionados para a nova construção. Assim, levanta-se a questão relativa à aplicabilidade de colectores solares nas intervenções de reabilitação do referido Centro Histórico.

O presente estudo pretende avaliar se a colocação de colectores solares no Centro Histórico do Porto pode ser defendida, uma vez que estes edifícios estão fora do âmbito do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Tal avaliação tem por base um caso prático, através do qual se estuda a aplicação de uma instalação solar térmica num edifício situado no Centro Histórica do Porto.

Para a abordagem deste tema, é feito um primeiro enquadramento das energias renováveis, da sua evolução no tempo e de todo o processo governamental de incentivo ao uso das mesmas. Em seguida, focou-se a atenção na energia solar, estudando as suas variadas aplicações mas em particular o seu uso na habitação para a produção de AQS, e em que se explica detalhadamente o funcionamento e os constituintes de uma instalação solar térmica. Aborda-se ainda, a regulamentação relativa aos colectores solares, uma vez que o caso de estudo teve como base o RCCTE. Conforme referido, apresenta-se um caso prático relativo a uma fracção de um edifício situado no Centro Histórico do Porto, que foi submetido a uma série de cenários energéticos. Este estudo teve como base a variação dos sistemas utilizados para a produção de AQS e Aquecimento, sendo colocada a hipótese da inexistência da energia solar e, seguidamente, com o recurso à mesma. Desta forma, alcançou-se as diversas classes energéticas que classificam o desempenho energético do edifício e a partir daí foi possível avaliar o contributo da energia solar nestes edifícios de forma a verificar a sua aplicabilidade.

Cada edifício é um caso de estudo. O Centro Histórico do Porto apresenta um edificado com características muito semelhantes, manifestando muitos condicionalismos à aplicação de colectores solares. Assim, é necessário realizar um estudo particularizado de cada intervenção de reabilitação para o efeito de implantação de instalações solares térmicas, fazendo-se um balanço energético, económico e ambiental da sua utilização.

**PALAVRAS-CHAVE:** colectores solares térmicos, energia solar, águas quentes sanitárias, desempenho energético, edificado histórico.

## **ABSTRACT**

The resource to solar energy to heat sanitary waters is being encouraged in the countries of European Union after the Kyoto Protocol. For such purpose, Portugal has defined a strategy of use of this energy based on regulation and tax benefits for users. Concurrently, there was a need to intervene in the historical city centers in Portugal, due to the high degree of degradation of such centers. The Oporto Historical Center is an urban center with an enormous patrimonial value, indeed, already recognized as UNESCO World Heritage which is extremely damaged. Nowadays, there are several incentives to its renovation, encouraged, amongst others, by the return of the population to the city center, not only through the investment in the improvement of the city infra structures, but also with the aim to reduce the new construction market surplus. Hence, the applicability of the solar collectors in the interventions of the mentioned historical center is a matter of discussion.

This study intends to evaluate if the use of solar collectors in the Oporto Historical Center may be arguable, considering that the buildings of such center are not covered by the Regulation of the Characteristics of Buildings Thermal Performance (RCCTE). Such evaluation is based on a practical case, through which it is analyzed the application of a solar thermal installation in a building located at the Oporto Historical Center.

For the analysis of this subject, initially it is presented a renewable energy background, its time evolution and all the governmental process of incentive to use such energies. Afterwards, the use of solar energy was focused, analyzing its several applications, in particular its use in houses to the production of sanitary heated waters (AQS) in which it is explained in detail the functioning and components of a solar thermal installation. Moreover, it is also enlighten the solar collectors' regulations, taking into account that this study is based on RCCTE. As mentioned, a practical study is presented in respect to a unit of a building located at the Oporto Historical Center, which was submitted to different energetic scenarios. This study was based on the variation of the systems used for the AQS and Warming production, being analyzed the situation of inexistence of solar energy or the resource to it. Therefore, the study covered different energetic categories which classify the building energetic performance, being feasible to evaluate the solar energy role in these buildings and verify its applicability.

Each building is a case study. Notwithstanding the fact that the Oporto Historical Center has very similar constructions there are several difficulties to the application of solar collectors. Therefore, there is a need to conduct a detailed study for each renovation intervention for the purposes of implantation of solar thermal installations and make an energetic, economical and environmental impact of its use.

**KEYWORDS:** thermal solar collectors, solar energy, sanitary hot waters, energy performance, historical buildings.

## ÍNDICE GERAL

|                      |     |
|----------------------|-----|
| AGRADECIMENTOS ..... | i   |
| RESUMO .....         | iii |
| ABSTRACT .....       | v   |

## 1.INTRODUÇÃO: ENQUADRAMENTO.....1

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. INTRODUÇÃO .....                                                                    | 1  |
| 1.2. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS .....                                                        | 2  |
| 1.3. A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS ENERGIAS EM PORTUGAL E NO MUNDO.....                       | 4  |
| 1.4. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS E AS MEDIDAS DA UE NO COMBATE ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS ..... | 6  |
| 1.5. O CASO PORTUGUÊS .....                                                              | 9  |
| 1.6. O PROTOCOLO DE QUIOTO .....                                                         | 12 |
| 1.7. PERSPECTIVAS FUTURAS.....                                                           | 13 |

## 2. A ENERGIA SOLAR NOS EDIFÍCIOS .....16

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. AS APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR.....                             | 16 |
| 2.2. A RADIAÇÃO SOLAR .....                                          | 18 |
| 2.3. O SISTEMA SOLAR TÉRMICO .....                                   | 22 |
| 2.3.1. SUBSISTEMAS DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO E FUNCIONAMENTO ..... | 23 |
| 2.3.1.1. Sistema de Captação .....                                   | 23 |
| 2.3.1.2. Sistema de Acumulação.....                                  | 33 |
| 2.3.1.3. Sistema de Circulação ou de Distribuição .....              | 36 |
| 2.3.1.4. Sistema Auxiliar Energético .....                           | 40 |
| 2.3.1.5. Sistema de Controlo.....                                    | 41 |
| 2.3.2. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS .....                              | 43 |
| 2.3.2.1. Tipo de Circuito .....                                      | 43 |
| 2.3.2.2. Princípio de Circulação .....                               | 44 |
| 2.3.2.3. Dimensão dos Sistemas.....                                  | 46 |
| 2.3.2.4. Ligação ao Sistema Auxiliar Energético.....                 | 48 |
| 2.3.3. FUNCIONAMENTO GERAL DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO.....          | 48 |
| 2.3.4. PROTECÇÕES NECESSÁRIAS AO SISTEMA SOLAR TÉRMICO .....         | 49 |

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.4.1. Protecções contra o Congelamento .....                        | 49        |
| 2.3.4.2. Protecções contra o Sobreaquecimento .....                    | 50        |
| <b>2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO .....</b> | <b>50</b> |
| 2.4.1. ANÁLISE ECONÓMICA .....                                         | 50        |
| 2.4.2. ANÁLISE AMBIENTAL.....                                          | 51        |
| 2.4.3. ANÁLISE SOB O PONTO DE VISTA DO CONSUMIDOR.....                 | 52        |
| <b>2.5. INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO .....</b>               | <b>53</b> |
| <b>2.6. MANUTENÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO .....</b>               | <b>57</b> |
| <b>2.7. A CERTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....</b>                       | <b>58</b> |

### **3. OS COLECTORES SOLARES NO REGULAMENTO .....**

62

#### **3.1. O RCCTE E O RSECE.....**

62

##### 3.1.1. OBJECTIVOS DA SUA APLICAÇÃO.....

62

#### **3.2. REQUISITOS ENERGÉTICOS.....**

64

##### 3.2.1. NECESSIDADE DE ENERGIA ÚTIL PARA A PRODUÇÃO DE AQS .....

65

#### **3.3. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO ATENDENDO ÀS CONDIÇÕES DO RCCTE .....**

68

##### 3.3.1. EXPOSIÇÃO SOLAR .....

68

##### 3.3.2. ÁREA MÍNIMA DE COLECTORES SOLARES A INSTALAR .....

69

##### 3.3.3. NECESSIDADES DE CONSUMO MÍNIMAS.....

69

#### **3.4. A CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS .....**

69

### **4. CASO DE ESTUDO .....**

73

#### **4.1. INTRODUÇÃO .....**

73

#### **4.2. DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES EFECTUADAS.....**

74

##### 4.2.1. SIMULAÇÃO 1 .....

74

##### 4.2.2. SIMULAÇÃO 2 .....

75

##### 4.2.3. SIMULAÇÃO 3 .....

75

##### 4.2.4. SIMULAÇÃO 4 .....

75

##### 4.2.5. SIMULAÇÃO 5 .....

76

#### **4.3. PARÂMETROS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES EFECTUADAS .....**

76

##### 4.3.1. DEFINIÇÃO DA FRACÇÃO AUTÓNOMA .....

76

##### 4.3.2. DADOS CLIMÁTICOS .....

77

|                                                                               |                |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 4.3.2.1. Zona Climática.....                                                  | 77             |
| 4.3.2.2. Graus – dias de Aquecimento .....                                    | 77             |
| 4.3.2.3. Duração da Estação de Aquecimento .....                              | 77             |
| 4.3.2.4. Energia Solar Incidente na Estação de Aquecimento .....              | 78             |
| 4.3.2.5. Intensidade da Radiação Solar para a Estação de Aquecimento.....     | 78             |
| 4.3.2.6. Temperatura Média Mensal do ar a Estação de Aquecimento .....        | 78             |
| 4.3.3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS .....                                            | 78             |
| 4.3.3.1. Soluções Construtivas – $U_{m\acute{a}x}$ .....                      | 80             |
| 4.3.3.2. Soluções Construtivas – $U_{ref}$ .....                              | 83             |
| 4.3.4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO – PROGRAMA SOLTERM .....      | 86             |
| 4.3.4.1. Localização e Obstruções do Horizonte.....                           | 87             |
| 4.3.4.2. Sistema de Captação – Tipo, Área, Inclinação e Azimute .....         | 88             |
| 4.3.4.3. Sistema de Acumulação .....                                          | 90             |
| 4.3.4.4. Consumos .....                                                       | 91             |
| 4.3.4.5. Apoio Energético .....                                               | 91             |
| 4.3.4.6. Tubagens, Bomba de Recirculação e Percentagem de Anticongelante..... | 92             |
| 4.3.4.7. Resultados do Programa SOLTERM .....                                 | 95             |
| <b>4.4. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EFECTUADAS.....</b>                         | <b>97</b>      |
| <br><b>5. CONCLUSÕES .....</b>                                                | <br><b>100</b> |
| <b>5.1. CONCLUSÕES DO CASO EM ESTUDO .....</b>                                | <b>100</b>     |
| <b>5.2. CONCLUSÕES FINAIS.....</b>                                            | <b>101</b>     |
| <br><b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>                                              | <br><b>104</b> |

**ANEXO A** ..... 106

**A1. QUADRO RESUMO DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO**

**A2. FICHA DE PEDIDO DE REALIZAÇÃO DE ENSAIOS OBRIGATÓRIOS**

**A3. DECLARAÇÃO DE GARANTIA DE INSTALAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS**

**A4. MODELO DE UM CERTIFICADO ENERGÉTICO**

**ANEXO B** ..... 107

**B1. FOLHAS DE CÁLCULO RELATIVAS ÀS SIMULAÇÕES EFECTUADAS PARA O CASO DE ESTUDO**

**B2. PORMENORES CONSTRUTIVOS E RESPECTIVA INÉRCIA TÉRMICA PARA  $U_{MÁX}$**

**B3. PORMENORES CONSTRUTIVOS E RESPECTIVA INÉRCIA TÉRMICA PARA  $U_{REF}$**

**ANEXO C** ..... 108

**C1. RELATÓRIO ENERGÉTICO OBTIDO PELO PROGRAMA SOLTERM PARA A INSTALAÇÃO SOLAR TÉRMICA EM ESTUDO**

**C2. RELATÓRIO ECONÓMICO PARA UMA INSTALAÇÃO SOLAR TÉRMICA COM UMA VIDA ÚTIL MÍNIMA DE 18 ANOS**

**C3. RELATÓRIO ECONÓMICO PARA UMA INSTALAÇÃO SOLAR TÉRMICA COM UMA VIDA ÚTIL MÍNIMA DE 26 ANOS**

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1.INTRODUÇÃO: ENQUADRAMENTO</b> .....                                                                      | 1  |
| Fig.1.1 – Evolução anual dos m2 de colectores solares instalados [9] .....                                    | 11 |
| <br><b>2. A ENERGIA SOLAR NOS EDIFÍCIOS</b> .....                                                             | 16 |
| Fig.2.1 – Cobertura Solar das necessidades de água quente durante o ano [15]. .....                           | 18 |
| Fig.2.2 – Radiação Solar que atinge a superfície terrestre [16] .....                                         | 19 |
| Fig.2.3 – Altura do Sol e Azimute Solar [17]. .....                                                           | 19 |
| Fig.2.4 – Identificação dos principais ângulos Colector – Sol [18]. .....                                     | 20 |
| Fig.2.5 – Variação da inclinação óptima do colector ao longo do ano [19]. .....                               | 21 |
| Fig.2.6 – Carta Solar Cilíndrica – Cálculo de Sombras [20]. .....                                             | 22 |
| Fig.2.7 – Subsistemas de um Sistema Solar Térmico [17]. .....                                                 | 23 |
| Fig.2.8 – Componentes de um Colector Solar [27]. .....                                                        | 25 |
| Fig.2.9 – Colector Solar Plano sem cobertura [28]. .....                                                      | 26 |
| Fig.2.10 – Sistema de um Colector Solar Plano sem cobertura [27]. .....                                       | 27 |
| Fig.2.11 – Colector Solar Plano com cobertura transparente e seus constituintes [29]. .....                   | 28 |
| Fig.2.12 – Colector Solar Plano com cobertura de Revestimento Selectivo e os seus constituintes [30]<br>..... | 29 |
| Fig.2.13 – Colector Solar Plano de Revestimento de Absorção Preto [31]. .....                                 | 29 |
| Fig.2.14 – Colector Solar do Tipo CPC [32]. .....                                                             | 30 |
| Fig.2.15 – Colector Solar de Tubos de Vácuo [27]. .....                                                       | 31 |
| Fig.2.16 – Ligação de Colectores Solares em série [27]. .....                                                 | 32 |
| Fig.2.17 – Ligação de Colectores Solares em paralelo [27]. .....                                              | 33 |
| Fig.2.18 – Ligação de Colectores Solares mista – em paralelo e em série [27]. .....                           | 33 |
| Fig.2.19 – Permutador incorporado (de serpentina) e exterior (de placas) ao acumulador [34] [35]. ....        | 35 |
| Fig.2.20 – Acumulador com Permutador de Tubo Liso [17]. .....                                                 | 35 |
| Fig.2.21 – Acumuladores com uma ou duas serpentinas, respectivamente [14]. .....                              | 36 |
| Fig.2.22 – Exemplo de um Vaso de Expansão [38]. .....                                                         | 38 |
| Fig.2.23 – Comprovador óptico das características do anticongelante [16]. .....                               | 38 |
| Fig.2.24 – Bomba Circuladora [16]. .....                                                                      | 39 |
| Fig.2.25 – Purgador de Ar [16]. .....                                                                         | 39 |
| Fig.2.26 – Exemplos de Válvulas de Segurança [16]. .....                                                      | 40 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig.2.27 – Exemplo de um Auxiliar Energético: Esquentador Solar [39].              | 41 |
| Fig.2.28 – Exemplo de um Controlador [16].                                         | 42 |
| Fig.2.29 – Exemplo de Caudalímetros – medidores de caudais [16].                   | 42 |
| Fig.2.30 – Circuitos de um Sistema Indirecto [17].                                 | 44 |
| Fig.2.31 – Sistema Activos/ Circulação Forçada e Sistema Passivo/ Termosifão [33]. | 44 |
| Fig.2.32 – Sistema Solar Térmico com Termosifão [41].                              | 45 |
| Fig.2.33 – Sistema Solar Térmico de Circulação Forçada [42].                       | 46 |
| Fig.2.34 – Colector montado sobre a cobertura [16].                                | 54 |
| Fig.2.35 – Colector integrado na cobertura [16].                                   | 56 |
| Fig.2.36 – Colector fixado por suportes na cobertura [47].                         | 57 |
| Fig.2.37 – Organigrama explicativo do processo de Certificação dos Produtos.       | 60 |

### **3. OS COLECTORES SOLARES NO REGULAMENTO** ..... 62

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig.3.1 – Zonas Climáticas de Inverno e de Verão de Portugal Continental | 68 |
|--------------------------------------------------------------------------|----|

### **4. CASO DE ESTUDO** ..... 73

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig.4.1 – Fracção autónoma em estudo                                                                       | 76 |
| Fig.4.2 – Esquema de integração da Instalação Solar Térmica no edifício em estudo                          | 87 |
| Fig.4.3 – Ângulo de Obstrução do Horizonte na faixa do edifício em estudo que contem os Colectores Solares | 88 |
| Fig.4.4 – Influência dos Ângulos de Obstrução do Horizonte na incidência do Sol nos Colectores Solares     | 88 |
| Fig.4.5 – Características do Colector Solar “MEGASUN ST2500” [20].                                         | 90 |
| Fig.4.6 – Disposição dos Colectores Solares na Cobertura do edifício em estudo                             | 93 |
| Fig.4.7 – Resultados obtidos pelo programa SOLTERM do INETI [20].                                          | 95 |

## ÍNDICE DE QUADROS

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>2. A ENERGIA SOLAR NOS EDIFÍCIOS</b>                                                                                                                           | 16 |
| Quadro 2.1 – Radiação Solar que atinge a superfície terrestre ( $\text{Wh/m}^2$ ) [17].                                                                           | 19 |
| Quadro 2.2 – Inclinação aconselhada para os Colectores Solares [17].                                                                                              | 21 |
| <b>3. OS COLECTORES SOLARES NO REGULAMENTO</b>                                                                                                                    | 62 |
| Quadro 3.1 – Condições Regulamentares das Necessidades de Energia.                                                                                                | 65 |
| Quadro 3.2 – Número convencional de ocupantes em função da tipologia da fracção autónoma                                                                          | 66 |
| Quadro 3.3 – Número anual de dias de consumo de AQS.                                                                                                              | 66 |
| Quadro 3.4 – Área mínima de Colectores Solares prevista pelo RCCTE                                                                                                | 69 |
| Quadro 3.5 – Factores de conversão entre energia útil e energia primária                                                                                          | 70 |
| Quadro 3.6 – Classes energéticas e respectivas etiquetas [17].                                                                                                    | 72 |
| <b>4. CASO DE ESTUDO</b>                                                                                                                                          | 73 |
| Quadro 4.1 – Parâmetros utilizados na Simulação 1                                                                                                                 | 75 |
| Quadro 4.2 – Parâmetros utilizados na Simulação 2                                                                                                                 | 75 |
| Quadro 4.3 – Parâmetros utilizados na Simulação 3                                                                                                                 | 75 |
| Quadro 4.4 – Parâmetros utilizados na Simulação 4                                                                                                                 | 75 |
| Quadro 4.5 – Parâmetros utilizados na Simulação 5                                                                                                                 | 76 |
| Quadro 4.6 – Zona Climática da fracção em estudo.                                                                                                                 | 77 |
| Quadro 4.7 – Nº de Graus Dias de Aquecimento para a fracção em estudo ( $^{\circ}\text{C}$ )                                                                      | 77 |
| Quadro 4.8 – Duração da estação de Aquecimento para a fracção em estudo (meses)                                                                                   | 78 |
| Quadro 4.9 – $G_{\text{Sul}}$ para a fracção em estudo ( $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$ )                                                                      | 78 |
| Quadro 4.10 – Intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento ( $\text{kWh/m}^2$ )                                                                  | 78 |
| Quadro 4.11 – Temperatura Média Mensal do Ar para a estação de arrefecimento ( $^{\circ}\text{C}$ )                                                               | 78 |
| Quadro 4.12 – Coeficientes de Transmissão térmica máximos e de referência para a zona climática I <sub>2</sub> ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ) | 79 |
| Quadro 4.13 – Resistências de Transmissão Térmica Superficiais ( $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )                                                   | 80 |
| Quadro 4.14 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Envolvente Exterior ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ )                                       | 80 |
| Quadro 4.15 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Cobertura ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ )                                                 | 81 |
| Quadro 4.16 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Cobertura Exterior - Terraço ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ )                              | 81 |
| Quadro 4.17 – Coeficientes de Transmissão Térmica das Paredes Interiores ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ )                                       | 82 |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 4.18 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Parede da Caixa de Escadas ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )                  | 82 |
| Quadro 4.19 – Coeficientes de Transmissão Térmica dos Pavimentos Interiores ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )                      | 83 |
| Quadro 4.20 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Laje de Escadas ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )                             | 83 |
| Quadro 4.21 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Envolvente Exterior com Isolamento ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )          | 84 |
| Quadro 4.22 – Coeficientes de Transmissão Térmica das Coberturas com Isolamento ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )                  | 84 |
| Quadro 4.23 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Cobertura Exterior - Terraço com Isolamento ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ) | 85 |
| Quadro 4.24 – Coeficientes de Transmissão Térmica das Paredes Interiores com Isolamento ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )          | 85 |
| Quadro 4.25 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Parede da Caixa de Escadas com Isolamento ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )   | 85 |
| Quadro 4.26 – Coeficientes de Transmissão Térmica dos Pavimentos Interiores com Isolamento ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )       | 86 |
| Quadro 4.27 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Laje de Escadas com Isolamento ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )              | 86 |
| Quadro 4.28 – Área Total de Colectores Solares a instalar de acordo com o RCCTE ( $m^2$ )                                     | 89 |
| Quadro 4.29 – Cálculo das Necessidades de Consumo Total (Litros)                                                              | 90 |
| Quadro 4.30 – Cálculo do Volume do Depósito Comercial (Litros)                                                                | 91 |
| Quadro 4.31 – Distribuição dos Consumos ao longo do dia                                                                       | 91 |
| Quadro 4.32 – Determinação do Caudal Acumulado (l/s)                                                                          | 92 |
| Quadro 4.33 – Comprimentos das Tubagens (m)                                                                                   | 93 |
| Quadro 4.34 – Caracterização das Tubagens (m)                                                                                 | 94 |
| Quadro 4.35 – Caracterização da Bomba de Recirculação                                                                         | 94 |
| Quadro 4.36 – Resultados da análise económica para um Sistema Solar Térmico de 18 anos                                        | 96 |
| Quadro 4.37 – Resultados da análise económica para um Sistema Solar Térmico de 26 anos                                        | 97 |
| Quadro 4.38 – Resultados das folhas de cálculo do RCCTE                                                                       | 99 |
| Quadro 4.39 – Sistemas utilizados nas Simulações e respectivas Classes Energéticas obtidas                                    | 99 |

## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

UE – União Europeia

DL – Decreto-lei

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

AQS – Águas Quentes Sanitárias

DGE – Direcção Geral de Energia

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

IPPAR - Instituto Português do Património Arquitectónico

IGESPAR - Instituto da Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico

SRU – Sociedade de Reabilitação Urbana

# 1

## INTRODUÇÃO- ENQUADRAMENTO

### 1.1. INTRODUÇÃO

Até há muito pouco tempo, falava-se que o futuro das cidades eram as cidades sustentáveis acontece que nos últimos anos esta ideia futurista começa a ser já uma realidade na construção. Verificou-se uma mudança de pensamento, em termos de consciência ambiental, de investimento público e energético, o que provocou uma alteração no papel dos edifícios. Desta forma, há cada vez mais a necessidade de criar cidades com autonomia energética, compactas, organizadas em que os edifícios garantam a sua autonomia energética. Uma vez que os edifícios estarão aptos a produzir energia por si só, cria-se assim uma lógica integrada, transfigurando cada edifício como se tratasse de um organismo único e independente.

Hoje em dia, os sistemas energéticos são altamente dependentes dos combustíveis fósseis e estes oscilam de acordo com os picos de procura. Este é mais um motivo que evidencia a necessidade de criação de políticas e estratégias energéticas de optimização. Desta forma, a União Europeia procura cada vez mais estimular o recurso a este tipo de energias, através da imposição de directrizes comunitárias, protocolos e plano, nomeadamente na estipulação obrigatória da utilização de colectores solares pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), sempre que as condições dos edifícios o permitem.

Ultimamente verificou-se um aumento do investimento na Reabilitação dos Centros Históricos e no incentivo à utilização da energia solar como sistema energético dos edifícios, patente nos pressupostos do RCCTE. É neste âmbito que surge a problemática deste estudo. Se por um lado há uma urgência de transformação energética dos edifícios, há também uma preocupação elevada em manter todas as características dos edifícios de forma a não perder as origens da cidade. Esta questão levanta algumas condicionantes à aplicação de colectores solares devido às características apresentadas por estes, nomeadamente:

- Coberturas muito elevadas e por vezes com clarabóias que reduzem o espaço na cobertura para a implantação dos colectores;
- Construções em banda provocando fortes obstruções do horizonte;
- Áreas interiores muito reduzidas dificultando a existência de uma área técnica no interior dos edifícios;

Estas características irão influenciar o rendimento das instalações solares térmicas, logo é necessário perceber se existem condições favoráveis ao cumprimento do RCCTE no que respeita à produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS) recorrendo à energia solar.

De um modo geral, o objectivo principal deste estudo passa pela análise da aplicabilidade de colectores solares no âmbito da reabilitação do Centro Histórico do Porto. Para tal, será executado um estudo pormenorizado e regulamentar sob o ponto de vista térmico de um edifício característico desta zona para avaliar a influência dos sistemas solares térmicos no melhoramento energético dos edifícios. Será feito um caso de estudo com o intuito de colocar diversos cenários de conjugação de vários sistemas de aquecimento a utilizar para o aquecimento ambiente e AQS de forma a obter as respectivas classificações energéticas do edifício. A partir dos resultados obtidos, serão tiradas conclusões acerca das condições para o cumprimento do RCCTE e assim analisar a aplicação de colectores solares em edifícios com características semelhantes.

Em termos de estruturação do trabalho, este será dividido em cinco capítulos. No presente capítulo, além de ser feita a explanação dos principais objectivos, é também feito um enquadramento geral das energias renováveis e dos incentivos governamentais que existem de apoio à exploração a este tipo de energias. O Capítulo 2 refere-se à energia solar, especificando as suas aplicações possíveis, o seu funcionamento e a sua intervenção nos sistemas solares térmicos. É neste capítulo que está evidenciado o funcionamento dos sistemas solares térmicos bem como a descrição pormenorizada das características e condicionantes dos seus constituintes. O 3º Capítulo faz uma análise do RCCTE e RSECE (Regulamento dos Sistemas energéticos de Climatização em Edifícios) no que respeita aos aspectos relevantes para o estudo dos objectivos do trabalho. No Capítulo 4 é feito, o já referido, caso de estudo a partir de um projecto existente de um edifício do Centro Histórico do Porto. Tendo por base este projecto é simulada uma série de cenários, com base no RCCTE, de forma a alcançar as várias classificações energéticas do edifício. Neste capítulo são pormenorizados todos os elementos necessários às simulações. Por fim, no Capítulo 5 são tiradas as conclusões deste trabalho.

## 1.2. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS [1] [2]

A Energia Renovável é uma energia obtida de fontes naturais capazes de se regenerar, denominados por recursos renováveis, sendo praticamente inesgotáveis, ao contrário dos recursos não-renováveis. Estes recursos são conhecidos pela imensa quantidade de energia que contêm, e porque são capazes de se regenerar por meios naturais.

O vento, o sol, a água e o solo são fontes naturais renováveis, sendo constantemente renovadas pela radiação solar, pelas precipitações atmosféricas e pelo calor subterrâneo. O *Vento* é um recurso energético natural que pode ser aproveitado com um investimento inicial elevado, mas extremamente rentável em locais muito ventosos. O *Sol* irradia a terra todos os dias com um potencial energético extraordinariamente elevado, fornecendo anualmente para a atmosfera terrestre cerca de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial de energia nesse mesmo período. A *Terra* é uma preciosa fonte, devido às suas características, que mantém praticamente constante a temperatura todo o ano, mesmo perto da superfície. A *Água* nos rios, lagos, lençóis de água subterrâneos, e até o mar pode ser fonte de energia, devido à temperatura constante a que água se mantém durante o ano.

As energias renováveis, por definição, são aquelas cuja utilização é inferior à sua capacidade de renovação. Assim podem ser consideradas vários tipos de energias renováveis:

- Energia Hidrica
- Biomassa
- Energia Solar
- Energia Eólica

- Energia Geotérmica
- Energia Maremotriz
- Energia do Hidrogénio

A *Energia Hídrica* é a energia produzida através do aproveitamento do potencial hidráulico existente num curso de água, encontrada sob a forma de energia cinética, através de diferenças de temperatura, desníveis naturais, como quedas de água, desníveis artificiais produzidos pelo desvio do curso ou gradientes de salinidade. Uma vez que a água é aproximadamente 800 vezes mais densa que o ar, requer um lento fluxo corrente de água que podem produzir uma quantidade considerável de energia. Nas Barragens, a transformação da energia potencial de uma quantidade de água em energia cinética, é realizada através do deslocamento do volume de água para uma cota inferior, conseguindo-se a conversão de movimento em energia. A energia cinética da água é transformada em energia cinética de rotação de uma turbina hidráulica, sendo a energia mecânica da turbina, através de um gerador, convertida em energia eléctrica. A cada processo está associado um rendimento de 80%, aproximadamente, dependendo da tecnologia utilizada. A disponibilidade deste recurso é dependente da quantidade de água disponível, da pluviosidade, do regime de funcionamento e de elaboração e da bacia hidrográfica.

A *Energia da Biomassa* é a energia que se obtém durante a transformação de produtos de origem animal e vegetal para a produção de energia calorífica e eléctrica. Na transformação de resíduos orgânicos é possível obter biocombustíveis, como o biogás, o bioálcool e o biodiesel. A formação de biomassa a partir de energia solar é realizada pelo processo, denominado fotossíntese, plantas que contêm clorofila transformam o dióxido de carbono e a água mineral a partir de produtos sem valor energético, em materiais orgânicos com alto teor energético e, por sua vez, servem de alimento para os outros seres vivos. A biomassa através destes processos armazena a curto prazo a energia solar sob a forma de carbono. A energia armazenada no processo fotossintético pode ser posteriormente transformada em calor, electricidade ou combustível a partir de plantas, liberando novamente o dióxido de carbono armazenado.

A *Energia Solar* é obtida pela luz do Sol, pode ser captada com painéis solares. É uma fonte de vida e de origem da maioria das outras formas de energia na Terra. A cada ano a radiação solar trazida para a terra leva energia equivalente a vários milhares de vezes a quantidade de energia consumida pela humanidade. Através de colectores solares, a energia solar pode ser transformada em energia térmica, e usando painéis fotovoltaicos a energia luminosa pode ser convertida em energia eléctrica. Ambos os processos não têm nada a ver uns com os outros em termos de sua tecnologia. Mesmo assim, as centrais térmicas solares utilizam energia solar térmica a partir de colectores solares para gerar electricidade.

A *Energia Eólica* é a energia obtida pela acção do vento, ou seja, através da utilização da energia cinética gerada pelas correntes aéreas. A energia eólica está associada com o movimento das massas de ar que movem a partir de zonas de alta pressão do ar para as zonas adjacentes de baixa pressão, com velocidades proporcionais a gradiente de pressão.

A *Energia Geotérmica* é a energia proveniente do interior da Terra. A geotermia consiste no aproveitamento de águas quentes e vapores para a produção de electricidade e calor. Parte do calor interno da Terra (5.000 °C) chega à crosta terrestre. Em algumas áreas do planeta, próximas à superfície, as águas subterrâneas podem atingir temperaturas de ebulição, e, dessa forma, servir para impulsionar turbinas para electricidade ou aquecimento. O calor dentro da terra ocorre devido a vários factores, entre eles o gradiente geotérmico e o calor radiogénico.

A *Energia Maremotriz* é a energia que se obtém a partir do movimento das ondas, a das marés ou da diferença de temperatura entre os níveis da água do mar, isto é, é a energia dos mares. Ocorre devido à força gravitacional entre a Lua, a Terra e o Sol, que causam as marés, ou seja, a diferença de altura média dos mares de acordo com a posição relativa entre estes três astros. Esta diferença de altura pode ser explorada em locais estratégicos como os golfos, baías e estuários que utilizam turbinas hidráulicas na circulação natural da água, junto com os mecanismos de canalização e de depósito, para avançar sobre um eixo. Através da sua ligação a um alternador, o sistema pode ser usado para a geração de electricidade, transformando, assim, a energia das marés, em energia eléctrica, uma energia mais útil e aproveitável. Outras formas de extrair energia a partir da energia das ondas oceânicas são, a energia produzida pelo movimento das ondas do oceano e de energia devido ao gradiente térmico, que faz uma diferença de temperatura entre as águas superficiais e profundas do oceano.

A energia do Hidrogénio é a energia que se obtém da combinação do hidrogénio com o oxigénio produzindo vapor de água e libertando energia que é convertida em electricidade. Existem alguns veículos que são movidos a hidrogénio.

Portugal é um país com escassos recursos energéticos fósseis próprios (petróleo, carvão e gás), aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas que nos tornam dependentes das variações de preço do mercado internacional. Todavia é um país com inúmeras disponibilidades energéticas em termos de energias renováveis/alternativas.

Em Portugal, a utilização de sistemas energéticos verdes está ainda longe de corresponder ao potencial dos recursos disponíveis. O sector residencial representa uma parcela considerável do consumo eléctrico total, com a agravante de apresentar uma tendência para um grande crescimento nos anos que se avizinham, devido à necessidade de melhor conforto e de mais equipamentos electrónicos instalados. Existem vários tipos de equipamentos e tecnologias aplicáveis para a produção de electricidade, para o aquecimento de águas e para o aquecimento do ambiente.

Apesar das energias renováveis ainda estar em desenvolvimento, Portugal dispõe de excelentes características para uma forte aposta neste campo. As energias mais desenvolvidas é a energia eólica e a energia solar quer para produção de electricidade como para o aquecimento de águas quentes sanitárias e do ambiente. Entre estas duas está haver uma forte aposta da energia solar, constatada pela obrigatoriedade da instalação de painéis solares para a produção de águas quentes sanitárias regulamentada desde Abril de 2006. Este aspecto abriu um amplo mercado para o desenvolvimento da energia solar renovável, que tão subutilizada tem sido, contribuindo para a diminuição da poluição e da dependência energética do nosso país.

### **1.3. A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS ENERGIAS EM PORTUGAL E NO MUNDO [3]**

Há, aproximadamente, 2000 anos a.C, o carvão era utilizado como fonte de energia, mas só começou a ser explorado em meados do séc. XIII. A partir de 1750, as suas capacidades energéticas foram exaustivamente exploradas, o que levou a um período de substituição dos meios de produção, o que viria a ser conhecido como Revolução Industrial. Este processo de transformação acompanhado por uma notável evolução industrial e de grande consumo energético, que ampliou a procura deste minério e, procura esta que apenas no século XX se viu reduzida, com a utilização do petróleo como combustível. Por todo o mundo, as centrais eléctricas alimentadas a carvão produzem cerca de 40% da electricidade mundial.

Em meados do século XIX tiveram início a exploração e a perfuração de poços de petróleo. Desde então, deu-se uma “guerra” entre o petróleo e o carvão, onde devido à comparação da capacidade de

produção energética *versus* quantidade de matéria-prima necessária, verificou-se a superioridade do primeiro. O petróleo é encontrado em bacias sedimentares, formadas por camadas ou lençóis porosos de areia, arenitos ou calcários. A origem do petróleo para consumo energético inicia-se com o invento da primeira perfuradora de rochas em 1849. Passados cerca de 10 anos, o petróleo foi exportado pela primeira vez para a Europa, mais concretamente, para Londres, surgindo para o efeito o primeiro petroleiro. A primeira combustão a gasolina só foi descoberta em 1870, e com ela surgiu 15 anos mais tarde, a primeira bomba de gasolina. Neste contexto, nasceram os primeiros automóveis pela mão de Karl Benz na Alemanha e Henry Ford nos Estados Unidos.

O sector energético conhecia assim, uma fase de grande desenvolvimento e, para além do petróleo, a electricidade e o gás natural surgiram permitindo o desenvolvimento de inovações técnicas que marcaram o mundo até aos dias de hoje. A extracção de petróleo nos Estados Unidos tem vindo a cair desde 1986, e os stocks de petróleo esgotar-se-ão no mínimo de 26 anos, isto é, até ao ano 2035.

Assim sendo, há que estudar exaustivamente as fontes de energia alternativa (sol, vento, correntes marinhas de ondulação e de marés, geotérmica, fissão nuclear, biomassa, etc.), bem como as tecnologias economicamente viáveis.

Em Portugal só em 1973 se realizaram as primeiras sondagens em áreas submersas, com excepção da Bacia Alentejana. Apesar de todos os furos realizados, ainda não foi possível encontrar nenhuma acumulação de petróleo que possa ser extraído e comercializado.

O gás natural é um combustível fóssil de origem muito semelhante à do petróleo bruto, ou seja, formou-se durante milhões de anos a partir dos sedimentos de animais e plantas. Tal como o petróleo encontra-se em bolsas subterrâneas, de onde é extraído. A principal diferença entre ambos é a possibilidade de ser usado após a extracção, sem necessidade de refinação.

Na Europa, o gás natural só foi descoberto em 1659, que não despertou grande interesse devido essencialmente ao gás resultante do carvão carbonizado (*town gas*), que foi o primeiro combustível responsável pela iluminação de casas e ruas desde 1790. O gás natural passou a ser utilizado de forma exaustiva na Europa no final do século XIX, devido à invenção do queimador *Bunsen*, em 1885 (Robert Bunsen) e à criação de um gasoduto, em 1890. O mercado industrial do gás natural era relativamente pequeno até à II Guerra Mundial, quando este tornou-se extremamente necessário. Entre 1927 e 1931, já existiam mais de 10 gasodutos de grande porte nos Estados Unidos, mas sem ligação entre estados. O aumento da construção no pós-guerra durou até o ano de 1960 e permitiu a instalação de milhares de quilómetros de gasodutos, o que fez com que o gás natural passou a ser utilizado em grande escala por vários países, devido às várias vantagens económicas e ambientais.

A preocupação mundial em encontrar fontes de energia alternativas às convencionais, combustíveis fósseis (carvão, petróleo, etc.), baseia-se no carácter não renovável dos mesmos e na tentativa de diminuição da emissão de CO<sub>2</sub>.

Com base neste contexto, surge a energia nuclear. A energia nuclear é a energia libertada durante a fusão do núcleo atómico. A quantidade de energia que pode ser obtida através destes processos ultrapassa fortemente aquela que pode ser obtida através de processos químicos que envolvem apenas as regiões externas dos núcleos. Apesar deste tipo de fonte de energia se apresentar como uma solução alternativa de produção de energia eléctrica muito eficiente em termos quantitativos, implica um peso muito elevado em questões relacionadas com a segurança e o ambiente, devido essencialmente à radioactividade. O despejo de resíduos radioactivos foi proibido em 1972 pela Convenção Internacional de Londres, antes de pronunciar, em 1983, uma moratória de 10 anos sobre os detritos

pouco ou médio radioactivos. Esta votou, em finais de 1993, uma interdição total da imersão de resíduos radioactivos.

Em Portugal existe actualmente a hipótese de se construir uma central nuclear, pela Enupor Energia Nuclear de Portugal, mas o medo de acidentes nucleares e a contestação dos ambientalistas persiste e está a deixar o governo reticente em aceitar a proposta. No entanto, tudo indica que a proposta será recusada visto que o nosso país tem um enorme potencial de implementação das energias renováveis como a energia eólica, biomassa e solar, sendo que a hídrica já apresenta níveis de exploração bastante consideráveis. Portugal apresenta, quer pela produção directa de electricidade, quer pela produção de calor, condições naturais e de uso do território que permitem a sua afirmação em termos tecnológicos e em consonância com as metas estabelecidas na União Europeia que, para 2010, será de 39% de energias renováveis na produção de electricidade, mas com percentagens crescentes para os anos seguintes.

#### **1.4. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS E AS MEDIDAS DA UE NO COMBATE ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS [4]**

Nas últimas décadas, o nosso estilo de vida e o aumento da riqueza têm exercido um efeito profundo no sector da energia, transformando assim consideravelmente as perspectivas energéticas, devido à procura crescente de energia, à subida em flecha dos preços do petróleo, à incerteza do aprovisionamento energético e o receio de aquecimento global. Os líderes da UE assumiram, pois, o compromisso de aumentar a utilização das energias renováveis, que podem substituir os combustíveis fósseis, diversificar o nosso aprovisionamento energético e reduzir as nossas emissões de CO<sub>2</sub>. A promoção do investimento em energias renováveis, eficiência energética e novas tecnologias contribui para o desenvolvimento sustentável, para a segurança do aprovisionamento para a criação de novos empregos, crescimento económico, maior competitividade e desenvolvimento rural. É necessário um quadro legislativo abrangente para a promoção e utilização das energias renováveis. Só assim a comunidade empresarial poderá dispor da estabilidade a longo prazo de que necessita para adoptar decisões racionais de investimento no sector das energias renováveis e encaminhar a União Europeia para um futuro energético mais limpo, mais seguro e mais competitivo.

Em Janeiro de 2007, a Comissão Europeia apresentou uma proposta integrada de plano de acção em matéria de energia e alterações climáticas que aborda as questões do aprovisionamento energético, das alterações climáticas e do desenvolvimento industrial. Dois meses depois, os Chefes de Estado da União Europeia aprovaram o plano de acção e chegaram a acordo quanto a uma política energética para a Europa.

O plano propunha como medidas 20% de aumento da eficiência energética, 20% de redução das emissões de gases com efeito de estufa, 20% de quota de energias renováveis no consumo global de energia da UE até 2020 e 10% de teor de biocombustíveis nos combustíveis para transportes até 2020.

Estas metas são muito ambiciosas. A quota anual de energias renováveis é actualmente de 8,5%. Para atingir a quota de 20% até 2020 serão necessários grandes esforços em todos os sectores económicos e por parte de todos os Estados-Membros.

Para atingir os objectivos da política de energias renováveis, a Comissão Europeia propôs uma série de Directivas Comunitária relativas ao Abastecimento Energético. Estas visam estabelecer metas nacionais em matéria de energias renováveis que permitam alcançar em cada Estado-Membro uma meta vinculativa global de 20% de fontes de energia renováveis no consumo de energia em 2020 e uma meta vinculativa mínima de 10% de biocombustíveis no sector dos transportes.

As energias renováveis abrangem três sectores: electricidade, aquecimento e arrefecimento e transportes. Cabe aos Estados-Membros decidir em que proporção estes sectores contribuirão para atingir as metas nacionais, escolhendo para isso os meios que melhor correspondam às suas circunstâncias nacionais. Os Estados-Membros terão também a opção de alcançar as suas metas apoiando o desenvolvimento de energias renováveis noutros Estados-Membros e em países terceiros.

A quota mínima de 10% de biocombustíveis nos transportes é aplicável em todos os Estados-Membros. Os biocombustíveis fazem diminuir a dependência do petróleo do sector dos transportes, uma das mais graves questões que afectam a segurança do aprovisionamento energético da UE.

Por fim, a directiva visa também eliminar entraves desnecessários ao crescimento das energias renováveis simplificando, por exemplo, os procedimentos administrativos aplicáveis ao desenvolvimento de novas energias renováveis e encoraja o desenvolvimento de melhores tipos de energias renováveis, estabelecendo normas de sustentabilidade para os biocombustíveis, entre outras medidas.

Para alcançar eficazmente a meta de 20% de energias renováveis, as metas individuais para cada Estado-Membro têm de ser determinadas de forma tão equitativa quanto possível. A Comissão propôs, portanto, uma abordagem simples em cinco etapas:

- Modula-se a quota de energias renováveis em 2005 (ano de referência para todos os cálculos no pacote) de forma a reflectir os pontos de partida nacionais e os esforços já desenvolvidos pelos Estados-Membros que tenham alcançado um aumento superior a 2% entre 2001 e 2005;
- Adicionam-se 5,5% à quota modulada de energias renováveis de cada Estado-Membro em 2005;
- Pondera-se o esforço restante em função de um índice do PIB *per capita* para reflectir os vários níveis de riqueza entre os Estados-Membros, e multiplica-se depois pela população do Estado-Membro;
- Adicionam-se estes dois elementos a fim de obter a quota total de energias renováveis no consumo final total de energia em 2020;
- Aplica-se, por fim, um limite máximo global à quota de energias renováveis em 2020 para cada Estado-Membro.

Este método de cálculo das metas permite distribuir o esforço de forma equitativa entre os Estados-Membros. Ao mesmo tempo, a criação de um regime de garantias de origem negociáveis permite aos Estados-Membros alcançar as suas metas da forma mais economicamente rentável. Em vez de desenvolverem fontes de energia renováveis a nível local, os Estados-Membros poderão adquirir garantias de origem (certificados que provam a origem renovável da energia) noutros Estados-Membros onde seja mais barato desenvolver energias renováveis.

Os numerosos benefícios das energias renováveis, em termos de impacto nas alterações climáticas, segurança do aprovisionamento energético e benefícios económicos a longo prazo, são amplamente reconhecidos. A análise da Comissão mostra que o cumprimento das metas para as energias renováveis terá por efeito:

- Poupanças de 600 a 900 milhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> por ano, diminuindo o ritmo das alterações climáticas e enviando um sinal a outros países para que adoptem igual comportamento;
- Reduções de 200 a 300 milhões de toneladas por ano no consumo de combustíveis fósseis, na sua maioria importados, aumentando a segurança do aprovisionamento energético para os cidadãos europeus;

- Promoção das indústrias de alta tecnologia, novas oportunidades económicas e criação de emprego.

Para tal, será necessário investir entre 13 e 18 mil milhões de euros por ano, mas este investimento fará baixar o preço das tecnologias para as energias renováveis, que assegurarão uma parte cada vez maior do nosso aprovisionamento energético no futuro.

Com os actuais preços do petróleo, as energias renováveis são cada vez mais vistas como uma alternativa economicamente viável. Graças a uma maior implantação das fontes de energia renováveis, é de esperar que o custo das energias renováveis continue a baixar ao longo do tempo, como foi o caso para as tecnologias da informação. Os custos já baixaram, aliás, de forma significativa nos últimos anos. No ano passado, o investimento global nas energias sustentáveis aumentou 43%.

Prevê-se que os rendimentos comerciais da energia solar, da energia eólica, dos biocombustíveis e das pilhas de combustível aumentem para cerca de 150 mil milhões de euros até 2016, ao mesmo tempo que os níveis, nunca antes registados, de investimento na energia solar, energia eólica e biocombustíveis reflectem a maturidade tecnológica, o reforço dos incentivos políticos e o aumento da confiança dos investidores.

A implantação contínua e alargada das energias renováveis dará continuidade a este processo. Por outro lado, o custo dos combustíveis fósseis, nomeadamente o petróleo, tem aumentado constantemente desde 1998. A dinâmica é clara: descem os preços das energias renováveis, aumentam os preços dos combustíveis fósseis.

Mas a utilização de fontes de energia renováveis contribui também para aumentar as oportunidades de emprego a nível local e regional. As energias renováveis na UE têm um volume de negócios de 30 mil milhões de euros e empregam cerca de 350 000 pessoas. No caso da energia Solar, a criação de postos de trabalho associados a um mercado anual médio da ordem de 25000m<sup>2</sup> de colectores por ano é de cerca de 2500 novos empregos.

As políticas proactivas da UE no domínio das energias renováveis constituem uma oportunidade para a indústria. Serão feitas poupanças na importação de combustíveis fósseis, e a diversificação das fontes de energia assegurará uma melhor protecção da União Europeia contra os choques externos.

A meta para as energias renováveis está estreitamente associada à meta de redução dos gases com efeito de estufa. Sem um aumento significativo da quota de energias renováveis no cabaz energético da UE, será praticamente impossível cumprir os objectivos comunitários de redução das emissões de gases com efeito de estufa.

Mas a expressão “energia limpa” não se aplica apenas à redução das emissões de gases com efeito de estufa. Abrange também os poluentes clássicos, como os óxidos de azoto, os dióxidos de enxofre e as partículas em suspensão, tão nocivos para a saúde como para o ambiente.

Do ponto de vista da segurança do aprovisionamento, as energias renováveis da UE são, na sua maioria, de produção endógena. Isto significa que estão menos sujeitas a rupturas do aprovisionamento e atenuam os aumentos dos preços dos combustíveis. Interessa, pois, produzir mais energia endógena e a partir de uma variedade cada vez maior de fontes renováveis. A diversificação das fontes de energia reforça a segurança do aprovisionamento.

São cada vez mais aparentes também as mudanças no comportamento dos consumidores a favor de energias “mais verdes”. As sondagens mostram que os consumidores valorizam as fontes de energia renováveis, pelos seus benefícios ambientais, sobre as fontes de energia convencionais, mais poluentes, e que preferem companhias de electricidade que forneçam pelo menos uma parte da sua potência a partir de tecnologias de energias renováveis. De acordo com uma sondagem Euro

barómetro realizada em Janeiro de 2007, 55% dos cidadãos europeus consideram muito promissora a utilização das energias renováveis e 60% pensam que a investigação no domínio da energia deveria ser uma prioridade da União Europeia. Além disso, os cidadãos são favoráveis à mudança da estrutura energética, ao aumento das actividades de investigação e desenvolvimento e às medidas que assegurem a estabilidade energética. Um grande número de cidadãos pensa que os governos nacionais deveriam ter por prioridade garantir preços baixos para a energia e a continuidade do aprovisionamento, e 40% estão preparados a pagar mais pela energia proveniente de fontes renováveis. Isto mostra claramente a importância das energias renováveis para os cidadãos europeus. São cada vez mais os que consideram fundamental aumentar o nosso consumo de energias renováveis para viver num ambiente limpo, sustentável e mais seguro.

A União Europeia já é líder mundial no sector das energias renováveis, cuja importância é grande e continua a aumentar em todo o mundo. A UE pretende manter a liderança deste sector em rápido desenvolvimento. Até agora, contudo, o desenvolvimento tem sido desigual na UE e as energias renováveis ainda só representam uma pequena parte do cabaz energético total da UE, dominado pelo gás, petróleo e carvão.

As várias energias renováveis encontram-se em fases diferentes de desenvolvimento tecnológico e comercial. Em determinados locais e em certas condições, fontes de energia como a eólica, a hídrica, a biomassa e a solar térmica já são viáveis economicamente. Mas outras, como a fotovoltaica, dependem do aumento da procura para melhorar as economias de escala e reduzir os custos.

Estão actualmente em vigor duas directivas da UE no domínio das energias renováveis: uma relativa à electricidade e outra relativa aos biocombustíveis. O terceiro sector, aquecimento e arrefecimento, não é ainda objecto de legislação a nível europeu. A fixação da meta para 2020 oferece a oportunidade de propor uma directiva que abranja os três sectores das energias renováveis. Torna possível estabelecer medidas individuais para os diferentes sectores e abordar, ao mesmo tempo, questões transversais como os regimes de apoio e a eliminação de entraves administrativos. A adopção de uma directiva única e de planos de acção nacional únicos encorajará os Estados-Membros a conceber a política energética de forma mais integrada, centrada na melhor repartição dos recursos.

A nova directiva da Comissão Europeia estabelece as metas para as energias renováveis e procura fornecer um enquadramento estável e integrado para todas as energias renováveis, o que é essencial para dar aos investidores a confiança necessária para que as energias renováveis possam desempenhar plenamente o seu papel. Ao mesmo tempo, o enquadramento é suficientemente flexível para ter em conta as situações específicas nos Estados-Membros e deixar-lhes suficiente margem para que estes cumpram as suas metas de forma economicamente rentável, nomeadamente graças ao melhoramento do regime de transferência de garantias de origem. Além disso, a directiva contém medidas específicas para eliminar os entraves ao desenvolvimento das energias renováveis, como os controlos administrativos excessivos, e encorajar uma maior utilização de tipos de energias renováveis capazes de um melhor desempenho.

### **1.5. O CASO PORTUGUÊS [5]**

Portugal importa anualmente mais de 80% da energia primária que consome [6], nomeadamente petróleo bruto, carvão e gás natural. Esta situação faz com que o nosso país esteja demasiado exposto à conjuntura internacional, sofrendo imediatamente as consequências das variações dos preços dos combustíveis, tal como se verifica na actualidade.

Os recursos energéticos endógenos actualmente explorados resumem-se, essencialmente, às energias renováveis, das quais se destacam a biomassa vegetal e as energias solar, hídrica e eólica, sendo a primeira destinada, essencialmente, à produção de calor, e as últimas utilizadas na produção de electricidade.

A utilização das energias renováveis assume, assim, particular importância pela redução da dependência face aos combustíveis fósseis e ao mercado internacional. Além disso, Portugal assumiu diversos compromissos internacionais, nomeadamente os decorrentes do Protocolo de Quioto, em que se obrigou a limitar o aumento das suas emissões de gases com efeito de estufa em 27% relativamente aos valores de 1990, e da Directiva relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis, que estabelece como meta indicativa que a electricidade produzida a partir de fontes de energia renovável corresponda a 39% do consumo bruto de electricidade em 2010 [7]. Mais recentemente, com a implementação do DL 80/2006 RCCTE- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios e a sua obrigatoriedade no que diz respeito à instalação de painéis solares para o aquecimento das águas quentes sanitárias, Portugal deu um grande passo para a reabertura da exploração do mercado da energia solar.

Em 2001, no âmbito do programa E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas [8], foi lançado o Programa “Água Quente Solar para Portugal” que previa a instalação, até 2010, de um milhão de metros quadrados de colectores solares. O governo, ao lançar o programa E4, tenta implementar um conjunto de medidas que reforçam a visão integrada e coerente, da oferta à procura da energia, com objectivo de, pela promoção da eficiência energética e da valorização das energias endógenas, contribuir para uma melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da nossa sociedade. Esta melhoria económica e de evolução tecnologia da sociedade será alcançada pela intervenção abrangente da problemática da energia. Além disso, procura ao mesmo tempo, a segurança no abastecimento, a redução da factura energética e a salvaguarda do ambiente. Desta forma, a estratégia do programa E4 assenta em três eixos de intervenção:

- Diversificação do acesso às formas de energia disponíveis no mercado e aumento das garantias do serviço prestado pelas empresas da oferta energética;
- Promoção da melhoria da eficiência energética, contribuindo para a redução da intensidade energética do PIB e da factura energética externa e para a resposta que se impõe quanto às alterações climáticas, dando particular atenção às oportunidade e meios de optimização da eficiência do lado da procura;
- Promoção da valorização das energias endógenas, nomeadamente a hídrica, a eólica, a biomassa, a solar (térmica e fotovoltaica) e a energia das ondas, num compromisso fortemente dinâmico entre a viabilidade técnico-económica e as condicionantes ambientais.

A aplicação desta estratégia envolve um vasto leque de medidas que serão introduzidas sucessivamente e segundo o respectivo enquadramento socioeconómico, de forma a salvaguardar a credibilidade das medidas definidas. Tais medidas vão também contribuir para a adopção de medidas estruturais e outras que, pelo lado português, o viabilizem, até à criação de um programa vigoroso de promoção de energias renováveis e à adopção do mais vasto leque de medidas de eficiência energética.

Os resultados até à data estão ainda distantes do objectivo inicial, apesar das várias iniciativas e projectos realizados.

Em 2004 foi possível apurar a instalação de 16 088m<sup>2</sup> de colectores solares, dos quais 44% em pequenos sistemas domésticos e o restante em grandes sistemas e a evolução ao longo do tempo pode ser analisada na Figura 1.1.

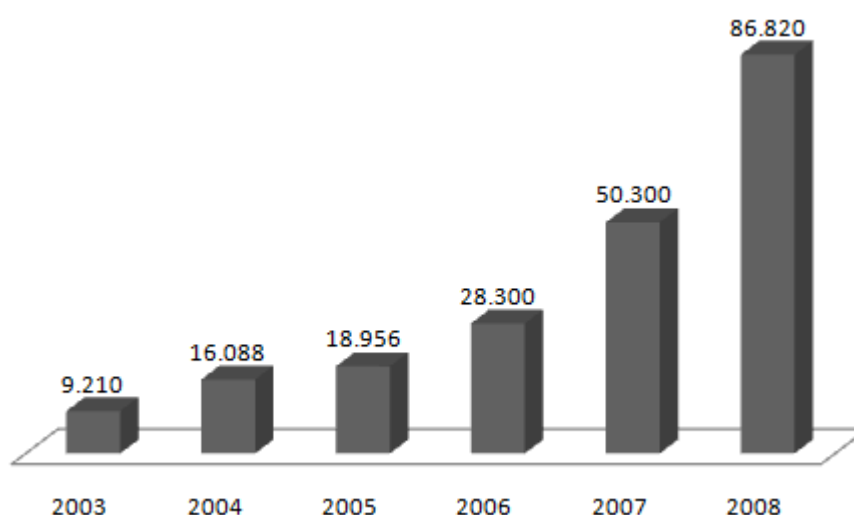


Fig.1.1 – Evolução anual dos m<sup>2</sup> de colectores solares instalados [9]

Analisando o gráfico pode-se tirar algumas conclusões, tais como:

- A taxa de crescimento foi superior a 70%, em 2008;
- Em 2006, o mercado triplica;
- Que as novas necessidades impostas pela RCCTE provocaram uma forte reacção do mercado;
- Ao longo dos anos verificou-se uma crescente exposição mediática do Solar Térmico.

Além do programa E4, também foi lançado o Programa P3E – Programa para a Eficiência Energética em Edifícios [10], que é um programa promovido pela DGE e apoiado pelo POE e tem como objectivo final a melhoria da eficiência energética dos edifícios em Portugal. Através de um conjunto de actividades estratégicas a desenvolver num curto prazo, algumas delas de índole inovador, de forma a moderar a actual tendência de crescimento dos consumos energéticos nos edifícios e, consequentemente, o nível das emissões de Efeito de Estufa (GEE) que lhes são inerentes. A intenção será alterar comportamentos e atitudes dos diferentes intervenientes no processo, uma vez que são estes que, de certa forma, condicionam a estrutura de consumos energéticos a nível dos edifícios e seus sistemas. Desta forma, este programa vem completar um quadro legislativo inserido nas decisões comunitárias para a política energética e ambiental da UE, através da formação dos intervenientes do processo e assim contribuir para o cumprimento da Directiva sobre a Eficiência Energética em Edifícios.

A UE também lançou uma serie de directivas no sentido do incentivo ao recurso a energias renováveis, tais como:

- Normas Europeias de Requisitos e ensaio de Sistemas Solares Térmicos e os seus componentes para a certificação destes produtos, sendo aprovadas em 2000;
- Directivas comunitárias relativas à segurança de abastecimento energético e à minimização de impactes ambientais.

Nos últimos anos, têm-se lançado uma serie de programas para o uso de energias renováveis, embora em Portugal tenha-se feito uma grande aposta na Energia Solar. Neste sentido, implementou-se o Programa “Água Quente solar” e o Programa Solar Térmico 2009, com a solução “chave na mão.

O Programa “Água Quente Solar” visa a instalação de 150000 m<sup>2</sup> de colectores solares por ano de forma a atingir em 2010 1 milhão de m<sup>2</sup> de colectores solares instalados. Este programa permitiu a Portugal desenvolver um mercado mais vasto e modernizado nesta área. [11]

O Programa Solar Térmico 2009 [12], foi o ultimo a ser promovido e visa atingir um acordo tripartido entre o governo, as entidades bancárias e os fabricantes de colectores solares térmica que permitirá ao consumidor a obtenção de:

- Comparticipação imediata do Estado pela aquisição de um Paine Solar
- Benefícios fiscais de 30% do custo do investimento, num valor máximo de 796€ (não inclui o valor participado)
- Oferta da Solução “Chave na mão” que oferece ao consumidor a aquisição, instalação, manutenção, garantia dos equipamentos e financiamento tudo conforme o previsto no RCCTE.

Como se pode concluir Portugal tem acompanhado as evoluções da UE, embora ainda não tenha alcançado os objectivos para o qual se propôs. Nos últimos 2 anos, Portugal conseguiu inverter a tendência das últimas décadas de crescimento da intensidade energética, graças ao Plano de Acção para a Eficiência Energética.

## 1.6. O PROTOCOLO DE QUIOTO [7]

Até chegar ao Protocolo de Quioto, houve uma série de discussões que provocaram a tomada de consciência dos actuais problemas ecológicos do mundo. O primeiro passo aconteceu em Estocolmo, na Suécia, em 1972, quando aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, o primeiro encontro de líderes de Estado para discutir o assunto.

Seguiram-se outras conferências, encontros e debates, como a *Toronto Conference on the Changing Atmosphere*, no Canadá (Outubro de 1988). A primeira reunião entre governantes e cientistas sobre as mudanças climáticas descreveu o seu impacto potencial inferior apenas ao de uma guerra nuclear. Desde então, uma sucessão de anos com altas temperaturas tem batido os recordes mundiais de calor, fazendo da década de 1990 a mais quente desde que existem registos.

Seguiu-se o *IPCC's First Assessment Report em Sundsvall*, Suécia (Agosto de 1990). O primeiro informe com base na colaboração científica de nível internacional foi o *IPCC* (Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, em inglês), onde os cientistas advertiram que para estabilizar os crescentes níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o principal gás de efeito de estufa, na atmosfera, seria necessário reduzir as emissões de 1990 em 60%.

Culminou com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (CQNUMC, ou *UNFCCC* em inglês) na ECO-92 no Rio de Janeiro, Brasil (Junho de 1992). Mais de 160 governos assinaram a Convenção Marco sobre Mudança Climática na ECO-92. O objectivo era “evitar interferências antropogénicas perigosas no sistema climático”. Isso deveria ser feito rapidamente para poder proteger as fontes alimentares, os ecossistemas e o desenvolvimento social. Também foi incluída uma meta para que os países industrializados mantivessem as suas emissões de gases de efeito de estufa, em 2000, nos níveis de 1990. Também conteve o “princípio de responsabilidade comum e diferenciada”, que significa que todos os países têm a responsabilidade de proteger o clima, mas o Norte deve ser o primeiro a actuar. Também reforçou secções da CQNUMC.

O segundo informe de cientistas do IPCC, em 1995, chegou à conclusão de que os primeiros sinais de mudança climática são evidentes. A análise das evidências sugere um impacto significativo de origem

humana sobre o clima global. Um evidente desafio para os poderosos grupos de pressão em favor dos combustíveis fósseis, que constantemente legitimavam grupos de cientistas cépticos quanto a essa questão, para sustentar que não haviam motivos reais de preocupação.

Em Quioto no Japão em 1997 é assinado um novo componente da Convenção, que contém, pela primeira vez, um acordo vinculativo que compromete os países do Norte a reduzir as suas emissões. Constitui-se no protocolo de um tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas, como causa do aquecimento global.

Depois de discutido e negociado, foi aberto para assinaturas em 16 de Março de 1998 e ratificado em 15 de Março de 1999. Sendo que, para este entrar em vigor, precisou que 55% dos países, que juntos, produzem 55% das emissões, o ratificassem, assim entrou em vigor em 16 de Fevereiro de 2005, depois que a Rússia o ratificou em Novembro de 2004.

Por ele se propõe um calendário pelo qual os países desenvolvidos têm a obrigação de reduzir a emissão de gases do efeito estufa em, pelo menos, 5,2% em relação aos níveis de 1990 no período entre 2008 e 2012, também chamado de primeiro período de compromisso (para muitos países, como os membros da UE, isso corresponde a 15% abaixo das emissões esperadas para 2008).

A redução das emissões deverá acontecer em várias actividades económicas. O protocolo estimula os países signatários a cooperarem entre si, através de algumas acções básicas como reformar os sectores de energia e transportes, promover o uso de fontes energéticas renováveis, eliminar mecanismos financeiros e de mercado inapropriados aos fins da Convenção, limitar as emissões de metano na acumulação de resíduos e pelos sistemas energéticos, proteger florestas e outras fontes de carbono.

Se o Protocolo de Quioto for implementado com sucesso, estima-se que deva reduzir a temperatura global entre 1,4°C e 5,8°C até 2100, entretanto, isto dependerá muito das negociações pós período 2008/2012, pois há comunidades científicas que afirmam categoricamente que a meta de redução de 5% em relação aos níveis de 1990 é insuficiente para a mitigação do aquecimento global.

### **1.7. PERSPECTIVAS FUTURAS [13]**

O Protocolo de Quioto entrou em vigor em 2005 e vale até 2012. Pelo acordo, 36 países desenvolvidos comprometem-se a reduzir as emissões de gases que provocam o efeito estufa em 5,2% em relação a 1990. O Protocolo de Bali definirá as metas a partir de 2012.

O encontro em Bali foi a 13ª reunião anual do grupo da ONU chamado de Convenção das Partes (COP, na sigla em inglês), que ocorreu em Bali na Indonésia entre 3 e 14 de Dezembro.

De Bali saiu o chamado Mapa do Caminho que define um roteiro com os princípios que vão guiar as negociações do regime global de mudanças climáticas, que sucederá ao Protocolo de Quioto.

Nos próximos dois anos, o Mapa do Caminho será discutido por um grupo de trabalho criado para encaminhar as negociações.

Pelo cronograma estabelecido no texto, os 190 países da convenção terão até 2009 para definir o substituto do Protocolo de Quioto. Ou seja, para definir qual será o mecanismo global de mudanças climáticas após o final do primeiro período de compromisso do acordo, em 2012.

O compromisso assumido pelos países do G8 é chegar a uma proposta final de acordo até 2009, para que ela seja discutida em detalhes até 2012.

A Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas que agora terminou em Bali deveria constituir um objectivo fundamental para o assegurar. O processo e conteúdos negociais para os próximos dois anos envolvendo todos os países (até final de 2009), de forma a assegurar a continuação após 2012 de um quadro de redução das emissões para os países desenvolvidos para 2020, uma visão de longo prazo de redução global para 2050, e ainda a consolidação de um conjunto de áreas associadas como a transferência de tecnologia, a capacitação institucional, o apoio à adaptação às alterações climáticas por parte os países em desenvolvimento, o financiamento e as questões da florestação e desflorestação, entre outras.

Os aspectos positivos no Mandato de Bali foram o ter início um processo formal e na prática interligado entre os países da Convenção das Alterações Climáticas e os países que ratificaram o Protocolo de Quioto através de Grupo de Trabalho Ad-hoc da Convenção sobre Acção Cooperativa de Longo Prazo e o ter sido estabelecida a data de 2009 para o final do processo negocial para definir o quadro pós-2012. O calendário dos trabalhos até à conferência de Poznan dentro de um ano poderia ser mais detalhado dada a urgência de acção e a demora no acordo e tomada de decisões, mas compreende-se que tenha sido genérico devido á falta de tempo negocial face a outros assuntos.

No que respeita à presença de números/metast na decisão da Conferência de Bali, os resultados ficaram aquém das expectativas iniciais. Os números em causa, inicialmente presentes no texto, mencionavam a redução de emissões a longo prazo (obter uma redução bem superior a 50% das emissões entre 2000 e 2050), a necessidade de, dentro de 10 a 15 anos as mesmas atingirem o máximo seguido de um declínio e a redução entre 25 a 40% das emissões dos países industrializados entre 1990 e 2020. O texto remeteu todos estes números através de uma nota de rodapé para as conclusões do Painel Intergovernamental das Alterações Climáticas onde estes dados estão claramente identificados.

O Mandato de Bali é derrota para a actual administração Americana, tirando protagonismo ao processo paralelo que queriam conduzir através dos encontros das maiores economias mundiais.

Porém, no texto final, os países desenvolvidos como EUA, Canadá e Japão, ganham em ficar explícito que podem ter compromissos mas também acções, o que é um termo mais frágil e menos vinculativo que as metas de redução, sendo este o objectivo desejável. Uma cedência para abrir uma porta de entrada aos EUA, que sabemos, não será aproveitada por esta administração Americana, mas também uma porta de saída a países como o Canadá e o Japão que querem aliviar as suas obrigações actuais no quadro do Protocolo de Quioto.

Em Portugal, o Ministério da Economia e da Inovação apresenta já um novo Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – “Portugal Eficiência 2015”. Neste contexto foram criados 12 Programas abrangentes de actuação com várias vertentes da eficiência energética, que procuram incentivar a utilização de novas tecnologias, a melhoria dos processos organizativos e a mudança de comportamentos e de valores que conduzam a hábitos de consumo mais sustentáveis. Os 12 Programas são: Renove Carro, Mobilidade Urbana, Sistema de Eficiência nos Transportes, Renove Casa e Escritório, Sistema de Eficiência em Edifícios, Renováveis na hora e Programa Solar, Sistema de Eficiência na Industria, Eficiência Energética no Estado (E3), Programa Mais, Operação E, Fiscalidade Verde e Fundo de Eficiência Energética. Cada Programa terá organismos coordenadores que articularão a sua actividade com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC).

De entre as novas medidas constantes do Plano destacam-se:

- O lançamento de um prémio de referência para as melhores práticas em edifícios na área da eficiência energética com a participação da Ordem dos Arquitectos, Visão, EDP e Galp Energia;

- Uma redução de 2,5% na tarifa de electricidade aos consumidores com menores consumos energéticos e um incentivo tarifário aos menos eficientes;
- A atribuição de um “Cheque Eficiência” durante 2 anos no valor de 10% ou 20% dos gastos anuais de electricidade aos consumidores com reduções verificadas de 10% ou 20%, respectivamente, para investimentos em eficiência energética;
- A criação de uma linha de crédito bonificado com €250M/ano para investimentos em medidas de eficiência energética, com forte enfoque na reabilitação urbana;
- O lançamento de um programa para renovação de grandes electrodomésticos
- Um conjunto de medidas de incentivo à criação e dinamização de empresas de serviços de energia;
- A criação de um regime de amortizações aceleradas para investimentos em eficiência energética nos sectores da indústria e serviços;
- A criação de Acordos de Racionalização de energia com a indústria;
- A certificação energética de todos os edifícios do Estado e o lançamento de um grande programa de optimização da iluminação pública;
- A criação de uma frota de “táxis verdes” com reduzidos níveis de emissões;
- O desenvolvimento de uma plataforma inovadora de gestão de tráfego para Lisboa e Porto utilizando tecnologia nacional.

As medidas definidas permitem uma redução do consumo equivalente a 10% até 2015 superando o objectivo estabelecido na Directiva nº 2006/32/CE (8%), o que permitir abrandar em cerca de 1%/ano o crescimento esperado da factura energética até 2015.

A Agência para a Energia (ADENE) e a Direcção Geral de Energia e Geologia assegurarão uma monitorização do grau de cumprimento dos vários objectivos estabelecidos.

# 2

## A ENERGIA SOLAR NOS EDIFÍCIOS

### 2.1. AS APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR [14]

O sol é uma poderosa fonte de energia, sendo a origem da maioria das fontes de energia renováveis. Todos os aspectos da nossa vida diária envolvem o uso de energia: o transporte, a produção de alimentos e o abastecimento de água, assim como o aquecimento das casas. Para esses fins, os combustíveis fósseis, tais como o petróleo, o carvão e o gás natural são os mais usados, embora a energia solar absorvida pela Terra, para o período de referência de um ano, seja o equivalente a vinte vezes a energia armazenada em todas as reservas de combustíveis fósseis no mundo e dez mil vezes superior ao consumo actual.

Esta fonte de energia tem inúmeras vantagens, tais como, ser uma energia ecológica, limpa, renovável, alternativa, económica, cómoda, fácil e segura. É uma energia que surge da natureza e não produz qualquer tipo de resíduos, isto é, não é poluente. Além disso, é uma energia inesgotável, nasce todos os dias no horizonte, e que em comparação com as outras fontes de energias convencionais utilizadas, é a que melhor se revela, como sendo, uma alternativa viável em termos económicos e de independência. O investimento num equipamento de Energia Solar Térmica terá o seu retorno a curto prazo, entre seis a sete anos, para um sistema devidamente dimensionado e além disso é extremamente cómodo, uma vez que um depósito de água quente pronta a utilizar a qualquer momento é uma mais-valia no dia-a-dia, ainda mais se for o Sol a aquecê-la gratuitamente. Os equipamentos de energia solar térmica são dos mais simples no funcionamento e caso estes sejam certificados e montados por técnicos credenciados, não resultam em qualquer risco ou perigo na sua utilização, ou seja, os equipamentos têm um funcionamento livre de preocupações ou riscos especiais.

Desta forma podemos concluir que a utilização da energia solar é extremamente vantajosa, pois liberta os consumos de energia da dependência do petróleo e de outras alternativas menos seguras e mais contaminantes. Em contrapartida, a energia solar apresenta um aspecto menos favorável no que diz respeito ao período referente ao inverno uma vez que é nesta altura que a energia é mais necessária, mas a radiação solar, é menor. Este ponto está a ser ultrapassado pelo desenvolvimento das tecnologias de captação, armazenamento e distribuição de energia solar para que possa ser competitiva em relação ao resto das opções energéticas.

Durante as duas últimas décadas foram realizadas diversas investigações sobre os diferentes usos desta energia, chegando-se à conclusão que a energia solar pode ser aproveitada de diversas maneiras, nomeadamente:

- **Água Quente Sanitária** – A maior parte da área dos colectores solares instalados é utilizada para a produção de água quente para aplicações domésticas (AQS), sendo esta a aplicação da tecnologia solar com maior relevância, em qualquer dos sectores – doméstico, serviços ou indústria. Podem ser aplicados em habitações unifamiliares ou multifamiliares, mas também em

hospitais, hotéis e blocos de vivendas. As suas dificuldades de projecto, optimização, verificação/monitorização e marketing têm sido resolvidas em grande parte e por isso verificou-se ao longo do tempo um crescimento neste segmento do mercado.

- **Aquecimento de Espaços** – O aquecimento solar activo de espaços é normalmente usado como sistema de apoio aos sistemas de aquecimento convencionais, onde as necessidades deste último são de larga duração. Geralmente, são sistemas que combinam aquecimento de água e de espaços, optando-se muito pela utilização de pavimentos radiantes, uma vez que a forma mais racional de atingir as condições ópticas de conforto térmico (na estação fria) numa divisão, é manter zonas um pouco mais aquecidas junto ao pavimento, por onde se distribui a ocupação e, em oposição, ligeiramente mais frias junto ao tecto.
- **Electricidade** – A electricidade pode ser produzida por meio de células fotovoltaicas inseridas em colectores fotovoltaicos, capazes de transformar luz num potencial eléctrico, sem sofrer um efeito térmico. A energia solar fotovoltaica é uma solução para o problema da electrificação rural, uma vez que não precisa de combustíveis nem de manutenção e, embora com menor rendimento, os sistemas solares funcionam também nos dias nublados, captando a luz filtrada através das nuvens.
- **Aquecimento de Piscinas** – Os colectores solares são mais simples, não são vidrados e têm-se utilizado desde há uns 20 anos para cá. A solução mais comum é a instalação dos colectores num terreno próximo da piscina e ligado ao filtro do circuito de água da mesma. Este sistema tem uma elevada fiabilidade e economia. Este tipo de aquecimento também pode ser combinado com a utilização da energia solar para a AQS, acrescentando vantagens sob o ponto de vista de protecção contra o sobreaquecimento da instalação, uma vez que a energia sobrança do aquecimento de AQS pode ser utilizado no aquecimento da água das piscinas, pois esta utiliza temperaturas mais baixas.
- **Indústria** – Existem determinados processos industriais que necessitam de calor numa gama de temperaturas mais amplas. A partir das diferentes temperaturas utilizadas para processos industriais, podem-se utilizar colectores com diferentes tecnologias, assim como diferentes formas de integração do sistema solar no sistema convencional do processo. Devido à diversidade de processos industriais, é necessário o estudo individual e detalhado de cada um.
- **Refrigeração Solar** – A refrigeração solar é uma aplicação óbvia da energia solar, pois as épocas em que mais é necessária coincidem com as que desfrutam de mais radiação solar. Um sistema com esta finalidade usa a produção das temperaturas altas por colectores, para o funcionamento das máquinas de absorção. É um sistema ainda pouco utilizado mas com um enorme potencial de futuro.

Nos últimos tempos notamos um aumento de instalações de energia solar térmica por causa de dois factores principais, nomeadamente, a sensibilidade crescente da sociedade quanto à necessidade de substituir os combustíveis fósseis e os avanços nos sistemas, que permitem melhorar a qualidade e reduzir os custos.

Na Europa, a energia solar térmica vive o seu auge, onde a superfície total de colectores instalados aumentou significativamente. Este aumento está ligado ao surgimento de programas estatais e autonómicos destinadas a promover o uso de energias renováveis e a diversificação. De modo similar, Portugal quer implementar nas obras de reabilitação dos centros históricos, obras também incentivadas pelo Estado Português, à utilização da energia solar como meio energético. Além

disso, a energia solar é extremamente rentável, como observamos na Figura 2.1, que comprova que esta energia permite poupar uma grande quantidade de energia convencional.

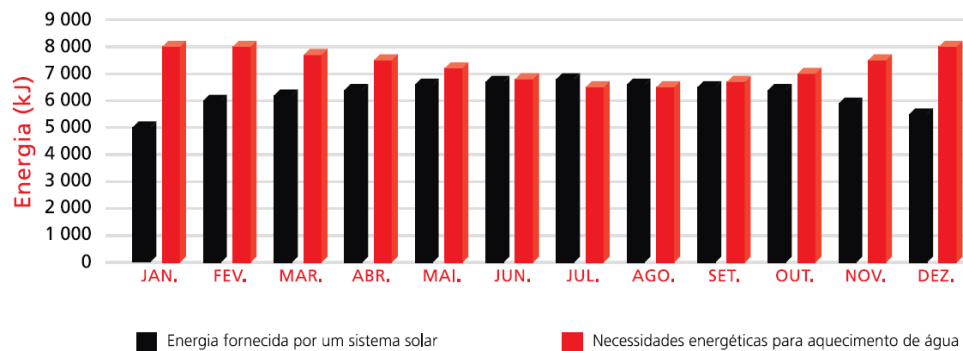


Fig.2.1 – Cobertura Solar das necessidades de água quente durante o ano [15].

No presente estudo, apenas se irá aprofundar a utilização da energia solar para o aquecimento de águas sanitárias, uma vez que o aproveitamento dos sistemas solares térmicos para o aquecimento do ambiente interior dos edifícios ainda não está desenvolvido ao ponto de garantir uma rentabilidade energética autónoma e justificativa do seu investimento.

## 2.2. A RADIAÇÃO SOLAR [16] [17]

Segundo o RCCTE, apenas se torna vantajosa a instalação de um Sistema Solar Térmico, para o aquecimento das águas quentes sanitárias, quando o edifício onde se irá fazer a instalação tenha uma cobertura com exposição solar adequada. Como tal, sendo a radiação emitida pelo sol a fonte utilizada pela energia solar térmica para o aquecimento de águas, é fundamental conhecer as suas principais características.

A influência da radiação solar no conjunto de acções térmicas exteriores que se exercem sobre os edifícios tem particular importância no que concerne ao comportamento estrutural, nomeadamente, quando as estruturas são expostas e também ao comportamento higratérmico, pois pode representar um importante contributo para a satisfação das exigências de Inverno, sendo um factor mais condicionante que as exigências de conforto em período de Verão.

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre é cerca de  $1367 \text{ W/m}^2$ , sendo este valor, uma constante solar, que se refere à energia radiante que incide sobre um plano fictício, perpendicular ao eixo Sol - Terra, antes de entrar na atmosfera terrestre. É um valor médio, uma vez que a distância entre o Sol e a Terra, devido à órbita elíptica desta varia ao longo do ano e portanto também a quantidade de radiação interceptada. Este efeito é responsável por uma variação até 3%. Além disto, os efeitos que resultam da intersecção com atmosfera provocam uma redução da radiação solar que chega à superfície terrestre. Em termos percentuais tem-se que 25% da radiação solar extraterrestre é reflectida para o espaço, 25% é absorvida pela atmosfera (nuvens, gases atmosféricos, aerossóis) e a parcela restante de 50% é absorvida pela superfície terrestre (oceanos e continentes). Estes factos fazem perceber a existência das diferentes radiações. Os componentes atmosféricos (gotícula de água, poeiras, aerossóis) alteram a direcção dos raios solares, gerando radiação em todas as direcções – radiação difusa – que adicionada à parcela da radiação que atinge a superfície terrestre em linha recta - radiação directa - constituem a designada radiação global (Figura 2.2).

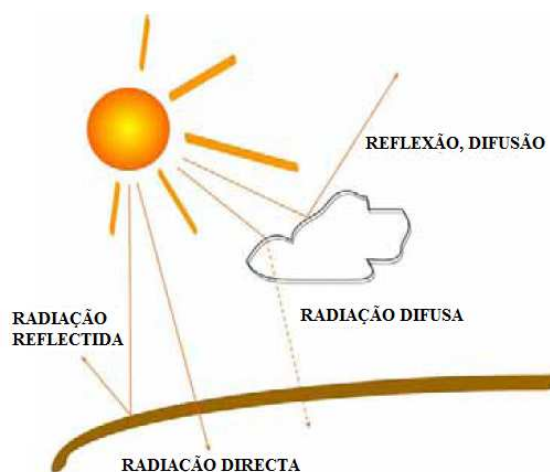


Fig.2.2 – Radiação Solar que atinge a superfície terrestre [16].

O Instituto de Meteorologia dispõe de estações onde regista os valores obtidos da radiação directa normal e da radiação global e difusa em superfície horizontal. Uma vez que o objecto de estudo presente recai sobre os edifícios no Centro Histórico do Porto, é importante o conhecimento das radiações para esta região. Assim, tem-se o Quadro 2.1 que apresenta os valores médios das intensidades das radiações, global e difusa em superfície horizontal em cada mês do ano, medidos pelos serviços meteorológicos:

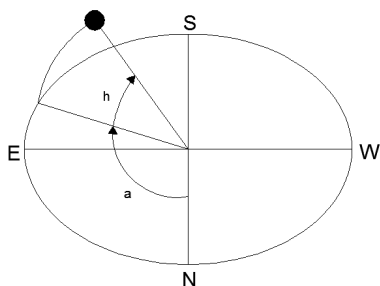
Quadro 2.1 – Radiação Solar que atinge a superfície terrestre (Wh/m<sup>2</sup>) [17].

| Radiação | JAN  | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEZ  |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Global   | 1766 | 2615 | 4090 | 5616 | 6361 | 7077 | 6687 | 6129 | 4616 | 3196 | 1759 | 1495 |
| Difusa   | 1025 | 1293 | 1632 | 2122 | 2379 | 2356 | 2108 | 2089 | 1816 | 1384 | 1069 | 805  |

A intensidade da radiação directa em superfície normal aos raios solares, nem sempre é medido pelos serviços meteorológicos, o seu valor pode ser obtido pela equação 2.1:

$$I_i = \frac{I_{gh} - I_{dh}}{\sin h} \quad (2.1)$$

Sendo:  $I_{gh}$  – intensidade da radiação global em superfície horizontal;  $I_{dh}$  – intensidade da radiação difusa em superfície horizontal;  $I_i$  – intensidade da radiação directa em superfície normal aos raios solares;  $h$  – ângulo entre a horizontal e a altura do Sol (Figura 2.3).



*Altura do Sol (h)* – ângulo que um raio directo do sol faz com a horizontal num lugar da superfície terrestre

*Azimute Solar (a)* – ângulo que a componente horizontal do raio directo do sol faz com o ponto cardinal Norte medido no sentido do ponto cardinal Este

Fig.2.3 – Altura do Sol e Azimute Solar [17].

Portugal é um dos países da Europa que apresenta maior nível de irradiação solar, isto é, é um país que apresenta um elevado valor acumulado da energia recebida por unidade de tempo e por metro quadrado de superfície num determinado intervalo de tempo.

O nível de irradiação global conseguido numa superfície é o factor mais importante no que toca ao potencial de aproveitamento da energia solar e é fortemente influenciado pela latitude do local. A acrescentar ao factor geográfico, a orientação, a inclinação e a composição da instalação solar representam os outros factores importantes que condicionam o nível de radiação captada e a sua transformação em energia térmica.

Para o estudo de um sistema solar térmico é então importante perceber a radiação solar que atinge a superfície terrestre e daí o estudo do posicionamento de um colector solar relativamente ao sol. Desta forma, na Figura 2.4 indicam-se os principais ângulos formados para uma superfície genérica:

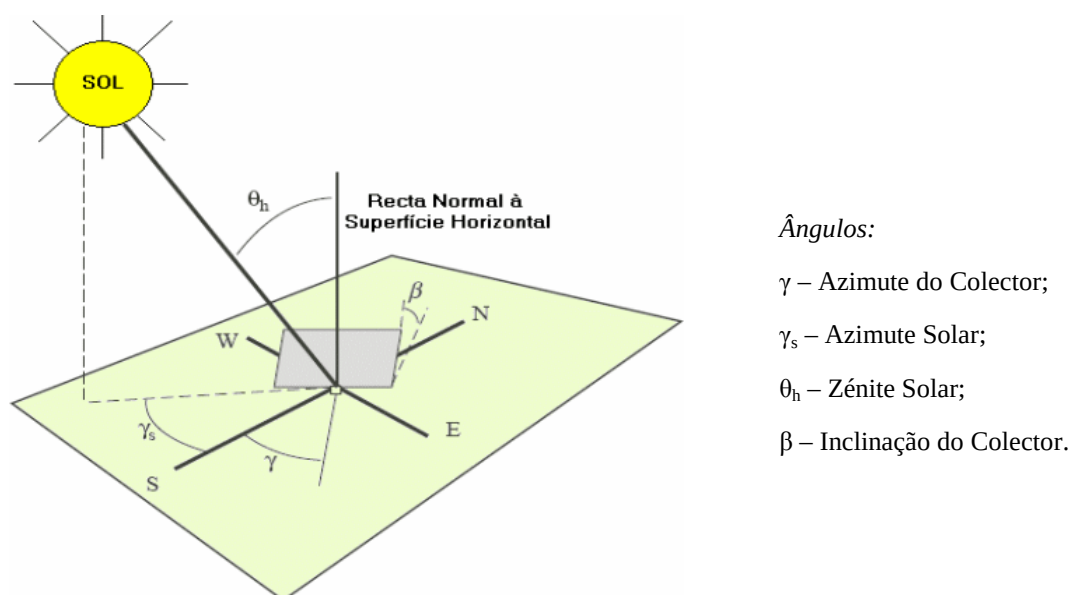


Fig.2.4 – Identificação dos principais ângulos Colector – Sol [18].

Para o esclarecimento da figura acima, tem-se:

- Azimute do colector: ângulo entre a direcção Sul e a projecção da normal ao colector, contado positivamente no sentido dos ponteiros e desta forma, o valor de  $\gamma$  é zero para colectores orientados a Sul,  $-90^\circ$  quando a orientação é para Este e  $+90^\circ$  para Oeste;
- Azimute Solar: acima já referido;
- Zénite Solar: ângulo complementar à altura solar;
- Inclinação do Colector: ângulo que o colector forma com o plano do horizonte, sendo o seu valor zero para painéis horizontais e  $+90^\circ$  para verticais.

Esta análise dos ângulos é fundamental para uma avaliação cuidada da energia solar disponível para que uma instalação solar térmica cubra as necessidades de consumo com a maior rentabilidade energética possível, sendo este factor influenciado, em grande escala, pela orientação e inclinação dos receptores da radiação solar. Para captar o máximo de radiação solar disponível ao longo do ano, os colectores solares, no hemisfério Norte, devem então orientar-se a Sul, em que desvios até  $20^\circ$  para Sudeste ou Sudoeste não afectam muito o rendimento do sistema. [17]

Em relação à inclinação, quando o valor do ângulo de inclinação do colector é próximo do valor correspondente à localidade atinge o seu valor ideal. No entanto, numa instalação utilizada só no Verão, os colectores devem estar menos inclinados, enquanto numa instalação só utilizada no Inverno, deve aumentar-se a sua inclinação, de acordo com o Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Inclinação aconselhada para os Colectores Solares [17].

| Período de Utilização | Inclinação dos Colectores |
|-----------------------|---------------------------|
| Todo do ano           | Latitude geográfica       |
| Inverno               | Latitude geográfica + 10° |
| Verão                 | Latitude geográfica - 10° |

A Figura 2.5 explica o motivo pelo que no Verão os colectores devem estar menos inclinados e no Inverno mais inclinados, estando este facto relacionado com a posição do sol nos diferentes solstícios.

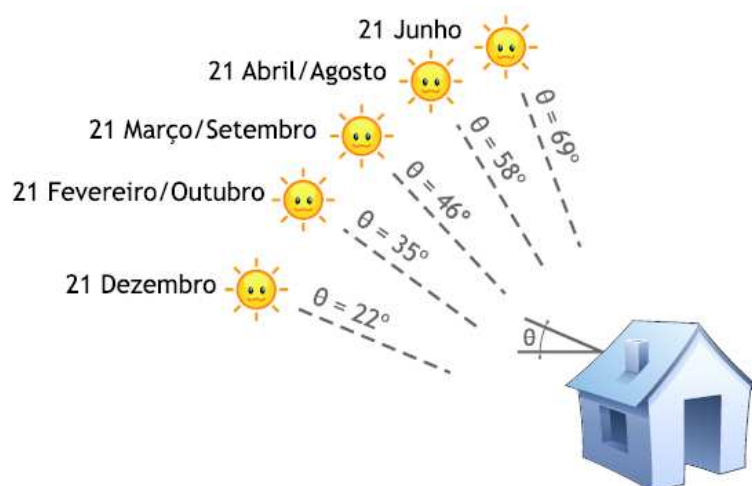


Fig.2.5 – Variação da inclinação óptima do colector ao longo do ano [19].

Um aspecto importante a ter em consideração são as obstruções do horizonte, que influenciam a quantidade de energia disponível para utilização do colector solar. Caso o sombreamento seja feito por outros edifícios em instalações pré-existentes, há necessidade que esses edifícios sejam responsáveis pela transferência da instalação sombreada para zonas não sombreadas da sua cobertura ou agregar aos seus próprios sistemas as medidas para garantir aos edifícios sombreados um fornecimento de energia solar igual ou superior ao anteriormente existente. Por outro lado, o sombreamento também pode existir devido à colocação entre os próprios colectores. Para que isto não ocorra deve existir uma distância entre filas de colectores para que, nas doze horas do dia do Solstício de Inverno, a altura do ano em que o Sol está mais baixo, a sombra da aresta superior da fila da frente se projecte sobre a aresta inferior da fila seguinte. O cálculo de sombras e as respectivas perdas num campo de colectores pode ser feito a partir do traçado dos contornos dos obstáculos que afectam a superfície em estudo sobre o diagrama de trajectórias do sol ao longo de todo o ano, sendo o método gráfico mais utilizado, a Carta Solar Cilíndrica, em que a posição do sol é projectada sobre um plano que envolve de forma tangente a abóbada celeste. A Figura 2.6 exemplifica uma destas cartas solares cilíndricas.

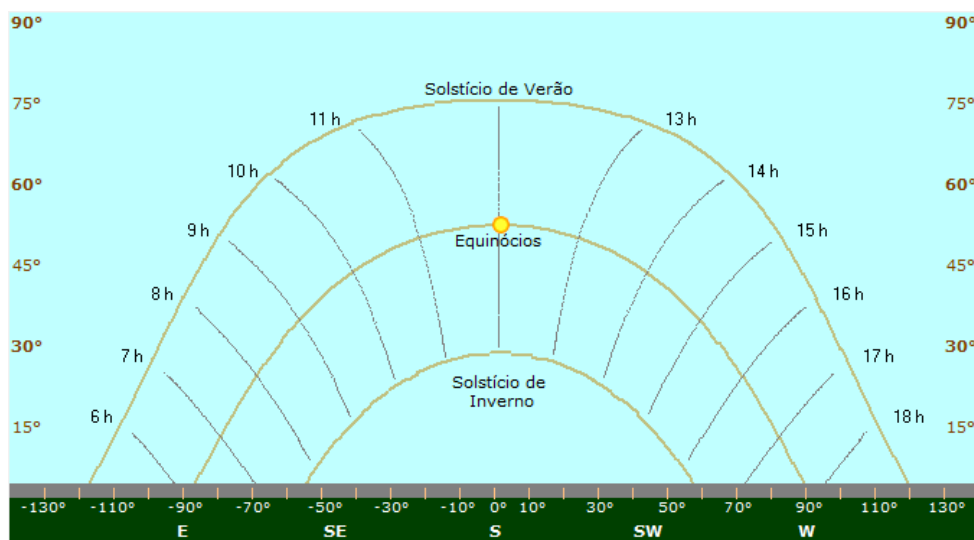


Fig.2.6 – Carta Solar Cilíndrica – Cálculo de Sombras [20].

A partir destas cartas é possível representar as sombras provocadas sobre os colectores solares e assim fazer um estudo detalhado da radiação que o colector tem realmente disponível para a sua conversão em energia térmica.

Como se pode concluir o estudo da radiação global solar na superfície de um colector é um dado essencial para um correcto dimensionamento de um sistema solar térmico.

### 2.3. O SISTEMA SOLAR TÉRMICO

No sector doméstico, os equipamentos convencionais utilizados no aquecimento de águas são os esquentadores, caldeiras murais a gás e os termoacumuladores a gás e eléctricos. Estes aparelhos são responsáveis por um consumo de energia de, aproximadamente, 50% significando um peso muito elevado na factura energética mensal das famílias [21]. Desta forma, a utilização de um sistema solar térmico, contribuirá a grande escala para a redução substancial desta factura e do balanço energético global.

Um Sistema Solar Térmico pode ser definido como um conjunto de equipamentos com o objectivo de converter a radiação solar numa forma de calor pronta a ser utilizada, que de uma forma corrente pode-se designar como um sistema que aquece a água a partir do Sol, que sob o ponto de vista desta tese, aplica-se única e exclusivamente, ao aquecimento de águas sanitárias. Os diferentes componentes podem-se combinar de acordo com a sua função, dando origem aos seguintes subsistemas:

- Captação;
- Acumulação;
- Circulação ou Distribuição
- Regulação ou Controlo
- Auxiliar Energético

De uma forma resumida podemos explicar o que cada um processa e como se realiza a interligação de todos estes subsistemas. Assim, é feita a *Captação* da radiação solar por dispositivos colectores que irão transformar a energia solar em energia térmica num fluido que circula em tubagens integradas nesses dispositivos. Através da *Circulação ou Distribuição*, que integra as tubagens, válvulas, bombas e isolamento térmico, a energia térmica é transportada e é armazenada num subsistema denominado

*Acumulação.* Aos subsistemas anteriormente referidos acrescenta-se o de *Auxiliar Energético*, que são parte integrante os elementos de apoio à instalação solar, fornecendo o suplemento de energia necessário de energia térmica, do tipo convencional, nos períodos de baixa radiação solar e/ou de consumos muito elevados, garantindo assim a satisfação das necessidades de AQS. Por fim, para uma optimização do funcionamento e da segurança da instalação, é introduzido um subsistema de *Controlo*.

A Figura 2.7 mostra a integração dos diversos subsistemas de um Sistema Solar Térmico:

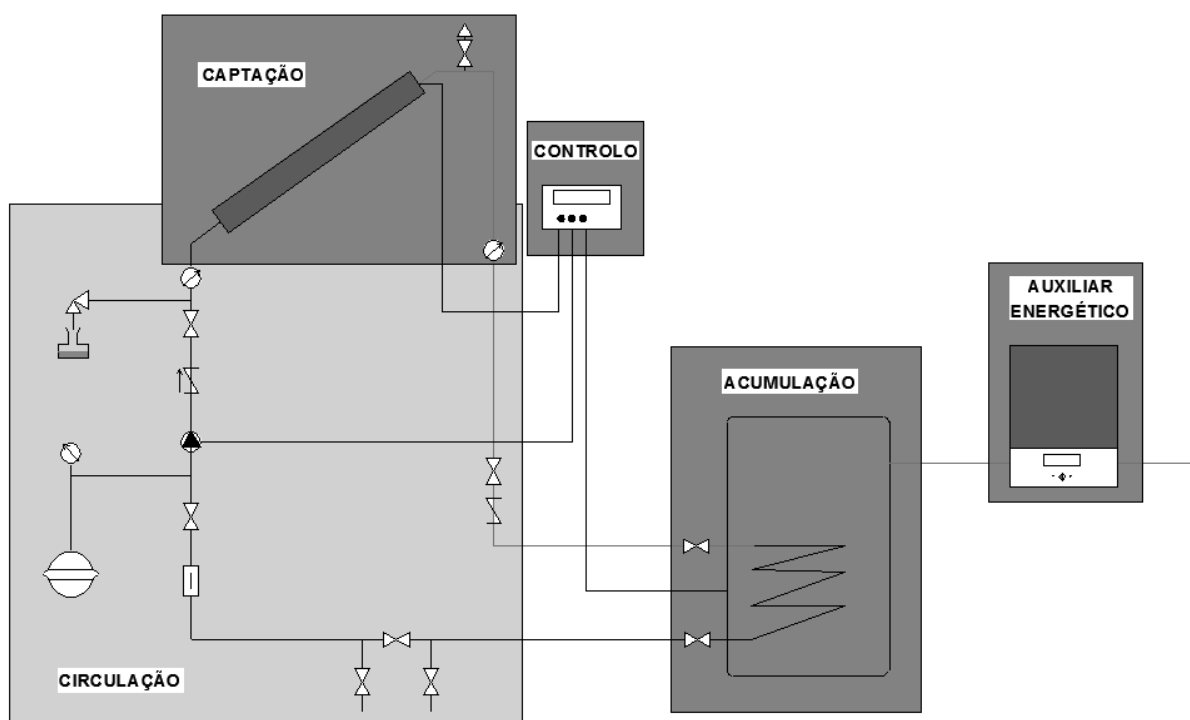


Fig.2.7 – Subsistemas de um Sistema Solar Térmico [17].

Os componentes de todos os subsistemas devem ser resistentes a temperaturas elevadas, da ordem dos 150°C [5]. Devido às particularidades destes subsistemas de seguida é feita uma descrição mais detalhada e pormenorizada dos vários tipos de componentes integrantes dos subsistemas de um Sistema Solar Térmico e os seus funcionamentos. [17]

### 2.3.1. SUBSISTEMAS DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO E FUNCIONAMENTO

#### 2.3.1.1. Sistema de Captação [22] [23] [24] [25] [26]

Para haver a possibilidade de utilizar a radiação solar emitida pelo sol, é necessário a presença de um equipamento capaz de transformar a energia da radiação solar, que nele incide em energia útil, para posterior ou imediata ser usada de uma forma eficiente. Assim, o captador, correntemente designado por Colector Solar, tem a função de captar a energia solar e através dos seus mecanismos converte esta energia em energia térmica. Este componente é sem dúvida o componente central e de maior peso sob o ponto de vista económico numa instalação de um sistema solar térmico para aquecimento de AQS.

Os colectores solares térmicos são dispositivos capazes de captar a radiação solar e o seu princípio de funcionamento baseia-se no efeito de estufa. A radiação solar, com um determinado comprimento de onda, incide sobre a sua cobertura, penetrando o colector e instalando-se no seu interior. Este calor

armazenado é transferido para a água que circula nas tubagens para depois ser encaminhada para o depósito acumulador.

Um colector solar é constituído pelos seguintes elementos:

- Caixa
- Junta de estanquidade
- Cobertura transparente
- Isolamento térmico
- Placa absorvora
- Sistema de tubos

Percorrendo o Colector Solar pelas suas camadas, inicialmente encontra-se uma *cobertura transparente* que irá permitir a penetração da radiação solar no resto do colector e está munido de sistema de caixa-de-ar que será um dos factores que irá favorecer o efeito de estufa sobre a placa de absorção, permitindo a reduzir as perdas de calor e assegurar a estanquidade do colector. Deixa passar a maior parte da radiação solar incidente (onda curta) e impede a saída da radiação infravermelha resultante do aquecimento da superfície absorvora (onda longa). A cobertura pode ser de vidro ou plástico, sendo o mais comum o “pyrex” ou vidro isolado e a fim de maximizar os ganhos do colector, sobre a superfície exterior da cobertura transparente, pode ser aplicado um tratamento anti-reflexo para diminuir as perdas por reflexão da radiação solar incidente (transmitância elevada em onda curta). Da mesma forma, sobre a superfície interior pode ser aplicado um tratamento para aumentar a reflexão das radiações de grande comprimento de onda, de forma a reduzir as perdas da energia captada (transmitância baixa em onda longa). Resumidamente, o material selectivo da cobertura transparente deixa passar para o interior do colector grande parte da energia proveniente do exterior, impedindo a sua saída, fazendo com que haja um aumento de temperatura no interior do sistema que pode ser considerável.

À medida que a radiação entra no colector este tem uma *placa absorvora*, que consiste numa chapa metálica, constituída por metais como alumínio ou cobre, com revestimento de pintura preto baço ou selectivo (otimizada para ter maior capacidade de absorção), e que permite que sejam realizadas a reflexão e transparência de energia térmica para o fluido, uma vez que a sua função principal é a de absorver a radiação que nela incide. Além disso, esta placa recebe a energia e transforma-a em calor, transmitindo-a ao fluido térmico que circula por um *sistema de tubos* em paralelo ou em serpentina. Este sistema de tubos é onde circula o fluido de trabalho que faz a transferência de calor entre o colector e o depósito de acumulação. No caso de colectores de alto rendimento, esta placa contem na sua constituição dióxido de cobre, silício, dióxido de silício, aço banhado a ouro ou ainda cobre banhado a níquel, isto porque, estes materiais funcionam como um corpo negro, absorvendo melhor a energia, o que levam a uma menor perda de radiação. Devido ao custo elevado destes materiais o seu uso é menos comum.

O fluido utilizado para aquecer a água da rede é normalmente água misturada com um anticongelante, usando-se geralmente o Glicol. Este anticongelante tem uma elevada capacidade térmica, permitindo, que nos dias de Inverno, a água não congele e não danifique os sistemas. Ao fazer circular o fluido térmico através dos tubos dos colectores, retira-se calor destes podendo aproveitar este calor para assim aquecer a água. Há que ter em atenção que por vezes o não se verifica a existência deste anticongelante e a água que circula nos tubos é a água utilizada na rede de consumo, sendo directamente aquecida no colector solar, entrando directamente na rede de águas.

Todos estes elementos estão numa *caixa*, colocada no exterior do colector, com o objectivo de dar rigidez e protecção ao interior do colector dos agentes externos, tais como, chuva, granizo, neve,

vento, entre outros. Esta caixa é isolada termicamente de forma a evitar perdas térmicas pelas partes posteriores e laterais do colector solar, contribuindo para uma eficiência do efeito de estufa. Num colector com uma espessura de isolamento térmico adequada, a redução das perdas térmicas totais pode atingir os 20%. Além disso, existe uma *junta de estanquidade* no encaixe da *cobertura transparente* e a caixa, que é um material elástico com a função de impedir a entrada de água da chuva.

Para uma melhor visualização destes componentes é apresentado de uma forma esquemática na Figura 2.8.

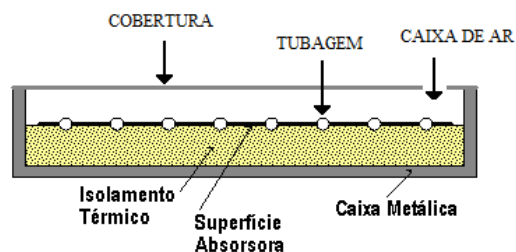


Fig.2.8 – Componentes de um Colector Solar [27]

Existem diversos tipos de colectores solares térmicos, diferenciando na protecção térmica que utilizam, na função a que se destinam, nas adequadas temperatura de utilização pretendidas, entre muitas outras. Assim existem dois grandes grupos de classificação dos colectores solares:

- Colectores solares sem concentração
- Colectores solares com concentração

Os colectores solares sem concentração caracterizam-se por não possuir métodos de concentração, por isso a relação entre a superfície de absorção é praticamente a unidade, enquanto os colectores com concentração usam sistemas especiais a fim de aumentar a intensidade da radiação sobre a superfície absorvente e, dessa maneira, atingir altas temperaturas no fluido portador de calor.

Por sua vez, estes dois grandes grupos subdividem-se em:

- Colector Solar Plano
- Colector Solar do Tipo CPC (Concentrador Parabólico Composto)
- Colector de Tubos de Vácuo

É sobre estes três tipos de colectores que se vai incidir o presente estudo.

Para fazer uma boa escolha do tipo de colector, tem que se conhecer as características dos elementos que o constituem de forma a fazer uma avaliação cuidada da qualidade dos colectores e assim fazer uma escolha mais adequada da instalação a realizar, que dependerá das condições climáticas, da finalidade da instalação e do orçamento a ter em conta.

#### • COLECTORES SOLARES PLANOS:

Os **colectores solares planos** podem ser de três tipos, diferenciando a existência ou não de cobertura e do tipo de material que constitui o painel solar. Os colectores solares planos costumam-se integrar nos sistemas denominados Sistemas de Energia Solar Baixa Temperatura, visto produzirem temperaturas relativamente baixas, na média dos 70°C. Esta razão faz da utilização deste tipo de colectores

maioritariamente para a produção de águas quentes sanitárias. Existem alguns colectores solares planos de alta eficiência que trabalham a temperaturas mais elevadas.

São os colectores mais frequentemente utilizados, não só pela utilização a que se destinam, que é a maior causa da implementação de colectores solares, mas também pela sua simplicidade de funcionamento e de montagem. Os seus componentes são simples embora diferem do tipo de colector solar plano que se está a estudar.

A existência ou não de cobertura, faz possível a divisão dos colectores solares em:

- *Colectores Solares sem cobertura*
- *Colectores Solares com cobertura*

Os **colectores solares planos sem cobertura** destinam-se essencialmente ao aquecimento de piscinas. Nesta aplicação, o tanque da piscina funciona como depósito de acumulação de energia e além disso a temperatura da águas é muito mais baixa do que na aplicação de AQS, rondando os 24 a 28°C e só conseguem fornecer energia quando as temperaturas são superiores a 15°C. Em termos de área de captação admite-se a utilização de uma área de captação de colectores solares até 75% da superfície do plano de água. Os colectores sem cobertura são geralmente feitos em tubos de plástico, geralmente de plástico de polímero negro (Propileno, Policarbonato ou Polivinil), colocados em forma de esteira e unidos por dois tubos de maior diâmetro nas partes inferior e superior. Geralmente, não possuem revestimento selectivo, nem isolamento mecânico e térmico, sendo usados em circuito directo, isto é, permite a circulação directa da água da piscina pelos mesmos (Figura 2.9). Estes colectores proporcionam uma boa captação da energia solar, contudo as perdas térmicas aumentam bastante com o aumento da temperatura da água, principalmente em zonas ventosas. Para piscinas, cuja utilização normalmente ocorre de Maio a Setembro, os colectores a utilizar nem instalação solar serão preferencialmente os colectores sem cobertura. Em termos económicos, são mais acessíveis que os colectores com cobertura, dependendo da dimensão e complexidade do campo de colectores a instalar, embora o tempo de retorno do investimento seja bastante similar, pois têm menor eficiência e é exigida uma maior área de captação.

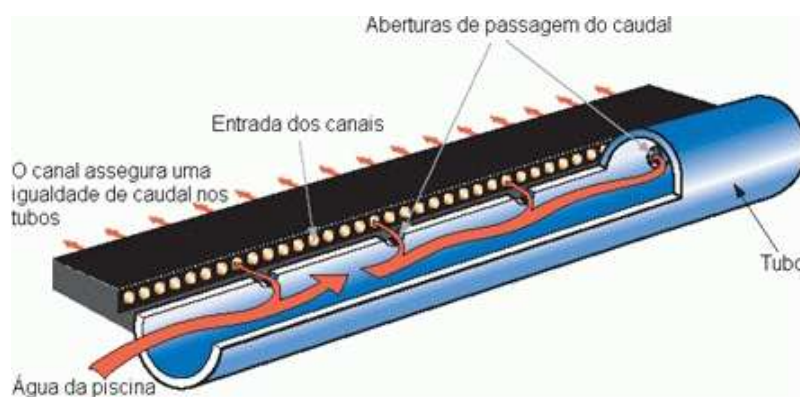


Fig.2.9 – Colector Solar Plano sem cobertura [28]

Em termos de instalação estes são instalados na mesma na cobertura de um edifício, mas o edifício é de apoio à piscina, geralmente denominado como a casa das máquinas. A Figura 2.10, exemplifica o esquema da integração dos elementos mais significativos para uma melhor compreensão da integração deste tipo de colectores.

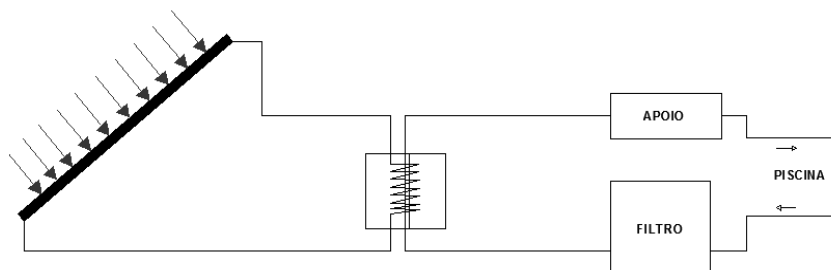


Fig.2.10 – Sistema de um Colector Solar Plano sem cobertura [27]

Os **colectores solares planos com cobertura**, diferem dos anteriores pela existência de cobertura como o próprio nome indica, o que faz deles mais robustos que os sem cobertura, uma vez que, a cobertura confere uma maior durabilidade e resistência ao colector, protegendo de eventuais condições climáticas. Além disso, a cobertura é encarregada por produzir o efeito de estufa, reduzir as perdas por convecção e garantir estanquidade do colector à água e ao ar, em união com a caixa exterior e as juntas. O efeito atingido pela cobertura faz com que uma parte da radiação que atravessou a cobertura e chega à placa colectora seja reflectida, com longitude de onde para a qual ela é opaca, retendo a radiação interior. Este tipo de colectores solares são compostos por caixas planas interiormente revestidas com um isolamento, que contém uma placa negra plana que absorve a energia solar, e é através dela que circula a água, encarregada de transferir o calor recebido. O isolador por baixo da placa e o elemento de revestimento superior reduzem as perdas de calor e a placa absorvedora pode ter um recobrimento para aumentar o seu rendimento. O isolamento térmico da caixa e a respectiva cobertura minimizam as perdas térmicas para o exterior. Este tipo de colectores tem como princípio dois fenómenos naturais: a placa de cor negra absorve calor e a água quente sobe.

Dentro dos colectores planos com cobertura existem vários tipos, nomeadamente:

- Colectores Solares com cobertura transparente;
- Colectores Solares de revestimento selectivo;
- Colectores Solares de recobrimento de absorvedor preto.

Os *colectores solares com cobertura transparente* são os primeiros a surgir no mercado e os que se apresentam em maior variedade de preços, pois existem muitos fabricantes a produzirem este tipo de colectores. A cobertura por ser transparente facilita a penetração da radiação solar e consequentemente o efeito de estufa. As principais características destes colectores são:

- Alto coeficiente de transmissão da radiação solar;
- Baixo coeficiente de transmissão para as ondas longas superiores a 3 $\mu$ m;
- Baixo coeficiente de condutividade térmica, que dificulte a passagem de calor da superfície interior para a exterior, minimizando assim as perdas;
- Alto coeficiente de reflexão para a longitude de onda longa da radiação emitida pela placa colectora, a fim de que ela retorne à placa.

Por causa disso, a face interior da cobertura estará mais quente que a exterior e dilatar-se-á mais, existindo risco de rotura ou deformação, exigindo da cobertura transparente um coeficiente de dilatação pequeno.

Pode-se usar uma dupla cobertura ou aumentar a espessura da cobertura transparente para tentar minimizar as perdas por convecção, mas essas soluções aumentam as perdas por absorção do fluxo solar incidente, além de encarecer o painel.

Embora transparente, podem-se encontrar muitas soluções para uma cobertura transparente. Os materiais mais utilizados são o vidro e os materiais plásticos. Os com cobertura de vidro são transparentes à radiação de onda inferior a 3 $\mu$ m e opacos às radiações superiores. Existem vários tipos de vidros que se diferenciam, essencialmente, pela sua composição química, pelas suas características mecânicas. Deve-se optar pelos vidros recozidos ou temperados, já que melhoram suas propriedades mecânicas sem alterar as ópticas. Quanto aos materiais plásticos, estes apresentam-se sob a forma de filmes flexíveis de alguns décimos de milímetros de espessura, ou sob a forma de placa rígida de alguns milímetros (Figura 2.11). Suas principais características são: baixa densidade, má condutividade térmica, coeficiente de dilatação linear importante e má resistência a temperaturas elevadas. Além disso, sofrem deterioração física e instabilidade química sob a acção dos elementos exteriores. Por vezes estes materiais podem levar tratamentos especiais de forma a melhorar o seu rendimento, tais como, tratamento anti-reflector sobre a superfície exterior, para diminuir as perdas por reflexão dos raios solares incidentes, e tratamentos sobre a superfície interior para que reflecta as radiações de grande longitude de onda e não impeça a passagem da radiação de curta longitude. Obviamente que todos estes tratamentos possíveis de se fazerem, vão encarecer e muito os Colectores Solares.

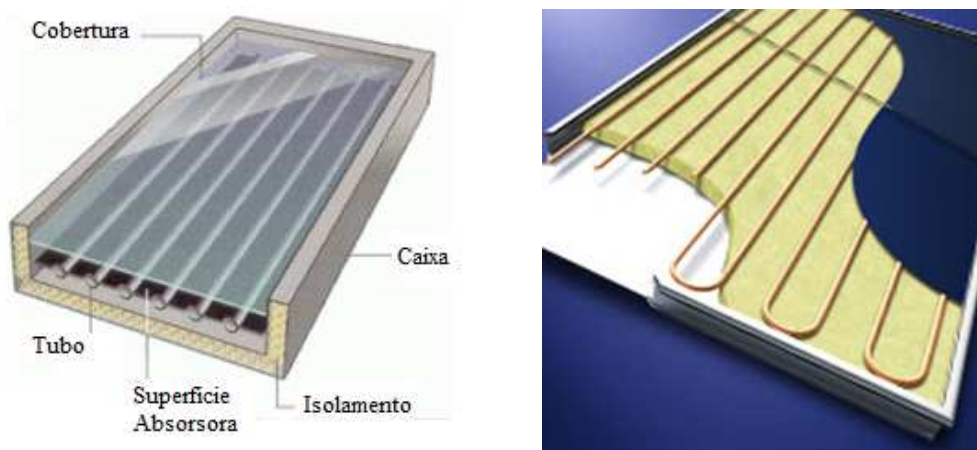


Fig.2.11 – Colector Solar Plano com cobertura transparente e seus constituintes [29]

Os colectores solares de revestimento selectivo (geralmente cromo negro) distinguem-se dos outros devido à placa absorvedora. A placa absorvedora tem uma maior capacidade de absorção (maior que 90%) e irradia pouco (6 a 15%). Estes colectores sobressaem-se em relação aos outros devido às suas características, nomeadamente:

- Temperatura elevada de água quente num espaço de tempo reduzido através do revestimento selectivo do absorvedor;
- Vidro solar resistente a granizo;
- Longa durabilidade graças a materiais resistentes a intempéries;
- Absorvedor estruturado totalmente em cobre, revestimento altamente selectivo;
- Caixa em alumínio embutida;
- Isolamento lateral no colector;
- Isolamento de alta qualidade do painel em lã mineral e resistente à decomposição.

De uma forma resumida pode-se concluir que absorvedores com superfície em cobre e revestimento selectivo, isolamento de alta qualidade, isolamento lateral, bem como a caixa em alumínio resistente e tornam estes colectores num dos melhores colectores da sua classe. A superfície em cobre e o

revestimento selectivo oferecem ao colector uma maior transmissão de calor, um alto grau de absorção e um grau de emissão muito baixo, evitando assim perdas por radiação no espectro dos infravermelhos. É composto por uma matriz de tubos paralelos em cobre soldados à placa de absorção, o seu caixilho geralmente é em aço inoxidável e a sua cobertura é feita por um vidro temperado de segurança que permite uma elevada absorção (Figura 2.12). Uma particularidade destes colectores é a suspensão do absorsor sem pressão que permite uma dilatação térmica em todas as direcções. São considerados, dentro dos colectores solares planos, os de alta eficiência. Apresentam uma menor variedade de preços e rendimentos mas a maior facilidade de instalação e manutenção faz deste tipo de colectores o topo de vendas do mercado. A tecnologia deste tipo de colectores está mais estandardizada e as diferenças entre eles depende mais do tipo de instalação e menos do rendimento.

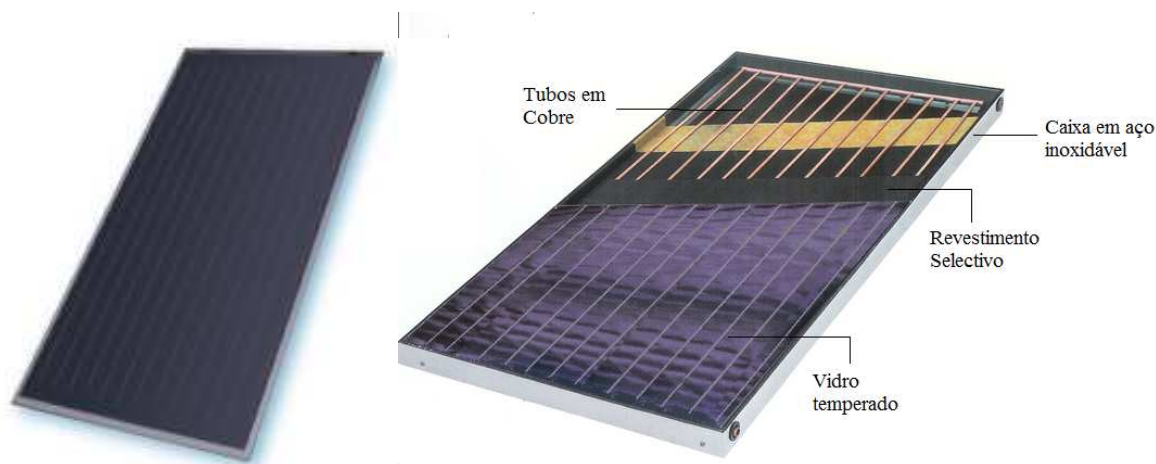


Fig.2.12 – Colector Solar Plano de Revestimento Selectivo e seus constituintes [30]

Os colectores solares de revestimento de absorsor preto, são constituídos por tubos de metal ou plástico, recobertos por cores escuras (negro), dentro dos quais a água circula (Figura 2.13). Não têm nenhum revestimento adicional, de modo a que o ganho de temperatura fica limitado a uns 20°C a 30°C sobre a do ar ambiente. São simples, de baixo custo e muito apropriados quando se utilizam temperaturas pouco elevadas.



Fig.2.13 – Colector Solar Plano de Revestimento de AbsorSOR Preto [31]

Os colectores planos solares têm inúmeras vantagens e desvantagens, nomeadamente:

Vantagens:

- Económico em relação aos outros tipos de colectores;
- Ideais para o sector doméstico;

- Oferece múltiplas opções de montagem (sobre o telhado, integrado no telhado, montado na fachada e de instalação livre);
- Tem uma boa taxa de preço/performance;
- Permite montagem simples (kits de construção de colector).

Desvantagens:

- Menor eficiência em relação aos outros tipos de colectores;
- Não serve para gerar altas temperaturas;
- Exige mais espaço no telhado.

#### • COLECTORES SOLARES DO TIPO CPC (CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPOSTO):

Este tipo de colectores é o mais indicado para o aquecimento de águas sanitárias e aquecimento ambiente. A diferença fundamental relativamente aos mais convencionais colectores planos é a geometria da superfície absorvedora e no tipo de óptica utilizada. Os colectores do tipo CPC são compostos por uma série de reflectores, com uma forma que lhes confere uma óptica de baixa concentração, que lhes permite serem igualmente estacionários como os colectores planos

Nos colectores planos existe uma superfície plana à qual estão soldados os tubos, enquanto nos colectores do tipo CPC a área absorvedora é constituída por duas palhetas unidas a um tubo e colocadas em cima de uma superfície reflectora. O Sol incide na parte superior das alhetas e na superfície parabólica reflectora. Os raios são reflectidos e acabam por incidir na parte inferior das alhetas ou directamente no tubo, contribuindo para um maior aquecimento do fluido térmico de transporte. A superfície reflectora deve ser muito bem conseguida de modo a que esta tecnologia, que tem um custo superior aos colectores solares planos, funcione com uma boa eficiência energética (Figura 2.14). De uma forma mais generalizada, as características de fabrico deste tipo de colectores exploram a possibilidade de se atingirem temperaturas mais elevadas com maior rendimento através do recurso a espelhos concentradores, mas mantendo as mesmas características de instalação e funcionamento dos colectores planos selectivos.

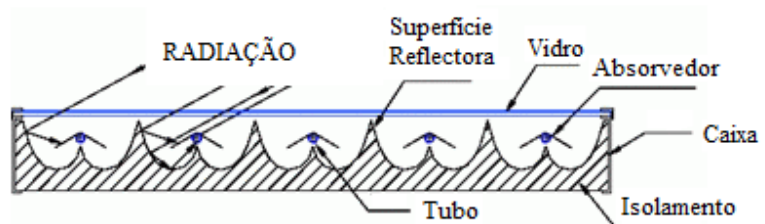


Fig.2.14 – Colector Solar do Tipo CPC [32]

Este colectores solares do tipo CPC têm inúmeras vantagens e desvantagens, nomeadamente:

Vantagens:

- Maior eficiência no aproveitamento da Radiação Solar;
- O fluido que circula no colector e que irá ser aquecida atinge maiores temperaturas;
- Devido às características da placa absorvedora, verifica-se uma diminuição das perdas térmicas.

Desvantagens:

- Mecanismo de controlo da trajectória do sol tem um custo elevado;
- Permite apenas captação da radiação directa.

- **COLECTORES SOLARES DE TUBOS DE VÁCUO:**

Este tipo de colectores é composto por tubos de vazio (ou evacuados) que funcionam com um fluido facilmente evaporável armazenado no interior do tubo e que actua como transportador do calor. Este fluido evapora-se por efeito da radiação solar e sobe até a parte superior do tubo, que se encontra a uma temperatura inferior. Aí, cede a sua energia térmica à água e condensa, voltando ao estado líquido e caindo por acção da gravidade na parte inferior do tubo. Ao receber mais radiação, volta a evaporar e começar novo ciclo. O ciclo de evaporação condensação tem lugar enquanto não se alcança a temperatura crítica do fluido vaporizante, evitando riscos de um aumento incontrolado da temperatura interior dos tubos (Figura 2.15). Para um melhor aproveitamento da energia, ao tubo condutor são acrescentadas palhetas de modo a melhorar a captação e transmissão da energia produzida.

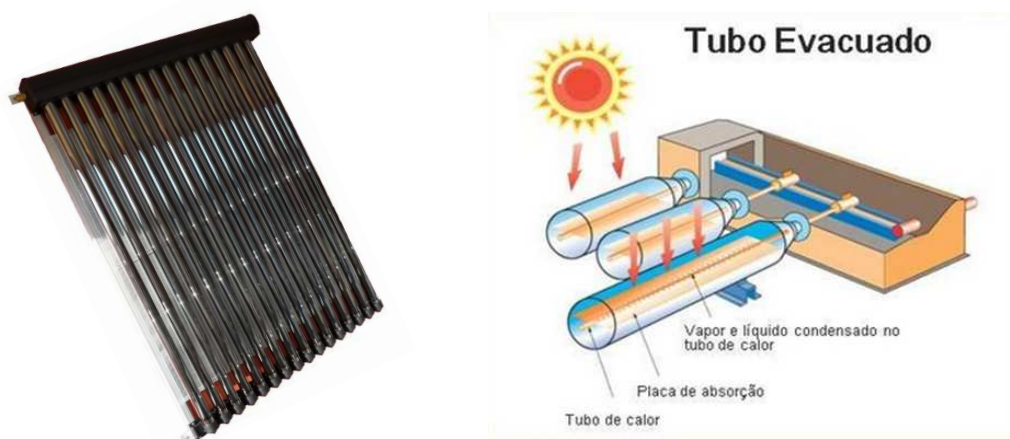


Fig.2.15 – Colector Solar de Tubos de Vácuo [27].

Os colectores solares de tubo de vácuo têm inúmeras vantagens e desvantagens, nomeadamente:

Vantagens:

- Tem elevada eficiência mesmo com elevadas diferenças de temperaturas entre o absorsor e o meio envolvente;
- Tem uma elevada eficiência com baixa radiação;
- Suporta aplicações de calor com mais eficiência do que os colectores planos;
- Menor perda de calor por condução no interior dos tubos de vácuo;
- Vento e chuva têm efeito mínimo na eficiência dos colectores;
- São necessárias menores áreas para a instalação dos colectores;
- Possibilidade de colocação do colector na posição horizontal, num telhado plano ou fachada;
- Evita a remoção de material do telhado, mantendo a sua estrutura intacta;
- Funciona com elevadas temperaturas;
- Apresenta boa eficiência com baixa radiação;
- Suporta cargas térmicas com mais eficiência do que os colectores planos;
- Atinge elevadas temperaturas, possibilitando a utilização em sistemas de ar condicionado e produção de vapor;

- Facilmente transportado para qualquer local (apresenta um baixo peso e pode ser montado no local da instalação);
- Oferece múltiplas opções de montagem (sobre o telhado, integrado no telhado, montado na fachada e de instalação livre);
- Grande variedade de preços, de rendimentos e durabilidade.

#### Desvantagens:

- Mais caro do que um colector comum;
- Maior cuidado na instalação e na manutenção, já que podem atingir temperaturas muito altas;
- Maior dificuldade para reposição e manutenção dos componentes importados;
- Fragilidade do sistema sob o ponto de vista de protecção;
- Poucos fornecedores em Portugal.

De uma forma resumida, no Anexo 1, é feita uma apresentação síntese de todos os tipos de colectores especificando a utilização dos mesmos, vantagens e desvantagens e a temperatura que o fluido aquecido, por estes colectores, atinge.

Os chamados colectores planos são os mais generalizados no nosso país e em conjunto com os colectores do tipo CPC representam cerca de 92% do mercado. Os restantes 8% vão para os colectores com tubo de vácuo.

Desta forma, podemos ver que os mais utilizados e mais económicos são os colectores solares planos, mas sob o ponto de vista energético e de economia de espaço na cobertura os colectores solares de tubos de vácuo são compensatórios.

Depois de se escolher o tipo de colector solar é necessário verificar quantos colectores será necessário aplicar para fazer face às necessidades de consumo. Quase sempre é necessário aplicar vários colectores e para tal é necessário estudar o tipo de ligação que é feita entre eles. A ligação dos colectores pode ser feita em série, em paralelo ou de uma forma mista.

Numa ligação em série, a saída de um colector liga-se directamente à entrada do colector seguinte (Figura 2.16). Desta forma, o caudal é o mesmo em todos os colectores e a temperatura do fluído vai aumentando progressivamente, pelo que a diferença entre as temperaturas de entrada e saída do sistema é maior para vários colectores do que para um único colector. No entanto, o aumento da temperatura é acompanhado de uma perda de eficiência à medida que o número de colectores aumenta, uma vez que a partir de um certo número de colectores, o acréscimo de temperatura que se obtém já é pouco significativo. Este tipo de ligação tem a desvantagem de acarretar uma perda de carga muito elevada, resultado da soma das perdas de carga individuais dos colectores.

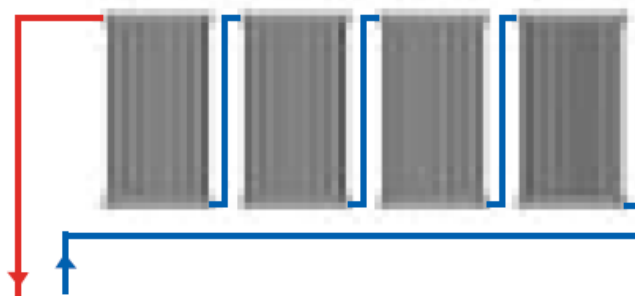


Fig.2.16 – Ligação de Colectores Solares em série [27].

Numa ligação em paralelo, os caudais somam-se à medida que se avança na instalação e são mais baixas as temperaturas que se atingem à saída dos colectores. É frequente adoptar uma ligação com retorno invertido na qual são iguais os comprimentos e os diâmetros das tubagens de ida e de retorno aos colectores, com o objectivo de se obter um equilíbrio hidráulico das ligações em paralelo (Figura 2.17). Esta ligação permite gerar perdas de carga semelhantes e uma distribuição equilibrada de caudais.

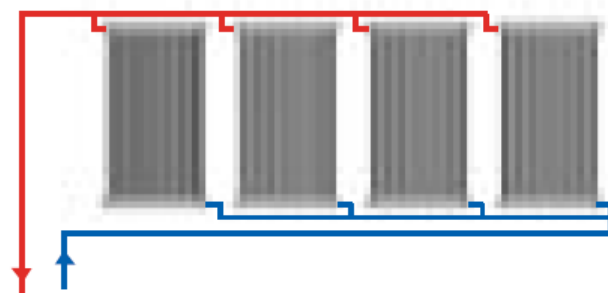


Fig.2.17 – Ligação de Colectores Solares em Paralelo [27].

Uma ligação mista de colectores, isto é, uma ligação que utiliza combinações em série e em paralelo (Figura 2.18) é apenas usada para instalações de média ou grande dimensão e têm o objectivo de obter uma distribuição interna do fluído o mais uniforme possível.

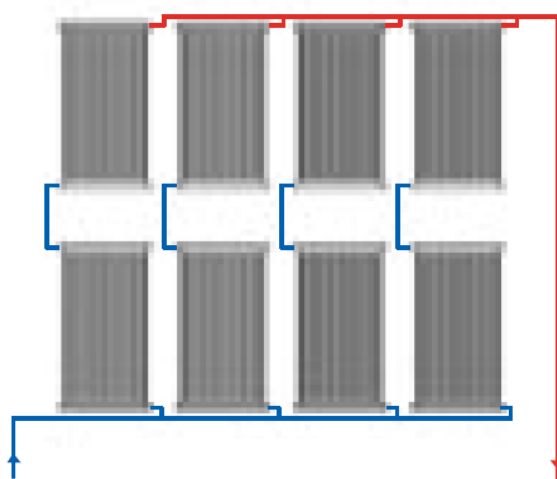


Fig.2.18 – Ligação de Colectores Solares Mista – em paralelo e em série [27].

No Anexo A1, encontra-se um quadro resumo de todos os sistemas de captação.

#### 2.3.1.2. Sistema de Acumulação [17] [27] [33]

Como a radiação solar é uma fonte de energia intermitente e variável no tempo, é necessário um método adequado de armazenamento para que reduza a diferença temporal entre a geração de energia térmica e a obtenção de uma instalação eficiente e rentável. Desta forma, o depósito de acumulação é o componente da instalação solar térmica que permite armazenar a energia térmica ajustando o desfasamento de tempo existente entre o aquecimento da água e o consumo, isto é, armazenam água quente até esta ser necessária. As características fundamentais num depósito acumulador são:

- Resistência mecânica;
- Durabilidade;
- Nível de isolamento térmico.

Um depósito acumulador térmico de energia, geralmente de aço inoxidável, aço vitrificado ou aço com revestimentos plásticos, é constituído por núcleos refractários e tem a capacidade de acumular calor a temperaturas elevadas e mantê-las durante muito tempo, geralmente durante 6 a 8 horas. Quanto menor for o coeficiente de perdas térmicas de um acumulador, melhor será o seu desempenho em termos de poupança de energia. Devido às diferenças de densidade de densidade, a água distribui-se verticalmente no interior do depósito, permanecendo a água mais quente na parte superior (água de consumo) e a água mais fria na base do depósito.

A estratificação de temperaturas é uma característica fundamental a ter em conta nos depósitos de acumulação de água quente solar, uma vez que influenciam o seu desempenho e contribui para aumentar a eficiência do sistema. Existem duas formas de melhorar esta estratificação: redução do caudal de circulação do fluido térmico e dimensionamento adequado de entradas e saída do depósito, onde deve ser extraído água quente na parte mais alta do depósito e introduzida água fria na parte mais baixa. Além disso, o fluido que volta aos colectores deve ser retirado da parte mais baixa do depósito, onde a temperatura é mais fria, o que melhora a eficiência do colector e aumenta o rendimento da instalação solar térmica e consequentemente baixa as necessidades de aquecimento auxiliar.

Os acumuladores podem ser classificados quanto:

- à sua posição: horizontal ou vertical;
- ao tipo de permutador de calor: tubo liso, serpentina ou sem permutador incorporado.

Para a instalação de um sistema solar térmico de uso doméstico, é mais comum o uso de depósitos verticais, além de serem mais vantajosos devido que a estratificação da temperatura que devido às diferentes densidades da água e com a gravidade, esta é facilitada.

No caso em que o fluido de trabalho é diferente do fluido de consumo, é necessário transferir a energia térmica de um fluido para o outro. O permutador de calor é o componente da instalação solar térmica onde ocorre esta transferência de energia térmica do fluido do circuito primário para o fluido do circuito secundário ou de consumo, isto é, o permutador é um equipamento que permite trocar calor entre dois fluidos que se encontram a temperaturas diferentes. Geralmente, este equipamento é inserido num processo de aquecimento ou arrefecimento de um determinado fluido, operando em regime permanente, e onde as propriedades da secção de um fluido não se alteram com o tempo. É um equipamento utilizado para refrigeração de fluido, como no caso do sistema solar, e são constituídos por tubos onde, normalmente, circula o fluido refrigerante. O fluido ao ser refrigerado circula ao redor da área do tubo, isolado por outro sistema de tubos que possui uma ampla área que favorece a troca de calor. O material usado na fabricação de trocadores de calor possui um coeficiente de condutibilidade térmica elevada, sendo por isso, o cobre e o alumínio os materiais mais utilizados.

A eficiência de um permutador, depende principalmente:

- Material utilizado na sua construção;
- Característica Geométrica e do Fluxo;
- Temperatura;
- Coeficiente de condutibilidade térmica dos fluidos.

Para melhorar a troca de calor, são colocadas aletas (células interligadas entre si, onde circula o fluido) em toda a área da tubulação. Estas aletas fazem com que o fluido se disperse em áreas menores, facilitando assim, a troca de calor. São construídas em materiais de excelente condutibilidade térmica,

e acarretam uma grande desvantagem num sistema termodinâmico, pois reduzem drasticamente a pressão em relação à entrada e saída. A maioria dos permutadores, utilizam tubos com geometrias que favorecem a troca de calor, onde internamente existem aletas.

Assim, pode-se classificar os permutadores de calor em dois tipos (Figura 2.19):

- Monofásico – há mudança de fase no fluido a ser refrigerado ou aquecido;
- Multifase – há mudança de estado físico do fluído.



Fig.2.19 – Permutador incorporado (de serpentina) e exterior (de placas) ao acumulador [34] e [35].

Assim, quanto à classificação do acumulador em relação ao tipo de permutador, este pode ser:

- exterior ao depósito de acumulação;
- incorporados no depósito de acumulação.

Os permutadores exteriores são destinados a instalações de grandes dimensões, isolados em coberturas, uma vez que a sua superfície de transferência de energia entre fluidos é muito extensa favorecendo as perdas térmicas, daí serem incompatíveis com instalações solares térmicas pequenas. Os permutadores exteriores mais utilizados são os de placas, uma vez que oferecem uma maior superfície de contacto (são aproximadamente 75% eficientes), embora apresentem uma perda de carga bastante elevada. São de aço inoxidável, os utilizados em instalações de AQS, excepto em piscinas, onde se utiliza uma liga de cobre e titânio devido à presença de cloro, daí serem mais adequados os permutadores de calor exteriores tubulares. Os permutadores externos aplicam-se a sistemas indirectos apenas e para instalações de média a grande dimensão, possibilitam boas prestações energéticas e um bom controlo da instalação.

Quando os permutadores são incorporados no depósito de acumulação, estes geram perdas de carga inferiores aos exteriores devido à sua pequena superfície de transferência (até  $3,5 \text{ m}^2$ ), o que se tornam aconselháveis para instalações de dimensão reduzida (até  $10 \text{ m}^2$ ). Nos permutadores de calor interiores, os mais utilizados são os de serpentina com uma eficiência de cerca de 55% e aplicam-se a depósitos de volume pequeno a médio. Assim, surgem as seguintes classificações dos depósitos acumuladores: acumuladores de tubo liso e com serpentina rugosa ou lisa, simples ou dupla. [17]

Os *acumuladores de permutador de calor de tubo liso* transferem a energia da fonte para a parte inferior do acumulador e garantem uma estratificação estável do calor. São de elevada fiabilidade e geralmente utilizados para instalações de dimensões muito reduzidas (Figura 2.20).

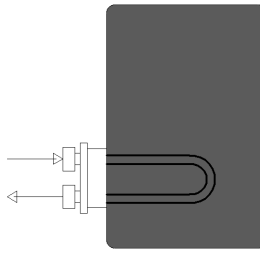


Fig.2.20 – Acumulador com Permutador de Tubo Liso [17]

Os *acumuladores com serpentina* podem ser simples ou duplos, isto é, podem conter um ou dois permutadores dentro do acumulador, fazendo assim a distinção da sua classificação, acumuladores de uma serpentina ou de duas serpentinhas, respectivamente. Os acumuladores de uma serpentina servem apenas para acumular calor, enquanto os de dupla serpentina servem também para aquecer água (se necessário) até à temperatura de utilização necessária, isto é, funcionam como se tratassem de dois depósitos em separado. Nos acumuladores de duas serpentinhas, a parte inferior do depósito acumula o calor proveniente da energia solar, aquecendo a água aí presente. Esta água ascende à parte superior do depósito, onde uma segunda serpentina, associada a uma caldeira unicamente para aquecimento, proporciona a energia que a parte inferior não fora capaz de produzir. Este tipo de acumuladores (Figura 2.21) tem inúmeras vantagens, nomeadamente:

- Elevada relação altura - diâmetro, a qual favorece a estratificação.
- Elevada superfície de intercâmbio, superior aos depósitos acumuladores convencionais.
- Excelentes prestações com altas temperaturas.
- Isolamento em espuma de Poliuretano livre de CFC's.

Os acumuladores com serpentina são utilizados em instalações de pequenas e médias dimensões.

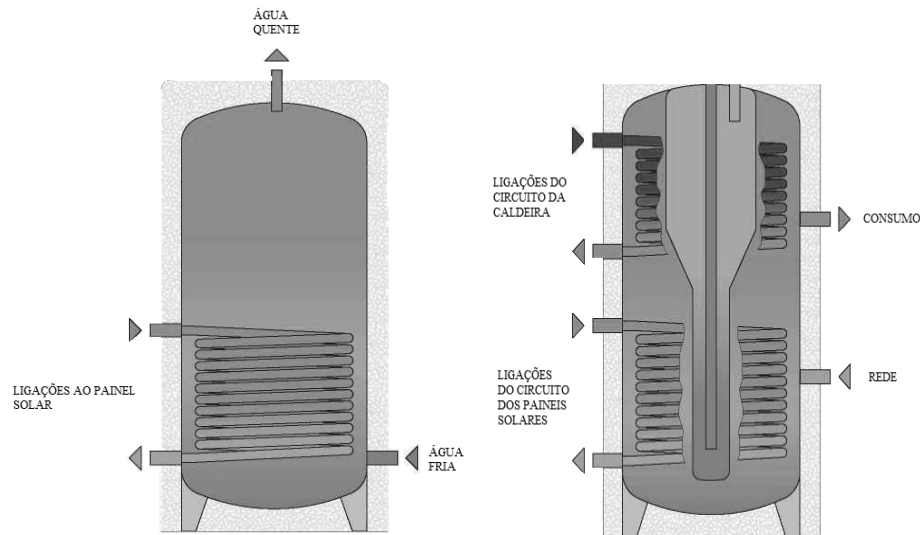


Fig.2.21 – Acumuladores com uma ou duas serpentinhas, respectivamente [14].

### 2.3.1.3. Sistema de Circulação ou de Distribuição [17] [16] [36] [37]

O sistema de circulação transporta a energia térmica aos elementos de acumulação e consumo com o auxílio de diversos componentes, tais como:

- Tubagens;
- Vaso de expansão;
- Fluido de trabalho;
- Isolamento térmico;
- Bomba de Circulação;
- Purgador de ar;
- Válvulas.

O sistema de circulação é composto pelo circuito primário, circuito secundário e circuito de consumo, a explorar mais à frente (ver ponto 2.3.2.2).

Para a instalação do circuito hidráulico deve ser tido em consideração que o sistema estará submetido a determinadas condições, que após definido o tipo de fluido de trabalho que vai ser utilizado, vão estabelecer quais os componentes e materiais mais adequados. Independentemente do tipo de fluido, existem uma série de componentes que deverão estar sempre integrados no sistema de circulação. Todos os elementos integrantes numa instalação devem ser compatíveis entre si, que no caso de não ser possível, devem ser tomadas precauções no que diz respeito à montagem dos elementos entre si e ao tratamento do fluido.

Como tal tem-se os seguintes componentes:

#### - TUBAGENS

O material mais utilizado nas tubagens é o cobre, que além de admitir temperaturas elevadas, é de fácil instalação, resistente à corrosão e tem um baixo coeficiente de dilatação térmica. Como alternativa, pode ser utilizado o polipropileno, que tem a vantagem de ter uma condutibilidade térmica baixa e é compatível com materiais metálicos, embora apresenta um custo elevado e na sua instalação são necessárias ferramentas específicas. Deverão ser instaladas o mais perto possível dos parâmetros, deixando o espaço necessário para manipular o isolamento, válvulas, entre outros, tendo em conta as mesmas normas aplicadas em qualquer obra de encanamento. As conexões dos equipamentos às redes de tubagem devem ser feitas de forma que não haja transmissão de nenhum esforço mecânico entre os equipamentos instalados nas tubagens e a própria tubagem, devido ao próprio peso e vibrações e deverão ser facilmente desmontáveis por meio de junção por flanges ou roscas. Devido à variação de temperatura do fluido, verificam-se dilatações nas tubagens, ocorrendo esforços de dilatação e contracção. Estas dilatações irão reflectir nas uniões entre tubagens e equipamentos, uma vez que são os pontos mais fracos, logo estes movimentos de tubulações serão compensados por dilatadores axiais. Os elementos acessórios do equipamento, como equipamentos de controlo e regulação deverão ser instalados antes da parte desmontável da união de duas tubagens para a rede de distribuição.

#### - VASO DE EXPANSÃO (Figura 2.22)

Como o fluido sofre várias diferenças de temperatura, é necessário absorver as consequentes variações de volume e de pressão que ocorrem no circuito. Esta é a função do vaso de expansão, que é um pequeno depósito dividido interiormente em duas partes por uma membrana elástica que cumpre aquela função. O vaso de expansão está cheio de ar ou de um gás inerte à pressão do trabalho e quando o fluido, que entra pela parte superior, aumenta de temperatura e consequentemente o seu volume, o vaso de expansão entra em funcionamento. O dimensionamento do vaso de expansão de instalações solares térmicas tem algumas particularidades face ao de outras instalações, devido às temperaturas mais elevadas que se atingem, ao coeficiente de expansão mais elevado do líquido anticongelante, à possibilidade de vaporização do fluido. O vaso de expansão deve ser dimensionado de modo a que a pressão a frio no ponto mais alto do circuito não seja inferior a 1,5 bar e a pressão máxima a quente,

em qualquer ponto do circuito, não exceda a pressão máxima de trabalho de todos e cada um dos componentes. Por segurança, o vaso de expansão deve ser sempre sobredimensionado.



Fig.2.22 – Exemplo de um Vaso de Expansão [38].

#### - FLUÍDO DE TRABALHO

O fluído que circula no interior das tubagens pode ser a própria água de consumo ou uma combinação de água com glicol (etilenoglicol ou propilenoglicol), com características anticongelantes. Este fluído que circula nos colectores, é tóxico, transferindo o calor para a água armazenada no depósito solar através do permutador de calor. Com o aumento da percentagem de glicol na mistura, a temperatura de congelamento do fluído de trabalho diminui. Dependendo da localização da instalação, ou seja, do nível de protecção térmica necessário, faz-se variar a relação da mistura água/glicol. O uso da mistura anticongelante no circuito primário de uma instalação tem ainda vantagens e inconvenientes no comportamento desta face a temperaturas elevadas. Por um lado, o risco de sobreaquecimento diminui, pois a vaporização da mistura ocorre a uma temperatura superior à da água e por outro lado, a mistura perde propriedades sempre que se verificar sobreaquecimento. A concentração e as características do fluído de trabalho devem ser controladas por comprovadores ópticos (Figura 2.23).



Fig.2.23 – Comprovador óptico das características do anticongelante [16].

#### - ISOLAMENTO

As tubagens, os acumuladores e os acessórios hidráulicos de uma instalação solar térmica mantêm temperaturas superiores ao ambiente durante o funcionam, perdendo calor por condução através das uniões do sistema, por convecção e radiação ao ambiente. As perdas por radiação são geralmente pequenas, tornando as por convecção as mais importantes. As perdas de calor provocam no sistema uma redução do rendimento e obrigam a isolar a instalação com o objectivo de estas serem minimizadas. O ideal, técnica e economicamente, para sistemas pequenos será a instalação de acumuladores isolados em fábrica com espuma de poliuretano e protecção final metálica ou de material plástico.

#### - BOMBA CIRCULADORA (Figura 2.24)

A bomba circuladora é necessária em circuitos fechados de circulação forçada em que é preciso promover o movimento do fluído de trabalho e o seu dimensionamento é em função da compensação de perdas de cargas totais ao longo do circuito. A sua localização deve ser no circuito primário, à saída do acumulador, uma vez que é a zona mais baixa e mais fria de todo o circuito.



Fig.2.24 – Bomba Circuladora [16].

#### - PURGADOR DE AR (Figura 2.25)

Para a impedir a formação de bolsas de ar no circuito que impeçam a circulação, é necessário a colocação de purgadores de ar nas áreas altas, não baixar a velocidade de circulação de tubulações de 0,6 m/sg, manter uma pressão mínima no ponto mais alto de 1,5 Kg/cm<sup>2</sup> e nos circuitos fechados, montar as bombas em trechos verticais. O tipo de purgadores ideais será os automáticos do tipo flutuador, pois são os mais adequados para a pressão do circuito.



Fig.2.25 – Purgador de Ar [16].

#### - VÁLVULAS

As válvulas são diferenciadas pelo caudal dependente da superfície livre, perda de pressão, hermeticidade da válvula, pressão máxima de serviço, o tipo e diâmetro das conexões. Assim as válvulas que se podem encontrar numa instalação solar térmica são:

- Válvulas de corte: permite ou impede a passagem do fluido de trabalho;
- Válvulas de segurança: limita a pressão máxima do circuito. A pressão que faz actuar a válvula de segurança, deixando sair o fluido, deve ser inferior à pressão suportada pelo elemento mais sensível da instalação, habitualmente o vaso de expansão fechado ou o próprio colector (Figura 2.26);
- Válvulas de anti-retorno: permite a circulação do fluido num sentido, impedindo a sua passagem no sentido contrário. Previne-se que a instalação funcione inversamente, retirando calor ao depósito devido à circulação convectiva que ocorreria quando a bomba de circulação é desligada, com consequentes perdas energéticas;
- Válvulas de passagem: interrompe total ou parcialmente a passagem do fluido pelas tubagens. As válvulas de fecho total usam-se para separar uma parte da instalação ou isolá-la do serviço. As de fecho parcial servem para produzir uma perda de carga adicional no circuito, com o objectivo de regular o caudal ou de equilibrar a instalação;
- Válvulas de três vias: permite a circulação por vias alternativas;

- Válvula misturadora termostática: mistura a água fria da rede com a água de retorno do colector, a elevadas temperaturas, para proteger equipamentos e evitar riscos de queimadura para o utilizador;
- Válvula de enchimento automático: serve para manter a pressão no circuito introduzindo água sempre que necessário. Os sistemas fechados devem incorporar um sistema de enchimento automático ou manual que permita encher o circuito e mantê-lo pressurizado. É conveniente que o enchimento seja realizado pela parte inferior do circuito. Os sistemas que utilizam anticongelantes devem incorporar um sistema que permita o preenchimento manual do anticongelante.

Para o esvaziamento do sistema devem ser colocadas conduções de drenagem nos pontos baixos da instalação, de forma que seja possível o esvaziamento total ou parcial das zonas que se configurem na instalação.

Não será permitido o uso das válvulas de comporta e será limitado o uso de válvulas para o equilíbrio dos circuitos, devendo conceber circuitos de por si só equilibrados.



Fig.2.26 – Exemplos de Válvulas de Segurança [16].

#### 2.3.1.4. Sistema Auxiliar Energético [16] [17] [36]

O apoio energético ao aquecimento de águas sanitárias usando energia solar é praticamente indispensável, pois devido à baixa radiação solar ou ao consumo elevado, existem períodos em que a energia disponível não chega para as necessidades de consumo. Nestas alturas, um equipamento auxiliar deverá garantir o abastecimento de água quente com apoio de energia convencional, mantendo um certo volume de água quente dentro das condições mínimas de para uso imediato. No Inverno, em dias de céu enublado, é necessário recorrer a uma energia de apoio e nestes meses o sistema solar fornece, em média, cerca de 50% da energia necessária. Esta energia auxiliar que pode ser electricidade, gás ou um outro combustível e tem a principal função de complementar os sistemas solares nos períodos de baixa ou nula radiação. Essa energia, tão importante para a eficácia do sistema, tem sempre um custo agregado que deve ser considerado, sendo este o factor que recai a escolha do tipo de energia de apoio. O recurso à energia eléctrica não é recomendada, nem a integração do equipamento auxiliar no depósito de acumulação, pois origina rendimentos muito baixos da instalação solar e um consumo elevado de energia primária. Como tal, existem diversos tipos de apoios energéticos, nomeadamente:

- Resistência eléctrica no depósito de acumulação, activada por um termóstato sempre que a água do depósito ficar demasiado fria;
- Caldeira activada por um termóstato sempre que a água do depósito ficar demasiado fria;
- Esquentador montado em paralelo ou em série com o depósito de acumulação;

É necessário deixar bem claro que o sistema de energia de apoio dá sempre prioridade ao Sol, garantindo que toda a energia gratuita é aproveitada, permitindo assim que a redução possa atingir os 80% num ano de utilização e que durante os meses de Verão a energia de apoio nem sequer será utilizada. O sistema de apoio é apenas instalado por uma questão de prevenção, em que este irá entrar em funcionamento quando a temperatura da água baixe sendo apenas gasta a energia necessária para que a água já pré-aquecida, pelo sistema solar, atinja a temperatura pretendida.

O sistema de energia auxiliar deve ser desenhado e calculado para abastecer a recolha completa de água quente e, nesse sentido, deve ser considerado como um sistema convencional de aquecimento de água. O seu acoplamento a uma instalação solar deve ser optimizado para conseguir o máximo rendimento do conjunto, logo deverá ter em conta que a temperatura de saída do acumulador pode variar em ampla escala e que o sistema de aquecimento de apoio não deve interferir no processo de aproveitamento da radiação solar.

O funcionamento ideal será que a água, no sentido de circulação, seja aquecida primeiro no acumulador e depois passar pelo sistema auxiliar (Figura 2.27), caso seja necessário, antes de ser consumida.



Fig.2.27 – Exemplo de um Auxiliar Energético: Esquentador Solar [39].

#### 2.3.1.5. Sistema de Controlo [16] [17]

A instalação de um sistema de controlo num sistema solar térmico tem como objectivo garantir uma gestão óptima da energia, manter as configurações de segurança necessárias e ainda reportar erros e fornecer informações relevantes para a medição e monitorização do sistema.

Dependo do sistema, o circuito de controlo pode incluir vários componentes como um controlador, sensores de temperatura e de pressão, bombas, caudalímetros e manómetros.

Todos os sistemas de aquecimento necessitam de um controlador que permita a operação eficiente de determinação da quantidade de energia solar disponível, e que active a bomba fazendo circular a água para o colector e de volta para o depósito de acumulação. Assim, um controlador é um dispositivo electrónico que em instalações solares activas funciona como o “cérebro” do sistema (Figura 2.28), avaliando a disponibilidade de energia solar e comandando o sistema neste sentido.



Fig.2.28 – Exemplo de um Controlador [16].

Um sistema controlado de forma diferencial utiliza um controlador diferencial e sensores para regular o funcionamento da bomba e assim fazer a manutenção da temperatura desejada. O controlo destes sistemas é semelhante a qualquer sistema convencional, quer em funcionamento, quer em termos de custos. Os sistemas devem incorporar sensores de temperatura que indiquem a informação necessária para a operação do sistema e uma unidade central que controla o funcionamento do conjunto. Estes controladores interpretam um sinal eléctrico proveniente de dois sensores, localizados no ponto mais quente (saída do colector) e mais frio (fundo do reservatório) e quando a diferença de temperatura medida por esses sensores atinge um valor de 3 a 14°C (dependendo do controlador e da dimensão do sistema) o controlador liga a bomba. A bomba desliga-se assim que a diferença de temperatura cai para cerca de 2 a 5°C. Isto é, é utilizado o controlo diferencial de temperaturas para activar a bomba em função das temperaturas de saída dos colectores e do acumulador. Em nenhum caso as bombas estarão em funcionamento com diferenças de temperaturas menores a 2°C, nem paradas com diferenças superiores a 7°C. O sistema de controlo inclui sinalizações luminosas de alimentação do sistema de funcionamento de bombas. As temperaturas ambientes de funcionamento do sistema de controlo serão, no mínimo de -10°C a 50°C. Na instalação deste tipo de equipamentos devem ser cuidadosamente colocadas as sondas de forma a se detectarem as temperaturas reais e exactas e para tal, estas devem ser inseridas no interior das bainhas e evitando tubagens separadas da saída dos colectores e as áreas de estancamento nos acumuladores.

Além das temperaturas é fundamental controlar o caudal, pois este irá aumentar o desempenho do sistema, uma vez que o rendimento térmico de uma instalação é influenciado pela velocidade de transferência de calor do fluído que nela circula, existindo em cada sistema um caudal óptimo que maximiza a eficiência do colector. Com os controladores proporcionais (Figura 2.29) é possível ajustar o caudal de acordo com as oscilações de temperatura, através da variação da velocidade da bomba, do aumento da temperatura ao longo do colector e do ajuste do caudal do circuito primário ao do circuito de ligado aos pontos de consumos.



Fig.2.29 – Exemplo de Caudalímetros – medidores de caudais [16].

Sendo assim, os elementos de medida de uma instalação proporcionam a informação para que o usuário conheça o estado de funcionamento da mesma. Existem vários equipamentos para as pequenas instalações solares, nomeadamente:

- Manômetro de esfera com escala graduada de 0 a 4 ou 6 Kg/cm<sup>2</sup>, que permite medir a pressão do circuito fechado para verificar o enchimento do circuito e o funcionamento do sistema de expansão;
- Termómetro de esfera com escala graduada de 0 a 60, 80 ou 120°C para medir a temperatura em circuitos ou no acumulador. Cada vez mais são utilizados os termómetros analógicos ou digitais, que permitem medir a distância com maior precisão.

### 2.3.2. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS [17]

Os componentes de um sistema solar térmico podem-se conjugar de diversas formas, logo pode-se classificar os sistemas segundo o tipo de circuito, podendo ser de sistema directo ou indirecto, segundo o princípio de circulação, abrangendo os sistemas passivos/Termosifão e os sistemas activos/Circulação Forçada e por fim pelo tipo de ligação ao sistema de apoio.

#### 2.3.2.1. Tipo de Circuito [17] [37] [40]

Os sistemas classificam-se como directos ou indirectos dependendo se o seu circuito é aberto ou é fechado, respectivamente.

Num sistema de circuito directo, o fluido de trabalho que circula nos colectores solares é a água de consumo, isto é, a água aquecida é a mesma que sai no ponto de consumo (água potável), porque só existe um único circuito.

Num sistema de circuito indirecto, o fluido de trabalho que circula nos colectores pode ser água ou outro fluido de transferência de calor. É um circuito fechado e com permuta térmica para o circuito de consumo (secundário) por meio de um permutador de calor interior ou exterior ao depósito, fazendo que este líquido nunca entre em contacto com a água do depósito. Isto significa que a água aquecida funciona apenas como uma fonte de energia para aquecer a água fria das próprias unidades. Este tipo de sistemas pode ter mais do que um circuito: o circuito primário, secundário e de consumo. O circuito primário é o que recolhe a energia térmica produzida nos colectores e que a transfere ao circuito secundário através do permutador de calor. O circuito secundário, pode ou não existir, e tem a função de recolher a energia térmica do circuito primário e transferi-la para o circuito de consumo. Por fim, o circuito de consumo é o que parte da rede de distribuição e chega aos pontos de consumo (Figura 2.30).

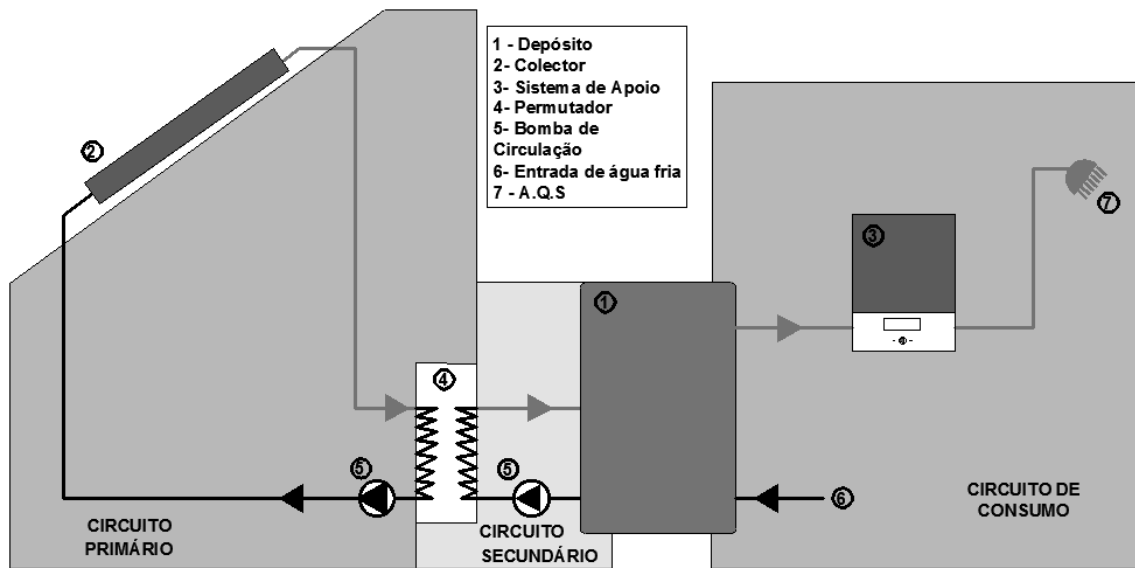


Fig.2.30 – Circuitos de um Sistema Indirecto [17].

#### 2.3.2.2. Princípio de Circulação [17] [33] [37] [36] [40]

Quanto ao princípio de circulação, os sistemas solares de aquecimento de água podem-se dividir em duas categorias: os sistemas passivos/termosifão e os sistemas activos/circulação forçada.

Os sistemas passivos/termosifão são aqueles em que o fluido circula de forma natural por convecção térmica enquanto nos sistemas activos/circulação forçada são os que recorrem a um meio mecânico auxiliar para efectuar essa circulação, tal como é demonstrado na figura 2.31.

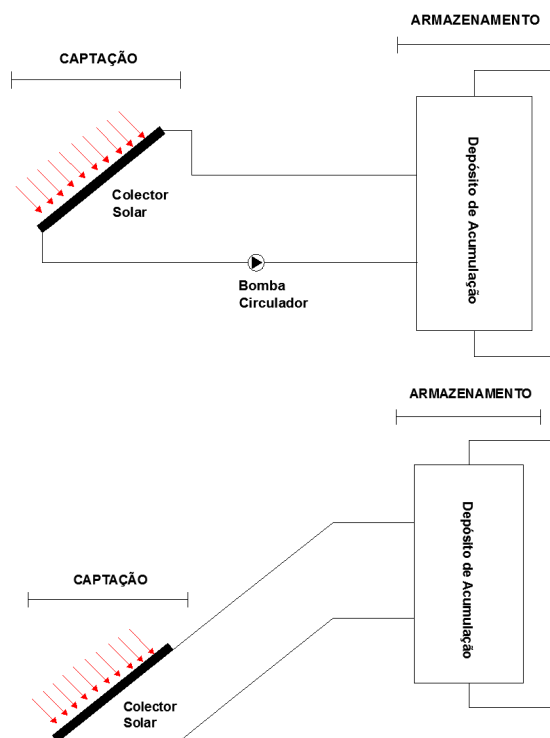


Fig.2.31 – Sistema Activos/Circulação Forçada e Sistema Passivo/Termosifão [33].

Ambos os sistemas têm como função a ligação e transferência de calor entre o colector solar e o depósito, sendo esta ligação efectuada por um circuito hidráulico.

O *Sistema de Termosifão* é baseado no fenómeno físico denominado de “Principio de Termosifão”, segundo o qual, quando uma massa de água contida dentro de um recipiente é aquecida origina uma camada líquida em contacto com o fundo do depósito que será a primeira a aquecer e tenderá a deslocar-se para cima aquando do aumento da temperatura. Com o efeito térmico, a água situada à superfície que ainda se irá conservar relativamente fria em relação à do fundo, por ser mais pesada, irá descer até às camadas inferiores e desta forma é estabelecida uma corrente circulatória, a qual pode ser aproveitada para que o líquido se desloque por si mesmo de um ponto para outro. Esta circulação em Termosifão é auto-regulada estabelecendo-se sempre que existe irradiação, tendo como princípio que o fluido térmico nos colectores aquece, tornando-se menos denso, sobe do colector para o depósito que por sua vez faz com que o fluido térmico dentro do depósito arrefeça e assim desça para os colectores. É por este motivo que o estabelecimento da circulação em termosifão implica a colocação do depósito acima do colector solar (Figura 2.32).

Este é um sistema bastante vantajoso, uma vez que tem uma instalação simples, não sendo necessário um controlador ou entrada de energia convencional para fazer circular a água, reduzindo os custos de instalação e funcionamento. Embora a sua integração ao nível da cobertura é condicionada pelo facto de o depósito de acumulação ficar a uma cota acima dos colectores, o que constitui um obstáculo visual, não muito aconselhado sob o ponto de vista estético, a área técnica no interior do edifício é muito reduzida, pois apenas há a necessidade de instalação do auxiliar energético e do sistema de controlo. Entre outras limitações, acima já referidas, este tipo de sistema implica tubagens de diâmetros mais elevados, devendo o traçado ser o mais curto e rectilíneo possível, com o objectivo de reduzir a perda de carga e evitar que esta supere a força ascensional. Além disso, apresenta um elevado risco de sobreaquecimento por não possuir qualquer controlo de temperatura.

Este tipo de sistema é muito utilizado em vivendas unifamiliares, bem como noutras aplicações em que as necessidades de água quente sanitárias são baixas, devido à sua simplicidade e aos baixos custos associados – montagem e funcionamento – que resultam da não necessidade de bomba nem de energia eléctrica.

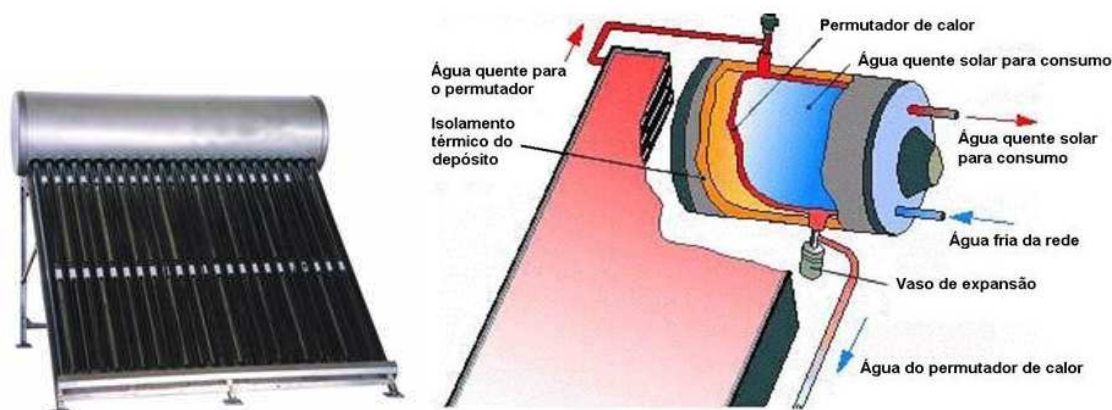


Fig.2.32 – Sistema Solar Térmico com Termosifão [41].

O *Sistema de Circulação Forçada* faz a circulação do fluido entre o colector e o termoacumulador através de uma bomba mecânica, daí a denominação de “circulação forçada”. A bomba acelera o movimento da massa líquida, fazendo esta percorrer a totalidade do circuito num curto espaço de tempo, levando o depósito a atingir a temperatura ideal de funcionamento mais rapidamente que o

sistema de Termosifão. A existência desta bomba faz deste tipo de sistemas, sistemas com uma total flexibilidade no desenho do circuito, nomeadamente no local de colocação do termoacumulador em relação ao colector solar. A bomba circuladora é comandada por um sistema de controlo automático (comando diferencial) que é regulado de modo a pôr a bomba em funcionamento logo que a diferença de temperatura entre os colectores e o depósito acumulador ( $T_{\text{Saída}} - T_{\text{Depósito}}$ ) seja de 5 °C.

Este sistema é um sistema bastante mais flexível porque o relacionamento posicional entre cada componente não é crítico e não obriga a colocação do acumulador por cima do colector, proporcionando uma melhor integração arquitectónica, menores perdas térmicas e maior durabilidade dos componentes protegidos (Figura 2.33). Além disso, neste sistema é possível controlar o sobreaquecimento da instalação e incorpora outros métodos de protecção contra o congelamento, podendo ser utilizado um fluido constituído por uma mistura de água com um anticongelante e anticorrosivos, obtendo-se uma instalação mais durável e mais segura. Por sua vez, este sistema é mais caro que o sistema de termosifão.

O sistema de circulação forçada tem várias utilizações, tais como, aquecimento de águas sanitárias e do ambiente no sector doméstico e aquecimento de piscinas.

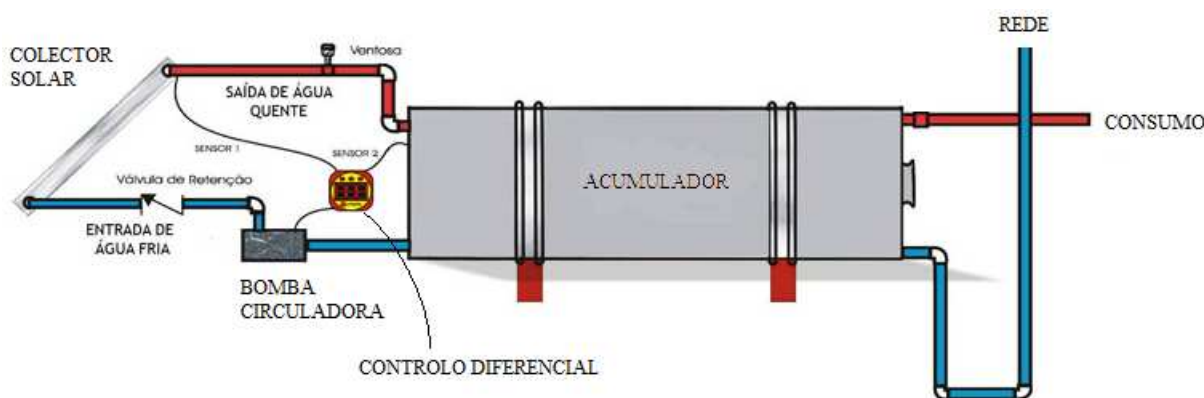


Fig.2.33 – Sistema Solar Térmico de Circulação Forçada [42].

Segundo a Agência de Energia, nos novos empreendimentos há uma tendência para se retirar os reservatórios e os sistemas auxiliares de energia das áreas comuns dos edifícios. Contudo na escolha do tipo do sistema a implantar, existe vários factores que influenciaram esta escolha. Caso hajam condicionantes estéticas, o melhor será a colocação de um sistema de Circulação Forçada, uma vez que o acumulador não se encontra no telhado, podendo instalar o colector na cobertura e não provocar um grande impacto visual. Por outro lado, senão existir muito espaço dentro da habitação é aconselhável a instalação do sistema de Termosifão, mas se existir uma condicionante estética, será mais adequado a instalação do sistema de Circulação Forçada mas com o sistema de aquecimento auxiliar colectivo. Na inexistência de nenhuma destas condicionantes será aconselhável a implementação do sistema de Termosifão, uma vez que este sistema apresenta menores perdas de carga em relação ao sistema de Circulação forçada pois o depósito está acoplado ao colector solar, não se verificando perdas de carga no transporte da água do colector até ao depósito e pelos seus custos serem mais reduzidos.

#### 2.3.2.3. Dimensão dos Sistemas [1] [16] [17] [19] [37]

Outro critério de classificação dos sistemas é a dimensão da instalação, pois para além dos pequenos sistemas, mais utilizados para as habitações unifamiliar, existem os grandes sistemas com áreas de

colectores acima de 20 m<sup>2</sup>, que são os utilizados em edifícios multifamiliares, hotéis, lares, hospitais, centros desportivos e outros edifícios com elevada necessidade de água quente.

Quanto à dimensão das instalações podem-se dividir em quatro grupos, diferindo quer quanto à captação solar, quer quanto às várias opções possíveis de armazenamento ou do tipo de fonte utilizada para a energia auxiliar. Assim as principais configurações das instalações solares térmicas em edifícios podem-se separar em:

- Sistema Individual Integral: colectores solares individuais com depósito, permutador e sistema de apoio individuais;
- Sistema Colectivo Integral: colectores solares colectivos com depósito, permutador e sistema de apoio comuns;
- Sistema Colectivo na Captação Solar e Acumulação: sistema solar colectivo com depósito colectivo e sistema de apoio apenas individual;
- Sistema Colectivo na Captação Solar: sistema solar colectivo com depósitos e permutadores individuais (acumulação e consumo individual) e sistema de apoio individual.

No *sistema individual integral* cada apartamento tem componentes individuais, desde o colector ao depósito de acumulação e equipamento auxiliar. Aqui os consumos de água fria e de energia convencional são contabilizados por fracção autónoma. Quanto ao tipo de circulação, estes podem ser de circulação forçada com o sistema de acumulação e aquecimento auxiliar no interior de cada apartamento ou com sistema de termosifão.

No *sistema colectivo integral* todos os componentes são comuns a todos os apartamentos, incluindo o auxiliar energético e é ideal para edifícios multifamiliares compactos, onde a distância entre os diferentes utilizadores é pequena, ou para edifícios de serviços, como hotéis. Como todos os componentes são todos comuns é importante dispor de dispositivos de medição de energia em cada apartamento, para que os custos possam ser cobrados de acordo com o consumo energético individual, existindo duas soluções possíveis. Uma solução será instalar em cada apartamento unidades de transferência e contagem, concebidas para edifícios multifamiliares e instaladas em cada apartamento, que estão equipadas com todos os componentes necessários para o aquecimento de água centralizado, nomeadamente, um permutador de calor, um controlador proporcional, um contador de energia, um contador de água, uma válvula reguladora de pressão e um limitador da temperatura de retorno. Outra solução será instalar um controlador com a função de medir a energia, isto é, regula o caudal e a transferência da energia do depósito central comum para cada apartamento através de válvulas automáticas, monitorizando ainda o consumo de AQS e o aquecimento ambiente. Neste sistema a rede pode ser alimentada a partir do topo do depósito e a água de retorno, a baixa temperatura, vai para o fundo do acumulador, assegurando-se assim as baixas temperaturas de retorno ao colector solar e consequentemente um rendimento maior.

No *sistema colectivo na captação solar e na acumulação*, o sistema de apoio pode ser individual, o que tem a vantagem de permitir separar a facturação energética para cada apartamento, mantendo-se comuns os sistemas de captação e o depósito solar. Além disso, a permutação energética pode ser efectuada em cada fracção autónoma.

No *sistema colectivo na captação solar*, os depósitos acumuladores são instalados em cada apartamento, o que é apropriado para edifícios menos compactos onde a distância entre os utilizadores é maior, de volume suficiente de forma a garantir o consumo diário de água quente. Neste sistema, apenas os colectores são comuns, tendo cada fracção autónoma o seu próprio equipamento de apoio e a sua unidade de controlo, sendo este feito através do controlo diferencial entre a temperatura de cada

acumulador e o campo de colectores. Este sistema tem um desempenho energético inferior aos de acumulação centralizada mas permite uma melhor gestão dos espaços dos edifícios e uma melhor integração em sistemas de aquecimento já existentes. É vantajoso a colocação de um permutador de calor adicional perto do campo de colectores, pois permite diminuir a extensão do circuito primário e a quantidade de fluído anticongelante.

Os sistemas colectivos na captação solar têm a desvantagem do risco de benefício da energia solar diferenciado, isto é, a energia solar pode ser distribuída pelas várias fracções autónomas de uma forma desigual. Os utilizadores que consomem grandes quantidades de água quente, durante o período de funcionamento do sistema durante o dia, saem beneficiados.

#### 2.3.2.4. Ligação ao Sistema Auxiliar Energético [17] [36] [37]

O fornecimento de energia auxiliar ao sistema pode ser feito de três formas diferentes:

- Fornecimento da energia de apoio directamente ao sistema de acumulação;
- Utilização de um segundo depósito separado do depósito solar;
- Aquecimento auxiliar é realizado fora do depósito solar.

Nos períodos de baixa insolação é necessário recorrer à energia auxiliar e uma solução será fazer o fornecimento da energia de apoio directamente ao sistema de acumulação, embora este método conduza a baixos desempenhos da instalação solar em termos energéticos, visto que uma quebra na temperatura do depósito leva ao fornecimento imediato da energia solar. Outra solução será utilizar um segundo reservatório independente do depósito solar apenas aquecido pela fonte de energia auxiliar. A energia solar pré-aquece a água que entra no depósito auxiliar, originando uma redução substancial do uso de energia convencional. Além disso, permite manter uma baixa temperatura de funcionamento do colector, o que leva a uma maior eficiência do sistema. Por fim, pode-se fazer o aquecimento auxiliar fora do depósito solar, em série com o consumo. Aqui a temperatura à saída do depósito é constantemente medida e caso não esteja suficientemente quente é desviada para o esquentador solar, senão é dirigida para uma válvula misturadora, isto faz com que o equipamento auxiliar forneça a potência necessária em cada instante, variável em função da temperatura do preaquecimento solar. Esta última solução traz vantagens, pois não adiciona calor calor gerado de forma convencional directamente para o depósito solar, permitindo que os colectores operem de uma mais baixa, logo com um maior rendimento.

#### 2.3.3. FUNCIONAMENTO GERAL DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO [17] [43] [44]

Como se viu no que acima foi explicitado, dependendo do sistema solar térmico que se está a falar, o funcionamento varia em função do tipo de circuito, do princípio de circulação, do tipo de ligação ao sistema de apoio, da localização do permutador de calor e do tipo de protecções do sistema que são usadas.

O funcionamento de um sistema solar térmico depende da conjugação de todos os seus componentes e do fim a que se destinam mas existe um princípio geral deste funcionamento. Assim temos que, os colectores solares, como o próprio nome indica, captam a luz solar (directa ou difusa) e armazenam-na sob a forma energia calorífica para depois ser utilizada, isto é, a cobertura do colector solar é transparente à radiação visível o faz com que esta entre no colector e aqueça o interior do mesmo, mais precisamente a placa colectora. A temperatura da placa absorsora irá aumentar, que por sua vez irá transferir energia sob a forma de calor. Esta placa de bom material absorsor e emissor, emite

radiação menos energética (infravermelha) do que a radiação solar que entrou. A cobertura ao ser transparente torna-se opaca à radiação infravermelha logo a energia emitida pela placa colectora não sairá facilmente do aparelho, contribuindo este processo para o aquecimento mais rápido do processo. Consequentemente a água que nele circula aquece devido à formação do efeito de estufa. A quantidade de calor útil que um sistema solar térmico pode absorver, depende da radiação solar que incide sobre o mesmo e da proporção da quantidade de calor absorvida que pode ser utilizada, bem como que a proporção da irradiação recebida depende da eficiência do colector. Os sistemas podem ser compostos por um ou mais colectores solares que estão ligados a um circuito que transporta energia até ao local de uso. Este calor é transferido através de um fluido térmico pelas tubagens até ao depósito acumulador. Neste acumulador, o fluido térmico ao passar no seu interior, irá transferir energia sob a forma de calor para a água no depósito, que posteriormente será utilizada em tarefas domésticas. Após a transferência, o fluido arrefece, tornando-se mais denso, o que provoca uma deslocação deste para as camadas inferiores do depósito, reiniciando o seu circuito. Isto no caso de termos um fluido de trabalho diferente da água de consumo, pois se o fluido de trabalho for a própria água de consumo, todo este processo é feito directamente na água de consumo.

#### 2.3.4. PROTECÇÕES NECESSÁRIAS AO SISTEMA SOLAR TÉRMICO [17] [16] [36]

##### 2.3.4.1. Protecção contra o Congelamento

Todo o sistema solar corre o risco de congelamento do fluido de trabalho, especialmente em zonas em que o clima é muito frio, chegando a temperaturas negativas. Um congelamento da instalação além de impedir o seu funcionamento pode também provocar danos irreversíveis nos diversos componentes do sistema. Desta forma, é necessário tomar precauções de forma a evitar o congelamento do fluido de trabalho. Existem alguns métodos para evitar o congelamento, um mais adequado a climas moderados, que é a concepção de um sistema solar térmico indirecto, com um circuito primário fechado, no qual circula um fluido de transferência térmica com propriedades anticongelantes e a utilização de sistemas de circulação forçada através da recirculação do fluido e o outro mais adequado a climas mais frios que é a utilização de um sistema de drenagem automática.

O primeiro método utiliza uma mistura de água com glicol para evitar os problemas de congelamento, pois à medida que se aumenta a percentagem de glicol na mistura diminui-se a temperatura de congelamento do fluido de trabalho. Esta mistura deverá assegurar que a temperatura de congelamento do fluido de trabalho fique cerca de 5°C abaixo da temperatura mínima do local. Este método acarreta a verificação periódica da composição da mistura, uma vez que as fugas no circuito são repostas directamente com a água e que para temperaturas superiores a 120°C existe degradação do anticongelante.

Os sistema de circulação forçada também podem prevenir o congelamento através da recirculação do fluido do circuito primário, também em climas moderados. Aqui, a bomba de circulação é activada quando se verificam temperaturas do fluido de trabalho de 3 a 5°C e aproveita a energia térmica contida no depósito de acumulação como protecção contra o congelamento. Tem a desvantagem de diminuir a energia térmica no acumulador e aumentar o consumo de energia eléctrica.

O método adequado a climas mais frios recorre à utilização de sistemas de drenagem automática, que previne o congelamento do fluido de trabalho mediante a drenagem do circuito primário, sendo o mais utilizado o que permite a recuperação do fluido, como é o caso do sistema “drain-back”. Neste sistema toda a água dos colectores e tubagens é drenada para um pequeno depósito sempre que o sistema atinja temperaturas muito baixas. Quando a bomba de circulação está desligada, por acção da gravidade,

todos os componentes acima deste nível, são preenchidos por ar e todos os componentes abaixo deste nível com água. Sem presença de água nos colectores e tubagens não há risco de congelamento. Este método apresenta uma desvantagem, pois recorre à energia eléctrica que faz com que aumente a despesa energética e caso não haja corrente eléctrica não funciona.

#### **2.3.4.2. Protecção contra o Sobreaquecimento**

Existem períodos no ano, em que o consumo não existe ou que a radiação solar é muito elevado e como o sistema não pára, as temperaturas do fluido de trabalho aumentam progressivamente até à temperatura de estagnação. Desta forma, para se conseguir que exista uma temperatura de estagnação que faça com que o sistema estabilize e não continue a aquecer, existem uma série de medidas que se devem tomar para não ocorrer o sobre aquecimento do sistema.

Assim, todas as instalações deverão ter um controlador que desliga a bomba de circulação quando se atingem temperaturas com um valor demasiado elevado. Além disto devem-se tomar algumas medidas adicionais, tais como:

- Adição de anticongelantes ao fluido de trabalho: a mistura da água com um anticongelante aumenta a temperatura de ebulição;
- Uso de um sistema de drenagem automática "drain-back": evacua o fluido para um depósito auxiliar e desliga a bomba o que faz com que não se atinjam temperaturas elevadas;
- Dissipar os excedentes de energia através de equipamentos específicos ou mediante a circulação nocturna do fluido no circuito primário: desviam-se os excedentes energéticos para outras aplicações, tais como, o aquecimento de piscina;
- Cobrir parcialmente o campo de colectores nos meses de maior radiação solar, de forma manual ou automática.

Estas são medidas que podem e devem ser tomadas para evitar o sobreaquecimento do sistema mas o ideal será evitar o sobreaquecimento através de um dimensionamento correcto do sistema solar térmico.

## **2.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO**

A utilização de energia solar como recurso de energia é perfeitamente viável e vantajoso, especialmente em Portugal. Portugal é um país que apresenta um elevado número de horas de sol, logo torna-se ideal para a colocação de painéis solares que poderão ser instalados em qualquer local exposto ao Sol. Além disso é também uma opção energética totalmente isenta de ruído e poluição atmosférica.

Por existirem variadas razões para utilização da energia solar como solução energética, optou-se por fazer esta avaliação sob diferentes pontos de vista, dividindo-se em 3 perspectivas: económica, ambiental e sob o ponto de vista do consumidor.

### **2.4.1. ANÁLISE ECONÓMICA**

Os sistemas solares térmicos são extremamente vantajosos sob o ponto de vista económico não só a nível do desenvolvimento do país como também sob o ponto de vista energético.

Sob uma perspectiva de desenvolvimento económico, os inúmeros incentivos europeus contribuíram em grande escala para uma aposta no plano tecnológico do país, na abertura de novos projectos industriais e consequentemente na criação de novas empresas e de novas oportunidades de negócio.

Quanto ao plano tecnológico permitiu a abertura de centros de formação, de modernização empresarial, bem como o incremento do valor de revenda das habitações. Um edifício com colectores solares térmicos tem melhores condições de obter um bom resultado na certificação energética do mesmo que um sem colectores e assim obter uma valorização na sua venda ou revenda. Além disso, a utilização de uma energia renovável permite o aquecimento de águas e do ambiente a um custo muito mais baixo que outro tipo de recursos, uma vez que a energia solar está à disposição de todos.

A abertura de novos projectos industriais tornou o mercado mais competitivo levando a um maior investimento de capital das empresas. A forte competição do mercado, a promoção do desenvolvimento das energias renováveis, o elevado potencial de inovação e de exportação e um enorme potencial de crescimento a nível mundial leva à criação de novas empresas. Por sua vez, o aparecimento de novas empresas (micro, pequenas, médias e grandes empresas) levam à criação de inúmeros postos de trabalho, também muito vantajoso sob o ponto de vista económico do país.

Para se ter uma noção, segundo estatísticas da União Europeia (UE), esta área de negócio vale 3 milhões de euros, onde se registou um crescimento de 60% no ano passado e é responsável por 40.000 postos de trabalho directos. [45]

O Sistema Solar Térmico constitui uma forma de redução significativa da factura energética. Um sistema, correctamente dimensionado, permite poupar, em média, mais de 70% da energia que habitualmente se gasta. [21] É necessário clarificar, que se entende por um sistema bem dimensionado, aquele que apresenta rendimentos globais de energia na ordem dos 75%, sendo apenas isto possível com a aplicação adequado da quantidade de colectores solares, depósito acumulador, verificação da melhor orientação do painel, de forma a captar a maior quantidade de radiação directa, isto é, tendo as menores obstruções do horizonte.

No caso dos edifícios situados no Centro Histórico do Porto, alguns destes factores são complicados de se combinarem, sendo sempre necessário um estudo detalhado de cada edifício. As características do edificado desta zona do Porto apresenta por vezes desfavoráveis à implantação de sistemas solares térmicos, uma vez que a sua construção em banda, conjugada com a largura dos edifícios e com as elevadas inclinações da cobertura, trazem implicações significativas no dimensionamento do sistema e consequentemente no seu rendimento. Um sistema solar térmico com baixo rendimento, claramente que já não irá permitir uma poupança de energia tão elevada.

Independentemente, das condições serem mais ou menos favoráveis à eficiência do sistema, a implementação de sistemas solares trás inúmeras vantagens, tais como:

- Redução do custo energético e das facturas energéticas;
- Independência Energética;
- Alternativa aos recursos fósseis que apesar de muito vulneráveis, são muito dispendiosos;
- Protecção contra eventuais aumentos do preço do combustível.

Embora este investimento seja extremamente vantajoso, tem algumas implicações para a UE e consequentemente para o Estado Português, uma vez que tem de disponibilizar inúmeros recursos monetários para a atribuição de subsídios, não só para os utilizadores mas também para as empresas.

#### 2.4.2. ANÁLISE AMBIENTAL [46]

O interesse da utilização da energia solar nos edifícios, deve-se essencialmente à consciencialização da escassez dos recursos fósseis e da necessidade urgente de redução das emissões de gases nocivos para a atmosfera, denominados os GEE (gases de efeito de estufa).

O decréscimo das emissões de gases nocivos, especialmente CO<sub>2</sub>, permite a diminuição do impacto ambiental, trazendo um enorme benefício no que respeita à redução do efeito de estufa. A energia solar térmica contribui significativamente para esta redução, comprovada pelas estatísticas, que admitem que em oito anos, esta representa cerca de 1,8% de redução das emissões totais. Tal facto pode ser confirmado, se se comparar um Sistema Solar com um carro. Um carro produz em média, 3,3 toneladas de CO<sub>2</sub>, enquanto um Sistema Solar evita a produção de 3,4 toneladas de CO<sub>2</sub>. Assim pode-se constatar que a instalação de um Sistema Solar Térmico é extremamente favorável para o cumprimento do estipulado no âmbito do Protocolo de Quioto.

Além disso, a instalação de um Sistema Solar Térmico, permite uma maior comodidade física dentro de um edifício, uma vez que tem um funcionamento muito eficiente e muito mais seguro em relação aos recursos fósseis. Um sistema que utiliza um recurso fóssil tem uma maior probabilidade de explosão, de intoxicação, de derrame, entre outros, enquanto os sistemas solares térmicos são muito mais fiáveis, uma vez que são projectados para durar cerca de 20 anos com poupança de energia, cuidando do ambiente.

Por outro lado, um sistema solar térmico é um sistema “limpo”, isto é, não produz qualquer tipo de resíduos, sendo por isso considerada uma forma de produção energética totalmente ecológica. Os sistemas solares térmicos permitem uma compatibilidade entre a utilização de energia e o desenvolvimento sustentável, melhorando o meio ambiente. É uma energia que reflecte a consciência sobre o meio ambiente ou ecológico.

#### 2.4.3. ANÁLISE SOB O PONTO DE VISTA DO CONSUMIDOR [11]

Para o consumidor, a opção de instalar um sistema solar térmico trás inúmeras vantagens a nível da economia individual. Devido aos incentivos do Estado para a colocação de colectores solares, o consumidor pode usufruir de diversos benefícios monetários e fiscais. O estado Português lançou o Programa Solar Térmico 2009, que tem a intenção de dar ao utilizador uma comparticipação estatal que pode atingir 50% do investimento total e agora criou a solução “Chave na Mão” que permite ao utilizador obter uma redução de 50% nos equipamentos adquiridos, de 30% na factura energética e um benefício fiscal de 30% de custo do investimento no primeiro ano.

Estas ajudas do estado permitem então ao consumidor:

- Poupança tanto no investimento inicial, como na factura energética;
- Dedução de 30% do custo do IRS;
- Menor custo dos factores, uma vez que o petróleo se encontra sempre muito vulnerável ao mercado;
- Benefícios de acesso ao crédito bancário por parte das famílias;
- Prazos reduzidos de amortização;
- Benefícios do programa “chave na mão”.

Além disso, o Estado Português abriu também a possibilidade de benefícios destes programas a instituições particulares de solidariedade social e associações desportivas com utilidade pública.

Em contrapartida, os sistemas solares térmicos trazem ao consumidor alguns inconvenientes, tal como o investimento inicial e a manutenção. Apesar de todos os apoios que existem no mercado, adquirir um sistema solar não é propriamente barato e mesmo com uma ajuda até 50% do Estado, é uma despesa pesada para o orçamento de uma família. Além disso, estes sistemas necessitam de uma manutenção preventiva anual, para que durem o tempo previsto sem perderem eficiência, o que também é mais um valor acrescido ao custo do sistema solar térmico, embora o programa “Chave na Mão” inclua instalação e manutenção o que vem facilitar o orçamento necessário a investir. Além disso, o sistema solar térmico reduz a factura energética mas não é independente pois no Inverno é necessário o recurso a energias de apoio para que o aquecimento das águas sanitárias fique assegurado.

Para uma melhor visão do investimento que se está a tratar, pegou-se no caso de estudo desenvolvido no Capítulo 4 e aplicou-se diferentes tipos de Colectores Solares, pois será mais fácil a compreensão do problema económico que a implementação de sistemas solares térmicos acarreta. Assim, para uma instalação dimensionada para um edifício no Centro Histórico do Porto, que apresenta uma zona de comércio e quatro habitações (2 T0, 1 T2, 1 T1) e com as mesmas características de dimensionamento, alterando apenas o tipo de colector solar, obtêm-se os seguintes valores:

- Colector Solar Plano: 8650 €
- Colector do Tipo CPC: 8916 €
- Colector de Tubo de Vácuo: 9420 €

Estes serão os preços iniciais apenas de compra do sistema solar térmico e obtidos por simulação no Programa SOLTERM do INETI.

Facilmente se percebe que são valores bastantes elevados e que sob o ponto de vista do consumidor apenas serão postos em causa se o sistema trouxer uma redução energética significativa, o que provavelmente não acontecerá na maioria dos edifícios do Centro Histórico do Porto, pois as obstruções são extremamente elevadas, condicionando em grande escala o rendimento do mesmo.

## **2.5. INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO [16] [36] [37]**

A instalação de um sistema solar térmico obriga ao estudo de duas áreas fundamentais:

- Área de instalação dos colectores solares;
- Área técnica para os diversos componentes associados ao sistema solar térmico;

Este estudo obriga a intervenção alargada de vários especialistas e uma série de documentação técnica relativa ao funcionamento e características dos componentes como também de especificações de instalação do sistema solar térmico. É no telhado que os canalizadores ou os instaladores de aquecimento enfrentam muitas vezes situações desconhecidas. Sempre que um campo de colectores é instalado no telhado e os tubos de ligação são prolongados para dentro do edifício, torna-se necessário interferir na estrutura do telhado. Torna-se assim importante conhecer e obedecer às orientações existentes.

Em relação à área de instalação dos colectores solares é necessário um estudo pormenorizado da cobertura, uma vez que este tem a função de estabelecer fronteiras espaciais, suportar as cargas do vento, chuva e neve, através da cobertura do telhado, amenizar as variações climáticas no interior do edifício e com um vertente significativa na estética do edifício. De acordo com a inclinação, as coberturas classificam-se do seguinte modo:

- Coberturas planas: até 5° de inclinação;

- Coberturas com inclinação normal: maior que 5° mas menor que 45° de inclinação;
- Coberturas muito inclinadas: maior que 45° de inclinação.

Nesta tese, o estudo apenas se irá incidir nas coberturas inclinadas, pois são as coberturas características do Centro Histórico do Porto, e desta forma pode-se classificar os colectores pelo modo de instalação, tendo:

- Colectores integrados numa cobertura inclinada (Figura 2.34);
- Colectores montados numa cobertura inclinada (Figura 2.35);
- Colectores colocados em suportes numa cobertura inclinada (Figura 2.36).

Cada uma destas soluções tem vantagens e desvantagens. O trabalho no telhado durante a instalação deve ser feito por especialistas, tendo em conta os regulamentos de segurança. As instruções do fabricante devem ser seguidas rigorosamente. O fabricante de colectores geralmente fornece o equipamento de fixação necessário. Por causa do grande número de diferentes coberturas de telhado e construções de colectores, os passos para a instalação do colector são diferentes de caso para caso.

No caso da instalação sobre a cobertura os colectores são montados cerca de 5-10 cm acima do revestimento deste. Os pontos de fixação podem ser ganchos no telhado ou suportes de aparafusamento que são aparafusados às vigas, ou em telhas onduladas, ou algo semelhante.

Para além disto, existem telhas especiais que foram desenvolvidas especificamente para montagem, de colectores que consistem em peças de plástico de várias formas e cores com o elemento de suporte integrado, em que os carris de montagem podem ser directamente aparafusados. Os colectores são fixos nestes. A estrutura de suporte do telhado deve ser capaz de suportar a carga adicional do peso dos colectores e do sistema de fixação (aproximadamente 25 kg/m<sup>2</sup>). A instalação sobre a cobertura é simples e segura, sendo o efeito protector das telhas mantido.

Para se proceder à sua instalação é necessário seguir as seguintes etapas:

1. Preparar o caminho para o transporte do colector, desde o solo até ao local da instalação; criar superfícies inclinadas; retirar telhas individuais para assegurar segurança de movimentos no telhado ou suspender as escadas em ganchos do telhado; seguir o regulamento de prevenção de acidentes;
2. Marcar o campo do colector no telhado;
3. Instalar suportes de aparafusamento: descobrir pontos de fixação (nas vigas), isto é, remover o revestimento da cobertura nestes pontos; aparafusar suportes de aparafusamento/ganchos de telhado nas vigas, e se necessário fornecer o suporte com peças de madeira, para que as telhas acima das quais os ganchos do telhado estão colocados, não estejam a sofrer sobrecarga; tapar buracos no telhado provocados pela instalação. Alternativamente: remover a cobertura do telhado nos respectivos pontos, instalar telhas especiais e aparafusar firmemente;
4. Aparafusar carris de montagem nos ganchos de telhado ou telhas especiais;
5. Fixar cordas para içar o colector ou as pegas para o segurar, levantar e transportar os colectores para a cobertura, colocar nos carris de montagem e fixar com parafusos;
6. Ligar em conjunto com tubos com isolamento térmico (prefabricados). No caso de um sótão extenso montar um respiradouro no ponto mais elevado na área externa;
7. Posicionar as telhas de ventilação, ligar as linhas de alimentação e retorno ao colector e conduzi-los através do revestimento do telhado para dentro da casa. Para isto, furar a cobertura e o isolamento térmico e fechá-los devidamente, p.e., através de colagem ou com um elemento de cobertura,

8. Instalação de sensores dentro dos respectivos orifícios;

9. Ligação do cabo do sensor à tomada com terra.

Esta descrição não substitui as instruções de instalação do fabricante.

Esta solução de instalação dos colectores é bastante vantajosa, uma vez que a instalação é rápida e simples, portanto mais barata, o revestimento do telhado permanece intacto e existe uma maior flexibilidade na sua colocação. Por outro lado, visualmente não é tão atractivo como uma instalação integrada na cobertura, a tubagem é parcialmente instalada acima do telhado (influência do tempo, danificação mecânica).



Fig.2.34 – Colector montado sobre a Cobertura [16].

No caso de uma instalação integrada no telhado as telhas são removidas na posição correspondente e os colectores são montados directamente na trama estrutural dos telhados. A selagem do revestimento na transição faz-se através de uma construção sobreposta. Os colectores são portanto integrados no revestimento da cobertura através de sistemas especiais de cobertura com moldura de alumínio ou zinco e chumbo (semelhantes a clarabóias). Em telhados inclinados, a integração é usualmente a solução esteticamente mais favorável sob o ponto de vista arquitectónico.

Para se proceder à sua instalação é necessário seguir as seguintes etapas:

1. Definir um percurso para os colectores desde o terreno até ao local da instalação e preparar uma superfície inclinada;
2. Marcar no telhado o campo de colectores;
3. Destapar a área de intervenção (algo maior do que a área de superfície dos colectores) e remover a maior parte das telhas;
4. Montar as peças de fixação e fixar os carris nas vigas;
5. Transportar os colectores para a cobertura, encaixá-los nas peças de fixação, alinhar lateralmente e aparafusar no sítio.
6. Se existem diversos colectores, inserir tomadas de ligação ou montar conectores de tubagens com isolamento térmico.

7. Ligar a tubagem de alimentação e retorno para o colector e conduzi-la para dentro da habitação através do revestimento da cobertura. Para fazer isto, é necessário perfurar a cobertura e o isolamento térmico e selar adequadamente outra vez;
8. Montar os sensores nos respectivos orifícios. Em caso de outro tipo de sensores, abrir a linha principal, aparafusar o sensor à alimentação (sob o isolamento térmico, tão perto quanto possível da saída dos tubos) e fechar a linha principal novamente.
9. Cobrir as arestas mais baixas, fixar as protecções laterais (geralmente suspensas de dentro da moldura do colector).
10. Montar as placas laterais do telhado e depois as de topo. As placas laterais devem projectar-se sobre as protecções.
11. Se necessário inserir faixas metálicas ou de selagem entre os colectores.
12. Cobrir as telhas do telhado nas zonas laterais, se necessário usar telhas parciais e se absolutamente necessário, cortar as telhas e depois cobri-las assegurando uma sobreposição suficiente (pelo menos 8 cm).
13. Moldar as protecções laterais ao redor das telhas

Esta descrição não substitui as instruções de instalação do fabricante.

A integração dos colectores na cobertura é uma solução visualmente é mais atraente, os tubos são colocados sob o revestimento da cobertura e diminui-se o uso de telhas. Em termos de desvantagens, tem-se que os materiais utilizados e o trabalho de montagem são mais caros, o revestimento do telhado é “quebrado”, provocando possíveis pontos fracos, há a possibilidade de remoção de excesso de telhas, o que acarreta custos e existe uma menor flexibilidade devida às molduras de cobertura, pelo que deve existir uma maior distância da envolvente das arestas das telhas, janelas e chaminés.



Fig.2.35 – Colector integrado na Cobertura [16].

Por fim pode-se ter os colectores montados sobre a cobertura mas em suportes, que geralmente são utilizados para coberturas planas mas quando se quer aumentar a exposição do colector à radiação solar, esta é a solução mais indicada. Assim são disponibilizados suportes planos em aço galvanizado

ou alumínio com os ângulos de fixação correspondentes. Devido às superfícies que estão expostas ao vento, estes colectores devem ser fixados de modo que tenham resistência a cargas mecânicas.

Existem três opções:

- Contrapesos (volumes de cimento, caleiras de gravilha, peças trapezoidais com enchimento de gravilha): aproximadamente 100 a 250 kg/m<sup>2</sup> de superfície de colector para colectores planos e cerca de 70 a 180 kg/m<sup>2</sup> para colectores de tubagens de aquecimento (máximo de 8 m de altura de montagem acima do nível térreo, de acordo com a altura do edifício), para além deste valor são necessárias cargas mais pesadas;
- Fixação com cordas: a condição prévia para esta situação é a instalação de pontos de fixação;
- Ancoragem à cobertura: aqui é necessário um número adequado de suportes e devem ser aparafusados à cobertura e vedados; os fixadores são ajustados a estes suportes, que suportam os colectores.

Para se proceder à sua instalação é necessário seguir as seguintes etapas:

1. Definição de percursos de transporte para os colectores desde o solo para o local de instalação;
2. Marcar no telhado o campo de colectores;
3. Dispor os suportes de telhado plano e ligar às peças trapezoidais;
4. Afixar cordas para içar os colectores ou pegas para transporte manual dos colectores para a cobertura;
6. Instalar os colectores nos suportes;
7. Fazer as ligações das tubagens entre os colectores e montar a ventilação no ponto mais alto.
8. Ligar as tubagens de alimentação e de retorno.
9. Montar o sensor do colector.

Esta descrição não substitui as instruções de instalação do fabricante.

Esta solução não trás problemas de selagem no telhado e não há necessidade de interrupções de continuidade na cobertura.



Fig.2.36 – Colector fixado por suportes na Cobertura [47].

Em relação ao estudo da área técnica dos vários componentes só é aplicado em sistema de circulação forçada, pois nos sistemas de termosifão o depósito acumulador está acoplado ao próprio colector. No caso do sistema de termosifão apenas é necessário estudar o local da colocação do apoio energético, mas geralmente fica situado nas cozinhas. Quando estamos em presença de um sistema de circulação forçada é necessário encontrar uma zona no edifício com área suficiente para a instalação do depósito acumulador, permutador, bomba de circulação e algumas válvulas, embora o elemento que influencia de uma forma significativa a estimativa da área da zona área técnica é o depósito acumulador. Nestes

sistemas também tem de ser estudado o melhor local para a colocação do controlador do sistema. Esta zona técnica pode estar localizada no interior ou no exterior do edifício, dependendo das características do mesmo e da sua zona envolvente. Independentemente da sua localização é aconselhável que estes elementos estejam todos abrigados por uma questão de segurança e de conservação dos mesmos.

## **2.6. MANUTENÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO**

Qualquer equipamento ou sistema que esteja sujeito a uma manutenção periódica e correcta tem um maior período de vida, sendo garantido o seu bom funcionamento. Assim apesar dos sistemas solares térmicos necessitem de pouca manutenção, é aconselhável uma verificação regular do seu funcionamento, bem como de todos os seus componentes integrantes.

O período recomendado para o intervalo do trabalho de manutenção é de 2 anos e de preferência executado num dia de Sol de Verão, onde a radiação é maior. Esta é uma competência de técnicos especializados e certificados, pois só assim é possível uma garantia fiável, assegurando a satisfação dos utilizadores.

O trabalho de manutenção consiste numa análise detalhada de todo o sistema e envolve quatro parâmetros fundamentais:

- Inspeção Visual;
- Verificação da protecção contra o congelamento;
- Verificação da protecção contra a corrosão;
- Monitorização dos parâmetros do sistema;

A inspeção visual envolve a verificação de alterações visíveis nos colectores, nomeadamente afectações sob o ponto de vista de contaminação, a segurança dos suportes de fixação, eventuais anomalias nas ligações entre painéis, falha ou degradação de algum componente do colector, como por exemplo, algum vidro partido. Além dos colectores é necessário fazer uma verificação visual a nível do circuito solar e no depósito de acumulação, fazendo o controlo às tensões do isolamento térmico e pressões do sistema, bem como outras falhas e averiguação do estado de limpeza. No caso de estes elementos verificarem alguma irregularidade, os técnicos têm o dever de proceder à sua reparação ou reparação.

Quanto à verificação da protecção contra o congelamento, esta é efectuada com um instrumento para medir a densidade do fluxo térmico, denominada por densímetro. Para a realização deste controlo é recolhida uma dada quantidade de fluido térmico onde será medida a temperatura de congelamento específica ou a densidade específica do fluido. Estas informações permitem saber o ponto de congelamento do fluido através do diagrama de concentração/densidade.

Em relação à verificação da protecção contra a corrosão esta tem de ser feita no circuito solar e no depósito acumulador. No circuito solar esta verificação é efectuada indirectamente através da medição do valor de pH, por fitas medidoras de pH e depois procede-se à análise do valor obtido. Se o valor de pH estiver abaixo do valor original e de 7, significa que a mistura de água/glicol deve ser substituída. No depósito acumulador tem de se testar o estado do ânodo de magnésio, através da medição da corrente eléctrica entre o cabo e o ânodo com um amperímetro. Caso o valor obtido esteja acima de 0,5mA não é necessário proceder à troca do ânodo senão terá de se proceder à sua substituição.

Por fim existem uma série de parâmetros do sistema térmico solar que têm de ser monitorizados, nomeadamente a temperatura e pressão e próprio controlador deve ser verificado. Para esta monitorização deve ser feita uma purga completa do sistema para que a pressão não varie mais do que

0,3 bar e nunca baixe mais do que a pressão de admissão do vaso de expansão, uma vez que a pressão do sistema varia dependendo da temperatura. A diferença de temperatura, em sistemas de elevado fluxo, entre a linha de alimentação e retorno e no caso de irradiação máxima, esta não deve estar acima de 20k (se estiver acima existe ar no circuito solar que o bloqueia devido à contaminação) e abaixo de 5k (se estiver abaixo existe depósito de calcário no permutador de calor). No que respeita ao controlador este foi instalado com um programa de monitorização dos dados, logo são gravados para posteriormente serem analisados. Dos vários dados que podem ser monitorizados, destaca-se o número de horas de operação da bomba do sistema solar e a quantidade de energia produzida. O número de horas de operação da bomba do circuito deve ter um tempo de funcionamento anual aproximado de acordo com as horas de luz na respectiva localização e a média anual de calor ganho através do sistema deve ser semelhante à média do local em causa, para o tipo de colectores instalado.

## 2.7. A CERTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A política energética nacional estabeleceu os seus objectivos relativos ao melhoramento da eficiência energética na resolução de Conselho de Ministros nº63/2003 de 28 de Abril em consequência do Programa Eficiência Energética e Energias Endógenas (Programa E4). Além disso, também implementou o programa “Água Quente Solar” para o incentivo do uso de colectores solares para o aquecimento de águas, uma vez que estipula a instalação de 150000 m<sup>2</sup> de colectores solares por ano, com a finalidade de atingir 1 milhão de m<sup>2</sup> de colectores solares instalados e operacionais até 2010 [11]. A partir destes programas será necessária a criação de um mercado sustentável de colectores solares com garantia de qualidade para o aquecimento de águas sanitárias em Portugal. Assim, a garantia da qualidade é apenas possível de alcançar com a certificação dos equipamentos solares térmicos. É necessário que qualquer colector solar térmico que seja instalado, o desempenho, a durabilidade, bem como os seus componentes estejam todos certificados por uma entidade acreditada para o efeito, pelo Sistema Português da Qualidade (SPQ). O SPQ tem por base a norma EN12975, em que os componentes são aprovados mediante a aprovação de certificado oficial, aspecto patente na portaria nº 394/2004 de 19 de Abril, que regulamenta a Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização dos Consumos.

Em Portugal, os produtos solares térmicos são certificados por um único organismo de certificação que é a Associação para a Certificação de Produtos (CERTIF). Assim, depois da verificação da Associação Portuguesa da Industria Solar (APISOLAR), representante dos fabricantes em Portugal, do Laboratório de Ensaio de Colectores Solares (LECS) e do Instituto Nacional de engenharia Tecnologia e Inovação (INETI), a CERTIF realiza, segundo as respectivas normas, as seguintes fases para a certificação:

- Realização de Ensaios de Concessão
- Auditoria/ Inspeção da Produção

Desta forma, todo o processo para a certificação de um determinado equipamento reflecte-se segundo a uma determinada ordem de ideias. Os ensaios de concessão são realizados apenas depois do fabricante manifestar a vontade de certificar um produto, onde um exemplar desse produto é escolhido aleatoriamente em fábrica e enviados ao Laboratório para serem sujeitos a uma série de ensaios. O principal objectivo é a verificação da manutenção das condições de produção, de modo a garantir que o produto terá as características respectivas ao seleccionado para o ensaio. Caso o fabricante comunique à entidade certificadora qualquer modificação na produção que implique alteração do produto, os ensaios poderão ter de ser repetidos. Estes ensaios deverão ser novamente efectuados de cada 5 em 5 anos, uma vez que o certificado do produto apenas tem esta validade. Após os ensaios, a

CERTIF analisa individualmente a possibilidade de reconhecimento da Certificação do Produto noutros países, podendo ser necessário recorrer a uma Equipa Auditora (EA) que realizou a inspecção no país de origem. Para conclusão e melhor visualização do processo, apresenta-se na Figura 2.37 um organograma explicativo.

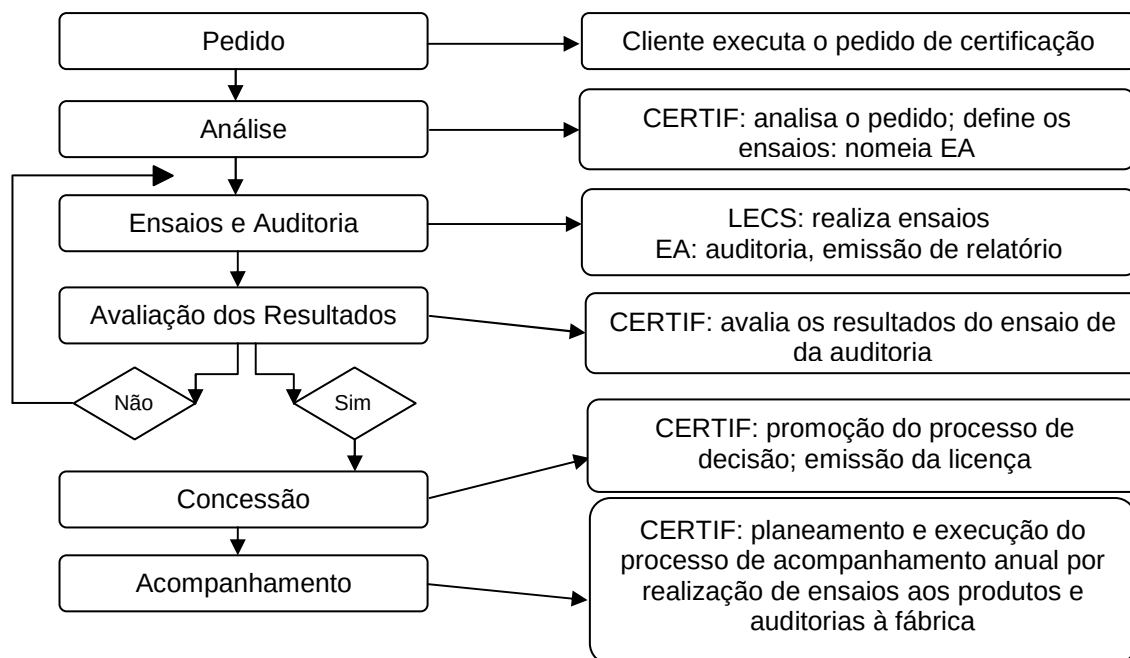


Fig.2.37 – Organograma explicativo do processo de Certificação dos Produtos

De uma forma geral, a CERTIF tem como objectivo garantir que os requisitos do produto especifiquem aspectos de durabilidade, fiabilidade e segurança para colectores solares de aquecimento de água.

Segundo as normas EN 12975 – 1:2000 (Norma de Requisitos do Produto) e EN12975 – 2:2001 (Norma de Métodos de Ensaio do Produto), a título de exemplo, um colector solar não deverá apresentar falhas graves quando sujeito a choques térmicos, resultantes da ocorrência de um forte aguaceiro durante um dia de sol em que o colector se encontra a temperaturas elevadas e permitir a penetração e acumulação de água no seu interior nos períodos de chuva intensa. O rendimento do colector é determinado também por este ensaios devendo constar na sua documentação e marcação.

Segundo as normas EN 12976 – 1:2000 (Norma de Requisitos do Produto) e EN12976 – 2:2001 (Norma de Métodos de Ensaio do Produto), e também a título de exemplo, um sistema solar do tipo “kit” deverá ter os mecanismos necessários para que não ocorra congelamento do fluido no colector, não seja danificado e não cause danos devido a sobreaquecimento da água de consumo no caso de não serem utilizados durante um grande período de tempo. Deve ser sempre acompanhado de um documento que explicita as suas características tanto para utilizadores, como para instaladores. A energia fornecida pelo sistema, em condições típicas, é determinada nos ensaios e deve constar na documentação de certificação.

A certificação é um processo que permite dar uma maior garantia ao utilizador final, visto que o produto apresenta características de qualidade comprovada, foi sujeito a ensaios rigorosos e passou nos critérios de aceitação da norma de requisitos e a sua produção é controlada através de um sistema

implementado pelo fabricante e inspeccionado pela entidade certificadora, o que garante que o produto ensaiado é representativo do produto colocado pelo fabricante no mercado.

Pelos motivos acima referidos, pode-se concluir que os utilizadores deverão escolher apenas colectores certificados, pois são aqueles que correspondem a produtos que foram ensaiados num laboratório certificado e cuja continuada qualidade de produção é assegurada por ensaios periódicos de unidades seleccionadas aleatoriamente pelo CERTIF (Associação para a Certificação). O fornecimento de equipamentos solares deve ser acompanhado de um certificado de garantia total de qualidade. As condições e o período de vigência da garantia revelam a confiança que o fornecedor tem no seu produto e tendem a assegurar ao cliente uma utilização livre de complicações durante, pelo menos, 6 anos.

No Anexo A2 e Anexo A3, encontra-se uma ficha de pedido de realização de ensaios obrigatórios e uma declaração de garantia de instalação de sistemas solares térmicos, respectivamente.

# 3

## OS COLECTORES SOLARES NO REGULAMENTO

### 3.1. O RCCTE E O RSECE

#### 3.1.1. OBJECTIVOS DA SUA APLICAÇÃO

Por imposição da União Europeia, os países foram obrigados a melhorar a qualidade dos edifícios e de reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aquecimento global ou para efeito de estufa.

Assim, Portugal obrigou-se a satisfazer estes compromissos e para tal implementou o seu primeiro documento legal, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Este documento impõe requisitos ao projecto de novos edifícios de forma a garantir a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão. Assim, o RCCTE visa garantir a minimização de efeitos patológicos na construção, derivados das condensações superficiais, e no interior dos elementos da envolvente. Em linhas gerais, o RCCTE tem os seguintes objectivos de aplicação:

- Exigir conforto térmico aos edifícios quer para condições de aquecimento como arrefecimento;
- Promover um acréscimo de qualidade térmica dos edifícios;
- Impor limites aos consumos energéticos;
- Fixar condições ambientais de referência para o cálculo dos consumos energéticos nominais segundo padrões típicos admitidos como os médios prováveis;
- Garantir a qualidade do ar interior, através da fixação da temperatura ambiente em termos de ventilação para renovação do ar;
- Diminuição das situações patológicas nos elementos de construção através da obtenção de uma maior estanquidade das envolventes e uso de materiais e tecnologias que não libertem importantes poluentes, contribuindo assim para a qualidade do ar interior e para a durabilidade dos edifícios;
- Garantir projectos licenciados ou autorizados que satisfaçam os requisitos regulamentares.

O RCCTE aplica-se a edifícios de habitação novos e a pequenos edifícios de serviço, com uma área útil inferior a 1000 m<sup>2</sup> e sem sistema mecânicos de climatização ou com potência inferior a 25 kW. Centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas, apenas são abrangidas pelo RCCTE caso a área útil de pavimento for menor que 500 m<sup>2</sup> pois acima desta área, são considerados grandes edifícios. No RCCTE também está contemplado para grandes reabilitações destas duas tipologias mas se a sua intervenção, quer no edifício, quer nos sistemas energéticos tenha um custo

superior a 25% de 630€/m<sup>2</sup>. Por sua vez, o RCCTE, exclui alguns edifícios do seu âmbito de aplicação, sendo o mais relevante para este estudo o ponto 9.c) do art.º 2 do RCCTE:

*“Excluem-se do âmbito de aplicação do presente Regulamento: (...)*

*c) As intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou em edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências deste Regulamento.”*

Como complemento ao RCCTE, o Governo Português introduziu outro documento legal em Maio de 2006, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). O RSECE é um documento que procura introduzir algumas medidas de racionalização, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para, sobretudo, evitar o seu sobredimensionamento, conforme o praticado nos mercados. Além disso, exige também a prática de alguns procedimentos de recepção após a instalação e de manutenção durante o seu funcionamento normal. Desta forma, este regulamento vem contribuir para a eficiência energética, evitando investimentos desnecessários. Em linhas gerais, este regulamento complementa o RCCTE nos seguintes pontos de vista:

- Promove a limitação dos padrões aceitáveis, quer nos edifícios existente, quer nos edifícios a construir ou nas grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes;
- Impõe métodos detalhados de previsão de consumos energéticos na fase de projecto;
- Impõe regras de eficiência aos sistemas de climatização que permite um melhoramento do desempenho energético;
- Amplia no projecto, os requisitos técnicos aplicáveis aos sistemas a conceber;
- Impõe mecanismos mais efectivos de comprovação da conformidade dos sistemas instalados e aumenta as penalizações para o incumprimento deste;
- Exige um maior grau de formação profissional dos técnicos que realizam a verificação os requisitos do RSECE, isto é, tem o objectivos de aumentar o nível de competência e conferir mais credibilidade aos equipamentos de forma a satisfazer o cliente;
- Monitoriza com regularidade as manutenções dos sistemas de climatização com objectivo do controlo da eficiência energética e da qualidade interior dos edifícios;
- Impõe mecanismos de auditoria periódica dos edifícios.

O RSECE refere-se a grandes edifícios de serviço novos, existentes e aos sujeitos a grandes reabilitações. Também aplicável a edifícios de habitação ou pequenos edifícios de serviço com sistemas de climatização, com uma potência superior a 25 kW. Da mesma forma, que o RCCTE, o RSECE exclui do seu âmbito de aplicação alguns edifícios, patente no ponto 2.e) do art.º 2 do RSECE:

*“(...) estão isentos dos requisitos do presente Regulamento: (...)*

*e) Edifícios em zonas históricas ou edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências deste regulamento.”*

O intuito destes regulamentos, será assegurar o cumprimento dos requisitos, antes da emissão da licença de utilização, isto é, consagram uma verificação prévia aquando do pedido de licença de construção.

O cumprimento dos requisitos é especialmente direccionado para o estabelecimento do conforto térmico, estipulando que as condições base para o conforto térmico são:

- A combinação entre a temperatura da pele e a do núcleo deve garantir uma sensação de neutralidade térmica;
- O calor produzido pelo metabolismo deve ser igual ao calor perdido pelo corpo.

Além disso, deve-se fazer uma avaliação cuidada do clima interior do edifício, uma vez que se esta não for executada existem grandes probabilidades de existência de um desconforto local, traduzido pela existência de correntes de ar, assimetrias de temperaturas de radiação e por pavimentos excessivamente frios ou quentes.

Desta forma, o RCCTE estipula como as condições higrotérmicas de conforto de Inverno:

- Temperatura operativa compreendida entre 20°C e 24°C;
- Diferença de temperatura do ar na vertical entre 1,8 mm e 0,1 m cima do pavimento menor que 3°C;
- Temperatura superior do pavimento entre 19 e 26°C;
- Velocidade média do ar menor que 0,15 m/s;
- Assimetria da temperatura radiante menor que 10°C, devido a janelas, e menor que 5°C, devido a painéis radiantes de tecto.

Assim, será com base neste dois regulamentos (RCCTE e RSECE), independentemente de serem excluídos a sua obrigatoriedade, que se irá basear o dimensionamento e verificação do correcto enquadramento e escolha dos colectores solares, no projecto de integração de colectores solares nos centros históricos.

### **3.2. REQUISITOS ENERGÉTICOS**

Para um edifício ou uma fracção autónoma satisfazer os requisitos energéticos terá de limitar as suas necessidades nominais de energia de forma a cumprir os pressupostos do RCCTE. Desta forma será necessária a limitação das seguintes necessidades nominais:

- Necessidades Nominais de Energia Útil para Aquecimento ( $N_{ic}$ );
- Necessidades Nominais de Energia Útil para Arrefecimento ( $N_{vc}$ );
- Necessidades Nominais de Energia Útil para Produção de Água Quente Sanitária ( $N_{ac}$ );
- Necessidades Nominais Globais de Energia Primária de um Edifício ( $N_{tc}$ ).

Estas são as necessidades impostas pelo RCCTE e que se forem cumpridas, considera-se que a fracção autónoma está regulamentar sob o ponto de vista térmico, o que significa que os requisitos mínimos de qualidade térmica dos edifícios estão assegurados. Desta forma, o RCCTE impõe uma série de condições ambientes de conforto de referência que devem ser asseguradas, através destas necessidades nominais de energia, sendo estas:

- Temperatura do ar: 20°C (Estação de Aquecimento - Inverno);
- Temperatura do ar: 25°C (Estação de Arrefecimento - Verão);
- Humidade Relativa: 50% (Estação de Arrefecimento - Verão);
- Taxa de Renovação do ar: 0,6 renovações por hora;
- Consumo de referência de água quente: 40L de água quente a 60°C por pessoa e por dia.

As “necessidades nominais de energia útil de aquecimento” e as “necessidades nominais de energia útil de arrefecimento” são parâmetros que exprime a quantidade de energia útil que é necessária para manter um edifício ou uma fracção autónoma a uma temperatura interior de referência durante a estação de aquecimento e arrefecimento, respectivamente.

As “necessidades nominais de energia útil para a produção de água quente sanitária” é o parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para aquecer o consumo médio anual de referência de águas quentes sanitárias a uma temperatura de 60°C.

As “necessidades nominais globais de energia primária” é o parâmetro que exprime a quantidade de energia primária correspondente à soma ponderada das necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento e de preparação de águas quentes sanitárias, tendo em consideração os sistemas adoptados ou, na ausência da sua definição, sistemas convencionais de referência, e os padrões correntes de utilização desses sistemas.

Todos estes parâmetros têm valores máximos estipulados no RCCTE, sendo a partir da comparação das parâmetros acima descritos com estes é que se pode determinar se o edifício ou fracção autónoma está regulamentar. Os valores limites são definidos da seguinte forma:

- Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas ( $N_i$ )
- Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas ( $N_v$ )
- Necessidades de Energia para a Preparação de AQS Máximas ( $N_a$ )
- Necessidades Nominais de Energia Primária Máximas ( $N_t$ )

Assim, pode-se admitir que um edifício, no Inverno, está regulamentar se cumprir as condições referidas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Condições Regulamentares das Necessidades de Energia.

| Necessidades<br>Máximas | SE | Necessidades<br>Nominais | RCCTE    |
|-------------------------|----|--------------------------|----------|
| $N_i$                   | >  | $N_{ic}$                 | Verifica |
| $N_v$                   | >  | $N_{vc}$                 | Verifica |
| $N_a$                   | >  | $N_{ac}$                 | Verifica |
| $N_t$                   | >  | $N_{tc}$                 | Verifica |

Sob o ponto de vista dos colectores solares, o estudo só necessitaria de incidir sobre a as “necessidades nominais de energia útil para a produção de água quente sanitária” mas para fazer uma avaliação cuidada do contributo dos sistemas solar térmicos para a avaliação do nível da qualidade energética dos edifícios é necessário fazer um balanço de todas as necessidades acima referidas, para se chegar à conclusão das necessidades globais anuais de energia primária, que permitirão estabelecer o desempenho energético do edifício. Embora no caso de estudo sejam avaliadas todos os parâmetros que influenciam a energia num edifício para se perceber o contributo dos colectores solares e a vantagem da sua aplicação para o desempenho energético do edifício, no presente capítulo apenas se irá desenvolver as obrigações dos regulamentos no que diz respeito às necessidades de energia que influenciarão directamente as conclusões do mesmo. O cálculo das restantes necessidades está evidenciado nas folhas de cálculo do RCCTE do caso de estudo que se irá realizar no Capítulo 4.

### 3.2.1. NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA A PRODUÇÃO DE AQS

Anteriormente a utilização de colectores solares não tinha um carácter obrigatório, mas com a revisão em 2004 do RCCTE, a colocação de colectores solares como factor influenciador do consumo energético passou a ser indispensável.

Segundo o art.º 7 do RCCTE, para a limitação das necessidades nominais de energia útil para a produção de AQS passou a ser determinante a utilização da energia solar ou outro tipo de energias renováveis.

O cálculo do valor máximo das necessidades de energia útil para a produção de AQS, pelo RCCTE, é determinado em função da equação 3.1:

$$N_a = \frac{0,081 \times M_{AQS} \times n_d}{A_p} \quad (3.1)$$

Sendo:

$M_{AQS}$  – Consumo médio diário de referência de AQS;

$n_d$  – Número anual de dias de consumo;

$A_p$  – Área útil de Pavimento.

O consumo médio diário de referência é dado pela equação 3.2.

$$M_{AQS} = \text{Consumo total diário} \times N^\circ \text{ de Ocupantes} \quad (3.2)$$

Para o consumo total diário, o RCCTE considera 40L por ocupante para edifícios residenciais. No caso dos edifícios de serviços adopta-se para  $M_{AQS}$  um valor de 100L, pois são considerados como pequenos consumidores de AQS. Quando o edifício tem uma fracção autónoma de serviço e o resto é destinado à habitação é usual converter a parte de serviço em habitação passando a considerar os consumos de 40L por ocupante e 2,5 ocupantes nominais (100L/40L) por cada fracção autónoma destinada aos serviços, aplicando a expressão acima mencionada.

O número convencional de ocupantes de cada fracção é dado pelo Quadro 3.2. (retirado do Quadro VI.I do anexo VI do RCCTE):

Quadro 3.2 – Número convencional de ocupantes em função da tipologia da fracção autónoma.

| Tipologia       | T0 | T1 | T2 | T3 | Tn  |
|-----------------|----|----|----|----|-----|
| Nº de Ocupantes | 2  | 2  | 3  | 4  | n+1 |

Quanto ao número anual de dias de consumo é estipulado pelo Quadro VI.2 do anexo VI do RCCTE, uma vez que este depende do período convencional de utilização dos edifícios, sendo os valores apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Número anual de dias de consumo de AQS.

| Tipo de Edifícios      | Utilização                         | $n_d$ |
|------------------------|------------------------------------|-------|
| Edifícios Residenciais | Permanente                         | 365   |
|                        | Permanente                         | 365   |
| Edifícios de Serviços  | Encerrado um dia por semana        | 313   |
|                        | Encerrado um dia e meio por semana | 287   |
|                        | Encerrado dois dias por semana     | 261   |

A área de pavimento útil de pavimento é a soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos de uma fracção autónoma de um edifício e que portanto é determinado pelo projecto de arquitectura da fracção autónoma em estudo.

No que se refere às necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (Nac) este parâmetro é calculado pela seguinte fórmula, seguindo o RCCTE:

$$N_{ac} = (Q_a / \eta_a - E_{solar} - E_{ren}) / A_p \quad (3.3)$$

Em que:

$Q_a$  – Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS (Kwh/ano);

$\eta_a$  – Eficiência de conversão de sistemas de colectores solares para aquecimento de AQS;

$E_{solar}$  – Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS;

$E_{ren}$  – Contribuição de quaisquer outras formas de energia renováveis para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais;

$A_p$  – Área útil de pavimento.

A energia útil dispensada ( $Q_a$ ) é obtida pela equação 3.4.

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta_T \times n_d}{3600000} \quad (3.4)$$

Sendo:

$M_{AQS}$  – Consumo médio diário de referência de AQS;

$\Delta_T$  – Aumento de temperatura necessário;

$n_d$  – Número anual de dias de consumo;

$A_p$  – Área útil de Pavimento.

O aumento de temperatura necessário ( $\Delta_T$ ) toma o valor de referência de 45°C, uma vez que considera que a água da rede pública de abastecimento é disponibilizada a uma temperatura média anual de 15°C e que deve ser aquecida à temperatura de 60°C.

A eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS é definida pelo respectivo fabricante com base em ensaios normalizados, podendo ser utilizados alguns valores de referência na ausência de informação, em função do tipo de sistema utilizado e do seu isolamento. O RCCTE prevê uma diminuição destes valores de referência de 0,10 para redes que não forem isoladas com pelo menos 10mm de isolamento térmico. Caso o sistema utilizado não se enquadre nestes sistemas referidos pelo RCCTE, a eficiência deve ser calculada pelo projectista, cumprindo os requisitos de isolamento térmico especificados na regulamentação própria aplicável a este tipo de sistemas (RSECE). Para o caso do sistema de preparação de AQS não estar definido no projecto, o RCCTE prevê a instalação de um termoacumulador eléctrico com 5cm de isolamento térmico em edifícios sem alimentação de gás, considerando uma eficiência de conversão de 0,90, ou um esquentador a gás natural ou GPL quando estiver previsto o respectivo abastecimento, considerando uma eficiência de conversão de 0,50.

Em relação à  $E_{solar}$  é determinada pelo programa SOLTERM do INETI e só poderão ser contabilizados para o efeito de cálculo pelo RCCTE se os sistemas ou equipamentos forem certificados de acordo com as normas e legislação em vigor, por instaladores acreditados pela DGGE e se houver a garantia de manutenção do sistema em funcionamento eficiente durante um período mínimo de seis anos após a instalação.

Quanto à  $E_{ren}$  é a contabilização de outras formas de energias renováveis para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor, de equipamentos ou de fluidos residuais, devendo ser calculada com base em métodos reconhecidos pela entidade licenciadora.

### 3.3. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO ATENDENDO ÀS CONDIÇÕES DO RCCTE

Para o dimensionamento de um sistema solar térmico, o RCCTE impõe algumas condicionantes, nomeadamente:

- Exposição Solar que irá influencia a Orientação dos Colectores;
- Área Mínima dos Colectores;
- Necessidades de Consumo Mínimas;

Desta forma, seguidamente serão referidas as condicionantes impostas de uma detalhada para um sistema solar térmico genérico.

#### 3.3.1. EXPOSIÇÃO SOLAR

Para a avaliação da exposição solar em Portugal, no Anexo III do RCCTE, é feito o zonamento climático do país (Figura 3.1). Assim, o país está dividido em três zonas climáticas de Inverno ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) e três zonas climáticas de Verão ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ).

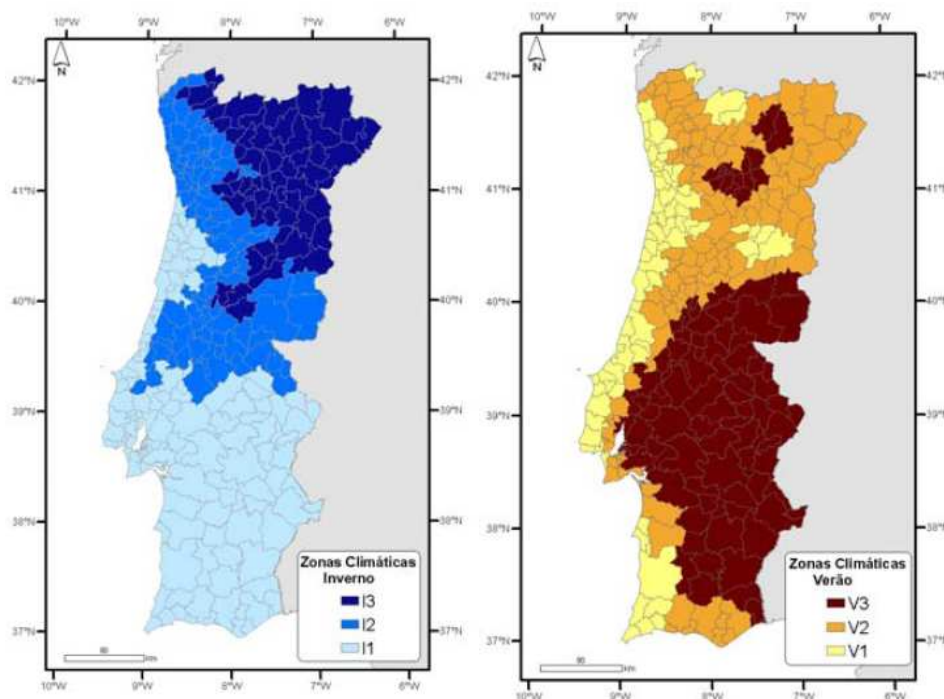


Fig.3.1 – Zonas Climáticas de Inverno e de Verão de Portugal Continental.

Depois de vários estudos, chegou-se à conclusão que a diferença verificada entre Norte e Sul do país é menor do que se possa pensar, entre as cidades do Porto e Faro a diferença das necessidades de aquecimento são de apenas 18%.

Para se promover o desempenho ideal do ambiente num edifício que recorre a sistemas solares térmicos, há uma necessidade de maximizar a captação da radiação solar e armazenar essa energia para ser posteriormente utilizada. Nos edifícios abrangidos pelo RCCTE, o recurso a sistemas de colectores solares térmicos para o aquecimento de AQS é obrigatório sempre que haja uma exposição solar adequada. Entende-se por exposição solar adequada a existência de cobertura em terraço ou de cobertura inclinada com água cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90°C entre sudeste e sudoeste e que não seja sombreada por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois de o nascer do sol e termina duas horas antes do ocaso.

Outro aspecto importante a ter em consideração, como já foi referido no Capítulo 2 foi o estudo da irradiação solar para as várias orientações nos 4 meses da estação de aquecimento ( $I_r$  – kWh/m<sup>2</sup>) e da irradiação solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a Sul em cada mês da estação de aquecimento ( $G_{sul}$  – kWh/m<sup>2</sup>.mês), sendo estes parâmetros definidos pelo RCCTE.

### 3.3.2. ÁREA MÍNIMA DE COLECTORES SOLARES A INSTALAR

O RCCTE estipula uma área mínima de colectores a instalar nos edifícios abrangidos por este regulamento. O princípio que o RCCTE aplica é, acaso de uma instalação solar térmica, deve ser considerado, pelo menos, 1 m<sup>2</sup> de colector solar por ocupante convencional previsto, conforme o definido na metodologia de cálculo das necessidades nominais de energia para o aquecimento de água sanitárias. Este valor pode ser reduzido de forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível, em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante sul, entre sudeste e sudoeste.

Assim, para as várias tipologias temos as áreas mínimas de áreas de colectores solares patentes no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Área mínima de Colectores Solares prevista pelo RCCTE.

| Tipologia       | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | Tn        |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----------|
| Nº de Ocupantes | 2  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | n+1       |
| m2 de Colector  | 2  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | (n+1) x 1 |

### 3.3.3. NECESSIDADES DE CONSUMO MÍNIMAS

Tal como já foi referido no ponto do estudo das necessidades de energia útil para a produção de AQS, é estipulado pelo RCCTE para edifícios residenciais 40L por ocupante e para edifícios de serviço 100L. Há que ter em atenção que este valor é referente ao consumo médio diário de referência de AQS, mas aquando do dimensionamento do depósito acumulador não será necessário prever o seu volume para este consumo médio diário a 100%, isto é, o volume do depósito acumulador apenas deverá garantir uma determinada percentagem das necessidades de consumo.

## 3.4. A CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS

Segundo a Directiva 2002/91/CE e do Decreto-lei 78/2006, a Certificação Energética dos edifícios passou a ser obrigatória para:

- Obter uma licença de utilização em edifícios novos;
- Reabilitações importantes de edifícios existentes, em que o custo seja superior a 25% do valor de referência;
- Locação ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes, em que o certificado energético tem uma validade de 10 anos;
- Todos os edifícios de serviços com mais de 1000 m<sup>2</sup>, sendo o Certificado revisto periodicamente de 6 em 6 anos.

O Certificado Energético ou também designado por declaração de conformidade regulamentar é um documento realizado por peritos qualificados que terão a obrigação de preparar este certificados energéticos, tanto durante o projecto aquando do pedido da licença de construção, tanto no final da

obra para atribuição de uma determinada classificação energética ao edifício. É um documento legal que deve ser emitido pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios.

Este certificado é o resultado de uma verificação efectuada ao edifício relativamente aos requisitos especificados no RCCTE e que irá classificar o imóvel em relação ao seu respectivo desempenho energético. Além disso, este certificado permite identificar possíveis medidas de melhoria do seu respectivo desempenho e dos sistemas energéticos e de ventilação, instalados de forma a garantir a qualidade do ar interior sem excessivos consumos energéticos.

Este Certificado tem como base a avaliação de vários parâmetros, nomeadamente:

- Necessidades anuais globais de energia útil para climatização e águas quentes;
- Necessidades anuais globais estimadas de energia primária para a climatização e águas quentes;
- Valor limite máximo regulamentar para as necessidades anuais globais de energia primária para climatização e águas quentes;
- Emissões anuais de gases de estufa associada à energia primária para a climatização e águas quentes.

Desta forma, para se estabelecer uma classe energética para um edifício ou para uma fracção autónoma é necessário fazer um estudo das necessidades nominais globais de energia primária ( $N_{tc}$ ).

Tal como foi referido anteriormente este parâmetro exprime a quantidade de energia primária correspondente à soma ponderada das necessidades nominais de aquecimento ( $N_{ic}$ ), de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) e de preparação de águas quentes sanitárias ( $N_{ac}$ ). Assim, para o cálculo das  $N_{tc}$ , temos de ter em consideração a equação 3.5.

$$N_{tc} = 0,1 * (N_{ic} / \eta_i) * F_{pui} + 0,1 * (N_{vc} / \eta_v) * F_{puv} + N_{ac} * F_{pua} \quad (3.5)$$

Em que:

$N_{ic}$ ,  $N_{vc}$  e  $N_{ac}$  – necessidades nominais de energia útil de aquecimento, arrefecimento e para produção de AQS, respectivamente;

$\eta_i$  e  $\eta_v$  – eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e de arrefecimento, respectivamente;

$F_{pui}$ ,  $F_{puv}$  e  $F_{pua}$  – factores de conversão entre energia útil e energia primária, sendo os dois primeiros referentes a electricidade e o ultimo a combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

O RCCTE estabelece os valores de referência para os parâmetros de conversão entre energia útil e energia primária, no Art. 18º- Ponto 1 do Capítulo V referente às disposições finais e transitórias. Os valores são referidos no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Factores de conversão entre energia útil e energia primária.

| Tipo de Energia | Fpu (kgep/kWh) |
|-----------------|----------------|
| Electricidade   | 0,290          |
| Combustíveis    | 0,086          |

Os parâmetros devem ser afectados pela eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e de arrefecimento, sob condições nominais de funcionamento, e na falta de

dados mais precisos, o RCCTE estipula alguns valores de referência no Art. 18º- Ponto 2 do Capítulo V referente às disposições finais e transitórias, sendo os seguintes:

- Resistência Eléctrica – 1;
- Caldeira a combustível gasoso – 0,87;
- Caldeira a combustível líquido – 0,8;
- Caldeira a combustível sólido – 0,6;
- Bomba de Calor (aquecimento) – 4;
- Bomba de Calor (arrefecimento) – 3;
- Máquina frigorífica (ciclo de compressão) – 3;
- Máquina frigorífica (ciclo de absorção) – 0,8.

Cada fracção autónoma para estar de acordo com o RCCTE não poderá exceder os valores das necessidades globais anuais de energia primária máximas, isto é,  $N_{tc}$  deve ser inferior a  $N_t$ . Assim, para o cálculo deste limite máximo aplica-se a equação 3.6.

$$N_t = 0,9 \times (0,01 N_i + 0,01 N_v + 0,15 N_a) \quad (3.6)$$

Sendo:

$N_i$  – Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas

$N_v$  – Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas

$N_a$  – Necessidades de Energia para a Preparação de AQS Máximas

São estes limites que vão contribuir para a avaliação cuidada do edifício e assim proceder à sua certificação energética e emissão de licenças de utilização, que caso sejam todos respeitados pelos valores das necessidades nominais, fazem com que o edifício seja aprovado e considerado regulamentar.

A avaliação da classe energética dos edifícios seguiu a mesma classificação dos electrodomésticos, que são avaliados em função dos seus consumos e a partir daí é-lhe atribuído uma etiqueta correspondendo a dadas classes energéticas. Assim, para os edifícios é calculado um dado indicador R, que estabelece a relação entre as necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e AQS e o limite máximo regulamentar do valor dessas necessidades. Com este indicador, atribuíram-se classes energéticas desde A+ (melhor desempenho) até G (pior desempenho), tal como indica o Quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Classes energéticas e respectivas etiquetas [17].

| CLASSE ENERGÉTICA | $R = N_{tc}/N_t$  |                                                                                    |
|-------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| A <sup>+</sup>    | $R < 0.25$        |  |
| A                 | $0.25 < R < 0.50$ |  |
| B                 | $0.50 < R < 0.75$ |  |
| B <sup>-</sup>    | $0.75 < R < 1.00$ |  |
| C                 | $1.00 < R < 1.50$ |  |
| D                 | $1.50 < R < 2.00$ |  |
| E                 | $2.00 < R < 2.50$ |  |
| F                 | $2.50 < R < 3.00$ |                                                                                    |
| G                 | $3.00 < R$        |                                                                                    |

Como os edifícios novos deve, verificar todos o RCCTE, isto é,  $N_{tc} < N_t$ , logo as suas classes de desempenho situar-se-ão sempre entre A<sup>+</sup> e B<sup>-</sup>, enquanto que os edifícios existentes, anteriores à entrada em vigor do regulamento, poderão apresentar qualquer classe desempenho.

Este certificado também permite através da sua leitura ter uma ideia de todos os elementos constituintes do edifício ou da fracção autónoma, as suas características e todos os sistemas de climatização existentes. Além disso, ainda é solicitado no certificado o valor anual das emissões de CO<sub>2</sub> associadas à energia primária para climatização e águas quentes.

No Anexo A4 encontra-se um modelo do Certificado Energético.

# 4

## CASO DE ESTUDO

### 4.1. INTRODUÇÃO

Para a avaliação da utilização dos colectores solares no âmbito da reabilitação do Centro Histórico do Porto, foi feito um caso de estudo de uma fracção de um edifício situado no mesmo, representando um exemplo tipo das características do edificado desta zona.

O edifício em estudo situa-se na Rua Mouzinho da Silveira nº240/244, encontrando-se actualmente em processo de reabilitação. Este edifício é inserido num conjunto de edifícios em banda, tendo assim duas frentes acessíveis e duas inacessíveis, devido à existência de dois edifícios vizinhos. Esta construção trata-se de uma moradia multifamiliar constituída por quatro pisos (R/C, 1º, 2º e 3º piso), sendo o R/C destinado ao comércio e os restantes à habitação. O rés-do-chão tem duas entradas, uma de acesso aos pisos superiores e outra para a zona destinada ao comércio. O primeiro andar é constituído por um estúdio, em que a sua entrada é feita pela parte traseira do edifício, isto é, pelo Largo do Duque da Ribeira, e por um T0 acessível pela circulação comum do edifício. O segundo andar é constituído por um T2, que abrange área total da fachada frontal e tardo. Por fim, o último andar é constituído por um T1, que inicia-se no patamar de acesso do segundo piso para o terceiro. Esta última fracção apresenta na parte traseira um terraço, que constitui parte da cobertura do piso inferior e a sua cobertura é do tipo “aguas furtadas”. A circulação comum aos diferentes pisos encontra-se encostada a uma das fachadas inacessíveis, sendo do tipo vão-patamar-vao. Verifica-se a existência de uma corete que percorre todo o edifício e que está encostada à zona de circulação comum, tratando-se de um espaço, destinado a tubagens, cabos, ligações eléctricas, canalizações e saída e entrada de fumos. Quanto à cobertura, esta é apresenta-se do tipo 4 águas, com inclinações distintas. Quanto às cotas de soleira, na fachada virada para a Rua Mouzinho da Silveira, são desniveladas acompanhando a inclinação da rua, enquanto na fachada oposta virada para o Largo do Duque da Ribeira a cota de soleira é a mesma ao longo da fachada. Além disso, importa referir que o piso destinado ao comércio, em consequência das condições exteriores de nivelamento do terreno do Largo, encontra-se posicionada abaixo da cota de soleira do mesmo. Sob o ponto de vista estrutural, como o edifício ainda está em processo de estudo, será definido mais à frente no trabalho.

Para o caso em estudo, apenas será analisado a fracção do último piso (T1), uma vez que será fracção mais desfavorável sob o ponto de vista térmico e sob o ponto de vista da instalação solar térmica. Sob o ponto de vista térmico é a mais desvantajosa uma vez que está em contacto com as duas coberturas exteriores ao edifício. Sob o ponto de vista da instalação solar térmica, como esta terá de ser feita pelo sistema de circulação forçada, para um menor impacto visual, e a área técnica no interior do edifício localizar-se-á no rés-do-chão, provocando maiores perdas de carga no último andar.

Com base na fracção T1 do presente edifício, efectuou-se cinco simulações de forma a avaliar a aplicabilidade dos colectores solares no Centro Histórico do Porto. Estas simulações, basearam-se nas folhas de cálculo do RCCTE, variando vários parâmetros, nomeadamente, os coeficientes de transmissão térmica dos elementos constituintes e os sistemas utilizados para o aquecimento e produção de AQS, de forma testar as várias classes energéticas que o edifício apresentará com as cinco conjugações dos parâmetros referidos.

## 4.2. DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES EFECTUADAS

Para se determinar a classificação energética de um edifício é necessário proceder ao cálculo das folhas propostas pelo RCCTE de forma a alcançar os valores das necessidades de energia do edifício. É através das classes energéticas resultantes das diferentes simulações, que será possível a obtenção de conclusões para este caso de estudo.

Assim, tal como já foi acima mencionado, apenas foi analisado uma fracção autónoma (3º andar) de um edifício situado no Centro Histórico do Porto. Com base no regulamento e na arquitectura do edifício que se fizeram variar algumas considerações de forma a proceder ao cálculo energético. Os parâmetros que foram combinados de diversas formas são:

- As soluções construtivas dos elementos constituintes;
- Sistemas utilizados para o aquecimento;
- Sistemas utilizados para a produção de águas quentes sanitárias;

Em relação às soluções construtivas foram determinados os diferentes coeficientes de transmissão térmica com base nos pormenores construtivos fornecidos pela arquitectura. Tal como será explicitado mais à frente neste capítulo, muitas das soluções não cumpriam o regulamento ou então os valores são muito próximos dos coeficientes de transmissão térmica máximos. Desta forma, optou-se por utilizar os coeficientes de transmissão térmica máximos e depois fazer uma alteração da solução construtiva a nível de isolamento, cumprindo os valores de coeficientes de transmissão térmica de referência. Esta situação não se verificou para os envidraçados, que foi sempre utilizado o  $U_{ref}$ , uma vez que não existe um valor de  $U_{máx}$  estipulado no RCCTE.

O sistema de arrefecimento não foi alterado, sendo sempre utilizado uma máquina frigorífica de ciclo de compressão e com uma eficiência nominal de arrefecimento ( $\eta_v$ ) do equipamento de 3.

De seguida irá explicitar-se as várias considerações efectuadas, alcançando um total de cinco simulações.

### 4.2.1. SIMULAÇÃO 1

A primeira simulação é a que prevê, segundo o RCCTE, todas as situações mais elementares, isto é, utilizou uma envolvente sem isolamento, correspondendo a soluções construtivas com coeficientes de transmissão térmica máximos. Em termos de sistemas de aquecimento, utilizou tanto para o sistema de aquecimento como para o sistema de produção de AQS, uma resistência eléctrica. Para o sistema de produção de AQS, utilizou-se um termoacumulador eléctrico com 5cm de isolamento, que é o sistema que o RCCTE prevê caso não esteja definido no projecto (Anexo VI – ponto 3), com  $\eta_a=0,90$ . Para o sistema de produção de aquecimento, considerou-se um equipamento com uma eficiência nominal de uma resistência eléctrica,  $\eta_i=1$ . No Quadro 4.1, são resumidos os sistemas utilizados na Simulação 1.

Quadro 4.1 – Parâmetros utilizados na Simulação 1.

| U utilizado      | Sistema de Produção de AQS | Sistema de Aquecimento | Sistema de Arrefecimento |
|------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| $U_{\text{máx}}$ | Resistência Eléctrica      | Resistência Eléctrica  | Bomba Cop3               |

## 4.2.2. SIMULAÇÃO 2

Na segunda simulação optou-se apenas por variar a solução construtiva, isto é, uma solução onde a envolventes se encontra isolada termicamente. Em vez da utilização dos  $U_{\text{máx}}$  definidos pelo RCCTE, utilizaram-se os valores de  $U_{\text{ref}}$ . Em termos de sistemas de produção de AQS e arrefecimento mantiveram-se os sistemas da simulação 1, recorrendo à resistência eléctrica, logo com valores de  $\eta_a=0,90$  e de  $\eta_i=1$ . No Quadro 4.2, são resumidos os sistemas utilizados na Simulação 2.

Quadro 4.2 – Parâmetros utilizados na Simulação 2.

| U utilizado      | Sistema de Produção de AQS | Sistema de Aquecimento | Sistema de Arrefecimento |
|------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| $U_{\text{ref}}$ | Resistência Eléctrica      | Resistência Eléctrica  | Bomba Cop3               |

## 4.2.3. SIMULAÇÃO 3

Na terceira simulação optou-se por manter a envolvente bem isolada termicamente, isto é, utilizaram-se os valores de  $U_{\text{ref}}$ . Em relação ao sistema de produção de AQS, recorreu-se a uma caldeira a gás, utilizando-se uma caldeira mural com acumulação com pelo menos 100mm de isolamento térmico ( $\eta_a=0,87$ ). Para o sistema de arrefecimento, recorreu-se também à utilização de uma caldeira a gás, ou seja, previu-se um equipamento com uma eficiência nominal de uma caldeira a combustível gasoso ( $\eta_i=0,87$ ). No Quadro 4.3, são resumidos os sistemas utilizados na Simulação 3.

Quadro 4.3 – Parâmetros utilizados na Simulação 3.

| U utilizado      | Sistema de Produção de AQS | Sistema de Aquecimento | Sistema de Arrefecimento |
|------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| $U_{\text{ref}}$ | Caldeira a Gás             | Caldeira a Gás         | Bomba Cop3               |

## 4.2.4. SIMULAÇÃO 4

Na quarta simulação optou-se, de igual forma, por manter a envolvente bem isolada termicamente, utilizando os  $U_{\text{ref}}$  mas os sistemas de produção de AQS e de aquecimento foram alterados. Para o sistema de produção de AQS previu-se o recurso à energia solar ( $E_{\text{solar}}$ ), sendo mais à frente explicado todo o dimensionamento da instalação solar térmica e à resistência eléctrica ( $\eta_a$ ). Para o sistema de aquecimento, voltou-se também ao sistema de resistência eléctrica, prevendo-se um equipamento com uma eficiência nominal de uma resistência eléctrica, logo  $\eta_i=1$ . No Quadro 4.4, são resumidos os sistemas utilizados na Simulação 4.

Quadro 4.4 – Parâmetros utilizados na Simulação 4.

| U utilizado      | Sistema de Produção de AQS                 | Sistema de Aquecimento | Sistema de Arrefecimento |
|------------------|--------------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| $U_{\text{ref}}$ | $E_{\text{solar}}$ + Resistência Eléctrica | Resistência Eléctrica  | Bomba Cop3               |

#### 4.2.5. SIMULAÇÃO 5

Na quinta e última simulação, a envolvente continuou a ser considerada bem isolada, usando os valores de  $U_{ref}$ . Em relação aos sistemas utilizados, foram semelhantes à simulação anterior, uma vez que também se recorreu à  $E_{solar}$  para a produção de AQS, mas com um sistema alternativo que recorre à caldeira a gás. Esta caldeira a gás é a mesma que a usada na simulação 3, isto é, uma caldeira mural com acumulação com pelo menos 100mm de isolamento térmico ( $\eta_a=0,87$ ). Para o sistema de aquecimento alterou-se também para uma caldeira a gás com eficiência nominal do equipamento correspondendo a uma caldeira a combustível sólido,  $\eta_i=0,87$ . No Quadro 4.5, são resumidos os sistemas utilizados na Simulação 5.

Quadro 4.5 – Parâmetros utilizados na Simulação 5.

| U utilizado | Sistema de Produção de AQS   | Sistema de Aquecimento | Sistema de Arrefecimento |
|-------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| $U_{ref}$   | $E_{solar}$ + Caldeira a Gás | Caldeira a Gás         | Bomba Cop3               |

A seguir serão especificados todos os parâmetros necessários ao preenchimento das folhas de cálculo, propostas pelo RCCTE.

No Anexo B1 encontrar-se-ão as folhas de cálculo de cada simulação efectuada.

### 4.3. PARÂMETROS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES EFECTUADAS

#### 4.3.1. DEFINIÇÃO DA FRACÇÃO AUTÓNOMA

Para efeitos do RCCTE, entende-se por fracção autónoma cada uma das partes de um edifício dotadas de contador individual de consumo de energia, separada do resto do edifício por uma barreira física contínua, e cujo direito de propriedade ou fruição seja transmissível autonomamente.

A fracção autónoma (Figura 4.1) em estudo tem a tipologia T1, apresenta uma área de pavimento de 73,91 m<sup>2</sup>, que inclui a caixa de escada, uma vez que a fracção começa no patamar do piso inferior e tem um terraço exterior com uma área de 34,72 m<sup>2</sup>. O seu interior apresenta um quarto, uma casa de banho, uma cozinha, uma sala e um hall com uma janela na cobertura. O tecto desta fracção é coincidente com a cobertura, acompanhando as quatro águas da cobertura.



Figura 4.1 – Fracção autónoma em estudo.

As exigências do RCCTE aplicam-se apenas aos espaços para os quais se requerem normalmente condições interiores de conforto, designados como “espaços úteis”. Os espaços aos quais não se aplicam estas condições consideram-se espaços “não úteis” e não podem ser incluídos no cálculo dos valores de  $N_{ic}$ ,  $N_{vc}$  e  $N_{tc}$ .

Na aplicação do RCCTE à fracção em estudo considerou-se apenas como espaços não úteis, dois espaços exteriores à fracção, mas que terão de ser contabilizados uma vez que alguns elementos da envolvente estarão em contacto com estes, os edifícios adjacentes e a circulação comum. Apesar de esta fracção apresentar uma lavandaria, esta não será considerada espaço não útil, uma vez que tem ocupação permanente e não tem qualquer abertura para o exterior, isto é, é um espaço climatizado. A secagem da roupa será efectuada por uma máquina de secar a roupa que está prevista no projecto.

#### 4.3.2. DADOS CLIMÁTICOS

##### 4.3.2.1. Zona Climática

Para efeitos do RCCTE, o país é dividido em três zonas climáticas de Inverno ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) e três zonas climáticas de Verão ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ), [Quadro III.1 do RCCTE], tal como já foi referido no Capítulo 3. A fracção autónoma em estudo, como se situa no Porto, pertencerá à zona climática de Inverno “ $I_2$ ” e à zona climática de Verão “ $V_1$ ” (Quadro 4.6).

Quadro 4.6 – Zona Climática da fracção em estudo.

| Concelho | Zona Climática de Inverno | Zona Climática de Verão |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| PORTO    | $I_2$                     | $V_1$                   |

##### 4.3.2.2. Graus - dias de Aquecimento (GD)

Os graus-dias de aquecimento (base 20°C) caracterizam a severidade de um clima durante a estação de aquecimento. Este valor é obtido pelo somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base (20°C) e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco), [Quadro III.1 do RCCTE].

Para a fracção em estudo, o número de Graus-dias de aquecimento correspondente à estação convencional de aquecimento é igual a 1610 °C.dias (Quadro 4.7).

Quadro 4.7 – Nº de Graus Dias de Aquecimento para a fracção em estudo (°C).

| Concelho | Nº de Graus-dias de Aquecimento (°C.dias) |
|----------|-------------------------------------------|
| PORTO    | 1610                                      |

##### 4.3.2.3. Duração da Estação de Aquecimento

A estação convencional de aquecimento é o período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C, [Quadro III.1 do RCCTE].

A duração da estação de aquecimento para a fracção em estudo é igual a 6,7 meses (Quadro 4.8).

Quadro 4.8 – Duração da estação de Aquecimento para a fracção em estudo (meses).

| Concelho | Duração da estação de Aquecimento |
|----------|-----------------------------------|
| PORTO    | 6,7 Meses                         |

## 4.3.2.4. Energia Solar Incidente na Estação de Aquecimento

A fracção autónoma encontra-se na zona climática I<sub>2</sub>, logo a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento ( $G_{sul}$ ), segundo o RCCTE, [Quadro III.8 do RCCTE], para a fracção em estudo é de 93 kWh/m<sup>2</sup>.mês (Quadro 4.9).

Quadro 4.9 –  $G_{sul}$  para a fracção em estudo (kWh/m<sup>2</sup>.mês).

| Zona de Inverno             | $G_{sul}$ |
|-----------------------------|-----------|
| I <sub>2</sub> : Continente | 93        |

## 4.3.2.5. Intensidade da Radiação Solar para a Estação de Arrefecimento

Para se determinar a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento do local em estudo é fundamental consultar o Quadro III.9 do RCCTE. Esta intensidade de radiação solar depende da orientação dos envidraçados.

Como a fracção se situa a Norte, na zona climática V1, e apenas tem envidraçados verticais orientados para Sudeste, Noroeste e envidraçados horizontais para Sudoeste, a intensidade da radiação solar é a indicada no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento (kWh/m<sup>2</sup>).

| Zona  | SE. | NW. | Horizontal |
|-------|-----|-----|------------|
| V1 N. | 430 | 300 | 730        |

## 4.3.2.6. Temperatura Média Mensal do ar para Estação de Arrefecimento

A temperatura do ar exterior para a estação convencional de arrefecimento é igual a 19 °C [Quadro III.9 do RCCTE], pois a fracção em estudo localiza-se na zona climática V1 – Norte (Quadro 4.11).

Quadro 4.11 – Temperatura Média Mensal do Ar para a estação de arrefecimento (°C).

| Zona  | °C <sub>med</sub> |
|-------|-------------------|
| V1 N. | 19°C              |

## 4.3.3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Para o cálculo das soluções construtivas teve-se como base o procedimento previsto pelo RCCTE, isto é, pela determinação dos coeficientes de transmissão térmica.

O coeficiente de transmissão térmica superficial, em zona corrente, de um elemento da envolvente (U), é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa.

O RCCTE preconiza valores máximos ( $U_{\text{máx}}$ ) e de referência ( $U_{\text{ref}}$ ) para os coeficientes de transmissão térmica da envolvente dos edifícios, em função da zona climática em que se situam, estando explicitados no Quadro 4.12.

Quadro 4.12 – Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência para a zona climática I<sub>2</sub> (W/(m<sup>2</sup>°C))

| Elementos da envolvente em zona corrente                    |                    | Coeficientes de transmissão térmica - W/(m <sup>2</sup> °C) |                                 |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                                                             |                    | Máximo ( $U_{\text{máx}}$ )                                 | Referência ( $U_{\text{ref}}$ ) |
| Elementos exteriores                                        | Opacas Verticais   | 1.60                                                        | 0.60                            |
|                                                             | Opacas Horizontais | 1.00                                                        | 0.45                            |
| Elementos interiores em contacto com zonas anexas não úteis | Opacas Verticais   | 2.00                                                        | 1.20                            |
|                                                             | Opacas Horizontais | 1.30                                                        | 0.90                            |
| Envidraçados                                                |                    | -                                                           | 3.30                            |

Para elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, o coeficiente de transmissão térmica é dado pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (4.1)$$

Sendo:

$$R_t = R_{si} + \sum_j R_j + R_{se} \quad (4.2)$$

Em que:

$R_j$  – resistência térmica da camada  $j$  (m<sup>2</sup>.°C/W)

$R_{si}$ ,  $R_{se}$  - resistências térmicas superficiais interior e exterior, respectivamente (m<sup>2</sup>.°C/W)

Quando se trata de camadas de materiais homogéneos, a resistência térmica,  $R_j$  é calculada pela seguinte fórmula:

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j} \quad (4.3)$$

Sendo:

$e$  – a espessura da camada (m)

$\lambda$  – a condutibilidade térmica da camada (W/m.°C)

Para camadas não homogéneas, como é o caso das alvenarias, lajes aligeiradas, entre outros, os valores das resistências térmica foram obtidos directamente pela publicação do LNEC Coeficientes de Transmissão térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50.

Os valores das resistências térmicas superficiais, estas contam no Anexo VII do RCCTE e variam em função da posição do elemento construtivo e do sentido do fluxo de calor (Quadro 4.13).

Quadro 4.13 – Resistências Térmicas Superficiais ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ).

| Sentido do Fluxo de Calor | Resistência Térmica Superficial ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ) |                    |                       |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|
|                           | Exterior ( $R_{se}$ )                                                          | Local não Aquecido | Interior ( $R_{si}$ ) |
| Horizontal                | 0,04                                                                           | 0,13               | 0,13                  |
| Vertical                  |                                                                                |                    |                       |
| Ascendente                | 0,04                                                                           | 0,10               | 0,10                  |
| Descendente               | 0,04                                                                           | 0,17               | 0,17                  |

Para as simulações foram usadas dois tipos de soluções construtivas, uma baseada na arquitectura, em que são soluções sem avaliação térmica e outra com melhoramentos sob o ponto de vista de isolamento térmico. Como as soluções não são definitivas do projecto e para uma base mais sólida de comparação, apesar de se terem determinadas as soluções construtivas possíveis de se realizar, foram utilizados para o cálculo das necessidades de energia, os valores estipulados pelo RCCTE. Desta forma, para o primeiro conjunto de soluções construtivas (envolvente sem isolamento térmico) foram utilizados os valores de  $U_{\text{máx}}$  e para o segundo conjunto de soluções (envolvente isolada termicamente) foram utilizados os  $U_{\text{ref}}$ .

Todas as soluções foram estimadas de forma a serem comercialmente possíveis.

#### 4.3.3.1. Soluções Construtivas – $U_{\text{máx}}$

Em relação às soluções construtivas iniciais, estas foram estudadas com base no projecto de arquitectura, não tendo sido avaliadas ainda sob o ponto de vista térmico, sendo soluções que ainda estão em estudo.

##### - ENVOLVENTE EXTERIOR:

Para a envolvente exterior, foram calculados os coeficientes de transmissão das envoltentes a Sudeste, Noroeste, Nordeste e Sudoeste. Os resultados encontram-se no Quadro 4.14 para as envoltentes exteriores.

Quadro 4.14 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Envolvente Exterior ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ).

| SUDESTE / NOROESTE        |               |           |          |          |       |       |                  |  |
|---------------------------|---------------|-----------|----------|----------|-------|-------|------------------|--|
| Materiais                 | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{\text{máx}}$ |  |
| Ardósia                   | 0,02          | 2,2       | 0,13     | 0,04     | 0,357 | 2,804 | 1,6              |  |
| Granito                   | 0,23          | 2,8       |          |          |       |       |                  |  |
| Reboco                    | 0,02          | 1,3       |          |          |       |       |                  |  |
| Placas de Gesso Cartonado | 0,02          | 0,25      |          |          |       |       |                  |  |

| NORDESTE / SUDOESTE       |               |           |          |          |       |       |                   |
|---------------------------|---------------|-----------|----------|----------|-------|-------|-------------------|
| Materiais                 | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{m\acute{a}x}$ |
| Granito                   | 0,3           | 2,8       | 0,13     | 0,04     | 0,373 | 2,684 | 1,6               |
| Reboco                    | 0,02          | 1,3       |          |          |       |       |                   |
| Placas de Gesso Cartonado | 0,02          | 0,25      |          |          |       |       |                   |

Tal como se pode verificar, ambas as soluções, não cumprem os valores máximos definidos pelo RCCTE para os coeficientes de transmissão térmica. Desta forma, foram utilizados os valores  $U_{m\acute{a}x}$  para a aplicação das simulações efectuadas.

#### - COBERTURAS:

Para as coberturas, teve-se de considerar duas coberturas exteriores, isto é, tem-se a solução construtiva da cobertura do edifício do tipo quatro águas, e uma cobertura exterior em terraço, presente no último andar, que corresponde à cobertura do segundo andar. No quadro 4.15, apresentam-se os resultados dos coeficientes térmicos adoptados para a cobertura.

Quadro 4.15 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Cobertura ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| COBERTURA       |               |     |                   |
|-----------------|---------------|-----|-------------------|
| Materiais       | Espessura (m) | U   | $U_{m\acute{a}x}$ |
| Laje de Esteira | 0,15          | 1,0 | 1,0               |

Para a cobertura foi definida uma laje de esteira inclinada com blocos cerâmicos com espessura total de 0,15m e com 30 mm de Poliestireno Expandido moldado (EPS) com uma condutibilidade térmica de 0,040  $W/(m \cdot ^\circ C)$ . O valor deste coeficiente de transmissão térmica engloba o revestimento em telha cerâmica.

Quanto à cobertura exterior, esta tem características muito diferentes da cobertura anteriormente referida, estando estas patentes no Quadro 4.16.

Quadro 4.16 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Cobertura Exterior - Terraço ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| COBERTURA EXTERIOR       |               |           |       |          |          |       |       |                   |
|--------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-------------------|
| Materiais                | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{m\acute{a}x}$ |
| Granito                  | 0,02          | 2,8       | -     | 0,1      | 0,04     | 0,971 | 1,030 | 1,0               |
| Betonilha                | 0,05          | 0,17      | -     |          |          |       |       |                   |
| Tela de PVC              | 0,01          | 0,17      | -     |          |          |       |       |                   |
| Betão leve               | 0,08          | 0,46      | -     |          |          |       |       |                   |
| Laje em vigotas de Betão | -             | -         | 0,23  |          |          |       |       |                   |
| Gesso Projectado         | 0,02          | 0,3       | -     |          |          |       |       |                   |

A laje utilizada foi baseada no ITE 50, considerando-se um pavimento aligeirado de blocos de betão normal com 0,25m de espessura e com a base de blocos superior a 0,30m.

Em ambas as soluções construtivas, estas apresentam um coeficiente de transmissão igual ou semelhante aos valores máximos impostos pelo RCCTE, sendo utilizados os valores máximos.

#### - PAREDES INTERIORES

Para as paredes interiores tem-se as paredes divisórias e a parede comum a todas as fracções, a parede da caixa de escadas. A parede da caixa de escadas, na fracção em estudo é uma parede interior, fazendo parte do espaço útil da fracção. Seguidamente, no Quadro 4.17 e 4.18, são referidas as características e respectivos coeficientes de transmissão térmica das paredes divisórias, e da parede da caixa de escadas, respectivamente.

Quadro 4.17 – Coeficientes de Transmissão Térmica das Paredes Divisórias ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| PAREDES DIVISÓRIAS        |               |           |       |          |          |       |       |                   |
|---------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-------------------|
| Materiais                 | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{m\acute{a}x}$ |
| Alvenaria de tijolo de 11 | -             | -         | 0,13  | 0,13     | 0,13     | 0,421 | 2,377 | 2,0               |
| Reboco                    | 0,04          | 1,3       | -     |          |          |       |       |                   |

Quadro 4.18 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Parede da Caixa de Escadas ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| PAREDE CAIXA DE ESCADAS  |               |           |       |          |          |       |       |                   |
|--------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-------------------|
| Materiais                | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{m\acute{a}x}$ |
| Granito                  | 0,05          | 2,8       | -     | 0,13     | 0,13     | 0,499 | 2,006 | 2,0               |
| Reboco                   | 0,04          | 1,3       | -     |          |          |       |       |                   |
| Alvenaria de tijolo de 7 | -             | -         | 0,19  |          |          |       |       |                   |

Para as paredes divisórias e para a parede da caixa de escadas, os coeficientes de transmissão térmica não cumprem os valores máximos, sendo que se adoptou os valores máximos estipulados para o RCCTE.

#### - PAVIMENTOS INTERIORES

Para os pavimentos interiores foram considerados, o pavimento interiores da fracção e o pavimento da laje de escadas. Esta separação de classificação é justificada pelas soluções construtivas que apresentam, estando estas patentes no Quadro 4.19 (Pavimento Interior) e no Quadro 4.20 (Laje de Escadas).

Quadro 4.19 – Coeficientes de Transmissão Térmica dos Pavimentos Interiores ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| PAVIMENTO INTERIOR             |               |           |       |          |          |       |       |                   |  |
|--------------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-------------------|--|
| Materiais                      | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{m\acute{a}x}$ |  |
| Laje aligeirada em betão       | -             | -         | 0,18  |          |          |       |       |                   |  |
| Polietileno de baixa densidade | 0,02          | 0,33      | -     |          |          |       |       |                   |  |
| Betão leve                     | 0,08          | 0,46      | -     |          |          |       |       |                   |  |
| Camada de Regularização        | 0,02          | 1,3       | -     | 0,10     | 0,10     | 0,784 | 1,276 | 1,3               |  |
| Soalho de Madeira              | 0,02          | 0,23      | -     |          |          |       |       |                   |  |
| Gesso Projectado               | 0,02          | 0,3       | -     |          |          |       |       |                   |  |

Quadro 4.20 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Laje de Escadas ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| LAJE DE ESCADAS                 |               |           |       |          |          |       |       |                   |  |
|---------------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-------------------|--|
| Materiais                       | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{m\acute{a}x}$ |  |
| Laje Aligeirada de Betão Normal | -             | -         | 0,19  |          |          |       |       |                   |  |
| Gesso projectado                | 0,02          | 0,18      |       |          |          |       |       |                   |  |
| Camada de Regularização         | 0,05          | 0,8       |       | 0,17     | 0,17     | 0,791 | 1,265 | 1,3               |  |
| Soalho de Madeira               | 0,02          | 0,23      |       |          |          |       |       |                   |  |

Para o pavimento interior foi utilizada uma laje aligeirada de blocos de betão normal com espessura de 0,25m e um afastamento da base de blocos inferior a 0,30m. Para a laje de escadas utilizou-se uma laje aligeirada com as mesmas características da laje do pavimento, mas o seus valores de resistência diferem uma vez que na laje de escadas o fluxo é descendente.

Em todas as soluções construtivas, embora o valor encontrado seja semelhante ou superior aos valores máximos de coeficientes de transmissão térmicos, serão os valores estipulados pelo RCCTE que serão utilizados como valor de cálculo para as simulações, pois para uma comparação de simulações de acordo com o regulamento seria o mais coerente.

Todos os pormenores construtivos e o cálculo da inércia térmica das soluções acima referidas encontram-se no Anexo B2.

#### 4.3.3.2. Soluções Construtivas – $U_{ref}$

Para as soluções construtivas de forma a respeitar os coeficientes de transmissão térmica de referência impostos pelo RCCTE, foram utilizadas como base as soluções construtivas anteriores mas com acréscimo ou melhoramento de isolamento Térmico.

##### - ENVOLVENTE EXTERIOR:

Para a envolvente exterior acrescentou-se à solução acima referida 6cm de Poliestireno Expandido Extrudido (XPS), tanto para as paredes orientadas a Sudeste e Noroeste (Quadro 4.21), como também

às orientadas a Nordeste e Sudoeste (Quadro 4.21), mantendo o resto da solução constante. A colocação deste isolamento provocou uma redução dos coeficientes térmicos destes elementos.

Quadro 4.21 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Envolvente Exterior com Isolamento ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| SUDESTE / NOROESTE        |               |           |          |          |       |       |           |
|---------------------------|---------------|-----------|----------|----------|-------|-------|-----------|
| Materiais                 | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{ref}$ |
| Ardósia                   | 0,02          | 2,2       | 0,13     | 0,04     | 1,978 | 0,505 | 0,6       |
| Granito                   | 0,23          | 2,8       |          |          |       |       |           |
| Reboco                    | 0,02          | 1,3       |          |          |       |       |           |
| Placas de Gesso Cartonado | 0,02          | 0,25      |          |          |       |       |           |
| XPS                       | 0,06          | 0,037     |          |          |       |       |           |

| NORDESTE / SUDOESTE       |               |           |          |          |       |       |           |
|---------------------------|---------------|-----------|----------|----------|-------|-------|-----------|
| Materiais                 | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{ref}$ |
| Granito                   | 0,3           | 2,8       | 0,13     | 0,04     | 1,994 | 0,501 | 0,6       |
| Reboco                    | 0,02          | 1,3       |          |          |       |       |           |
| Placas de Gesso Cartonado | 0,02          | 0,25      |          |          |       |       |           |
| XPS                       | 0,06          | 0,037     |          |          |       |       |           |

#### - COBERTURAS

Para a cobertura de quatro águas, apenas foi aumentado o isolamento na laje de esteira, para 100mm mantendo o mesmo isolante térmico e as suas respectivas características. No caso da cobertura exterior em terraço, foi acrescentado à solução 6cm de Lã de Rocha, com uma condutibilidade térmica de  $0,045 W/(m \cdot ^\circ C)$ . As soluções construtivas e os respectivos coeficientes de transmissão térmica para a cobertura está patente no Quadro 4.22 e para a cobertura exterior no Quadro 4.23.

Quadro 4.22 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Cobertura com Isolamento ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| COBERTURA       |               |      |           |
|-----------------|---------------|------|-----------|
| Materiais       | Espessura (m) | U    | $U_{ref}$ |
| Laje de Esteira | 0,15          | 0,43 | 0,45      |

Quadro 4.23 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Cobertura Exterior - Terraço com Isolamento ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| COBERTURA EXTERIOR       |               |           |       |          |          |       |       |           |  |
|--------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-----------|--|
| Materiais                | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{ref}$ |  |
| Granito                  | 0,02          | 2,8       | -     |          |          |       |       |           |  |
| Betonilha                | 0,05          | 0,17      | -     |          |          |       |       |           |  |
| Tela de PVC              | 0,01          | 0,17      | -     |          |          |       |       |           |  |
| Betão leve               | 0,08          | 0,46      | -     | 0,10     | 0,04     | 2,304 | 0,434 | 0,45      |  |
| Laje em vigotas de Betão | -             | -         | 0,23  |          |          |       |       |           |  |
| Lã de Rocha              | 0,06          | 0,045     | -     |          |          |       |       |           |  |
| Gesso Projectado         | 0,02          | 0,3       | -     |          |          |       |       |           |  |

## - PAREDES INTERIORES

Nas paredes interiores, tanto nas paredes divisórias (Quadro 4.24) como na parede da caixa de escadas (Quadro 4.25), acrescentou-se na solução anteriormente referida 2cm de Lã de Rocha, com condutibilidade térmica de  $0,045 W/(m \cdot ^\circ C)$ .

Quadro 4.24 – Coeficientes de Transmissão Térmica das Paredes Interiores com Isolamento ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| PAREDES DIVISÓRIAS        |               |           |       |          |          |       |       |           |  |
|---------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-----------|--|
| Materiais                 | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{ref}$ |  |
| Alvenaria de tijolo de 11 | -             | -         | 0,13  |          |          |       |       |           |  |
| Reboco                    | 0,04          | 1,3       | -     | 0,13     | 0,13     | 0,865 | 1,156 | 1,2       |  |
| Lã de Rocha               | 0,02          | 0,045     | -     |          |          |       |       |           |  |

Quadro 4.25 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Paredes da Caixa de Escadas com Isolamento ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

| PAREDE CAIXA DE ESCADAS  |               |           |       |          |          |       |       |           |  |
|--------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-----------|--|
| Materiais                | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{ref}$ |  |
| Granito                  | 0,05          | 2,8       | -     |          |          |       |       |           |  |
| Reboco                   | 0,04          | 1,3       | -     |          |          |       |       |           |  |
| Lã de Rocha              | 0,02          | 0,045     | -     | 0,13     | 0,13     | 0,943 | 1,060 | 1,2       |  |
| Alvenaria de tijolo de 7 | -             | -         | 0,19  |          |          |       |       |           |  |

## - PAVIMENTOS INTERIORES

Para os pavimentos Interiores, o aumento do isolamento térmico da solução foi igual para ambos, isto é, acrescentou-se à solução anteriormente apresentada, 2cm de Lã de Rocha, com condutibilidade

térmica de 0,045 W/(m.°C). As soluções e os coeficientes de transmissão térmica estão apresentados no Quadro 4.26 (Pavimento Interior) e no Quadro 4.27 (Laje de Escadas).

Quadro 4.26 – Coeficientes de Transmissão Térmica dos Pavimento Interior com Isolamento (W/(m<sup>2</sup> °C)).

| PAVIMENTO INTERIOR       |               |           |       |          |          |       |       |           |  |
|--------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-----------|--|
| Materiais                | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{ref}$ |  |
| Laje aligeirada em betão | -             | -         | 0,18  |          |          |       |       |           |  |
| Polietileno              | 0,02          | 0,33      | -     |          |          |       |       |           |  |
| Betão leve               | 0,08          | 0,46      | -     |          |          |       |       |           |  |
| Camada de Regularização  | 0,02          | 1,3       | -     | 0,10     | 0,10     | 1,228 | 0,814 | 0,9       |  |
| Soalho de Madeira        | 0,02          | 0,23      | -     |          |          |       |       |           |  |
| Lã de Rocha              | 0,02          | 0,045     | -     |          |          |       |       |           |  |
| Gesso Projectado         | 0,02          | 0,3       | -     |          |          |       |       |           |  |

Quadro 4.27 – Coeficientes de Transmissão Térmica da Laje de Escadas com Isolamento (W/(m<sup>2</sup> °C)).

| LAJE DE ESCADAS                 |               |           |       |          |          |       |       |           |  |
|---------------------------------|---------------|-----------|-------|----------|----------|-------|-------|-----------|--|
| Materiais                       | Espessura (m) | $\lambda$ | $R_j$ | $R_{si}$ | $R_{se}$ | $R_t$ | U     | $U_{ref}$ |  |
| Laje Aligeirada de Betão Normal | -             | -         | 0,19  |          |          |       |       |           |  |
| Gesso projectado                | 0,02          | 0,18      | -     |          |          |       |       |           |  |
| Camada de Regularização         | 0,05          | 0,8       | -     | 0,17     | 0,17     | 1,235 | 0,810 | 0,9       |  |
| Lã de Rocha                     | 0,02          | 0,045     | -     |          |          |       |       |           |  |
| Soalho de Madeira               | 0,02          | 0,23      | -     |          |          |       |       |           |  |

Em nenhuma das soluções apresentadas o coeficiente da transmissão térmica ultrapassou o coeficiente de transmissão térmica de referência apresentada pelo RCCTE, mas na maioria dos casos o valor aproxima-se bastante do valor de referência. Mais uma vez optou-se por trabalhar com os valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica por uma questão de coerência de comparação de simulações de acordo com o referido regulamento.

Todos os pormenores construtivos e respectivo cálculo da inércia térmica para as soluções construtivas acima referidos encontram-se no Anexo B3.

#### 4.3.4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO – PROGRAMA SOLTERM

Para o cálculo do contributo da energia solar utilizou-se o programa SOLTERM do INETI.

Por uma questão estética, considerou-se que o sistema que se iria utilizar tinha um sistema de circulação forçada, uma vez que a colocação do depósito junto do colector solar (sistema de Termosifão) vai provocar um impacto visual negativo. Além disso, será um sistema em circuito

fechado entre os colectores solares e o depósito acumulador devidamente isolado. Na figura 4.2, está esquematicamente desenhado a instalação solar térmica no edifício, em que os colectores solares são integrados na cobertura orientada a Sudoeste, as tubagens irão passar pela corete existe junto da caixa de escadas, a área técnica será nos arrumos de baixo do primeiro lanço de escadas onde será colocado o depósito acumulador e a bomba de recirculação. O sistema de captação e de acumulação será comum a todo o edifício e em cada fracção estará o auxiliar energético, com um contador volumétrico em cada apartamento de forma a fazer a contabilização da energia por utilizador.

Seguidamente apresentam-se todas as considerações tomadas para o dimensionamento da instalação solar térmica. Depois de todos os dados definidos e dimensionados no programa, este irá proceder à análise energética, fornecendo todos os dados relativos às energias implicadas neste processo mas a que irá ter uma maior importância será a energia fornecida ( $E_{\text{solar}}$ ), uma vez que será esta que entrará para o preenchimento das folhas de cálculo propostas pelo RCCTE.

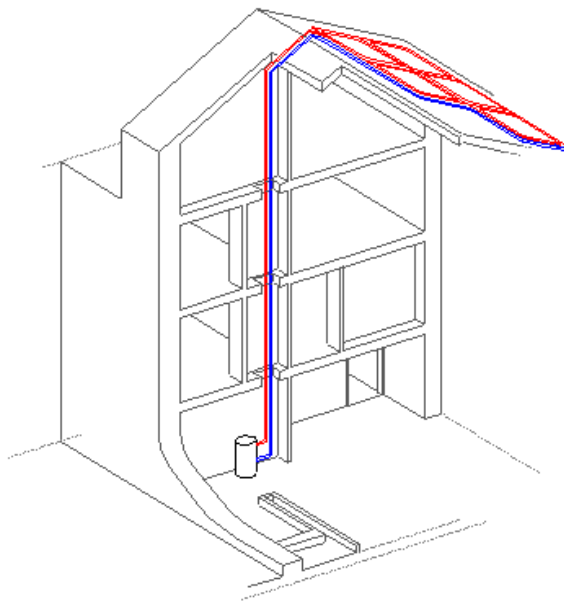


Fig.4.2 – Esquema de integração da Instalação Solar Térmica no edifício em estudo.

Todos os valores considerados para o dimensionamento do sistema solar térmico, tiveram por base as exigências do RCCTE e de vários Manuais de Instalação de Sistemas Solares Térmicos, estando referenciados na bibliografia com as referências [16], [36], [37], [48] e [50].

#### 4.3.4.1. Localização e Obstruções do Horizonte

Como a fracção autónoma localiza-se no Centro Histórico do Porto, a localização colocada no SOLTERM é Porto, sendo que este programa tem na sua base de dados a climatologia mensal relativa a esta região e a sua serie horária de referência.

Outro parâmetro necessário a considerar é as obstruções do horizonte, que em edifícios localizados no Centro Histórico do Porto, têm de ser pormenorizadamente estudadas. Em relação ao edifício em estudo, vai-se ter três faixas que se terão de estudar as respectivas obstruções do horizonte, uma vez que os colectores devem ser colocados a Sul mas não sendo prejudicial a sua variação de  $45^\circ$  para Sudeste e Sudoeste. Neste edifício e tendo como base a consideração atrás referida, os colectores serão orientados a Sudoeste. A faixa orientada a Sudoeste apresenta uma obstrução do horizonte de  $52^\circ$ ,

sendo este ângulo medido a partir do meio do conjunto dos colectores até ao edifício adjacente, que apresenta uma altura superior ao em estudo (Figura 4.3). Nas restantes faixas, considera-se uma obstrução do horizonte de 20° por defeito, prevendo alguma interferência que algum edifício existente da zona possa eventualmente interferir na incidência do Sol nos colectores solares.

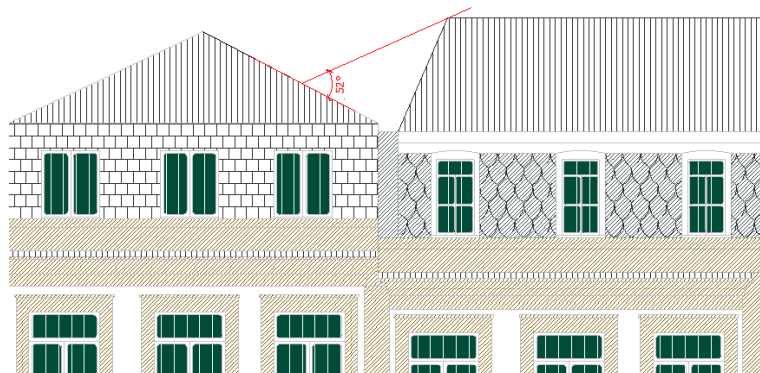


Fig.4.3 – Ângulo de Obstrução do Horizonte na faixa do edifício em estudo que contem os Colectores Solares.

Estes ângulos de obstrução do horizonte irão influenciar na incidência do sol no coletor solar consoante a altura do mesmo, tal com é demonstrado na Figura 4.4.

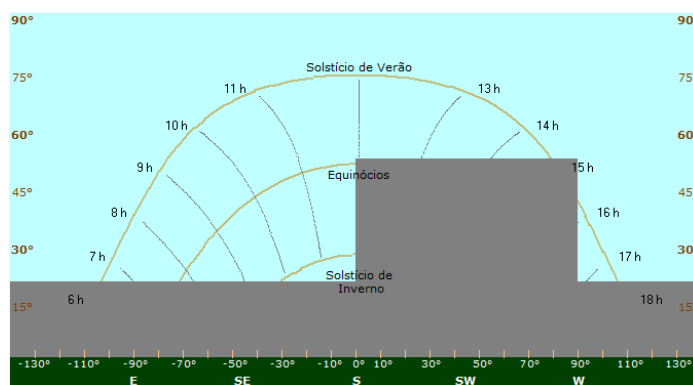


Fig.4.4 – Influência dos Ângulo de Obstrução do Horizonte na incidência do Sol nos Colectores Solares [20].

Como se pode observar, o facto da existência do edifício adjacente faz diminuir a captação de energia solar pelos colectores solares, numa altura do dia em que a energia solar é elevada. Este facto influenciará o rendimento da instalação solar.

#### 4.3.4.2. Sistema de Captação – Tipo, Área, Inclinação e Azimute

De acordo com a área mínima estipulada no RCCTE, devem ser instalados 1m<sup>2</sup> de coletor solar por cada ocupante nominal. Assim de acordo com a tipologia do edifício em estudo e com as imposições do presente regulamento, tem-se a seguinte área de colectores, clarificada no Quadro 4.28.

Quadro 4.28 – Área Total de Colectores Solares a instalar de acordo com o RCCTE (m<sup>2</sup>).

| Tipologia | Área Mínima (m <sup>2</sup> ) | Nº de Ocupantes | Área Necessária | Área Total (m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| Estúdio   | 1                             | 2               | 2               | 11,5                         |
| T0        | 1                             | 2               | 2               |                              |
| T1        | 1                             | 2               | 2               |                              |
| T2        | 1                             | 3               | 3               |                              |
| Comércio  | 1                             | 2,5             | 2,5             |                              |

Para o comércio considera-se um número de ocupantes nominais de 2,5 pois é o resultado da transformação da zona de comércio em habitação, através dos consumos impostos pelo referido regulamento. Para esta transformação da zona de comércio em habitação, teve-se por base os consumos médios diários de referência impostos pelo RCCTE, que é de 40L/ocupante para fracções destinadas à habitação e 100L para fracções destinadas ao comércio, isto é,

$$\frac{100L}{40L / \text{ocupante}} = 2,5 \text{ ocupantes} \quad (4.4)$$

Desta forma, a área mínima de colectores solares a instalar é de 11,5m<sup>2</sup>.

Por questões estéticas, o sistema que melhor se adequa para a instalação dos colectores solares a aplicar no Centro Histórico do Porto na cobertura dos edifícios é o que os colectores são colocados na estrutura de madeira por cima de um forro, isto é, os integrados na própria cobertura. Desta forma, a inclinação fica condicionada à inclinação da vertente orientada a Sudoeste, correspondendo a uma inclinação de 24,57°, mas que por uma questão de utilização do programa SOLTERM será utilizada uma inclinação de 25°.

Tal com já foi referido, os colectores solares no edifício em estudo serão integrados na vertente da cobertura orientada a Sudoeste, o que representa um desvio de 45° da orientação a Sul e como esta deve ser medida no sentido dos ponteiros do relógio, o azimute destes colectores será de +45°.

Depois de algumas simulações pelo SOLTERM, chegou-se à conclusão que o colector solar que apresentou rendimentos mais eficientes face às várias condicionantes impostas foi o colector solar MEGASUN ST2500. Este colector solar é do tipo plano com cobertura e a sua placa absorvora de revestimento selectivo e as suas características estão patentes na Figura 4.5. Para cumprir a área mínima é necessário instalar de 5 colectores solares, uma vez que cada um apresenta uma área de 2,3m<sup>2</sup>.

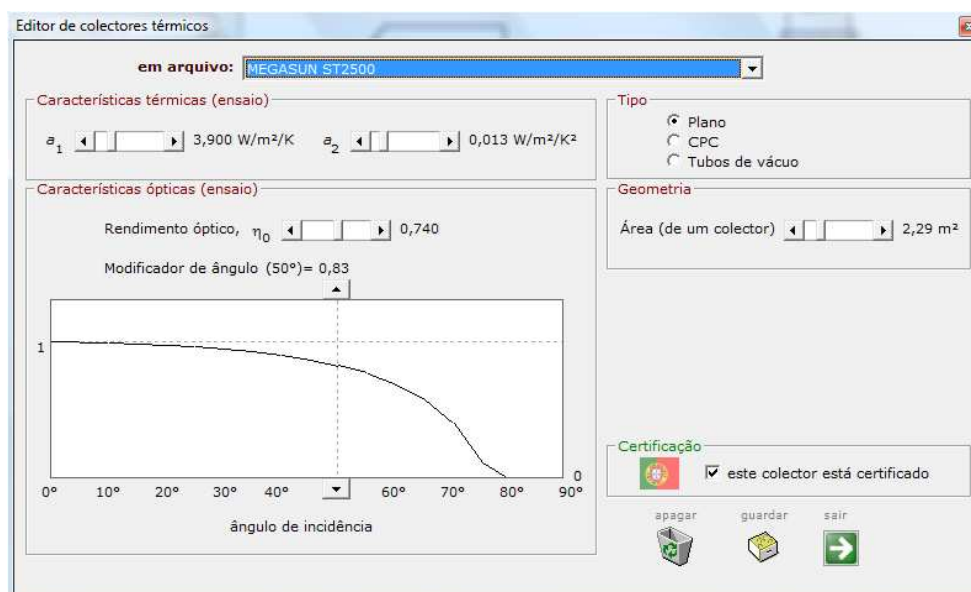


Fig.4.5 – Características do Colector Solar “MEGASUN ST2500” [20].

#### 4.3.4.3. Sistema de Acumulação

Para o sistema de acumulação teve-se de estimar as necessidades de consumo do edifício, tendo por base os consumos médios diários impostos pelo RCCTE. Desta forma, os consumos médios diários para a habitação são de 40L/ocupante e para o comércio 100L, obtendo os seguintes resultados, explicitados no Quadro 4.29.

Quadro 4.29 – Cálculo das Necessidades de Consumo Total (Litros).

| Tipologia                             | Nº de Ocupantes | Consumo Médio Diário | Necessidade de Consumo por Fracção (Litros) |
|---------------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------------------------------|
| Estúdio                               | 2               | 40 l/ocupante        | 80                                          |
| T0                                    | 2               | 40 l/ocupante        | 80                                          |
| T1                                    | 2               | 40 l/ocupante        | 80                                          |
| T2                                    | 3               | 40 l/ocupante        | 120                                         |
| Comércio                              | -               | 100 l                | 100                                         |
| <b>Necessidade de Consumo Total =</b> |                 |                      | <b>460</b>                                  |

Estas são as necessidades de consumo totais que o edifício necessita mas os sistemas solares térmicos são dimensionados para satisfazerem 50% das necessidades de consumo, segundo os Manuais de Instalação de Sistemas Solares Térmicas. Desta forma, o Quadro 4.30 esclarece os valores dos volumes de consumo, do valor mínimo que o depósito terá de suportar e o volume do depósito comercial.

Quadro 4.30 – Cálculo do Volume do Depósito Comercial (Litros).

| Necessidade de Consumo Total | Volume do Depósito | Volume do Depósito Comercial |
|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 460 l                        | 230 l              | 250 l                        |

Para introdução dos dados no programa SOLTERM, escolheu-se um depósito típico de 250 L, de inox e de serpentina com eficácia de 55%. Apresenta uma área externa de 3m<sup>2</sup>, em posição vertical e com um coeficiente de perdas térmicas globais de 2,7W/K e específicas de 0,890 W/m<sup>2</sup>/K

#### 4.3.4.4. Consumos

Os consumos consideraram-se distribuídos ao longo do dia, considerando dois períodos principais, ao qual corresponderiam os maiores consumos do mesmo. No Quadro 4.31, indica a distribuição dos consumos ao longo do dia.

Quadro 4.31 – Distribuição dos Consumos ao longo do dia.

| Necessidade de Consumo Total | Períodos Diários | Distribuição do Consumo |
|------------------------------|------------------|-------------------------|
| 460 l                        | 7h às 8h         | 100 l                   |
|                              | 8h às 9h         | 130 l                   |
|                              | 9h às 10h        | 100 l                   |
|                              | 18h às 19h       | 100 l                   |
|                              | 19h às 20h       | 130 l                   |
|                              | 20h às 21h       | 100 l                   |

Esta distribuição foi usada para todo os meses do ano, considerando que a ocupação ao longo do ano será a mesma.

#### 4.3.4.5. Apoio Energético

Esta zona do Centro Histórico do Porto tem a possibilidade de recurso ao Gás Natural, uma vez que já foi instalado nesta área. Desta forma, para o apoio energético do sistema solar térmico recorreu-se à energia do gás natural, com um poder calorífico inferior (PCI) de 10,5 kWh/m<sup>3</sup> e um rendimento relativo a este PCI de 75%. Esta opção foi tomada, uma vez que esta é uma energia rentável, sendo considerada uma fonte de energia mais limpa que os derivados do petróleo e o carvão, pois alguns dos gases da sua composição são eliminados porque não possuem capacidade energética ou porque podem deixar resíduos nos condutores devido ao seu alto peso molecular. Além disso, é uma energia que permite aos equipamentos ter uma vida mais longa e ao utilizador um menor encargo com a manutenção do que os que utilizam o gás convencional.

## 4.3.4.6. Tubagens, Bomba de Recirculação e percentagem de Anticongelante

Para o programa SOLTERM, será necessário introduzir para a bomba de recirculação, o caudal de recirculação da bomba por  $m^2$  de painel (caudal específico) e definir a percentagem de anticongelante na mistura do fluido de trabalho. Para as tubagens é necessário introduzir o comprimento total das tubagens, definindo o comprimento das tubagens que se encontram fora e dentro do edifício.

Assim, para a definição do caudal específico a instalar na bomba de recirculação, foi necessário determinar os caudais necessários para todas as peças que consomem água quente no edifício, de forma a encontrar o caudal de recirculação da bomba. Para tal seguisse a seguinte metodologia:

1) Determinação do caudal acumulado (equação 4.5 e Quadro 4.32) a partir dos caudais mínimos gastos por todas as peças que consomem água quente existentes no edifício [51];

$$Q_{acum} = \sum n^{\circ} de peças \times Q_{min} \quad (4.5)$$

Logo:

Quadro 4.32 – Determinação do Caudal Acumulado (l/s).

| Peças               | $Q_{min}$ (l/s) | Nº de Peças | $Q_{acum}$ (l/s) |
|---------------------|-----------------|-------------|------------------|
| Lavatório           | 0,10            | 7           | 2,85             |
| Chuveiro Individual | 0,15            | 2           |                  |
| Bidé                | 0,10            | 3           |                  |
| Banheira            | 0,25            | 3           |                  |
| Pia Lava-Louça      | 0,20            | 4           |                  |

2) Determinação dos caudais de cálculo;

Pela Curva de Coutagne, determina-se o caudal de cálculo em função dos caudais acumulados, que como se encontram entre 3,5 l/s e 40 l/s aplica-se a equação 4.6.

$$Q_{calc} = 0,52 \times (Q_{acum})^{0,55} \quad (4.6)$$

Que se substituir o  $Q_{acum}$  pelos 2,85 l/s obtém-se, pela equação 4.7, um caudal de cálculo de:

$$Q_{calc} = 0,52 \times (2,85)^{0,55} = 0,925 l/s = 3330,2 l/h \quad (4.7)$$

3) Determinação do caudal de recirculação (equação 4.8);

Para o caudal de recirculação considerou-se 20% do caudal de cálculo, em l/h, por uma questão de dimensionamento da bomba. Sendo assim, o caudal de recirculação corresponde a:

$$Q_{recir} = 0,20 \times 3330,2 = 666,04 l/h \quad (4.8)$$

4) Determinação do caudal específico (equação 4.9);

O caudal específico corresponde ao caudal de recirculação da bomba mas por cada  $m^2$  de painel solar. Assim sendo, para a determinação do caudal específico a introduzir no programa SOLTERM, é necessário efectuar o quociente do caudal de recirculação da bomba e a área total de painéis a instalar.

$$Q_{\text{específico}} = \frac{Q_{\text{recir}}}{\text{Área Total de Painéis}} = \frac{666,04}{11,5} = 57,921 \text{ l/h/m}^2 \quad (4.9)$$

Este é o valor que se irá introduzir nos dados referentes à bomba de recirculação.

Em relação aos dados a introduzir no programa SOLTERM para as tubagens é necessário introduzir os comprimentos das tubagens fora e dentro do edifício e as perdas de carga.

Para os comprimentos das tubagens foi preciso estudar a colocação dos colectores solares na cobertura e a localização da área técnica. A Figura 4.5 mostra a disposição dos colectores solares na cobertura:

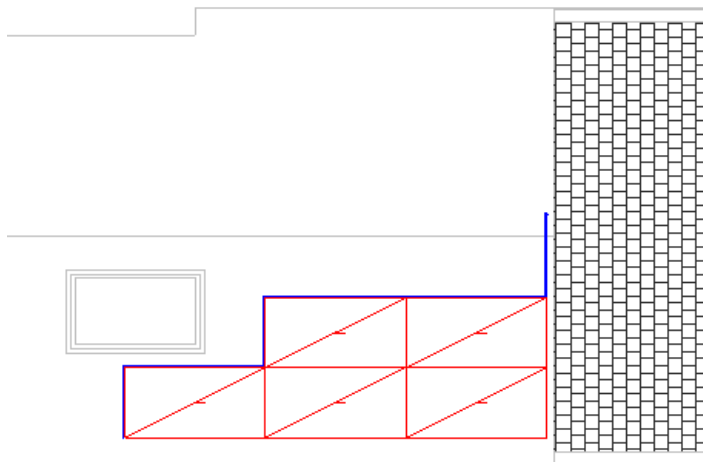


Fig.4.6 – Disposição dos Colectores Solares na Cobertura do edifício em estudo.

A área técnica foi colocada no andar do R/C nos arrumos de baixo da circulação comum. Com ajuda da ferramenta AUTOCAD fizeram-se as medições necessárias e no Quadro 4.33 apresentam-se as medições das tubagens obtidas.

Quadro 4.33 – Comprimentos das Tubagens (m).

| Comprimento Total da Tubagens | Comprimento das tubagens dentro do edifício | Comprimento das tubagens fora do edifício |
|-------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 42,2 m                        | 31,2 m                                      | 11 m                                      |

Em relação às perdas de térmicas, foram determinadas por sugestão do próprio programa, que determinou que existiriam uma perda de térmica de valor nominal igual a 12,4 W/K.

Em termos dos dados para o programa SOLTERM não seria necessário especificar os tipo de tubagem, nem o tipo de bomba a instalar mas para uma caracterização mais completa da instalação, efectuou-se todos os cálculos necessários para a definição destes dois constituintes.

Para as tubagens determinou-se o diâmetro interior e comercial, bem como a definição do material, marca, referência e material dos acessórios. Assim para a determinação do diâmetro interno, aplicou-se a fórmula da continuidade (equação 4.10 e equação 4.11).

$$Q = v \times S \Leftrightarrow Q = v \times \frac{\pi \times D^2}{4} \Leftrightarrow D^2 = \frac{4 \times Q}{v \times \pi} \Leftrightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{v \times \pi}} \quad (4.10)$$

Dados:

$$Q = Q_{\text{recir}} = 666,04 \text{ l/h} = 666,04 \text{ dm}^3/\text{h}$$

$$V = 0,5 \text{ m/s} = 18000 \text{ dm/h} \text{ (valor da velocidade recomendada para não danificar o sistema)}$$

Logo,

$$D_{\text{int}} = \sqrt{\frac{4 \times 666,04}{18000 \times \pi}} = 0,0217 \text{ m} = 21,7 \text{ mm} \cong 22 \text{ mm} \quad (4.11)$$

A caracterização das tubagens é feita no Quadro 4.34.

Quadro 4.34 – Caracterização das Tubagens.

| Marca | Referência | Características                                         | Material | $\Phi_{\text{interior}}$ | $\Phi_{\text{comercial}}$ | Material dos Acessórios |
|-------|------------|---------------------------------------------------------|----------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| SANHA | 403168     | Tubo de cobre revestido com tratamento de anti-corrosão | Cobre    | 22 mm                    | 28 mm                     | Cobre                   |

Para a escolha da bomba de recirculação, teve de se calcular a altura manométrica, pois é com este dado e em conjunto com o caudal de recirculação que é definida a bomba a instalar. Assim, aplicou-se as equações 4.12 e 4.13 para o cálculo das perdas de cálculo, necessário para a determinação da altura manométrica.

$$j = K \times v^{7/4} \times \phi_{\text{int}}^{-5/4} \quad (4.12)$$

Dados:

$$K=0,0015 \text{ (coeficiente de rugosidade dos tubos de cobre)}$$

$$v = 0,5 \text{ m/s}$$

$$\Phi_{\text{int}} = 22 \text{ mm}$$

Logo:

$$j = 0,0015 \times 0,5^{7/4} \times 0,022^{-5/4} = 0,0523 \text{ m.c.a./m} \quad (4.13)$$

Para obtenção das perdas de carga localizadas tem de se fazer a multiplicação das perdas de carga totais pelo comprimento da tubagem e por um coeficiente de 1,3. Assim, aplicou-se a equação 4.14.

$$H_{\text{manométrica}} = 1,3 \times 0,0526 \times 42,2 = 2,884 \text{ m} \quad (4.14)$$

No Quadro 4.35 é definido a bomba de recirculação em função do caudal de recirculação e da altura manométrica.

Quadro 4.35 – Caracterização da Bomba de Recirculação.

| Marca    | Referência      | $H_{\text{manométrica}}$<br>máx. | $H_{\text{manométrica}}$<br>real | Caudal de<br>Recirculação | Material      | Temperatura<br>do Líquido |
|----------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| GRUNDFOS | UPS SOLAR 25-40 | 4 m                              | 2,9 m                            | 0,7 m <sup>3</sup> /h     | Ferro Fundido | 2°C a 110°C               |

Outro parâmetro a introduzir é a percentagem de anticongelante na mistura, em que se utilizou 25% de anticongelante na mistura do fluido de trabalho. Esta percentagem é função das temperaturas atingidas nesta região, uma vez que o aumento da percentagem do anticongelante baixa a temperatura de congelamento do fluido. O valor da percentagem é o próprio programa que aconselha, em função da região para garantir o bom funcionamento do sistema.

#### 4.3.4.7. Resultados do Programa SOLTERM

##### - ANÁLISE ENERGÉTICA

Com os resultados pela análise energética, foi possível determinar o desempenho do sistema solar térmico instalado, dando informação de todas as energias envolvidas numa instalação solar térmica. Desta forma, a análise energética dá informação sobre:

- Energia da radiação solar global na horizontal – Rad. Horiz.;
- Energia da radiação solar global no plano dos colectores – Rad. Inclín.;
- Energia acumulada em excesso, dissipada - Desperdiçado;
- Energia fornecida ao consumo pelo sistema solar térmico ( $E_{\text{solar}}$ ) - Fornecido;
- Energia pedida pelo consumidor - Carga;
- Energia fornecida pelo sistema de apoio – Apoio;
- Rendimento global anual do sistema e produtividade do mesmo por  $\text{m}^2$  de colector;
- Fracção solar

Assim, com as considerações acima referidas, a Figura 4.6 explicita os resultados obtidos para a instalação solar térmica sob o ponto de vista energético, estando o relatório energético no Anexo C1.

| Desempenho do sistema térmico           |                    |                    |              |           |       | Porto                                            |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------|-----------|-------|--------------------------------------------------|
|                                         |                    |                    |              |           |       | Projecto: AQS exemplo 1                          |
|                                         | Rad.Horiz.         | Rad.Inclín.        | Desperdiçado | Fornecido | Carga | Apoio                                            |
|                                         | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh          | kWh       | kWh   | kWh                                              |
| Janeiro                                 | 51                 | 37                 | ,            | 123       | 1142  | 1019                                             |
| Fevereiro                               | 69                 | 46                 | ,            | 143       | 1010  | 867                                              |
| Março                                   | 105                | 71                 | ,            | 227       | 1094  | 867                                              |
| Abril                                   | 144                | 113                | 1,           | 405       | 1013  | 608                                              |
| Maio                                    | 173                | 145                | 17,          | 497       | 1023  | 526                                              |
| Junho                                   | 185                | 165                | 56,          | 527       | 967   | 440                                              |
| Julho                                   | 205                | 179                | 74,          | 605       | 1023  | 418                                              |
| Agosto                                  | 184                | 143                | 19,          | 559       | 1047  | 487                                              |
| Setembro                                | 129                | 87                 | ,            | 341       | 1059  | 718                                              |
| Outubro                                 | 95                 | 65                 | ,            | 240       | 1094  | 855                                              |
| Novembro                                | 60                 | 43                 | ,            | 144       | 1082  | 938                                              |
| Dezembro                                | 49                 | 36                 | ,            | 118       | 1142  | 1024                                             |
| Anual                                   | 1449               | 1130               | 167,         | 3931      | 12696 | 8766                                             |
| Rendimento global anual do sistema: 30% |                    |                    |              |           |       | Fracção solar: 31,0%                             |
|                                         |                    |                    |              |           |       | Produtividade: 342 kWh/[m <sup>2</sup> colector] |

Fig.4.7 – Resultados Obtidos pelo programa SOLTERM do INETI [20].

Para a introdução dos dados nas folhas de cálculo do RCCTE, destes resultados, apenas a energia fornecida pelo sistema ( $E_{\text{solar}}$ ) é que será utilizada.

Este sistema foi dimensionado para o edifício, com todas as suas fracções, mas como as folhas de cálculo correspondem ao estudo energético de apenas uma fracção, é necessário calcular a parcela de  $E_{\text{solar}}$  correspondente à fracção em estudo.

Para cálculo desta parcela, aplicou-se a equação 4.15 e substitui-se os valores na equação 4.16. Sendo assim, tem-se:

$$E_{solar}(T1) = E_{solar}(Edifício) \times \frac{n^{\circ} ocupantes(T1)}{n^{\circ} ocupantes(Edifício)} \quad (4.15)$$

Substituindo pelos valores correspondentes,

$$E_{solar}(T1) = 3931 \times \frac{2}{12} = 655,17 kWh \quad (4.16)$$

Este valor será o utilizado nas folhas de cálculo, na parcela  $E_{solar}$  que corresponde ao contributo dado pelo sistema de produção de AQS, para o cálculo das suas necessidades de energia.

## - ANÁLISE ECONÓMICA

Sob o ponto de vista económico, fez-se dois estudos, para a avaliação da viabilidade económica da Instalação Solar Térmica. Sendo assim, iniciou-se a análise para uma vida útil do sistema para 18 anos, o previsto pelo próprio programa, que em termos económicos revelou-se um investimento em energia solar não compensador. Desta forma, através de várias tentativas de aumento da vida útil do sistema, chegou-se à conclusão que para a instalação ser compensatória economicamente, a instalação teria de ter no mínimo uma vida útil do sistema de 26 anos. Para a instalação solar térmica estudada, o valor relativo ao seu custo inicial é de 8650€ (Preço do Sistema Solar Térmico), e pela energia do sistema do apoio energético tem-se 0,850€/m<sup>2</sup>. Como forma de apresentação de resultados, no Quadro 4.36 estão os resultados da análise económica para um sistema com uma vida útil de 18 anos, mostrando que esta solução não é justificativa sob o ponto de vista económico, e no Quadro 4.37 estão os resultados patentes de um sistema com uma vida útil de 26 anos.

Quadro 4.36 – Resultados da análise económica para um Sistema Solar Térmico de 18 anos [20].

| VIDA ÚTIL DO SISTEMA SOLAR: 18ANOS |                          |                |                                    |             |          |                                             |
|------------------------------------|--------------------------|----------------|------------------------------------|-------------|----------|---------------------------------------------|
| Investimento Inicial               | Custo Energético evitado | Reinvestimento | Custos com Reparações e Manutenção | Saldo Final | VAL      | Resultado da Análise Económica              |
| -8.650 €                           | 10.850 €                 | 3.198 €        | -1994 €                            | 3.404 €     | -6.267 € | Instalação não compensatória economicamente |

Quadro 4.37 – Resultados da análise económica para um Sistema Solar Térmico de 26 anos [20].

| VIDA ÚTIL DO SISTEMA SOLAR: 26ANOS |                          |                |                                    |             |       |                                                                                |
|------------------------------------|--------------------------|----------------|------------------------------------|-------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Investimento Inicial               | Custo Energético evitado | Reinvestimento | Custos com Reparações e Manutenção | Saldo Final | VAL   | Resultado da Análise Económica                                                 |
| -8.650 €                           | 18.748 €                 | 8.631 €        | -3.085 €                           | 15.644 €    | 699 € | Instalação compensatória economicamente, recuperando o investimento em 25 anos |

Os relatórios da análise económica obtida pelo programa SOLTERM, para um Sistema Solar térmico de 18 anos e 26 anos, estão no Anexo C2 e C3, respectivamente.

#### - ANÁLISE AMBIENTAL

Para a análise ambiental, o consumo de energia primária deslocada pela energia solar é estimada tendo em conta a cadeia de conversão de energia primária em energia final e finalmente em energia útil. Como o sistema de apoio energético recorre ao combustível “gás natural”, os valores do poder calorífico (PCI: 10,5 kWh/m<sup>3</sup>) e o rendimento deste sistema de apoio (Rendimento global do sistema. 75%) entram para a estimativa do consumo de energia primária de origem fóssil e consequentemente na avaliação da quantidade de CO<sub>2</sub> emitida. Os principais gases com efeito de estufa inerentes ao uso do gás natural são CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), CH<sub>4</sub> (Metano) e N<sub>2</sub>O (Óxido Nitroso).

Em relação ao consumo de energia primária de origem fóssil, obteve-se um valor de 5,24MWh/ano, que corresponde a um volume de 498 m<sup>3</sup> de gás natural por ano.

Relativamente à quantidade de CO<sub>2</sub> emitido, obteve-se um valor de 1,2 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por ano, correspondendo a 1,2 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. A unidade de “toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente” corresponde a uma média pesada das quantidades emitidas de cada gás, pela actividade dos três gases em termos de aumento do efeito de estufa.

#### 4.4. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EFECTUADAS

As simulações efectuadas foram efectuadas com base nas folhas de cálculo do RCCTE, logo como resultados foram obtidos os valores referentes às necessidades de energia para a estação de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS e consequentemente as necessidades de energia primária global. A partir das necessidades de energia primária global, por cálculo do parâmetro (R) resultado do quociente das necessidades nominais globais de energia primária (N<sub>ic</sub>) e o valor máximo destas necessidades, determinou-se a classificação energética do edifício de acordo com o Quadro 3.6 (Capítulo 3).

Em relação às necessidades nominais de aquecimento nenhuma das soluções se revelou regulamentar, isto é, em todas as simulações as necessidades nominais de aquecimento (N<sub>ic</sub>) ultrapassaram as necessidades nominais de aquecimento máximas (N<sub>i</sub>).

Em contrapartida, em todas as simulações as necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) foram inferiores às necessidades nominais de arrefecimento máximas ( $N_v$ ).

Quanto às necessidades de energia para a produção de AQS, todas as simulações revelaram o valor das necessidades de energia para a preparação de AQS ( $N_{ac}$ ) inferior ao valor máximo para as necessidades de energia para a preparação de AQS ( $N_a$ ).

As necessidades nominais globais de energia primária resultam de um balanço de todas as necessidades de energia acima referidas, caracterizando a fracção autónoma sob o ponto de vista térmico. É a partir da relação entre as necessidades nominais globais de energia primária ( $N_{tc}$ ) e o valor máximo das necessidades nominais globais de energia primária ( $N_t$ ) que é definido a classe energética em que o edifício se encontra. Assim, as simulações que usaram como sistema de aquecimento e produção de AQS a resistência eléctrica ultrapassaram o valor máximo das necessidades nominais globais de energia primária ( $N_t$ ). Este facto também se verificou para a simulação em que o sistema de produção AQS, combinou a resistência eléctrica com a energia solar, mantendo o sistema de aquecimento recorrente à resistência eléctrica. Por sua vez todas as simulações que recorreram à caldeira a gás como sistema de aquecimento e de produção de AQS, mesmo a que foi combinada com a energia solar, cumpriram o valor máximo das necessidades nominais globais de energia primária ( $N_t$ ).

No Quadro 4.38, estão indicados os resultados de todas as simulações por aplicação do RRCTE, relativamente às necessidades de energia obtidas através das folhas de cálculo e o Quadro 4.39 apresenta o resumo dos sistemas aplicados em cada simulação e a classe energética que se obteve em cada simulação efectuada.

Quadro 4.38 – Resultados das Folhas de Cálculo do RCCTE.

| Simulação | $N_{ic}$<br>kWh/m <sup>2</sup> .ano | $N_i$<br>kWh/m <sup>2</sup> .ano |    | $N_{vc}$<br>kWh/m <sup>2</sup> .ano | $N_v$<br>kWh/m <sup>2</sup> .ano |    | $N_{ac}$<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | $N_a$<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano |    | $N_{tc}$<br>kgep/m <sup>2</sup> .ano | $N_t$<br>kgep/m <sup>2</sup> .ano |    |
|-----------|-------------------------------------|----------------------------------|----|-------------------------------------|----------------------------------|----|--------------------------------------|-----------------------------------|----|--------------------------------------|-----------------------------------|----|
| 1         | 198,86                              | 98,11                            | KO | 0,47                                | 16                               | OK | 22,97                                | 32                                | OK | 12,43                                | 5,35                              | KO |
| 2         | 115,16                              | 98,11                            | KO | 0,65                                | 16                               | OK | 22,97                                | 32                                | OK | 10,01                                | 5,35                              | KO |
| 3         | 115,16                              | 98,11                            | KO | 0,65                                | 16                               | OK | 23,77                                | 32                                | OK | 3,19                                 | 5,35                              | OK |
| 4         | 115,16                              | 98,11                            | KO | 0,65                                | 16                               | OK | 14,11                                | 32                                | OK | 7,44                                 | 5,35                              | KO |
| 5         | 115,16                              | 98,11                            | KO | 0,65                                | 16                               | OK | 14,9                                 | 32                                | OK | 2,43                                 | 5,35                              | OK |

Quadro 4.39 – Sistema utilizados nas Simulações e respectivas Classes Energéticas obtidas.

| Simulação | U utilizado | Sistema Utilizados                  |                       |               | $R=N_{tc}/N_t$ | Classe Energética |
|-----------|-------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------|----------------|-------------------|
|           |             | AQS                                 | Aquecimento           | Arrefecimento |                |                   |
| 1         | $U_{máx}$   | Resistência Eléctrica               | Resistência Eléctrica | Bomba Cop3    | 2,32           | E                 |
| 2         | $U_{ref}$   | Resistência Eléctrica               | Resistência Eléctrica | Bomba Cop3    | 1,87           | D                 |
| 3         | $U_{ref}$   | Caldeira a Gás                      | Caldeira a Gás        | Bomba Cop3    | 0,60           | B                 |
| 4         | $U_{ref}$   | $E_{solar}$ + Resistência Eléctrica | Resistência Eléctrica | Bomba Cop3    | 1,39           | C                 |
| 5         | $U_{ref}$   | $E_{solar}$ + Caldeira a Gás        | Caldeira a Gás        | Bomba Cop3    | 0,45           | A                 |

# 5

## CONCLUSÃO

### 5.1. CONCLUSÕES DO CASO EM ESTUDO

A aplicação de Colectores Solares é uma matéria algo controversa e somente a realização do estudo específico de um edifício característico da Zona Histórica do Porto permitiu obter uma conclusão sustentada por um exemplo real.

Uma fracção autónoma de um edifício localizado na R. Mouzinho da Silveira, foi submetida a uma série de simulações com variação de três parâmetros, nomeadamente, os coeficientes de transmissão térmica, os sistemas de produção de AQS e os sistemas de Aquecimento. A análise destas simulações baseou-se na classificação energética dessa mesma fracção e a partir desses resultados obteve-se uma sequência de conclusões, baseadas no estudo desenvolvido no Capítulo 4.

Na Simulação 1 e 2 foram usados sistemas pouco eficientes para a produção de AQS e Aquecimento, recorrendo à resistência eléctrica, estudando-se apenas uma alteração no isolamento das envolventes. Na Simulação 1, usaram-se os coeficientes de transmissão térmica máximos, correspondendo a uma envolvente mal isolada, que por sua vez foram substituídos na Simulação 2, pelos coeficientes de transmissão térmica de referência estipulados pelo RCCTE, correspondendo a uma envolvente melhor isolada. Na simulação 1 obteve-se uma classe energética E e na simulação 2, a classificação energética da fracção aumentou uma classe, atingindo a classe D. Ambas as classes atingidas, mostram que com as soluções adoptadas, a fracção apresenta níveis de desempenho energético muito baixos, isto é pouco eficientes. Estes resultados demonstram que o recurso ao sistema mais elementar de aquecimento previsto, como mínimo, pelo RCCTE é muito desfavorável em termos de consumo de energia primária. Além disso, comprova que o peso atribuído aos isolamentos térmicos não é muito significativo, uma vez que a mudança de coeficientes de transmissão térmica apenas permitiu o aumento de uma classe energética. As restantes simulações já só foram trabalhadas tendo em conta a envolvente mais bem isolada, considerando sempre os coeficientes de transmissão térmica de referência.

Na Simulação 3 alterou-se os sistemas de produção de AQS e de Aquecimento para sistemas a gás, o que provocou um salto energético de três classes em relação à Simulação 2, obtendo um desempenho energético mediano (Classe Energética B). Este resultado evidencia a importância dos sistemas utilizados na produção de AQS e no Aquecimento, percebendo que sistemas mais eficientes sob o ponto de vista energético têm uma elevada influência no consumo de energia primária.

Na Simulação 4, o sistema de aquecimento recorreu-se à energia eléctrica, enquanto o sistema adoptado para a produção de AQS foi uma combinação de sistemas eléctricos com sistemas solares. Esta alteração dos sistemas em relação à Simulação 3 provocou um decréscimo da classe energética da

fracção (Classe Energética C). Percebe-se que a energia solar não consegue vencer a eficácia energética de uma caldeira a gás, quando aplicado em conjunto com um sistema eléctrico, sistema com baixo rendimento energético. Apesar de não assegurar a eficiência de uma caldeira a gás, esta Simulação quando relacionada com a Simulação 2, comprova que a energia solar trás uma parcela benéfica para o desempenho energético da fracção.

Por fim, na Simulação 5 alterou-se os sistemas de produção de AQS e de Aquecimento, para uma combinação de energia solar e caldeira a gás, relativamente às AQS, e para uma caldeira a gás, relativamente ao aquecimento. Tal como seria de esperar, a alteração dos sistemas eléctricos para estes combinados com a energia solar, no caso das AQS, provocou um acréscimo no desempenho energético da fracção, levando-a a obter um bom nível de desempenho energético (Classe Energética A). Este resultado, especialmente quando analisado com a Simulação 4, permite mais uma vez clarificar que o contributo dos colectores solares é diminuto, evidenciando que o sistema a gás é o factor determinante para a alteração da classe energética da fracção. O contributo da energia solar é diminuto, uma vez que este edifício não apresenta uma exposição solar adequada, verificando-se obstruções do horizonte de 52° na faixa do edifício prevista para a instalação dos painéis solares, orientada a Sudoeste. Estes factores actuaram de uma forma significativa no cálculo do rendimento da instalação que se apresentou na ordem dos 30% (rendimento muito baixo).

Com o estudo deste caso conseguiu-se concluir o seguinte:

- Quando os edifícios não dispõem de uma exposição solar adequada que favoreça o funcionamento das instalações solares térmicas, não será aconselhado a aplicação de colectores neste tipo de edifícios.
- Provou-se que com o recurso a sistema a gás alcança-se uma classe energética regulamentar e de nível energético mediano, sem provocar as implicações que a instalação de um sistema solar térmico acarreta. Como se pode verificar, o edifício apresentam áreas interiores muito reduzidas, logo as opções de reserva de uma área destinada à zona técnica para instalação dos componentes do sistema são muito limitadas, trazendo muitas complicações na instalação. Além disso, sob o ponto de vista económico, o investimento inicial apenas será alcançado após 26 anos, resultado do baixo rendimento da instalação, o que se torna um investimento muito pesado e com uma duração de amortizações muito elevada, para o utilizador que financie a instalação solar térmica.
- Por fim, a colocação de painéis solares térmicos, por muito que seja minimizado o seu impacto visual, descaracteriza de certa forma as coberturas de valor patrimonial do centro histórico. É neste sentido e com base nas simulações efectuadas, que para este caso não é recomendado o recurso à energia solar para a produção de AQS pelas inúmeras implicações que acarreta, não sendo justificada pelo desempenho energético do edifício

## 5.2. CONCLUSÕES FINAIS

A energia solar utilizada nos edifícios é uma mais-valia sob o ponto de vista de poupança energética e consequentemente económica, patente no incentivo regulamentar e governamental. Contudo existem excepções, sendo necessário verificar se o recurso a esta energia renovável é compensatório, uma vez que podem existir condicionalismos significativos, que contribuam para uma ponderação da utilização das instalações solares térmicas.

O Centro Histórico do Porto, devido ao seu valor patrimonial e às características que o edificado nesta zona apresenta é um caso de estudo da avaliação da aplicabilidade dos colectores solares. O seu valor

patrimonial, exclui a hipótese de uma mudança das características dos edifícios, independentemente do tipo de intervenção a que possa estar sujeito. Estes edifícios apresentam coberturas muito inclinadas com reduzido espaço na cobertura para a implantação de colectores solares, ostentando clarabóias que condicionam o seu posicionamento mais adequado. Além disso, os edifícios são caracterizados pela sua construção em banda, com cerceas de diferentes alturas que de uma forma geral acompanham as inclinações acentuadas das ruas existentes na zona histórica. Por outro lado, as áreas interiores destes edifícios são muito reduzidas, levantando algumas questões no uso de uma determinada área para a instalação de equipamentos, designada por área técnica. Por vezes esta área é inexistente ou então de tão reduzidas dimensões que se tornam inviáveis. Para o estudo da aplicabilidade dos colectores solares é necessário ter em conta estes aspectos construtivos, uma vez que influenciaram a grande escala o rendimento da instalação solar térmica, pondo em questão a sua viabilidade sustentada.

Como há necessidade de preservação da estética das coberturas, a inclinação dos colectores ficará condicionada a soluções de integração absoluta do mesmo na cobertura, e na maioria dos casos desfavorável à inclinação ideal que estes deveriam adoptar. A construção em banda, aliada às diferentes alturas de cerceas e aos arruamentos extremamente estreitos, provoca obstruções do horizonte muito elevadas, condicionando a radiação incidente no mesmo. Por sua vez, as reduzidas ou inexistentes áreas técnicas, cria impacto no dimensionamento dos próprios equipamentos e provoca entraves à instalação dos mesmos. Estes são os factores que mais condicionam o rendimento de uma instalação solar térmica e como se verifica, estes limitam o recurso à energia solar para a produção de AQS, restando-se muito significativas sob o ponto de vista benéfico da recorrência a esta energia.

No decorrer deste trabalho, e por análise de vários projectos facultados pela Porto Vivo – Sociedade de Reabilitação Urbana, conclui-se que a maioria dos edifícios do Centro Histórico do Porto apresenta estas características, não apresentando condições favoráveis à aplicação de colectores solares. Como é óbvio, existem excepções em que a exposição solar se mostra adequada, e nesses casos provavelmente será benéfico o recurso à energia solar.

Desta forma, a aplicabilidade de colectores solares nesta zona não é apoiada por este estudo. Sob o ponto de vista estético é desaconselhado, pois contribuirá para a descaracterização do edificado. Sob o ponto de vista económico, os colectores apresentam rendimentos tão baixos que não traz grandes benefícios ao financiador/utilizador. O investimento inicial é muito elevado, em relação à redução da factura energética, e como o comprovado no estudo prático, o financiador só veria o seu investimento rentabilizado ao fim de muitos anos. Sob o ponto de vista ambiental, será o único factor que sustenta a utilização de colectores solares nesta zona, uma vez que o recurso a esta energia permite reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida para a atmosfera, diminuindo o efeito de estufa, sendo este um interesse global.

Como em todos os assuntos, as opiniões poderão divergir, sendo este facto comprovado quando a questão foi colocada a algumas entidades envolvidas neste processo. A Agência de Energia do Porto (AdEPorto), defende que sob o ponto de vista económico e energético, por muito diminuto que seja o contributo desta energia para a produção de AQS, ele existe e está a ser desaproveitado, acrescentando que este contributo é gratuito pelo carácter da energia. Por sua vez, a SRU- Porto Vivo valoriza mais a parte estética e a viabilidade económica do projecto, partilhando da opinião que a aplicação de colectores solares térmicos a ser implementada terá de ser executada de uma forma muito ponderada.

Apesar de não se verificarem grandes vantagens na aplicação dos colectores solares nas zonas históricas, isto pode vir a ser alterado, sendo justificativo pelo aumento do volume de obras de reabilitação verificados nestas zonas. Assim no futuro deverão ser levados em conta os seguintes aspectos:

- Numa primeira perspectiva, deverá ser alterado o peso atribuído pelo RCCTE, ao isolamento das envolventes, estando-se já a desenvolver alguns estudos neste sentido.
- Outro aspecto que se poderá tornar relevante para a aplicação de colectores solares nos centros históricos, será o incentivo dos mercados dos colectores solares a desenvolver novas tecnologias destes equipamentos. Expandir a tecnologia dos equipamentos, numa perspectiva do aumento da captação da radiação solar difusa e não tanto da radiação solar directa, permitindo aos colectores solares obter rendimentos mais elevados, seria extremamente vantajoso. Tal como se observou ao longo deste estudo, a radiação solar é um dos factores que mais condiciona o rendimentos deste equipamentos e como nestas zonas as obstruções do horizonte são muito elevadas, se o equipamento conseguir obter um elevado rendimento através de uma maior contribuição da radiação difusa, a energia solar poderá ter um maior impacto na diminuição dos consumos energéticos dos edifícios.
- Por outro lado, se existir uma maior cooperação a nível de projecto entre a parte térmica do edifício e a parte estrutural e arquitectónica, este permitirá uma reabilitação dos edifícios direccionada à partida para a integração de colectores solares nos mesmos.

Assim, será possível encontrar soluções mais vantajosas para a aplicação de colectores solares térmicos nestes edifícios, encontrando-se soluções de economia do espaço interior com a previsão de uma área técnica, evitando problemas de dimensionamento e instalação destes equipamentos.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Araújo, V., Almeida, R., *As Energias Renováveis e a sua aplicação no Aquecimento de Águas Sanitárias*. Julho de 2009.
- [2] Moura, D., Fonseca, T., *Sistemas Verdes Aplicados às Habitações*. Janeiro de 2008.
- [3] Pacheco, P., Freitas, N. *O Potencial das Energias Renováveis em Portugal*. Junho de 2006.
- [4] <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/33>. Data da última consulta: 12 de Setembro de 2009.
- [5] <http://www.ordemengenheiros.pt/>. Data da última consulta: 15 de Setembro de 2009.
- [6] <http://www.dgge.pt/>. Data da última consulta: 20 de Setembro de 2009.
- [7] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo\\_de\\_Quito](http://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Quito). Data da última consulta: 30 de Setembro de 2009.
- [8] [http://www.energaia.pt/port/bib/programa\\_e4.pdf](http://www.energaia.pt/port/bib/programa_e4.pdf). Data da última consulta: 17 de Setembro de 2009.
- [9] Agência para a Energia – ADENE. *Caracterização do Solar Térmico em Portugal 2008 – Relatório Síntese*. Lisboa, 2008.
- [10] <http://www.p3e-portugal.com/>. Data da última consulta: 20 de Outubro de 2009.
- [11] <http://www.aguaquentesolar.com/>. Data da última consulta: 2 de Outubro de 2009.
- [12] [http://www.portugal.gov.pt/pt/Documentos/Governo/MEI/Medida\\_Solar\\_Termico2009.pdf](http://www.portugal.gov.pt/pt/Documentos/Governo/MEI/Medida_Solar_Termico2009.pdf). Data da última consulta: 27 de Setembro de 2009.
- [13] <http://bali.blogs.sapo.pt/>. Data da última consulta: 25 de Setembro de 2009.
- [14] [www.rrenergie.pt](http://www.rrenergie.pt). Data da última consulta: 8 de Outubro de 2009.
- [15] [www.zantia.com](http://www.zantia.com). Data da última consulta: 24 de Setembro de 2009.
- [16] [www.scribd.com/doc/23404208/Manual-Solar-Termico](http://www.scribd.com/doc/23404208/Manual-Solar-Termico). Data da última consulta: 29 de Setembro de 2009.
- [17] Rodrigues, A., Piedade, A., Braga, A. *Térmica de Edifícios*. Edições Orion. 2009.
- [18] [www.electronica-pt.com/imagens/angulo-radiacao.gif](http://www.electronica-pt.com/imagens/angulo-radiacao.gif). Data da última consulta: 29 de Setembro de 2009.
- [19] [www.aquaterm.pt/imgs/Informacoes\\_Uteis.pdf](http://www.aquaterm.pt/imgs/Informacoes_Uteis.pdf). Data da última consulta: 4 de Outubro de 2009.
- [20] Programa SOLTERM do INETI
- [21] <http://www.adene.pt/ADENE.Portal>. Data da última consulta: 7 de Outubro de 2009.
- [22] <http://www.tecnet.pt/portugal/27544.html>. Data da última consulta: 10 de Outubro de 2009.
- [23] [www.rapplus.pt/termico.htm](http://www.rapplus.pt/termico.htm). Data da última consulta: 12 de Outubro de 2009.
- [24] [www.tisun.pt](http://www.tisun.pt). Data da última consulta: 12 de Outubro de 2009.
- [25] <http://ecoarkitekt.com>. Data da última consulta: 14 de Outubro de 2009.
- [26] [http://rr.home.sapo.pt/index\\_files/P%20solaresinf%20geral.pdf](http://rr.home.sapo.pt/index_files/P%20solaresinf%20geral.pdf). Data da última consulta: 10 de Outubro de 2009.

- [27] [www.aguaquentesolar.com/publicacoes/8/piscinas.pdf](http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/8/piscinas.pdf). Data da última consulta: 10 de Setembro de 2009.
- [28] [http://3.bp.blogspot.com/\\_NpO3QhD0sGU/SHqo9koUzJI/AAAAAAAAAZE/\\_Q8qipzdS58/s400/srevest.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_NpO3QhD0sGU/SHqo9koUzJI/AAAAAAAAAZE/_Q8qipzdS58/s400/srevest.jpg). Data da última consulta: 22 de Outubro de 2009.
- [29] [www.schueco.com/web/pt/particulares/produkte/solar-systeme/](http://www.schueco.com/web/pt/particulares/produkte/solar-systeme/). Data da última consulta: 25 de Novembro de 2009.
- [30] [www.enerdomus.com/v2/immosolar.asp](http://www.enerdomus.com/v2/immosolar.asp). Data da última consulta: 16 de Outubro de 2009.
- [31] [www.energie.pt/files/downloads/DesdobravelEnergie.pdf](http://www.energie.pt/files/downloads/DesdobravelEnergie.pdf). Data da última consulta: 18 de Outubro de 2009.
- [32] [www.aosol.pt/pt/produto/](http://www.aosol.pt/pt/produto/). Data da última consulta: 6 de Outubro de 2009.
- [33] [www.aguaquentesolar.com/publicacoes/9/domestico.pdf](http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/9/domestico.pdf). Data da última consulta: 10 de Setembro de 2009.
- [34] <http://ecotermolab.blogspot.com/search/label/permutador>. Data da última consulta: 30 de Outubro de 2009.
- [35] [www.insuatherm.com/permutador.png](http://www.insuatherm.com/permutador.png). Data da última consulta: 10 de Outubro de 2009.
- [36] Lebeña, E., Costa, J., *Curso de Instaladores Solares Térmicos*. INETI, 2006
- [37] IST. *Energia solar térmica, manual sobre tecnologias. Projecto e instalação*. 2004
- [38] [www.enrepo.pt](http://www.enrepo.pt). Data da última consulta: 2 de Outubro de 2009.
- [39] [www.lusosol.com/images/microtopsolar.jpg](http://www.lusosol.com/images/microtopsolar.jpg). Data da última consulta: 27 de Setembro de 2009.
- [40] [www.solxira.com/tipos/circulacao.html](http://www.solxira.com/tipos/circulacao.html). Data da última consulta: 10 de Novembro de 2009.
- [41] [www.solarproject.pt/engine.php?cat=111&area=50](http://www.solarproject.pt/engine.php?cat=111&area=50). Data da última consulta: 10 de Setembro de 2009.
- [42] [www.brsolar.com.br/.../Circulacao\\_Forcada.jpg](http://www.brsolar.com.br/.../Circulacao_Forcada.jpg). Data da última consulta: 23 de Setembro de 2009.
- [43] Silva, B., *Climatização Solar – Frio Solar*. 2009
- [44] [www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/guia6.pdf](http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/guia6.pdf). Data da última consulta: 12 de Outubro de 2009.
- [45] <http://www2.doc.ua.pt/destaques/estatisticas.asp>. Data da última consulta: 15 de Setembro de 2009.
- [46] [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/tackling\\_climate\\_change/l28060\\_pt.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l28060_pt.htm). Data da última consulta: 2 de Outubro de 2009.
- [47] <http://www.solarproject.pt/engine.php?cat=47&sheet=5>. Data da última consulta: 15 de Outubro de 2009.
- [48] Minguella, Torrens. *Energia Solar. Manual de instalações térmicas*. Editorial CO-PRESS. 2002
- [50] CALEFFI, LDA. *As Instalações Solares - Técnicas e esquemas de realização*. Maio de 2006
- [51] Cascaes, E. *Sebenta de Hidráulica II*. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2003

# ANEXO A

## **A.1. QUADRO RESUMO DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO**

No Anexo A.1, é apresentado um quadro resumo dos vários tipos de colectores que existem. São referidas as suas características, vantagens e desvantagens.

## **A.2. FICHA DE PEDIDO DE REALIZAÇÃO DE ENSAIOS OBRIGATÓRIOS**

No presente anexo, é apresentado uma ficha de pedido de realização de ensaios obrigatórios, com o objectivo de exemplificar a rigorosidade a que os equipamentos estão sujeitos.

## **A.3. DECLARAÇÃO DE GARANTIA DE INSTALAÇÕES DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICO**

No anexo A.2 é apresentado um exemplo de uma declaração de garantia de instalações solares térmicas, sendo este um documento que se deve apresentar como comprovativo da certificação da instalação solar térmica instalada.

## **A.4. MODELO DE UM CERTIFICADO ENERGÉTICO**

No anexo A.3 é apresentado um exemplo de um modelo de certificado energético de um edifício, sendo um documento que faz uma síntese das necessidades de energias do edifício, das soluções construtivas e dos sistemas aplicados para a produção de AQS, Aquecimento e Arrefecimento. Neste documento está patente a classificação energética obtida pelo edifício, bem como as emissões de CO<sub>2</sub> libertadas pelos sistemas utilizados no mesmo.

| TIPO DE COLECTOR                  |                        | CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | UTILIZAÇÃO                                                                                                          | VANTAGENS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | DESVANTAGENS                                                                                                |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Colector Solar Plano:</b>      |                        | Caixa plana interiormente revestidas numa fase. Contém uma placa negra plana que absorve a energia solar e onde circula a água e encarregada de transferir o calor recebido. Utiliza no seu funcionamento dois fenómenos naturais, a cor negra absorve calor e a água quente sobe.                                                                                                |                                                                                                                     | Baixo custo; Instalação simples; Ideais para o sector residencial; Múltiplas opções de montagem; Boa taxa de preço/performance.                                                                                                                                                                                                               | Menor temperatura de utilização;                                                                            |
| Sem cobertura                     |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Aquecimento de piscinas                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                             |
| Com cobertura                     | Revestimento selectivo |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Aquecimento de águas sanitárias; aquecimento de águas de piscinas, pré-aquecimento de água de processos industriais |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                             |
|                                   | Absorção preto baixo   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Aquecimento de águas sanitárias                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                             |
| <b>Colector Solar do Tipo CPC</b> |                        | Superfície plana onde a área absorvedora é constituída por duas palhetas unidas a um tubo e colocadas em cima de uma superfície reflectora                                                                                                                                                                                                                                        | Aquecimento de águas sanitárias; Aquecimento do ambiente                                                            | Eficiente no aproveitamento da Radiação Solar; Maior temperatura do fluido; Diminuição das perdas térmicas.                                                                                                                                                                                                                                   | Mecanismo de controlo da trajectória do sol de custo elevado; apenas permite a captação da radiação directa |
| <b>Colector de Tubos de Vácuo</b> |                        | Tubos em vácuo com um fluido armazenado no interior do tubo e que actua como transportador do calor. Este fluido evapora-se por efeito da radiação solar e sobe até a parte superior do tubo, que se encontra a uma temperatura inferior. Aí, cede a sua energia térmica à água e condensa, voltando ao estado líquido e caindo por acção da gravidade na parte inferior do tubo. | Aquecimento de águas sanitárias; aquecimento de águas de piscinas, pré-aquecimento de água de processos industriais | Não existem perdas térmicas para o Exterior; Elevada eficiência com alta e baixa absorção; Absorção da radiação solar directa e difusa e o calor do meio; ambiente; Maior temperatura de utilização; Maior rendimento a altas temperaturas; Possibilidade de colocação horizontal e vertical; Múltiplas opções de montagem; Fácil transporte. | Custo Elevado; Fragilidade do sistema sob o ponto de vista de protecção                                     |

## DECLARAÇÃO

### "GARANTIA DE INSTALAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS"

\_\_\_\_\_ contribuinte nº \_\_\_\_\_, empresa instaladora/instalador de sistemas solares nº \_\_\_\_\_ (ou data em que frequentou o curso no INETI), declaro que o sistema de aproveitamento de energia solar para o aquecimento de águas instalado em:

\_\_\_\_\_ foi instalado de acordo com o projecto de instalação que me foi entregue, e que se encontra abrangido por uma garantia total de seis (6) anos a contar da data indicada no final desta declaração, incluindo operações de manutenção. A presente garantia perde totalmente a validade nos seguintes casos:

- 1 - Em toda e qualquer alteração executadas por terceiros;
- 2 - Na manipulação indevida por parte do utilizador ou pessoas alheias á nossa empresa;
- 3 - No não cumprimento das condições previstas no manual do utilizador;
- 4 - Na recusa de permissão de acesso à instalação;
- 5 - Quando não nos sejam comunicados, logo que detectados, danos físicos a qualquer um dos elementos da instalação, com ou sem fugas de liquido;
- 6 - Por alteração da fonte de abastecimento de água, sem conhecimento prévio ao instalador

Estão igualmente excluídas da garantia danos causados por:

- 7 - Calamidades naturais: terremotos, furacões, inundações, etc.;
- 8 - Causas externas: incêndios, roubo ou actos de vandalismo (é da responsabilidade do cliente a compra de um seguro que preveja estas possibilidades).

A presente declaração é feita em dois originais que irão ser assinados pelo instalador e pelo cliente de que será enviada cópia para o observatório da IP AQSpR. (Estrada de Alfragide, Praceta 1, nº 47, 2610-181 Amadora), pela empresa instaladora/instalador.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Cliente:

Empresa instalador/Instalador:

Nota: No caso de empresa esta declaração terá de ser feita em papel timbrado da mesma

ANEXO 5

Pedido de Execução de trabalho

Nome/Name: \_\_\_\_\_

Endereço/Address: \_\_\_\_\_

Código postal/Zip Code: \_\_\_\_\_

Telefone/Telephone: \_\_\_\_\_

Telefax: \_\_\_\_\_

Número de contribuinte/VAT number: \_\_\_\_\_

Identificação do /Identification of:

- Colector/Collector: \_\_\_\_\_  
Nº de amostras: \_\_\_\_\_
- Sistema/System: \_\_\_\_\_  
Nº de amostras: \_\_\_\_\_

Ensaios solicitados/Tests requested:

Colector/Collector

(Segundo/According to EN 12975-2)

|                                                                                 |  |
|---------------------------------------------------------------------------------|--|
| Ensaio de Pressão /Pressure Test (5.2.1)                                        |  |
| Ensaio de Resistência a alta temperatura/High resistance temperature test (5.3) |  |
| Ensaio de Exposição/ Exposure test (5.4)                                        |  |
| Ensaio de Choque térmico externo/ External thermal shock test (5.5)             |  |
| Ensaio de Choque térmico interno/ Internal thermal shock test (5.6)             |  |
| Ensaio de Penetração de Chuva/ Rain Penetration test (5.7)                      |  |
| Ensaio de Carga Mecânica/ Mechanical load test (5.9) <sup>1</sup>               |  |
| Ensaio de Rendimento /Efficiency test (6.1)                                     |  |
| Ensaio de Perda de carga (opcional) / Pressure drop test (6.1.8) (optional)     |  |

Sistema/System

<sup>1</sup>

Para a realização deste ensaio é necessário enviar junto com o colector as estruturas de fixação ao telhado.  
To perform this test it's necessary to send with the collector the structures of mounting on the roof.

# INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

## Laboratório de Ensaio de Colectores Solares

PQ - 1/LECS

Ed: 7

Rv: 0

(Segundo/According to EN 12976-2)

|                                                                                                                                            |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Ensaio para verificação completa dos requisitos da norma/<br>Tests for full verification of standard requirements                          |  |
| Ensaio de Comportamento Térmico/ Thermal Performance Test<br>(por favor preencha também o quadro seguinte /please fill up next table also) |  |

Escolha um dos seguintes métodos de ensaio de acordo com o tipo de sistema/

Choose one of the test methods according to system type:

| Método de ensaio/<br>Test method | Sistema solar com apoio integrado/<br>Solar-plus-supplementay systems | Sistema solar sem apoio/<br>Solar-only and preheat systems |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| ISO 9459-2 (CSTG)                | Não aplicável/Not applicable                                          |                                                            |
| ISI/DIS 9459-5 (DST)             |                                                                       |                                                            |

Data previsível de entrega do Colector/Sistema

*Predicted date for delivery Collector/system:*

---

Responsável da Empresa/*Company responsible:*

*Data/Date:*

Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior

Nº CER12345679/ano

Tipo de edifício: Moradia Unifamiliar

Morada / Situação:

Localidade: Porto

Concelho: Porto

Data de emissão do certificado:

Nome do perito qualificado:

Imóvel descrito na sob o nº

Freguesia:

Região: Norte

Validade do certificado:

Número do perito qualif.:

Conservatória do Registo Predial de

Art. matricial nº

Fracção autón. 1

Fotografia do imóvel

Este certificado resulta de uma verificação efectuada ao edifício ou fracção autónoma, por um perito devidamente qualificado para o efeito, em relação aos requisitos previstos no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril), classificando o imóvel em relação ao respectivo desempenho energético. Neste certificado poderão estar identificadas possíveis medidas de melhoria de desempenho aplicáveis à fracção autónoma ou edifício, suas partes e respectivos sistemas energéticos e de ventilação, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

1. Etiqueta de desempenho energético

| INDICADORES DE DESEMPENHO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | CLASSE ENERGÉTICA                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div><div>Necessidades anuais globais estimadas de energia útil para climatização e águas quentes</div><div>100.51 kWh/m<sup>2</sup>.ano</div></div> <div><div>Necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e águas quentes</div><div>1.70 kgep/m<sup>2</sup>.ano</div></div> <div><div>Valor limite máximo regulamentar para as necessidades anuais globais de energia primária para climatização e águas quentes</div><div>4.54 kgep/m<sup>2</sup>.ano</div></div> <div><div>Emissões anuais de gases de efeito de estufa associadas à en. primária para climatização e águas quentes</div><div>toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por ano</div></div> | <div><div><div>Melhor</div><div><div>A A<sup>+</sup></div><div>B<sup>-</sup> B</div><div>C</div><div>D</div><div>E</div><div>F</div><div>G</div><div>Pior</div></div><div>A</div></div></div> |

2. Desagregação das necessidades nominais de energia útil

| Necessidades nominais de energia útil para... | Valor estimado para as condições de conforto térmico de referência | Valor limite regulamentar para as necessidades anuais |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Aquecimento                                   | 79.20 kWh/m <sup>2</sup> .ano                                      | 85.30 kWh/m <sup>2</sup> .ano                         |
| Arrefecimento                                 | 12.03 kWh/m <sup>2</sup> .ano                                      | 16.00 kWh/m <sup>2</sup> .ano                         |
| Preparação de águas quentes sanitárias        | 9.28 kWh/m <sup>2</sup> .ano                                       | 26.88 kWh/m <sup>2</sup> .ano                         |

Notas explicativas

As necessidades anuais globais estimadas de energia útil correspondem a uma previsão da quantidade de energia que terá de ser consumida por m<sup>2</sup> de área útil do edifício ou fracção autónoma para manter o edifício em condições de conforto térmico de referência e para preparação das águas quentes sanitárias necessárias aos ocupantes. Os valores foram calculados para condições convencionais de utilização, admitidas como idênticas para todos os edifícios, de forma a permitir comparações objectivas entre diferentes imóveis. Nos valores apresentados não estão incluídos os consumos com iluminação e outros equipamentos. Os consumos reais podem variar bastante dos indicados e dependem das atitudes e padrões de comportamento dos utilizadores.

As emissões de CO<sub>2</sub> equivalente traduzem a quantidade anual estimada de gases de efeito de estufa que podem ser libertados em resultado da conversão de uma quantidade de energia primária igual às respectivas necessidades anuais globais estimadas para o edifício, usando o factor de conversão de 0,025 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> por kgep.

A classe energética resulta da razão entre as necessidades anuais globais estimadas e as máximas admissíveis de energia primária para aquecimento, arrefecimento e para preparação de águas quentes sanitárias no edifício ou fracção autónoma. O melhor desempenho corresponde à classe A<sup>+</sup>, seguida das classes A, B, B<sup>-</sup>, C e seguintes, até à classe G de pior desempenho. Os edifícios com licença ou autorização de construção posterior a 4 de Julho de 2006 apenas poderão ter classe energética igual ou superior a B<sup>-</sup>.

Para mais informações sobre o desempenho energético, sobre a qualidade do ar interior e sobre a classificação energética de edifícios, consulte [www.adene.pt](http://www.adene.pt)

## 3. Descrição sucinta do edifício ou fracção autónoma

O edifício em estudo é uma moradia unifamiliar (T3) com 2 pisos, orientada a Nascente.

É um edifício com 4 frentes, tendo um grande envidraçado na fachada Nascente, e o piso inferior encontra-se semi-enterrado. O acesso interior da casa é feito por meio de umas escadas centrais existentes. O edifício está localizado num terreno em talude.

O piso do R/C tem uma garagem (41,08 m<sup>2</sup>), um escritório (18,40 m<sup>2</sup>), uma lavandaria (10,50m<sup>2</sup>) e uma casa de banho (2,95 m<sup>2</sup>). O acesso à moradia é feito por este piso e tem um pátio com entrada pela lavandaria.

O 1º andar tem 2 salas, uma sala de estar (30.60m<sup>2</sup>) e uma sala de jantar (21,10 m<sup>2</sup>), 3 quartos dois com a mesma área (13.95 m<sup>2</sup>) e outro ligeiramente maior (19,25 m<sup>2</sup>), 2 casa de banho iguais (5,25 m<sup>2</sup>), uma cozinha (11,95 m<sup>2</sup>) e um sanitário (1,30 m<sup>2</sup>). A sala de jantar tem ligação a um alpendre interior e a sala de estar tem um fogão de sala.

Área útil de pavimento

176,00 m<sup>2</sup>

Pé-direito médio ponderado

2,65 m

Ano de construção

## 4. Propostas de medidas de melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar interior

**Sugestões de medidas de melhoria** (implementação não obrigatória)  
(destacadas a negrito aquelas usadas no cálculo da nova classe energética)

Valores estimados para...

redução anual da  
factura energéticacusto de  
investimentoperíodo de retorno  
do investimento

1

2

3

4

n

As medidas de melhoria acima referidas correspondem a sugestões do perito qualificado na sequência da análise que este realizou ao desempenho energético e da qualidade do ar interior do edifício ou fracção autónoma e não pretendem por em causa as opções e soluções adoptadas pelo(s) arquitecto(s), projectista(s) ou técnico(s) de obra. As medidas apresentadas não são de aplicação obrigatória pelo proprietário do imóvel e encontram-se descritas em mais detalhe ao longo deste certificado.

Legenda:

Redução anual da factura energética

Custo estimado de investimento

Período de retorno de investimento

⊗⊗⊗⊗

mais de 1000 €/ano

⊕⊕⊕⊕

mais de 5000 €

⊘⊘⊘⊘

Inferior a 5 anos

⊗⊗⊗

entre 500 e 999 €/ano

⊕⊕⊕

entre 1000 e 4999 €

⊘⊘⊘

entre 5 e 10 anos

⊗⊗

entre 100 e 499 €/ano

⊕⊕

entre 200 e 999 €

⊘⊘

entre 10 e 15 anos

⊗

menos de 100 €/ano

⊕

menos de 200 €

⊘

mais de 15 anos

Se forem concretizadas todas as medidas destacadas na lista, a classificação energética poderá subir para...

?

Pressupostos e observações a considerar na interpretação da informação apresentada relativamente às medidas de melhoria:

5. Paredes, coberturas e pavimentos

| PAREDES                                                                                                               |                                                               |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------|
| Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)                                                                              | Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em W/m².°C |        |
|                                                                                                                       | da solução                                                    | máximo |
| ▪ Reboco+Alvenaria de tijolo furado de 7+Poliestireno Extrudido+Betão Aparente                                        | 0.72                                                          | 1.60   |
| ▪ Reboco+ Alvenaria de tijolo furado de 7+Poliestireno Extrudido+Caixa de Ar+Alvenaria de Granito                     | 0.58                                                          | 1.60   |
| ▪ Reboco+ Alvenaria de tijolo furado de 7+Poliestireno Extrudido+Caixa de Ar+ Betão Aparente                          | 0.58                                                          | 1.60   |
| ▪ Reboco+ Alvenaria de tijolo furado de 15+Poliestireno Extrudido+Caixa de Ar+ Alvenaria de tijolo furado de 7+Reboco | 0.47                                                          | 1.60   |
| ▪ Reboco+Alvenaria de tijolo de 7+Poliestireno Extrudido+Caixa de Ar+ Alvenaria de tijolo de 7+ Reboco                | 0.60                                                          | 1.60   |
| Sugestões de medidas de melhoria associadas                                                                           |                                                               |        |
| Proposta n                                                                                                            |                                                               |        |
| Proposta n                                                                                                            |                                                               |        |

| COBERTURAS                                                                                                                                |                                                               |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------|
| Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)                                                                                                  | Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em W/m².°C |        |
|                                                                                                                                           | da solução                                                    | máximo |
| ▪ Godo+Feltro Geotextil+Poliestireno Extrudido+Telas Betuminosas Polímeras+Camada de pendente de Betão Leve+ Laje de Betão Armado+ Reboco | 0.45                                                          | 1.00   |
| Sugestões de medidas de melhoria associadas                                                                                               |                                                               |        |
| Proposta n                                                                                                                                |                                                               |        |
| Proposta n                                                                                                                                |                                                               |        |

| PAVIMENTOS                                                                      |                                                               |        |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------|
| Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)                                        | Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em W/m².°C |        |
|                                                                                 | da solução                                                    | máximo |
| ▪ Soalho de Madeira+Caixa de Ar+ Poliestireno Extrudido+ Laje Aligeirada+Reboco | 0.63                                                          | 1.30   |
| Sugestões de medidas de melhoria associadas                                     |                                                               |        |
| Proposta n                                                                      |                                                               |        |
| Proposta n                                                                      |                                                               |        |

6. Vãos envidraçados

| Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)    | Factor solar na estação de arrefecimento (Verão) |        |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------|
|                                             | da solução                                       | máximo |
| ▪ Vidro duplo especial 8+12+6               | 0.47                                             | 0.50   |
| Sugestões de medidas de melhoria associadas |                                                  |        |

|            |  |
|------------|--|
| Proposta n |  |
| Proposta n |  |

Nota: Apenas vão envidraçados com área superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que servem, não orientados a Norte e considerando o(s) respectivo(s) dispositivos de protecção 100% activos (portadas, persianas, estores, cortinas, etc.)

## 7. Climatização

|                                                    |  |
|----------------------------------------------------|--|
| <b>SISTEMA(S) DE AQUECIMENTO</b>                   |  |
| <b>Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)</b>    |  |
| ▪ Caldeira a Gás Natural                           |  |
| ▪                                                  |  |
| <b>Sugestões de medidas de melhoria associadas</b> |  |
| Proposta n                                         |  |
| Proposta n                                         |  |

|                                                    |  |
|----------------------------------------------------|--|
| <b>SISTEMA(S) DE ARREFECIMENTO</b>                 |  |
| <b>Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)</b>    |  |
| ▪ Máquina Frigorífica com eficiência (COP) de 3    |  |
| ▪                                                  |  |
| <b>Sugestões de medidas de melhoria associadas</b> |  |
| Proposta n                                         |  |
| Proposta n                                         |  |

## 8. Preparação de Águas Quentes Sanitárias (AQS)

|                                                            |                                            |         |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------|
| <b>SISTEMAS CONVENCIONAIS (USAM ENERGIA NÃO RENOVÁVEL)</b> |                                            |         |
| <b>Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)</b>            | <b>Necessidades anuais de energia útil</b> |         |
| ▪ Caldeira a Gás Natural                                   | 9,27                                       | kWh/ano |
| ▪                                                          |                                            | kWh/ano |
| <b>Sugestões de medidas de melhoria associadas</b>         |                                            |         |
| Proposta n                                                 |                                            |         |
| Proposta n                                                 |                                            |         |

## 9. Sistemas de aproveitamento de fontes de energia renováveis

|                                                                             |                                       |         |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------|
| <b>SISTEMA DE COLECTORES SOLARES PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA</b> |                                       |         |
| <b>Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)</b>                             | <b>Energia fornecida pelo sistema</b> |         |
| ▪ SonnerKraft_Sk500_N                                                       | 2095                                  | kWh/ano |
| ▪                                                                           |                                       | kWh/ano |
| <b>Sugestões de medidas de melhoria associadas</b>                          |                                       |         |
| Proposta n                                                                  |                                       |         |
| Proposta n                                                                  |                                       |         |

| OUTROS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS |                                |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)                          | Energia fornecida pelo sistema |
| ▪                                                                 | kWh/ano                        |
| ▪                                                                 | kWh/ano                        |
| Sugestões de medidas de melhoria associadas                       |                                |
| Proposta n                                                        |                                |
| Proposta n                                                        |                                |

10. Ventilação

| Descrição dos principais elementos envolvidos e da forma como se processa a ventilação |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--|
| ▪ Ventilação Natural                                                                   |  |
| ▪                                                                                      |  |
| Sugestões de medidas de melhoria associadas                                            |  |
| Proposta n                                                                             |  |
| Proposta n                                                                             |  |

Observações e notas ao presente certificado energético e da qualidade do ar interior

|   |
|---|
| ▪ |
| ▪ |
| ▪ |
| ▪ |

# ANEXO B

## B.1. FOLHAS DE CÁLCULO DE CADA SIMULAÇÃO

No Anexo B.1, estão as folhas de cálculo apresentadas pelo RCCTE respectivas de todas as simulações, embora para a Simulação 3, 4 e 5 apenas estejam apresentadas as folhas de cálculo referentes às necessidades de energia para a produção de AQS e às necessidades de energia primária, uma vez que todas as outras folhas de cálculo são comuns à Simulação 2.

## B.2. PORMENORES CONSTRUTIVOS E RESPECTIVA INÉRCIA TÉRMICA PARA $U_{MÁX}$

No Anexo B.2 estão apresentados os pormenores construtivos e o respectivo cálculo da inércia térmica para as soluções construtivas referentes aos coeficientes de transmissão térmica máximos estipulados pelo RCCTE.

## B.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS E RESPECTIVA INÉRCIA TÉRMICA PARA $U_{REF}$

No Anexo B.3 estão apresentados os pormenores construtivos e o respectivo cálculo da inércia térmica para as soluções construtivas referentes aos coeficientes de transmissão térmica de referência estipulados pelo RCCTE.

# SIMULAÇÃO 1

## Folha de Cálculo FCIV.1a Perdas associadas à Envolvente Exterior

| Paredes Exteriores | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/m <sup>2</sup> .°C) | U.A<br>(W/°C) |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| NOROESTE           | 10,29                     | 1,6                         | 16,46         |
| SUDESTE            | 24,59                     | 1,6                         | 39,34         |
| SUDOESTE           | 2,91                      | 1,6                         | 4,66          |
| NORDESTE           | 26,69                     | 1,6                         | 42,70         |
|                    | 64,48                     | TOTAL                       | 103,17        |

| Coberturas Exteriores | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/m <sup>2</sup> .°C) | U.A<br>(W/°C) |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| COBERTURA             | 95,72                     | 1                           | 95,72         |
| TERRAÇO               | 34,72                     | 1                           | 34,72         |
|                       | 130,44                    | TOTAL                       | 95,72         |

| Pontes térmicas lineares                   | Comp.<br>B (m) | ψ<br>(W/m.°C) | ψ.B<br>(W/°C) |
|--------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Ligações entre:                            |                |               |               |
| Fachada com pavimentos intermédios         | 28,84          | 0,50          | 14,42         |
| Fachada com cobertura inclinada            | 33,9           | 0,50          | 16,95         |
| Fachada com Terraço                        | 6,65           | 0,50          | 3,33          |
| Duas paredes verticais                     | 2,46           | 0,50          | 1,23          |
| Fachada com padieira, ombreira ou peitoril | 26,04          | 0,20          | 5,21          |
|                                            |                | TOTAL         | 41,13         |

**Perdas pela envolvente exterior  
da Fracção Autónoma**

|        |              |        |
|--------|--------------|--------|
| (W/°C) | <b>TOTAL</b> | 240,02 |
|--------|--------------|--------|

**Folha de Cálculo FCIV.1b**  
**Perdas associadas à Envolvente Interior**

| <b>Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> | <b>τ (-)</b> | <b>τ.U.A (W/°C)</b> |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------|
| EDIFÍCIOS ADJACENTES                                                     | 65,4                        | 1,60                          | 0,6          | 62,78               |
| PAREDE DA CAIXA DE ESCADAS                                               | 3,94                        | 2,00                          | 0,8          | 6,30                |
|                                                                          | 69,34                       |                               | <b>TOTAL</b> | <b>62,78</b>        |

| <b>Pavimentos sobre espaços não-úteis</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> | <b>τ (-)</b> | <b>τ.U.A (W/°C)</b> |
|-------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------|
| LAJE DE ESCADA                            | 12                          | 1,30                          | 0,8          | 12,48               |
|                                           |                             |                               | <b>TOTAL</b> | <b>12,48</b>        |

| <b>Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ&gt;0,7)</b> | <b>Comp. B (m)</b> | <b>ψ (W/m.°C)</b> | <b>τ (-)</b> | <b>τ.ψ.B (W/°C)</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------|---------------------|
| Fachada com Pavimentos sobre locais não aquecidos                                             | 8                  | 0,8               | 0,8          | 5,12                |
|                                                                                               |                    |                   | <b>TOTAL</b> | <b>5,12</b>         |

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma**

(W/°C)

|              |              |
|--------------|--------------|
| <b>TOTAL</b> | <b>80,38</b> |
|--------------|--------------|

*Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:*

*Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;*

*Edifícios anexos;*

*Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;*

*Sotãos não-habitados.*

**Folha de Cálculo FCIV.1c**  
**Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores**

| <b>Vãos envidraçados exteriores</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> | <b>U.A (W/°C)</b> |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| <b>Verticais:</b>                   |                             |                               |                   |
| SUDESTE - Quarto                    | 2,4                         | 3,3                           | 7,92              |
| NOROESTE - Sala                     | 2,34                        | 3,3                           | 7,72              |
| NOROESTE - Cozinha                  | 1,17                        | 3,3                           | 3,86              |
| NORDESTE - Caixa de escadas         | 2,4                         | 3,3                           | 7,92              |
| <b>Horizontais:</b>                 |                             |                               |                   |
| COBERTURA                           | 2,4                         | 3,3                           | 7,92              |
|                                     | 10,71                       | <b>TOTAL</b>                  | <b>35,34</b>      |

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

|                        |                                     |                   |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Área Útil de Pavimento | <input type="text" value="73,91"/>  | (m <sup>2</sup> ) |
| Pé-direito médio       | <input type="text" value="3,86"/>   | (m)               |
|                        | =                                   |                   |
| Volume interior (V)    | <input type="text" value="285,29"/> | (m <sup>3</sup> ) |

**VENTILAÇÃO NATURAL** *(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*

Cumprê a NP 1037-1? (S ou N)  se SIM: RPH =

Se NÃO:

|                                                       |                  |                                  |                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classe da Caixilharia                                 | (s/c, 1, 2 ou 3) | <input type="text" value="S/C"/> | <div>Taxa de Renovação Nominal:</div> <div>Ver Quadro IV.1</div> <div>RPH= <input type="text" value="0,95"/></div> |
| Caixas de Estore                                      | (S ou N)         | <input type="text" value="N"/>   |                                                                                                                    |
| Classe de Exposição                                   | (1, 2, 3 ou 4)   | <input type="text" value="2"/>   |                                                                                                                    |
| <i>(Ver Quadro IV.2)</i><br>Aberturas Auto-reguladas? | (S ou N)         | <input type="text" value="N"/>   |                                                                                                                    |
| Área de envidraçados > 15% Ap?                        | (S ou N)         | <input type="text" value="N"/>   |                                                                                                                    |
| Portas Exteriores bem vedadas?                        | (S ou N)         | <input type="text" value="N"/>   |                                                                                                                    |

|                           |                                     |        |
|---------------------------|-------------------------------------|--------|
| Volume                    | <input type="text" value="285,29"/> |        |
|                           | x                                   |        |
| Taxa de Renovação Nominal | <input type="text" value="0,950"/>  |        |
|                           | x                                   |        |
|                           | <input type="text" value="0,34"/>   |        |
|                           | =                                   |        |
| TOTAL                     | <input type="text" value="92,15"/>  | (W/°C) |

**Folha de Cálculo FC IV.1e**  
**Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)**

**Ganhos Solares:**

| Orientação do vão envidraçado | Tipo (simples ou duplo) | Área A (m <sup>2</sup> ) | Factor de orientação X (-) | Factor Solar do vidro g (-) | Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff | Fracção Envidraçada Fg (-) | Factor de Sel. Angular Fw (-) | Área Efectiva Ae (m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| SUDESTE - Quarto              | Simples                 | 2,4                      | 0,84                       | 0,7                         | 0,9                                 | 0,65                       | 0,9                           | 0,74                               |
| NOROESTE - Sala               | Simples                 | 2,34                     | 0,33                       | 0,7                         | 0,9                                 | 0,65                       | 0,9                           | 0,28                               |
| NOROESTE - Cozinha            | Simples                 | 1,17                     | 0,33                       | 0,7                         | 0,9                                 | 0,65                       | 0,9                           | 0,14                               |
| NORDESTE - Caixa de Escadas   | Simples                 | 2,4                      | 0,33                       | 0,7                         | 0,9                                 | 0,65                       | 0,9                           | 0,29                               |
| SUDOESTE - Cobertura          | Simples                 | 2,4                      | 0,89                       | 0,7                         | 0,5                                 | 0,65                       | 0,9                           | 0,44                               |

|                                                                                                                     |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m <sup>2</sup> )                                                 | 1,90    |
|                                                                                                                     | x       |
| Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul) na zona 12 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m <sup>2</sup> .mês) | 93      |
|                                                                                                                     | x       |
| Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)                                                         | 6,7     |
|                                                                                                                     | =       |
| Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)                                                                                     | 1183,35 |

**Ganhos Internos**

|                                      |         |                     |
|--------------------------------------|---------|---------------------|
| Ganhos internos médios (Quadro IV.3) | 4       | (W/m <sup>2</sup> ) |
|                                      | x       |                     |
| Duração da Estação de Aquecimento    | 6,70    | (meses)             |
|                                      | x       |                     |
| Área Útil de pavimento               | 73,91   | (m <sup>2</sup> )   |
|                                      | x       |                     |
|                                      | 0,72    |                     |
|                                      | =       |                     |
| Ganhos Internos Brutos               | 1426,17 | (kWh/ano)           |

**Ganhos Úteis Totais:**

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$$

|          |
|----------|
| 2609,51  |
| 17306,76 |

Inércia do edifício: 3 a = 4,2 γ = 0,15

(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η) 1,00

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos x 2609,51

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano) 2608,73

**Folha de Cálculo FC IV.1f**  
**Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)**

**Factor de forma**

|                         |                            |                |
|-------------------------|----------------------------|----------------|
| De FCIV.1a e FCIV.1c:   | (Áreas)                    | m <sup>2</sup> |
| Paredes exteriores      |                            | 64,48          |
| Coberturas exteriores   |                            | 130,44         |
| Envidraçados exteriores |                            | 10,71          |
| De FCIV.1b:             | (Áreas equivalentes, A .τ) |                |
| Paredes interiores      |                            | 69,34          |
| Pavimentos interiores   |                            | 12             |
| Área total:             |                            | 286,97         |
|                         |                            | /              |
| Volume (de FCIV.1d):    |                            | 285,29         |
|                         |                            | =              |
| <b>FF</b>               |                            | 1,01           |

**Graus-dias no local**  
**(°C.dia)**

(do Quadro III.1)

1610

$$Ni = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$$

$$Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}$$

$$Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}] (1,2 - 0,2FF)$$

$$Ni = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$$

Para FF < 0,5

Para 0,5 < FF < 1

Para 1 < FF < 1,5

Para FF > 1,5

Auxiliar

68,095

98,230

98,115

114,899

**Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)**

98,11

**Folha de Cálculo FC IV.2**  
**Cálculo do Indicador Nic**

| <b>Perdas térmicas associadas a:</b> | <b>(W/°C)</b> |
|--------------------------------------|---------------|
| Envolvente Exterior (de FCIV.1a)     | 240,02        |
| Envolvente Interior (de FCIV.1b)     | 80,38         |
| Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)       | 35,34         |
| Renovação de Ar (de FCIV.1d)         | 92,15         |

|                                                                      |          |
|----------------------------------------------------------------------|----------|
|                                                                      | =        |
| Coeficiente Global de Perdas<br>(W/°C)                               | 447,90   |
|                                                                      | x        |
| Graus-dias no Local<br>(°C.dia)                                      | 1610,00  |
|                                                                      | x        |
|                                                                      | 0,024    |
|                                                                      | =        |
| Necessidades Brutas de Aquecimento<br>(kWh/ano)                      | 17306,76 |
|                                                                      | +        |
| Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh)) | 0        |
|                                                                      | -        |
| Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de<br>FCIV.1e)                        | 2608,73  |
|                                                                      | =        |
| Necessidades de Aquecimento<br>(kWh/ano)                             | 14698,03 |
|                                                                      | /        |
| Área Útil de Pavimento<br>(m2)                                       | 73,91    |
|                                                                      | =        |
| Nec. Nominais de Aquecimento - Nic<br>(kWh/m2.ano)                   | 198,86   |
|                                                                      | ≤        |
| Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni<br>(kWh/m2.ano)                 | 98,11    |

Não verifica

K.O.

Nic/Ni =

202,69%

**Folha de cálculo FCV.1a**  
**Perdas**

|                                                                                    |           |        |        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------|--------|
| Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)                                      | (FCIV.1a) | 103,17 | (W/°C) |
|                                                                                    |           | +      |        |
| Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)                                   | (FCIV.1a) | 95,72  | (W/°C) |
|                                                                                    |           | +      |        |
| Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)                                | (FCIV.1c) | 35,34  | (W/°C) |
|                                                                                    |           | +      |        |
| Perdas associadas à renovação do ar ( valor final da FCIV.1d / (1-η))              |           | 92,15  | (W/°C) |
| (o efeito do recuperador de calor, caso exista, não deve ser considerado no Verão) |           |        |        |
|                                                                                    |           | =      |        |
| <b>Perdas específicas totais</b>                                                   | (Q1a)     | 326,38 | (W/°C) |

|                                                                             |       |         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|---------|--------|
| Temperatura interior de referência                                          |       | 25      | (°C)   |
|                                                                             |       | -       |        |
| Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9) |       | 19      | (°C)   |
|                                                                             |       | =       |        |
| Diferença de temperatura interior- exterior                                 |       | 6       |        |
|                                                                             |       | x       |        |
| Perdas específicas totais                                                   | (Q1a) | 326,38  | (W/°C) |
|                                                                             |       | x       |        |
|                                                                             |       | 2,928   |        |
|                                                                             |       | =       |        |
| <b>Perdas térmicas totais</b>                                               | (Q1b) | 5733,85 | (kWh)  |

**Folha de Cálculo FC V.1b**  
**Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)**

Perdas associadas às coberturas exteriores

| Coberturas exteriores | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/m <sup>2</sup> °C) | U.A<br>(W/°C) |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|
| COBERTURA             | 95,72                     | 1                          | 95,72         |
| TERRAÇO               | 34,72                     | 1                          | 34,72         |
| TOTAL                 |                           |                            | 95,72         |

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

| Envidraçados Exteriores     | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/m <sup>2</sup> °C) | U.A<br>(W/°C) |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|
| SUDESTE - Quarto            | 2,4                       | 3,3                        | 7,92          |
| NOROESTE - Sala             | 2,34                      | 3,3                        | 7,72          |
| NOROESTE - Cozinha          | 1,17                      | 3,3                        | 3,86          |
| NORDESTE - Caixa de escadas | 2,4                       | 3,3                        | 7,92          |
| COBERTURA                   | 2,4                       | 3,3                        | 7,92          |
| TOTAL                       |                           |                            | 35,34         |

Folha de Cálculo FC V.1c  
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (inclui paredes e cobertura)

|                                                                                      |          |         |          |          |                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|----------|----------|------------------------------|
| Orientação                                                                           | NOROESTE | SUDESTE | SUDOESTE | NORDESTE |                              |
| Área, A (m <sup>2</sup> )                                                            | 10,29    | 24,59   | 2,91     | 26,69    |                              |
|                                                                                      | x        | x       | x        | x        |                              |
| U (W/m <sup>2</sup> °C)                                                              | 1,6      | 1,6     | 1,6      | 1,6      |                              |
|                                                                                      | x        | x       | x        | x        |                              |
| Coeficiente de absorção, α<br>(Quadro V.5)                                           | 0,4      | 0,4     | 0,4      | 0,4      |                              |
|                                                                                      | =        | =       | =        | =        |                              |
| α.U.A (W/°C)                                                                         | 6,59     | 15,74   | 1,86     | 17,08    |                              |
|                                                                                      | x        | x       | x        | x        |                              |
| Int. de rad. solar na estação de<br>arrefec.<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9) | 300      | 430     | 430      | 300      |                              |
|                                                                                      | x        | x       | x        | x        |                              |
|                                                                                      | 0,04     | 0,04    | 0,04     | 0,04     |                              |
|                                                                                      | =        | =       | =        | =        |                              |
| Ganhos Solares pela<br>Envolvente Opaca Exterior                                     | 79,03    | 270,69  | 32,03    | 204,98   | <b>TOTAL</b><br>586,73 (kWh) |

**Folha de Cálculo FC V.1d**  
**Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores**

**POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL**

|                                                              |                     |                    |                       |                                |                         |              |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------|
| Orientação                                                   | SUDESTE<br>- Quarto | NOROESTE<br>- Sala | NOROESTE<br>- Cozinha | NORDESTE -<br>Caixa de Escadas | SUDOESTE -<br>Cobertura |              |
| Área, A (m <sup>2</sup> )                                    | 2,4                 | 2,34               | 1,17                  | 1,17                           | 2,4                     |              |
|                                                              | x                   | x                  | x                     | x                              | x                       |              |
| Factor solar do vão<br>envidraçado                           | 0,42                | 0,42               | 0,42                  | 0,42                           | 0,7                     |              |
| (protecção solar activada a 70%)                             | x                   | x                  | x                     | x                              | x                       |              |
| Fracção envidraçada, Fg<br>(Quadro IV.5)                     | 0,65                | 0,65               | 0,65                  | 0,65                           | 0,65                    |              |
|                                                              | x                   | x                  | x                     | x                              | x                       |              |
| Factor de obstrução, Fs                                      | 0,9                 | 0,9                | 0,9                   | 0,9                            | 0,9                     |              |
|                                                              | x                   | x                  | x                     | x                              | x                       |              |
| Factor de selectividade do vidro,<br>Fw (Quadro V.3)         | 0,9                 | 0,9                | 0,9                   | 0,9                            | 0,9                     |              |
|                                                              | =                   | =                  | =                     | =                              | =                       |              |
| Área Efectiva, Ae                                            | 0,53                | 0,52               | 0,26                  | 0,26                           | 0,88                    |              |
|                                                              | x                   | x                  | x                     | x                              | x                       |              |
| Int. de rad. solar na estação de<br>arrefec.                 | 430                 | 300                | 300                   | 300                            | 430                     |              |
| (kWh/m2) (Quadro III.9)                                      | =                   | =                  | =                     | =                              | =                       |              |
|                                                              |                     |                    |                       |                                |                         | <b>TOTAL</b> |
| <b>Ganhos Solares pelos Vãos<br/>Envidraçados Exteriores</b> | 228,21              | 155,23             | 77,62                 | 77,62                          | 380,34                  | 919,02 (KWh) |

**Folha de cálculo FC V.1f**  
**Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)**

|                                                                   |         |       |
|-------------------------------------------------------------------|---------|-------|
| <b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)</b> | 919,02  | (KWh) |
|                                                                   | +       |       |
| <b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)</b>     | 586,73  | (KWh) |
|                                                                   | +       |       |
| <b>Ganhos internos (FCV.1e)</b>                                   | 865,63  | (KWh) |
|                                                                   | =       |       |
| <b>Ganhos Térmicos Totais</b>                                     | 2371,38 | (KWh) |

Folha de cálculo FCV.1g  
Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f) 2371,38 (kWh)

/

Perdas Térmicas Totais (FCV.1a) 5733,85 (kWh)

=

Relação Ganhos-Perdas γ 0,41

Inércia do edifício (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3) 3

Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1) 1 -

Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1) 0,99

=

0,01 x

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f) 2371,38 (kWh)

=

Necessidades Brutas de Arrefecimento 34,45 (kWh/ano)

+

Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído) 0,00 (Ev=Pvx24x0,122(kWh))

=

TOTAL 34,45 (kWh/ano)

|                                                                     |                  |                           |  |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|--|
|                                                                     | /                |                           |  |
| Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )                            | <div>73,91</div> |                           |  |
|                                                                     | =                |                           |  |
| Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc                        | <div>0,47</div>  | (kWh/m <sup>2</sup> .ano) |  |
|                                                                     | ≤                |                           |  |
| Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv<br>(Nº2 do Artigo 15º) | <div>16</div>    | (kWh/m <sup>2</sup> .ano) |  |

Verifica

O.K.

Nvc/Nv =

2,91%

## Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

|                                                                                                                 |         |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------|
| <b>Nº de ocupantes</b> (Quadro VI.1)                                                                            | 2,00    |                            |
| <b>Consumo médio diário de referência de AQS</b> ( $M_{AQS}$ )<br>(edifícios residenciais - 40 litros/ocupante) | 80,00   |                            |
| <b>Aumento de temperatura necessário</b> ( $\Delta T$ )<br>(considerar igual a 45°C)                            | 45,00   |                            |
| <b>Número anual de dias de consumo</b> ( $n_d$ )<br>(Quadro VI.2)                                               | 365,00  |                            |
| <b>Energia despendida com sistemas convencionais</b> ( $Q_a$ )                                                  | 1528,26 | (kW.h/ano)                 |
| <b>Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS</b><br>( $\eta_a$ )<br>(Ponto 3 do Anexo VI)         | 0,90    |                            |
| <b><math>E_{solar}</math></b>                                                                                   | 0,00    | Programa SOLTERM           |
| <b><math>E_{ren}</math></b>                                                                                     | 0,00    |                            |
| <b>Necessidades de energia para preparação de AQS, <math>N_{ac}</math></b>                                      | 22,97   | (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) |
| <b>Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, <math>N_a</math></b>                            | 32,00   | (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) |

**$N_{ac} \leq N_a$ ?** Verifica

$$N_{ac}/N_a = 71,79\%$$

## Necessidades Globais de Energia Primária

|                                                  |        |                     |
|--------------------------------------------------|--------|---------------------|
| <b>N<sub>i</sub></b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 98,11  |                     |
| <b>N<sub>ic</sub></b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 198,86 |                     |
| <b>N<sub>v</sub></b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 16,00  |                     |
| <b>N<sub>vc</sub></b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 0,47   |                     |
| <b>N<sub>a</sub></b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 32,00  |                     |
| <b>N<sub>ac</sub></b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 22,97  |                     |
| $\eta^i$                                         | 1,00   | Art. 18.º - ponto 2 |
| $\eta^v$                                         | 3,00   | Art. 18.º - ponto 2 |
| <b>F<sub>pui</sub></b> (kgep/kW.h)               | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)               | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>pua</sub></b> (kgep/kW.h)               | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |

**Necessidades nominais globais  
de energia primária, N<sub>tc</sub>**

12,43

(kgep/m<sup>2</sup>.ano)

**Valor máximo das nec. nominais  
globais de energia primária, N<sub>t</sub>**

5,35

(kgep/m<sup>2</sup>.ano)

**N<sub>tc</sub> ≤**

**N<sub>t</sub>?** Não verifica

N<sub>tc</sub>/N<sub>t</sub>

= 232,54%

## SIMULAÇÃO 2

### Folha de Cálculo FCIV.1a Perdas associadas à Envolvente Exterior

| Paredes Exteriores | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/m <sup>2</sup> .°C) | U.A<br>(W/°C) |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| NOROESTE           | 10,29                     | 0,6                         | 6,17          |
| SUDESTE            | 24,59                     | 0,6                         | 14,75         |
| SUDOESTE           | 2,91                      | 0,6                         | 1,75          |
| NORDESTE           | 26,69                     | 0,6                         | 16,01         |
|                    | 64,48                     | TOTAL                       | 38,69         |

| Coberturas Exteriores | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/m <sup>2</sup> .°C) | U.A<br>(W/°C) |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| COBERTURA             | 95,72                     | 0,45                        | 43,07         |
| TERRAÇO               | 34,72                     | 0,45                        | 15,62         |
|                       | 130,44                    | TOTAL                       | 43,07         |

| Pontes térmicas lineares                   | Comp.<br>B (m) | ψ<br>(W/m.°C) | ψ.B<br>(W/°C) |
|--------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Ligações entre:                            |                |               |               |
| Fachada com pavimentos intermédios         | 28,84          | 0,50          | 14,42         |
| Fachada com cobertura inclinada            | 33,9           | 0,50          | 16,95         |
| Fachada com Terraço                        | 6,65           | 0,50          | 3,33          |
| Duas paredes verticais                     | 2,46           | 0,50          | 1,23          |
| Fachada com padieira, ombreira ou peitoril | 26,04          | 0,20          | 5,21          |
|                                            |                | TOTAL         | 41,13         |

Perdas pela envolvente exterior  
da Fracção Autónoma

|        |              |        |
|--------|--------------|--------|
| (W/°C) | <b>TOTAL</b> | 122,90 |
|--------|--------------|--------|

**Folha de Cálculo FCIV.1b**  
**Perdas associadas à Envoltente Interior**

| <b>Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> | <b>τ (-)</b> | <b>τ.U.A (W/°C)</b> |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------|
| EDIFÍCIOS ADJACENTES                                                     | 65,4                        | 0,60                          | 0,6          | 23,54               |
| PAREDE DA CAIXA DE ESCADAS                                               | 3,94                        | 1,20                          | 0,8          | 3,78                |
|                                                                          | 69,34                       |                               | <b>TOTAL</b> | <b>23,54</b>        |

| <b>Pavimentos sobre espaços não-úteis</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> | <b>τ (-)</b> | <b>τ.U.A (W/°C)</b> |
|-------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------|---------------------|
| LAJE DE ESCADA                            | 12                          | 0,90                          | 0,8          | 8,64                |
|                                           |                             |                               | <b>TOTAL</b> | <b>8,64</b>         |

| <b>Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ&gt;0,7)</b> | <b>Comp. B (m)</b> | <b>ψ (W/m.°C)</b> | <b>τ (-)</b> | <b>τ.ψ.B (W/°C)</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------|---------------------|
| Fachada com Pavimentos sobre locais não aquecidos                                             | 8                  | 0,8               | 0,8          | 5,12                |
|                                                                                               |                    |                   | <b>TOTAL</b> | <b>5,12</b>         |

**Perdas pela envoltente interior da Fracção Autónoma**

(W/°C)

|              |              |
|--------------|--------------|
| <b>TOTAL</b> | <b>37,30</b> |
|--------------|--------------|

**Folha de Cálculo FCIV.1c**  
**Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores**

| <b>Vãos envidraçados exteriores</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b> | <b>U.A (W/°C)</b> |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| <b>Verticais:</b>                   |                             |                               |                   |
| SUDESTE - Quarto                    | 2,4                         | 3,3                           | 7,92              |
| NOROESTE - Sala                     | 2,34                        | 3,3                           | 7,72              |
| NOROESTE - Cozinha                  | 1,17                        | 3,3                           | 3,86              |
| NORDESTE - Caixa de escadas         | 2,4                         | 3,3                           | 7,92              |
| <b>Horizontais:</b>                 |                             |                               |                   |
| COBERTURA                           | 2,4                         | 3,3                           | 7,92              |
|                                     | <b>TOTAL</b>                |                               | <b>35,34</b>      |

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

|                        |                                     |                   |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Área Útil de Pavimento | <input type="text" value="73,91"/>  | (m <sup>2</sup> ) |
| Pé-direito médio       | <input type="text" value="3,86"/>   | (m)               |
|                        | =                                   |                   |
| Volume interior (V)    | <input type="text" value="285,29"/> | (m <sup>3</sup> ) |

|                                        |                  |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
|----------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------------------|
| <b>VENTILAÇÃO NATURAL</b>              |                  | <i>(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)</i> |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| Cumprir a NP 1037-1?                   | (S ou N)         | <input type="text" value="N"/>                                                                                          | se SIM: RPH = <input type="text" value="0,6"/>                                                                                                                      |                            |                 |                                        |
| Se NÃO:                                |                  |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| Classe da Caixilharia                  | (s/c, 1, 2 ou 3) | <input type="text" value="S/C"/>                                                                                        | <table border="1"> <tr><td>Taxa de Renovação Nominal:</td></tr> <tr><td>Ver Quadro IV.1</td></tr> <tr><td>RPH= <input type="text" value="0,95"/></td></tr> </table> | Taxa de Renovação Nominal: | Ver Quadro IV.1 | RPH= <input type="text" value="0,95"/> |
| Taxa de Renovação Nominal:             |                  |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| Ver Quadro IV.1                        |                  |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| RPH= <input type="text" value="0,95"/> |                  |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| Caixas de Estore                       | (S ou N)         | <input type="text" value="N"/>                                                                                          |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| Classe de Exposição                    | (1, 2, 3 ou 4)   | <input type="text" value="2"/>                                                                                          |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| <i>(Ver Quadro IV.2)</i>               |                  |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| Aberturas Auto-reguladas?              | (S ou N)         | <input type="text" value="N"/>                                                                                          |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| Área de envidraçados > 15% Ap?         | (S ou N)         | <input type="text" value="N"/>                                                                                          |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |
| Portas Exteriores bem vedadas?         | (S ou N)         | <input type="text" value="N"/>                                                                                          |                                                                                                                                                                     |                            |                 |                                        |

|                           |                                     |        |
|---------------------------|-------------------------------------|--------|
| Volume                    | <input type="text" value="285,29"/> |        |
|                           | x                                   |        |
| Taxa de Renovação Nominal | <input type="text" value="0,950"/>  |        |
|                           | x                                   |        |
|                           | <input type="text" value="0,34"/>   |        |
|                           | =                                   |        |
| TOTAL                     | <input type="text" value="92,15"/>  | (W/°C) |

**Folha de Cálculo FC IV.1e**  
**Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)**

**Ganhos Solares:**

| Orientação do vão envidraçado | Tipo (simples ou duplo) | Área A (m <sup>2</sup> ) | Factor de orientação X (-) | Factor Solar do vidro g (-) | Factor de Obstrução Fs (-)<br>Fh.Fo.Ff | Fracção Envidraçada Fg (-) | Factor de Sel. Angular Fw (-) | Área Efectiva Ae (m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| SUDESTE - Quarto              | Simples                 | 2,4                      | 0,84                       | 0,7                         | 0,9                                    | 0,65                       | 0,9                           | 0,74                               |
| NOROESTE - Sala               | Simples                 | 2,34                     | 0,33                       | 0,7                         | 0,9                                    | 0,65                       | 0,9                           | 0,28                               |
| NOROESTE - Cozinha            | Simples                 | 1,17                     | 0,33                       | 0,7                         | 0,9                                    | 0,65                       | 0,9                           | 0,14                               |
| NORDESTE - Caixa de Escadas   | Simples                 | 2,4                      | 0,33                       | 0,7                         | 0,9                                    | 0,65                       | 0,9                           | 0,29                               |
| SUDOESTE - Cobertura          | Simples                 | 2,4                      | 0,89                       | 0,7                         | 0,5                                    | 0,65                       | 0,9                           | 0,44                               |

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m<sup>2</sup>)

1,90

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G<sub>sul</sub>)

na zona I2 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m<sup>2</sup>.mês)

93

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)

6,7

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

1183,35

**Ganhos Internos**

|                                      |         |                     |
|--------------------------------------|---------|---------------------|
| Ganhos internos médios (Quadro IV.3) | 4       | (W/m <sup>2</sup> ) |
|                                      | x       |                     |
| Duração da Estação de Aquecimento    | 6,70    | (meses)             |
|                                      | x       |                     |
| Área Útil de pavimento               | 73,91   | (m <sup>2</sup> )   |
|                                      | x       |                     |
|                                      | 0,72    |                     |
|                                      | =       |                     |
| Ganhos Internos Brutos               | 1426,17 | (kWh/ano)           |

**Ganhos Úteis Totais:**

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$$

|          |
|----------|
| 2609,51  |
| 11116,40 |

Inércia do edifício:       a =        $\gamma =$    
 (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos ( $\eta$ )

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)

**Folha de Cálculo FC IV.1f**  
**Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)**

**Factor de forma**

De FCIV.1a e FCIV.1c:      (Áreas)      m<sup>2</sup>

|                         |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Paredes exteriores      | <input type="text" value="64,48"/>  |
| Coberturas exteriores   | <input type="text" value="130,44"/> |
| Envidraçados exteriores | <input type="text" value="10,71"/>  |

De FCIV.1b:      (Áreas equivalentes, A  
                                          . $\tau$ )

|                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| Paredes interiores    | <input type="text" value="69,34"/> |
| Pavimentos interiores | <input type="text" value="12"/>    |

Área total:

/

Volume (de FCIV.1d):

=

**FF**

**Graus-dias no local**        
 (°C.dia)      (do Quadro III.1)

|                                                 |                   |          |         |
|-------------------------------------------------|-------------------|----------|---------|
| Ni = 4,5 + 0,0395 GD                            | Para FF < 0,5     | Auxiliar | 68,095  |
| Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD                 | Para 0,5 < FF < 1 |          | 98,230  |
| Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF) | Para 1 < FF < 1,5 |          | 98,115  |
| Ni = 4,05 + 0,06885 GD                          | Para FF > 1,5     |          | 114,899 |

**Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)**

**Folha de Cálculo FC IV.2**  
**Cálculo do Indicador Nic**

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| <b>Perdas térmicas associadas a:</b> | <b>(W/°C)</b> |
| Envolvente Exterior (de FCIV.1a)     | 122,90        |
| Envolvente Interior (de FCIV.1b)     | 37,30         |
| Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)       | 35,34         |
| Renovação de Ar (de FCIV.1d)         | 92,15         |

=

Coeficiente Global de Perdas  
(W/°C)

287,69

x

Graus-dias no Local  
(°C.dia)

1610,00

x

0,024

=

Necessidades Brutas de  
Aquecimento (kWh/ano)

11116,40

+

Consumo de Electricidade para os ventiladores  
( $E_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M$  (kWh))

0

-

Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de  
FCIV.1e)

2604,97

=

Necessidades de Aquecimento  
(kWh/ano)

8511,43

/

Área Útil de Pavimento  
(m<sup>2</sup>)

73,91

=

Nec. Nominais de Aquecimento - Nic  
(kWh/m<sup>2</sup>.ano)

115,16

≤

Nec. Nominais de Aquec. Máximas -  
Ni (kWh/m<sup>2</sup>.ano)

98,11

Não verifica

K.O.

Nic/Ni =

117,37%

**Folha de cálculo FCV.1a**  
**Perdas**

|                                                                                           |                                   |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|
| Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)                                             | (FCIV.1a)                         | 38,69  | (W/°C) |
|                                                                                           |                                   | +      |        |
| Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)                                          | (FCIV.1a)                         | 43,07  | (W/°C) |
|                                                                                           |                                   | +      |        |
| Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)                                       | (FCIV.1c)                         | 35,34  | (W/°C) |
|                                                                                           |                                   | +      |        |
| Perdas associadas à renovação do ar                                                       | ( valor final da FCIV.1d / (1-η)) | 92,15  | (W/°C) |
| <i>(o efeito do recuperador de calor, caso exista, não deve ser considerado no Verão)</i> |                                   |        |        |
|                                                                                           |                                   | =      |        |
| <b>Perdas específicas totais</b>                                                          | (Q1a)                             | 209,25 | (W/°C) |

|                                                              |       |         |        |
|--------------------------------------------------------------|-------|---------|--------|
| Temperatura interior de referência                           |       | 25      | (°C)   |
|                                                              |       | -       |        |
| Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento |       | 19      | (°C)   |
| (Quadro III.9)                                               |       | =       |        |
| Diferença de temperatura interior-exterior                   |       | 6       |        |
|                                                              |       | x       |        |
| Perdas específicas totais                                    | (Q1a) | 209,25  | (W/°C) |
|                                                              |       | x       |        |
|                                                              |       | 2,928   |        |
|                                                              |       | =       |        |
| <b>Perdas térmicas totais</b>                                | (Q1b) | 3676,18 | (kWh)  |

**Folha de Cálculo FC V.1b**  
**Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores**  
**(Verão)**

Perdas associadas às coberturas exteriores

| Coberturas exteriores | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/m <sup>2</sup> °C) | U.A<br>(W/°C) |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|
| COBERTURA             | 95,72                     | 0,45                       | 43,07         |
| TERRAÇO               | 34,72                     | 0,45                       | 15,62         |
| TOTAL                 |                           |                            | 43,07         |

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

| Envidraçados Exteriores     | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | U<br>(W/m <sup>2</sup> °C) | U.A<br>(W/°C) |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|
| SUDESTE - Quarto            | 2,4                       | 3,3                        | 7,92          |
| NOROESTE - Sala             | 2,34                      | 3,3                        | 7,72          |
| NOROESTE - Cozinha          | 1,17                      | 3,3                        | 3,86          |
| NORDESTE - Caixa de escadas | 2,4                       | 3,3                        | 7,92          |
| COBERTURA                   | 2,4                       | 3,3                        | 7,92          |
| TOTAL                       |                           |                            | 35,34         |

**Folha de Cálculo FC V.1c**  
**Ganhos Solares pela Envolvente Opaca**

|                                                                                   |      |      |      |      |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|
| Orientação                                                                        | NO   | SE   | SO   | NE   |       |
| Área, A (m <sup>2</sup> )                                                         | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  |       |
|                                                                                   | x    | x    | x    | x    |       |
| U (W/m <sup>2</sup> °C)                                                           | 1,6  | 1,6  | 1,6  | 1,6  |       |
|                                                                                   | x    | x    | x    | x    |       |
| Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)                                          | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |       |
|                                                                                   | =    | =    | =    | =    |       |
| α.U.A (W/°C)                                                                      | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 |       |
|                                                                                   | x    | x    | x    | x    |       |
| Int. de rad. solar na estação de arrefec.<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9) | 300  | 430  | 430  | 300  |       |
|                                                                                   | x    | x    | x    | x    |       |
|                                                                                   | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |       |
|                                                                                   | =    | =    | =    | =    |       |
| TOTAL                                                                             |      |      |      |      |       |
| Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior                                     | 4,61 | 6,60 | 6,60 | 4,61 | 22,43 |
|                                                                                   |      |      |      |      | (kWh) |

(kWh)

**Folha de Cálculo FC V.1d**  
**Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores**

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

| Orientação                                                          | SE -<br>Quarto | NO -<br>Sala | NO -<br>Cozinha | NE- Caixa<br>de Escadas | SO -<br>Cobertura |              |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|-----------------|-------------------------|-------------------|--------------|
| Área, A (m <sup>2</sup> )                                           | 2,4            | 2,34         | 1,17            | 1,17                    | 2,4               |              |
|                                                                     | x              | x            | x               | x                       | x                 |              |
| Factor solar do vão envidraçado<br>(protecção solar activada a 70%) | 0,42           | 0,42         | 0,42            | 0,42                    | 0,7               |              |
|                                                                     | x              | x            | x               | x                       | x                 |              |
| Fracção envidraçada, Fg                                             | 0,65           | 0,65         | 0,65            | 0,65                    | 0,65              |              |
|                                                                     | x              | x            | x               | x                       | x                 |              |
| Factor de obstrução, Fs                                             | 0,9            | 0,9          | 0,9             | 0,9                     | 0,9               |              |
|                                                                     | x              | x            | x               | x                       | x                 |              |
| Factor de selectividade do vidro,<br>Fw                             | 0,9            | 0,9          | 0,9             | 0,9                     | 0,9               |              |
|                                                                     | =              | =            | =               | =                       | =                 |              |
| Área Efectiva, Ae                                                   | 0,53           | 0,52         | 0,26            | 0,26                    | 0,88              |              |
|                                                                     | x              | x            | x               | x                       | x                 |              |
| Int. de rad. solar na estação<br>de arrefec.                        | 430            | 300          | 300             | 300                     | 430               |              |
| (kWh/m2) (Quadro III.9)                                             | =              | =            | =               | =                       | =                 |              |
|                                                                     |                |              |                 |                         |                   | <b>TOTAL</b> |
| <b>Ganhos Solares pelos Vãos<br/>Envidraçados Exteriores (KWh)</b>  | 228,21         | 155,23       | 77,62           | 77,62                   | 380,34            | 919,02       |

**Folha de cálculo FC V.1e**  
**Ganhos Internos**

|                                                                |                                     |              |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| Ganhos Internos médios<br>(W/m <sup>2</sup> )<br>(Quadro IV.3) | <input type="text" value="4"/>      |              |
|                                                                | x                                   |              |
| Área Útil de Pavimento (m2)                                    | <input type="text" value="73,91"/>  |              |
|                                                                | x                                   |              |
|                                                                | 2,93                                |              |
|                                                                | =                                   |              |
| <b>Ganhos internos Totais</b>                                  | <input type="text" value="865,63"/> | <b>(KWh)</b> |

**Folha de cálculo FC V.1f**  
**Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)**

|                                                                   |                    |              |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------|
| <b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)</b> | <div>919,02</div>  | <b>(KWh)</b> |
|                                                                   | +                  |              |
| <b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)</b>     | <div>22,43</div>   | <b>(KWh)</b> |
|                                                                   | +                  |              |
| <b>Ganhos internos (FCV.1e)</b>                                   | <div>865,63</div>  | <b>(KWh)</b> |
|                                                                   | =                  |              |
| <b>Ganhos Térmicos Totais</b>                                     | <div>1807,08</div> | <b>(KWh)</b> |

**Folha de cálculo FCV.1g**  
**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)**

**Ganhos Térmicos Totais** 1807,08 (kWh)  
 (FCV.1f)

/

**Perdas Térmicas Totais** 3676,18 (kWh)  
 (FCV.1a)

=

**Relação Ganhos-Perdas** 0,49  
 $\gamma$

**Inércia do edifício** 3  
*(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)*

|                                                                              |         |                                             |
|------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------|
|                                                                              | 1       |                                             |
|                                                                              | -       |                                             |
| Factor de utilização dos ganhos, $\eta$<br>(Gráfico IV.1)                    | 0,97    |                                             |
|                                                                              | =       |                                             |
|                                                                              | 0,03    |                                             |
|                                                                              | x       |                                             |
| <b>Ganhos Térmicos Totais</b><br>(FCV.1f)                                    | 1807,08 | (kWh)                                       |
|                                                                              | =       |                                             |
| <b>Necessidades Brutas de Arrefecimento</b>                                  | 47,73   | (kWh/ano)                                   |
|                                                                              | +       |                                             |
| <b>Consumo dos ventiladores</b><br>(se houver, exaustor da cozinha excluído) | 0,00    | ( $E_v = P_v \times 24 \times 0,122$ (kWh)) |
|                                                                              | =       |                                             |
| <b>TOTAL</b>                                                                 | 47,73   | (kWh/ano)                                   |
|                                                                              | /       |                                             |
| Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )                                     | 73,91   |                                             |
|                                                                              | =       |                                             |
| <b>Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc</b>                          | 0,65    | (kWh/m <sup>2</sup> .ano)                   |
|                                                                              | ≤       |                                             |
| <b>Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv</b><br>(Nº2 do Artigo 15º)   | 16      | (kWh/m <sup>2</sup> .ano)                   |

Verifica  
 Nvc/Nv =

**O.K.**  
 4,04%

## Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

|                                                                                                             |         |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------|
| Nº de ocupantes (Quadro VI.1)                                                                               | 2,00    |                            |
| Consumo médio diário de referência de AQS<br>( $M_{AQS}$ )<br>(edifícios residenciais - 40 litros/ocupante) | 80,00   |                            |
| Aumento de temperatura necessário ( $\Delta T$ )<br>(considerar igual a 45°C)                               | 45,00   |                            |
| Número anual de dias de consumo ( $n_d$ )<br>(Quadro VI.2)                                                  | 365,00  |                            |
| Energia despendida com sistemas convencionais<br>( $Q_a$ )                                                  | 1528,26 | (kW.h/ano)                 |
| Eficiência de conversão do sistema de preparação<br>de AQS ( $\eta_a$ )<br>(Ponto 3 do Anexo VI)            | 0,90    |                            |
| $E_{solar}$                                                                                                 | 0,00    | Programa SOLTERM           |
| $E_{ren}$                                                                                                   | 0,00    |                            |
| Necessidades de energia para preparação de AQS,<br>$N_{ac}$                                                 | 22,97   | (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) |
| Valor máximo para as nec. de energia para<br>preparação de AQS, $N_a$                                       | 32,00   | (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) |
| <b><math>N_{ac} \leq N_a</math>? Verifica</b>                                                               |         |                            |
| $N_{ac}/N_a = 71,79\%$                                                                                      |         |                            |

### Necessidades Globais de Energia Primária

|                                       |        |                     |
|---------------------------------------|--------|---------------------|
| <b>Ni</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 98,11  |                     |
| <b>Nic</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 115,16 |                     |
| <b>Nv</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 16,00  |                     |
| <b>Nvc</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 0,65   |                     |
| <b>Na</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 32,00  |                     |
| <b>Nac</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 22,97  |                     |
| <b>ηi</b>                             | 1,00   | Art. 18.º - ponto 2 |
| <b>ηv</b>                             | 3,00   | Art. 18.º - ponto 2 |
| <b>F<sub>pui</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |

Necessidades nominais globais de energia primária, N<sub>tc</sub>

10,01 (kgep/m<sup>2</sup>.ano)

Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N<sub>t</sub>

5,35 (kgep/m<sup>2</sup>.ano)

**Ntc ≤**

**Nt?** Não verifica

Ntc/Nt = 187,17%

## SIMULAÇÃO 3

### Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

|                                                                                                          |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Nº de ocupantes (Quadro VI.1)                                                                            | 2,00    |
| Consumo médio diário de referência de AQS ( $M_{AQS}$ )<br>(edifícios residenciais - 40 litros/ocupante) | 80,00   |
| Aumento de temperatura necessário ( $\Delta T$ )<br>(considerar igual a 45°C)                            | 45,00   |
| Número anual de dias de consumo ( $n_d$ )<br>(Quadro VI.2)                                               | 365,00  |
| Energia despendida com sistemas convencionais ( $Q_a$ )                                                  | 1528,26 |
| Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS ( $\eta_a$ )<br>(Ponto 3 do Anexo VI)            | 0,87    |
| $E_{solar}$                                                                                              | 0,00    |
| $E_{ren}$                                                                                                | 0,00    |
| Necessidades de energia para preparação de AQS, $N_{ac}$                                                 | 23,77   |
| Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, $N_a$                                       | 32,00   |

$N_{ac} \leq N_a$ ? Verifica

$N_{ac}/N_a = 74,27\%$

### Necessidades Globais de Energia Primária

|                                       |        |                     |
|---------------------------------------|--------|---------------------|
| <b>Ni</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 98,11  |                     |
| <b>Nic</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 115,16 |                     |
| <b>Nv</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 16,00  |                     |
| <b>Nvc</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 0,65   |                     |
| <b>Na</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 32,00  |                     |
| <b>Nac</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 23,77  |                     |
| <b>ηi</b>                             | 0,87   | Art. 18.º - ponto 2 |
| <b>ηv</b>                             | 3,00   | Art. 18.º - ponto 2 |
| <b>F<sub>pui</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,086  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,086  | Art. 18º - ponto 1  |

**Necessidades nominais globais de energia primária, N<sub>tc</sub>**

|      |                            |
|------|----------------------------|
| 3,19 | (kgep/m <sup>2</sup> .ano) |
|------|----------------------------|

**Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N<sub>t</sub>**

|      |                            |
|------|----------------------------|
| 5,35 | (kgep/m <sup>2</sup> .ano) |
|------|----------------------------|

**N<sub>tc</sub> ≤ N<sub>t</sub>?**      Verifica

N<sub>tc</sub>/N<sub>t</sub> = 59,63%

## SIMULAÇÃO 4

### Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

|                                                                                                          |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Nº de ocupantes (Quadro VI.1)                                                                            | 2,00    |
| Consumo médio diário de referência de AQS ( $M_{AQS}$ )<br>(edifícios residenciais - 40 litros/ocupante) | 80,00   |
| Aumento de temperatura necessário ( $\Delta T$ )<br>(considerar igual a 45°C)                            | 45,00   |
| Número anual de dias de consumo ( $n_d$ )<br>(Quadro VI.2)                                               | 365,00  |
| Energia despendida com sistemas convencionais ( $Q_a$ )                                                  | 1528,26 |
| Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS ( $\eta_a$ )<br>(Ponto 3 do Anexo VI)            | 0,90    |
| $E_{solar}$                                                                                              | 655,17  |
| $E_{ren}$                                                                                                | 0,00    |
| Necessidades de energia para preparação de AQS, $N_{ac}$                                                 | 14,11   |
| Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, $N_a$                                       | 32,00   |

**$N_{ac} \leq N_a$ ?** Verifica

$N_{ac}/N_a = 44,09\%$

### Necessidades Globais de Energia Primária

|                                       |        |                     |
|---------------------------------------|--------|---------------------|
| <b>Ni</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 98,11  |                     |
| <b>Nic</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 115,16 |                     |
| <b>Nv</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 16,00  |                     |
| <b>Nvc</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 0,65   |                     |
| <b>Na</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 32,00  |                     |
| <b>Nac</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 14,11  |                     |
| <b>ηi</b>                             | 1,00   | Art. 18.º - ponto 2 |
| <b>ηv</b>                             | 3,00   | Art. 18.º - ponto 2 |
| <b>F<sub>pui</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>puα</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |

**Necessidades nominais globais de energia primária, N<sub>tc</sub>**

7,44

 (kgep/m<sup>2</sup>.ano)

**Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N<sub>t</sub>**

5,35

 (kgep/m<sup>2</sup>.ano)

**N<sub>tc</sub> ≤ N<sub>t</sub>?** Não verifica

N<sub>tc</sub>/N<sub>t</sub> = 139,10%

## SIMULAÇÃO 5

### Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

|                                                                                                          |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Nº de ocupantes (Quadro VI.1)                                                                            | 2,00    |
| Consumo médio diário de referência de AQS ( $M_{AQS}$ )<br>(edifícios residenciais - 40 litros/ocupante) | 80,00   |
| Aumento de temperatura necessário ( $\Delta T$ )<br>(considerar igual a 45°C)                            | 45,00   |
| Número anual de dias de consumo ( $n_d$ )<br>(Quadro VI.2)                                               | 365,00  |
| Energia despendida com sistemas convencionais ( $Q_a$ )                                                  | 1528,26 |
| Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS ( $\eta_a$ )<br>(Ponto 3 do Anexo VI)            | 0,87    |
| $E_{solar}$                                                                                              | 655,17  |
| $E_{ren}$                                                                                                | 0,00    |
| Necessidades de energia para preparação de AQS, $N_{ac}$                                                 | 14,90   |
| Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, $N_a$                                       | 32,00   |

**$N_{ac} \leq N_a$ ?** Verifica

$N_{ac}/N_a = 46,57\%$

### Necessidades Globais de Energia Primária

|                                       |        |                     |
|---------------------------------------|--------|---------------------|
| <b>Ni</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 98,11  |                     |
| <b>Nic</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 115,16 |                     |
| <b>Nv</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 16,00  |                     |
| <b>Nvc</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 0,65   |                     |
| <b>Na</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)  | 32,00  |                     |
| <b>Nac</b> (kW.h/m <sup>2</sup> .ano) | 14,90  |                     |
| $\eta_i$                              | 0,87   | Art. 18.º - ponto 2 |
| $\eta_v$                              | 3,00   | Art. 18.º - ponto 2 |
| <b>F<sub>pui</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,086  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,290  | Art. 18º - ponto 1  |
| <b>F<sub>puv</sub></b> (kgep/kW.h)    | 0,086  | Art. 18º - ponto 1  |

**Necessidades nominais globais de energia primária, N<sub>tc</sub>**

2,43

 (kgep/m<sup>2</sup>.ano)

**Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N<sub>t</sub>**

5,35

 (kgep/m<sup>2</sup>.ano)

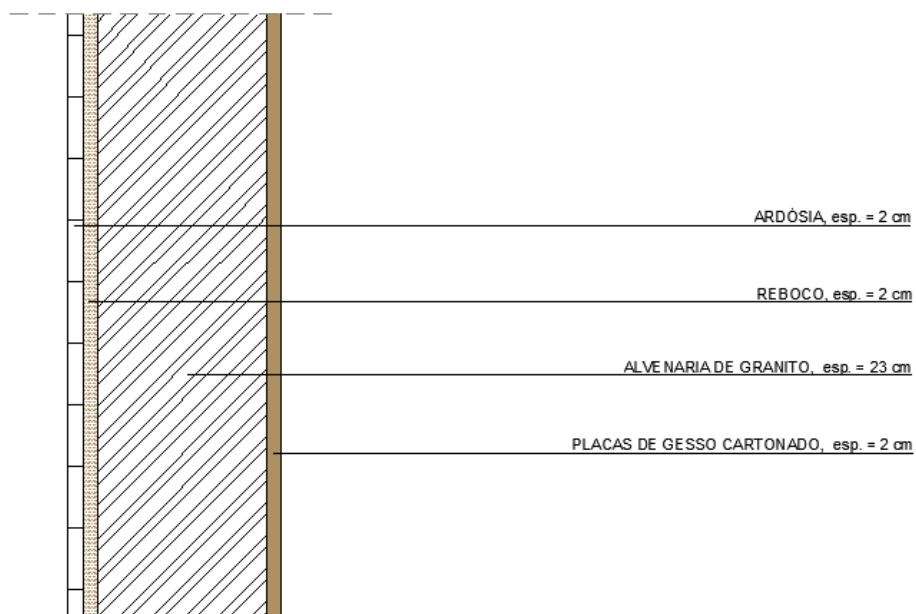
**N<sub>tc</sub> ≤ N<sub>t</sub>?** Verifica

N<sub>tc</sub>/N<sub>t</sub> = 45,37%

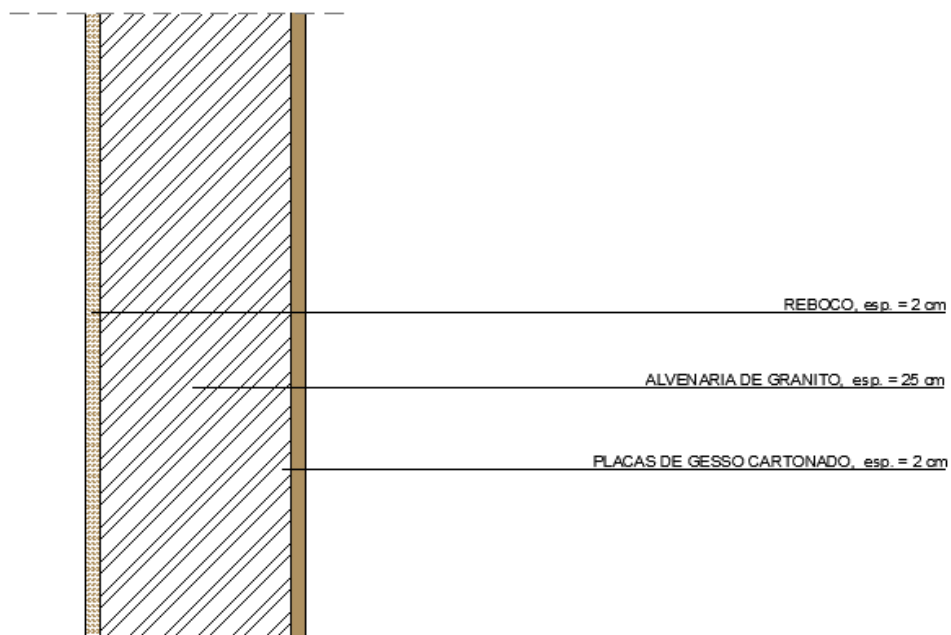
## PORMENORES CONSTRUTIVOS - $U_{MÁX}$

### ENVOLVENTE EXTERIOR

#### PAREDE EXTERIOR SUDESTE/NOROESTE

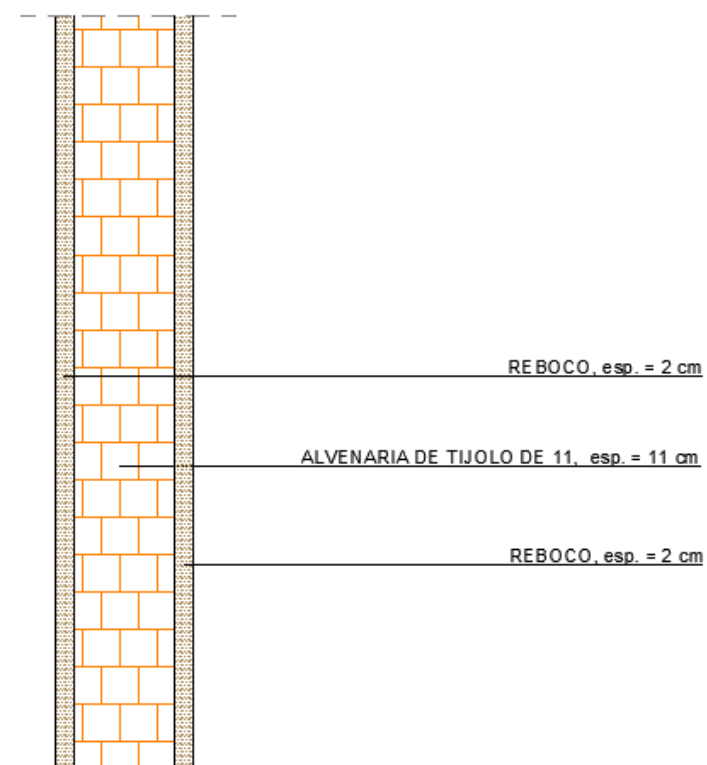


#### PAREDE EXTERIOR SUDOESTE/NORDESTE

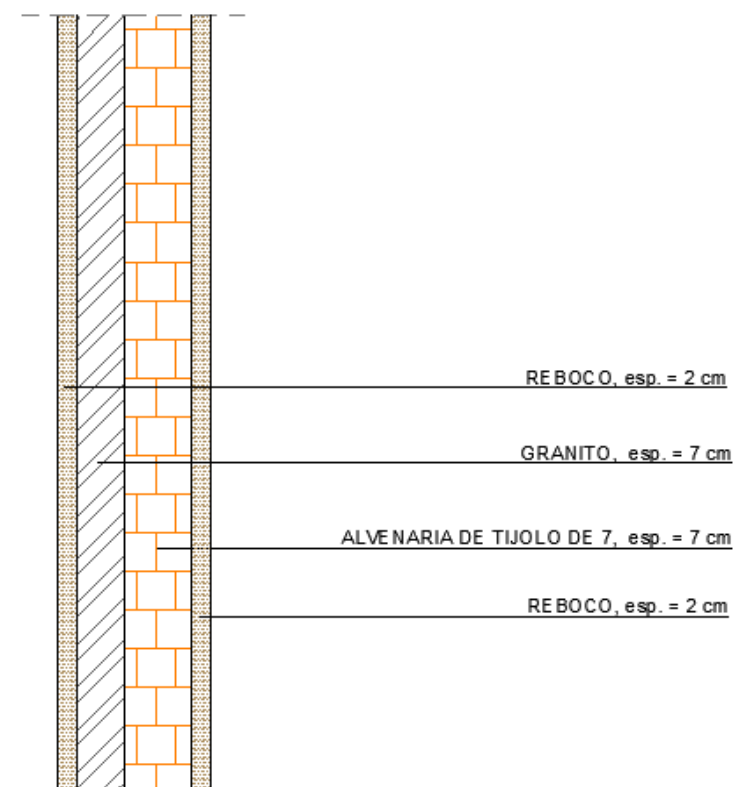


## ENVOLVENTE INTERIOR

### PAREDES DIVISÓRIAS

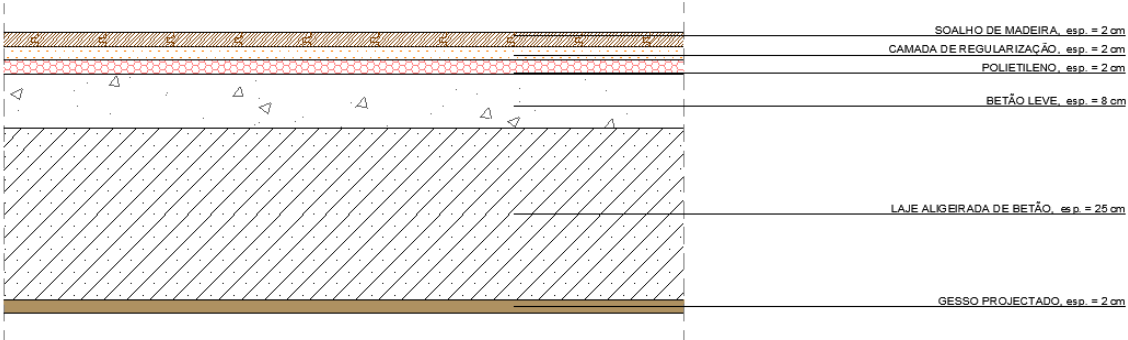


### PAREDE CAIXA DE ESCADAS

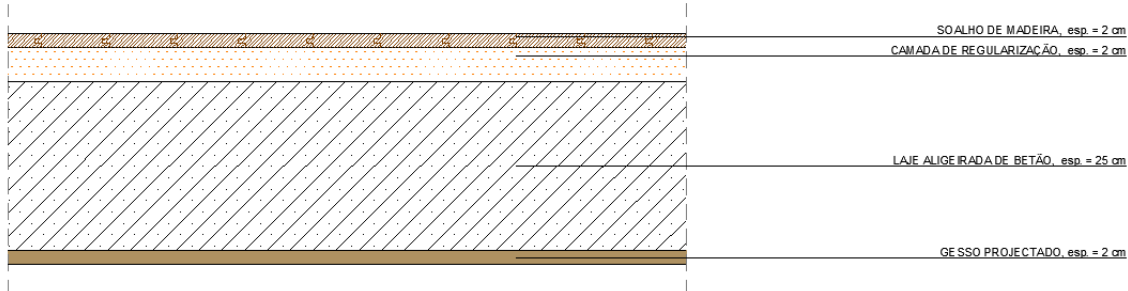


PAVIMENTOS E COBERTURAS

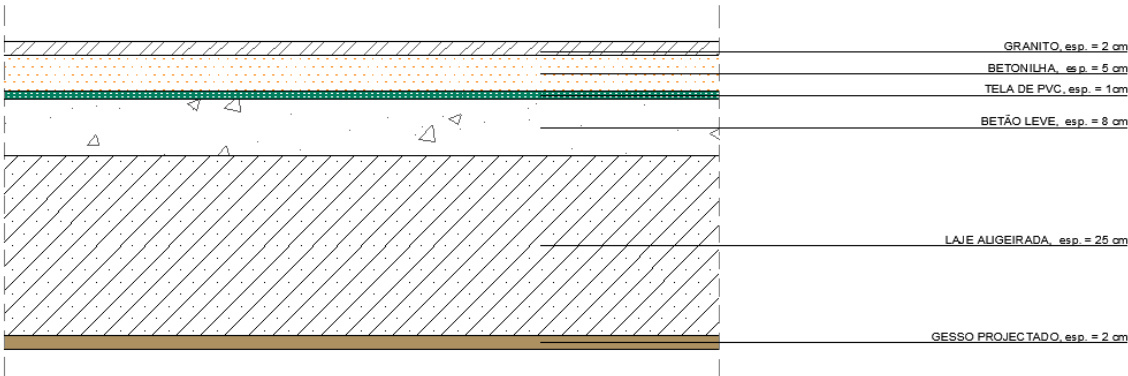
PAVIMENTO INTERIOR



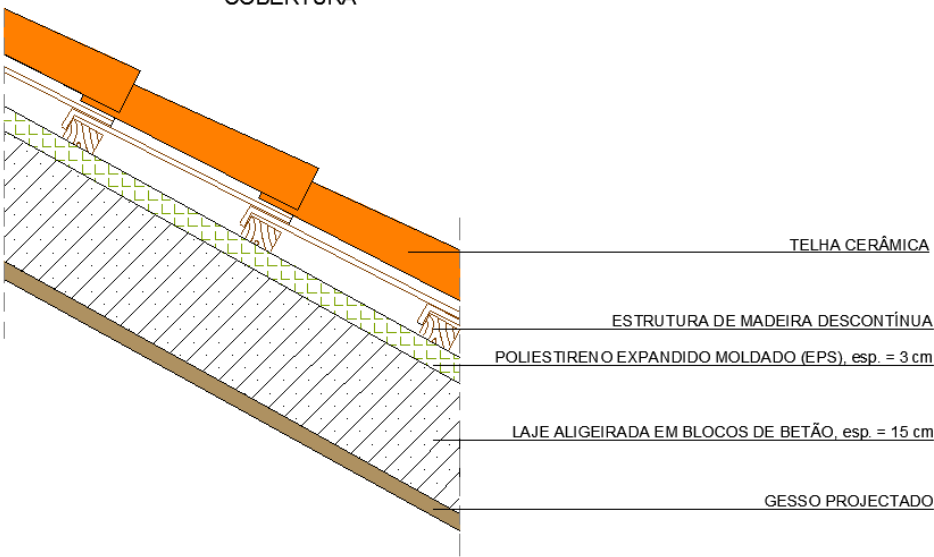
LAJE DE ESCADAS



COBERTURA EXTERIOR



COBERTURA



### INERCIA TÉRMICA - U<sub>max</sub>

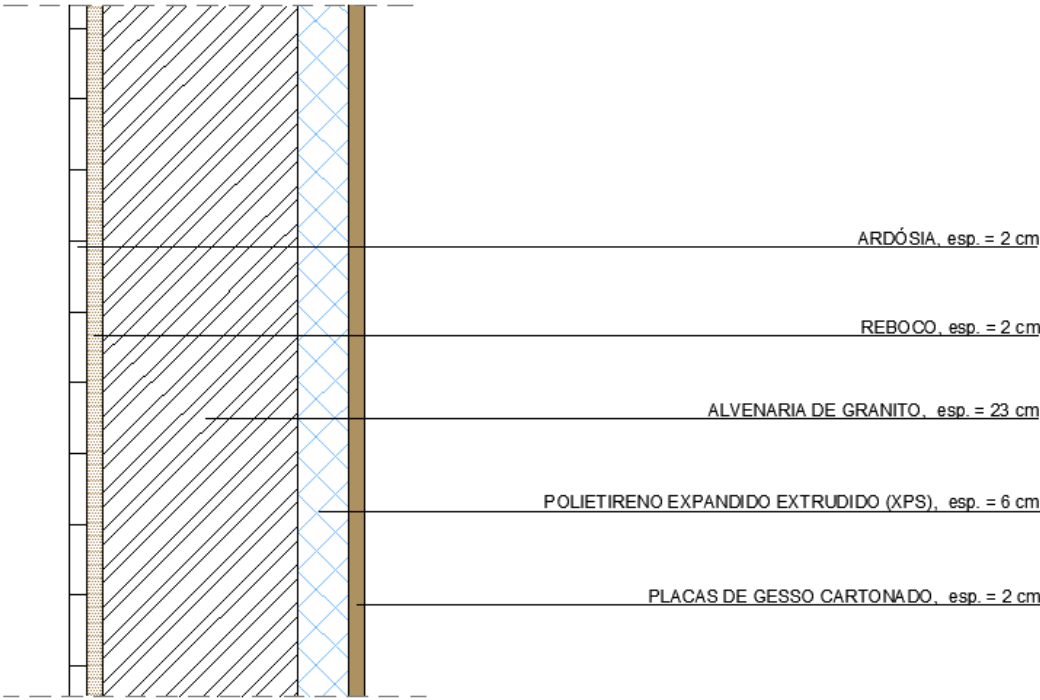
| Tipo                               | Elemento                      | mt     | Imposição regulamentar | Msi | Si    | r | Msi.r.Si         |
|------------------------------------|-------------------------------|--------|------------------------|-----|-------|---|------------------|
| EL1                                | Parede de Sudeste e Noroeste  | 10,4   | mt/2<150               | 5,2 | 34,88 | 1 | 181,376          |
| EL1                                | Parede de Nordeste e Sudoeste | 48     | mt/2<150               | 24  | 95    | 1 | 2280             |
| EL1                                | Cobertura                     | 581,4  | mt/2<150               | 150 | 95,72 | 1 | 14358            |
| EL1                                | Cobertura Exterior            | 586,90 | mt/2<150               | 150 | 34,72 | 1 | 5208             |
| EL1                                | Parede Caixa de Escadas       | 360    | mt/2<150               | 150 | 18,85 | 1 | 2827,5           |
| EL1                                | Laje de Escadas               | 702    | mt/2<150               | 150 | 12    | 1 | 1800             |
| EL3                                | Paredes Divisórias            | 356    | mt<300                 | 300 | 58,71 | 1 | 17613            |
| EL3                                | Pavimento Interior            | 544,68 | mt<300                 | 300 | 73,91 | 1 | 22173            |
| <b>TOTAL (kg)</b>                  |                               |        |                        |     |       |   | <b>66440,876</b> |
| <b>ÁREA ÚTIL DE PAVIMENTO (m2)</b> |                               |        |                        |     |       |   | <b>73,91</b>     |
| <b>INÉRCIA TÉRMICA (kg/m2)</b>     |                               |        |                        |     |       |   | <b>898,94</b>    |

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| <b>Classificação:</b> | <b>Forte</b> |
|-----------------------|--------------|

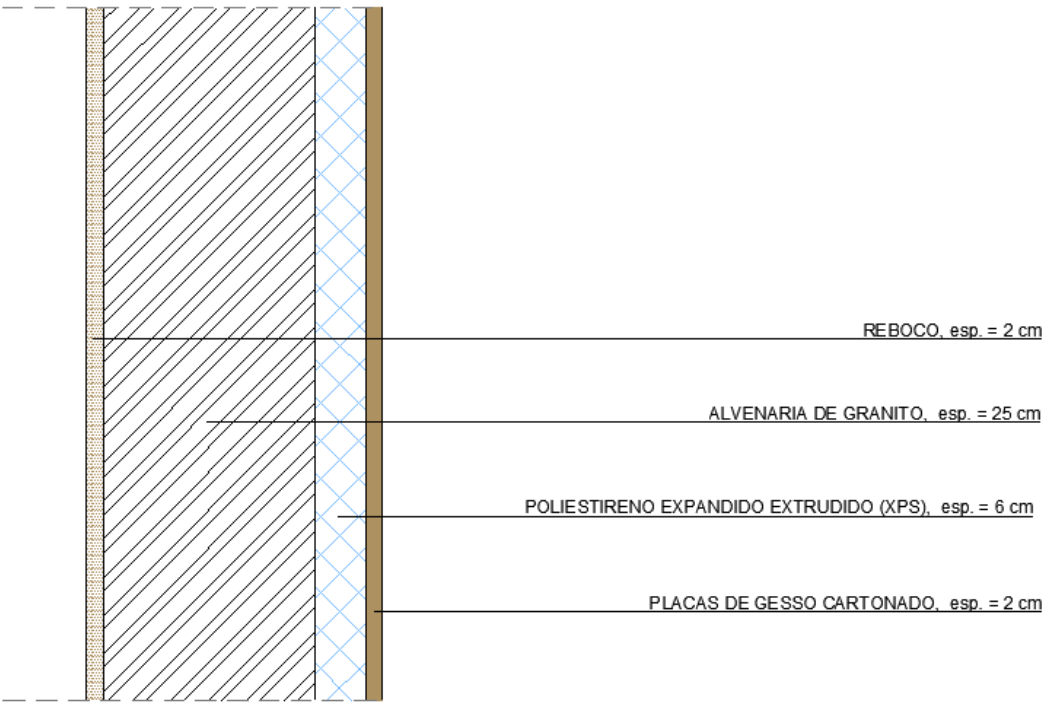
**PORMENORES CONSTRUTIVOS – U<sub>REF</sub>**

**ENVOLVENTE EXTERIOR**

**PAREDE EXTERIOR SUDESTE/NOROESTE**

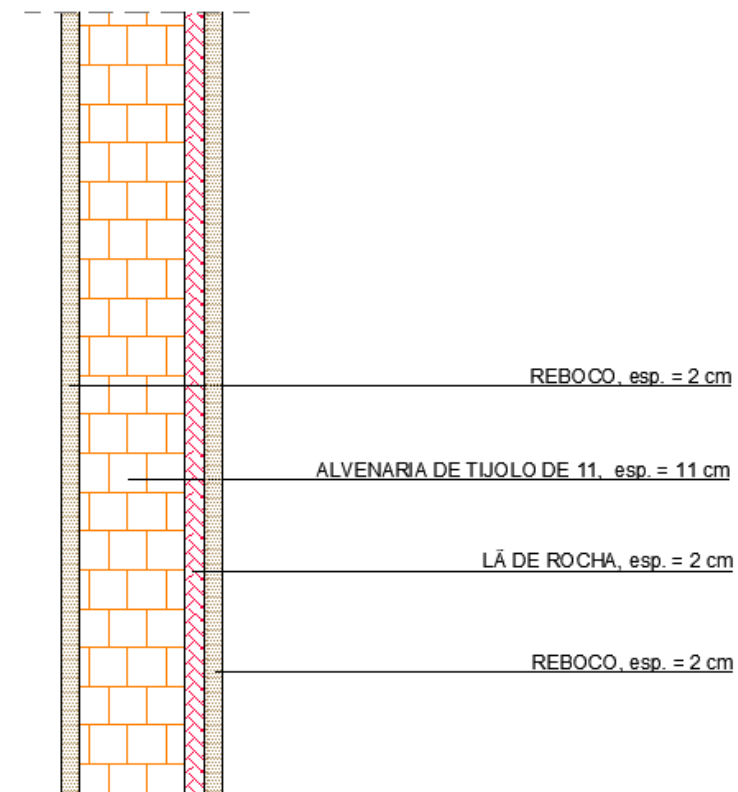


**PAREDE EXTERIOR SUDOESTE/NORDESTE**

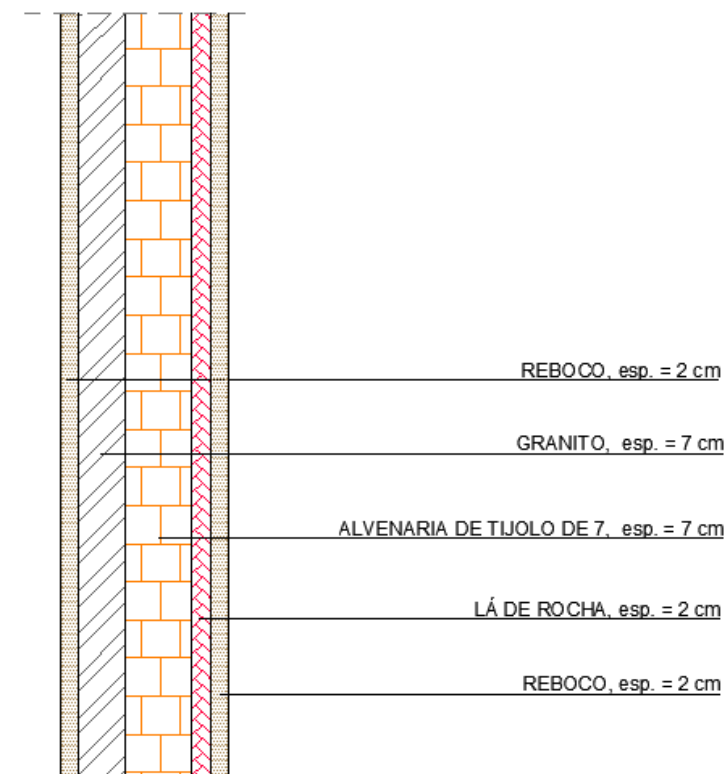


## ENVOLVENTE INTERIOR

### PAREDES DIVISÓRIAS

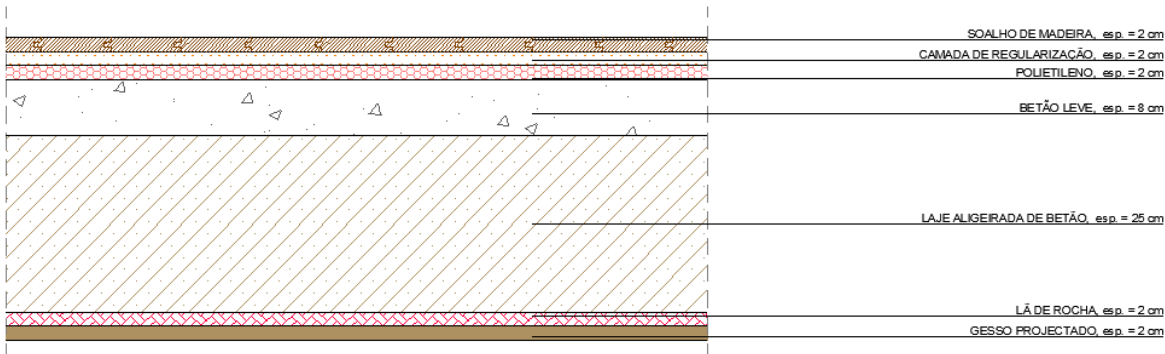


### PAREDE CAIXA DE ESCADAS

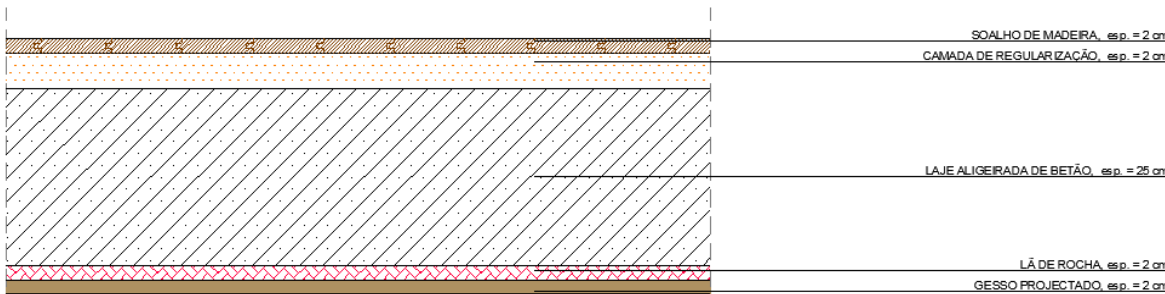


PAVIMENTOS E COBERTURAS

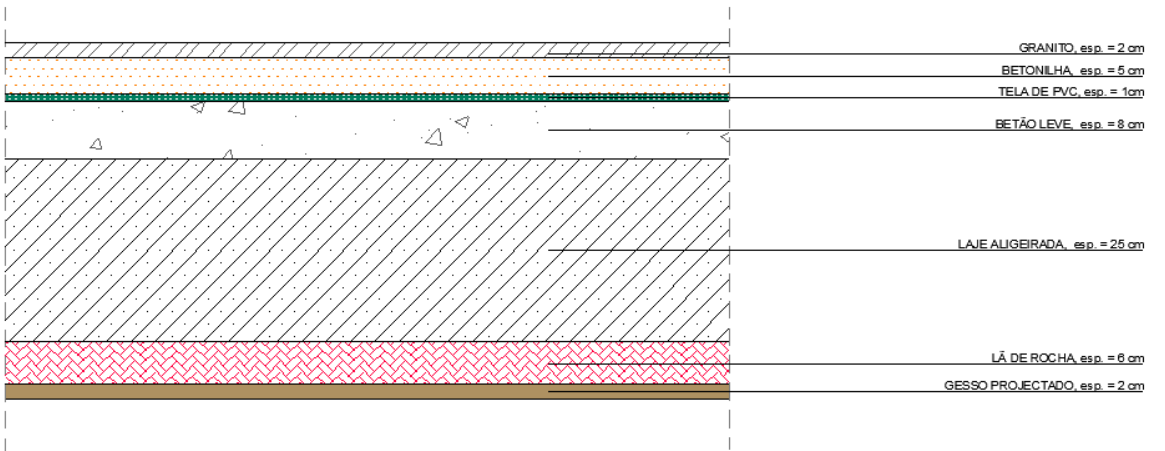
PAVIMENTO INTERIOR



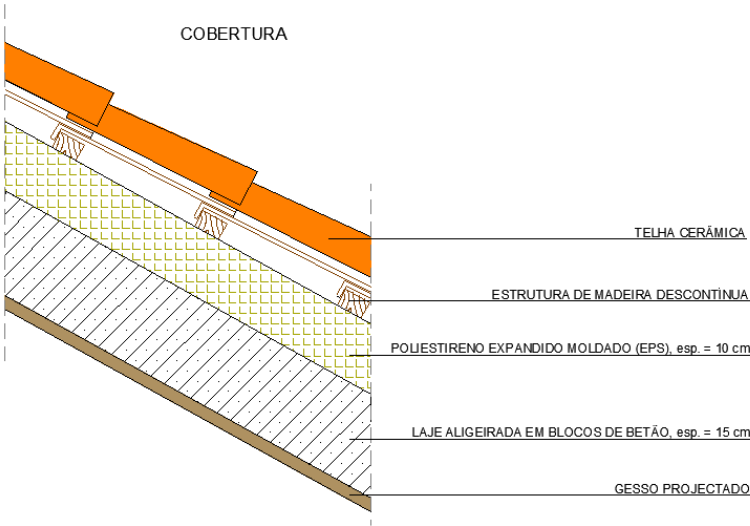
LAJE DE ESCADAS



COBERTURA EXTERIOR



COBERTURA



# INERCIA TÉRMICA - Uref

| Tipo                               | Elemento                      | mt     | Imposição regulamentar | Msi | Si    | r | Msi.r.Si         |
|------------------------------------|-------------------------------|--------|------------------------|-----|-------|---|------------------|
| EL1                                | Parede de Sudeste e Noroeste  | 10,4   | mt/2<150               | 5,2 | 34,88 | 1 | 181,376          |
| EL1                                | Parede de Nordeste e Sudoeste | 48     | mt/2<150               | 24  | 95    | 1 | 2280             |
| EL1                                | Cobertura                     | 582,8  | mt/2<150               | 150 | 95,72 | 1 | 14358            |
| EL1                                | Cobertura Exterior            | 595,65 | mt/2<150               | 150 | 34,72 | 1 | 5208             |
| EL1                                | Parede Caixa de Escadas       | 192    | mt/2<150               | 96  | 18,85 | 1 | 1809,6           |
| EL1                                | Laje de Escadas               | 706    | mt/2<150               | 150 | 12    | 1 | 1800             |
| EL3                                | Paredes Divisórias            | 38     | mt<300                 | 38  | 58,71 | 1 | 2230,98          |
| EL3                                | Pavimento Interior            | 547,18 | mt<300                 | 300 | 73,91 | 1 | 22173            |
| <b>TOTAL (kg)</b>                  |                               |        |                        |     |       |   | <b>50040,956</b> |
| <b>ÁREA ÚTIL DE PAVIMENTO (m2)</b> |                               |        |                        |     |       |   | <b>73,91</b>     |
| <b>INÉRCIA TÉRMICA (kg/m2)</b>     |                               |        |                        |     |       |   | <b>677</b>       |

**Classificação:** **Forte**

# ANEXO C

## **C1. RELATÓRIO ENERGÉTICO OBTIDO PELO PROGRAMA SOLTERM PARA A INSTALAÇÃO SOLAR TÉRMICA EM ESTUDO**

No Anexo C.1, é apresentado o relatório energético obtido pelo programa SOLTERM, para a instalação solar térmica dimensionada e caracterizada no Capítulo 4.

## **C2. RELATÓRIO ECONÓMICO PARA UMA INSTALAÇÃO SOLAR TÉRMICA COM UMA VIDA ÚTIL MÍNIMA DE 18 ANOS**

No Anexo C.2, é apresentado o relatório económico obtido pelo programa SOLTERM, para uma instalação solar térmica com uma vida útil mínima de 18 anos.

## **C3. RELATÓRIO ECONÓMICO PARA UMA INSTALAÇÃO SOLAR TÉRMICA COM UMA VIDA ÚTIL MÍNIMA DE 26 ANOS**

No Anexo C.3, é apresentado o relatório económico obtido pelo programa SOLTERM, para uma instalação solar térmica com uma vida útil mínima de 26 anos.

- SolTerm 5.0

Licenciado a Eduardo Maldonado  
(DGGE - Direcção Geral de Geologia e Energia)

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

- Campo de colectores

- Modelo de colector: MEGASUN ST2500

Tipo: Plano

5 módulos (11,5 m<sup>2</sup>)

Inclinação 25° - Azimute 45°

Coefficientes de perdas térmicas: a<sub>1</sub>= 3,900 W/m<sup>2</sup>/K      a<sub>2</sub>= 0,013 W/m<sup>2</sup>/K<sup>2</sup>

Rendimento óptico: 74,0%

Modificador de ângulo: a

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0°   | 5°   | 10°  | 15°  | 20°  | 25°  | 30°  | 35°  | 40°  |      |      |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,97 | 0,95 | 0,93 | 0,91 |      |      |
| a    | 45°  | 50°  | 55°  | 60°  | 65°  | 70°  | 75°  | 80°  | 85°  | 90°  |
|      | 0,87 | 0,83 | 0,77 | 0,69 | 0,58 | 0,41 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

- Permutador

- Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 57,9 l/m<sup>2</sup> por hora (=0,18 l/s)

- Depósito

- Modelo: típico 250 l

Volume: 250 l

Área externa: 3,00 m<sup>2</sup>

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,67 W/K

Um conjunto depósito/permutador

- Tubagens

- Comprimento total: 42,2 m

Percurso no exterior: 11,0 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 37,0 mm

Espessura do tubo metálico: 1,5 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K

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

relatório\_energético com 52° de obstrução.txt

- Carga térmica: segunda a sexta

- Consumos distribuidos ao longo do dia

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

|     | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dez | 12  | 13  | 14  | 16  | 17  | 18  | 17  | 16  | 14  | 14  | 13  |

| Perfis de consumo (l)<br>hora | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dez                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 01                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 02                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 03                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 04                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 05                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 06                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 07                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 08                            | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 09                            | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 10                            | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 11                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 12                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 13                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 14                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 15                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 16                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 17                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 18                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 19                            | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 20                            | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 21                            | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 22                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 23                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 24                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| diário                        | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 |

# relatório\_energético com 52° de obstrução.txt

Carga térmica: fim-de-semana

Consumos distribuidos ao longo do dia

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

|     | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dez | 12  | 13  | 14  | 16  | 17  | 18  | 17  | 16  | 14  | 14  | 13  |

| Perfis de consumo (l)<br>hora | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dez 01                        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 02                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 03                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 04                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 05                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 06                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 07                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 08                            | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 09                            | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 10                            | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 11                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 12                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 13                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 14                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 15                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 16                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 17                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 18                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 19                            | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 20                            | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 21                            | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 22                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 23                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 24                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

## Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Porto  
 Coordenadas nominais: 41,2°N, 8,6°W  
 TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 52° (S;O) e 20° (SE;NO)

Orientação do painel: inclinação 25° - azimute 45°

## Balanco energético mensal e anual

|           | Rad.Horiz.<br>kwh/m <sup>2</sup> | Rad.Inclin.<br>kwh/m <sup>2</sup> | Desperdiçado<br>kwh | Fornecido<br>kwh | Carga<br>kwh | Apoio<br>kwh |
|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------|--------------|--------------|
| Janeiro   | 51                               | 37                                | ,                   | 123              | 1142         | 1019         |
| Fevereiro | 69                               | 46                                | ,                   | 143              | 1010         | 867          |
| Março     | 105                              | 71                                | ,                   | 227              | 1094         | 867          |
| Abril     | 144                              | 113                               | 1,                  | 405              | 1013         | 608          |
| Maio      | 173                              | 145                               | 17,                 | 497              | 1023         | 526          |
| Junho     | 185                              | 165                               | 56,                 | 527              | 967          | 440          |
| Julho     | 205                              | 179                               | 74,                 | 605              | 1023         | 418          |
| Agosto    | 184                              | 143                               | 19,                 | 559              | 1047         | 487          |
| Setembro  | 129                              | 87                                | ,                   | 341              | 1059         | 718          |
| Outubro   | 95                               | 65                                | ,                   | 240              | 1094         | 855          |
| Novembro  | 60                               | 43                                | ,                   | 144              | 1082         | 938          |
| Dezembro  | 49                               | 36                                | ,                   | 118              | 1142         | 1024         |
| Anual     | 1449                             | 1130                              | 167,                | 3931             | 12696        | 8766         |

Fracção solar: 31,0%  
 Rendimento global anual do sistema: 30% Produtividade: 342 kwh/[m<sup>2</sup> colector]

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

## Relatório económico em 18 anos.txt

-----  
SolTerm 5.0

Licenciado a Eduardo Maldonado  
(DGGE - Direcção Geral de Geologia e Energia)

Análise do interesse num investimento em energia solar  
vs. um outro investimento financeiro seguro.

-----  
--  
Parâmetros operacionais e económicos do sistema

-----  
--  
Área de captação: 11,5 m<sup>2</sup>

Tempo de vida da instalação: 18 anos  
Renovação de componentes: no 10º ano

Componente fixa do preço: 600 €  
Componente variável do preço: 700 €/m<sup>2</sup> de colector  
Preço total do sistema: 8650 €

Valor das renovações: 1,0 % do preço do sistema  
Manutenção anual: 1,0 % do preço do sistema  
Valor residual em fim de vida: 0,0 % do preço do sistema

Fonte de energia convencional: Gás Natural  
Poder Calorífico Inferior: 10,53 kWh/m<sup>3</sup>  
Rendimento da transformação: 75 %  
Preço da energia convencional: 0,850 €/m<sup>3</sup> (0,108 €/kwh)  
Energia convencional deslocada: 3931 kWh/ano

-----  
--  
Cenário financeiro sobre 18 anos

-----  
--  
Taxa de inflação média: 2,0 % ao ano  
Deriva média do preço da energia: 2,0 % ao ano (acima da inflação)  
Rendimento seguro de aplicação alternativa: 4,0 % ao ano

-----  
--  
Síntese de resultados da análise

-----  
--  
Opção: aplicação num sistema solar

-----  
Investimento: -8650 €  
Custos energéticos evitados: 10850 €  
Valor residual em fim-de-vida: 0 €  
Reinvestimentos: 3198 €  
Manutenção: -1889 €  
Reparações: -105 €  
Benefícios totais: 3404 €

Opção: aplicação financeira segura alternativa

-----  
Investimento: -8650 €  
Restituição do capital: 8650 €  
Rendimento: 8873 €  
Benefícios totais: 17523 €

N.B. Valores a preços correntes (i.e. incluindo inflação); quaisquer poupanças líquidas obtidas com o sistema solar são de imediato reinvestidas com o rendimento seguro da aplicação alternativa.

# Relatório económico em 18 anos.txt

## Análise de rentabilidade

|                        | Valor actualizado<br>líquido | Rentabilidade<br>média anual |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Sistema solar:         | -6267 €                      |                              |
| Aplicação alternativa: | 3619 €                       | 4,0%                         |

Avaliação: Investimento em energia solar não compensador nas condições deste cenário, de um ponto de vista puramente económico (vale a pena verificar bem o dimensionamento)

ANEXO: tabela de cash-flow anual a preços correntes para a operação do sistema solar

| Preço do<br>acumulado<br>Ano sistema<br>simples (**) | Incentivos | Manutenção | Reparações | Energia<br>evitada | Salvados | Balanço<br>anual |
|------------------------------------------------------|------------|------------|------------|--------------------|----------|------------------|
| 0                                                    | -8650 €    |            |            |                    |          | -8650 €          |
| -8650 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 1                                                    |            | -88 €      |            | 423 €              |          | 335 €(*)         |
| -8315 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 2                                                    |            | -90 €      |            | 440 €              |          | 350 €(*)         |
| -7965 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 3                                                    |            | -92 €      |            | 458 €              |          | 366 €(*)         |
| -7599 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 4                                                    |            | -94 €      |            | 476 €              |          | 382 €(*)         |
| -7217 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 5                                                    |            | -96 €      |            | 495 €              |          | 399 €(*)         |
| -6818 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 6                                                    |            | -97 €      |            | 515 €              |          | 417 €(*)         |
| -6400 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 7                                                    |            | -99 €      |            | 535 €              |          | 436 €(*)         |
| -5964 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 8                                                    |            | -101 €     |            | 557 €              |          | 455 €(*)         |
| -5509 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 9                                                    |            | -103 €     |            | 579 €              |          | 476 €(*)         |
| -5033 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 10                                                   |            | -105 €     | -105 €     | 602 €              |          | 391 €(*)         |
| -4642 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 11                                                   |            | -108 €     |            | 626 €              |          | 519 €(*)         |
| -4123 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 12                                                   |            | -110 €     |            | 651 €              |          | 542 €(*)         |
| -3581 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 13                                                   |            | -112 €     |            | 677 €              |          | 565 €(*)         |
| -3016 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 14                                                   |            | -114 €     |            | 704 €              |          | 590 €(*)         |
| -2426 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 15                                                   |            | -116 €     |            | 733 €              |          | 616 €(*)         |
| -1809 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 16                                                   |            | -119 €     |            | 762 €              |          | 643 €(*)         |
| -1166 €                                              |            |            |            |                    |          |                  |
| 17                                                   |            | -121 €     |            | 792 €              |          | 671 €(*)         |
| -495 €                                               |            |            |            |                    |          |                  |
| 18                                                   |            | -124 €     |            | 824 €              | 0 €      | 701 €            |
| 206 €(***)                                           |            |            |            |                    |          |                  |

Relatório económico em 18 anos.txt

-----  
(\*) disponível para reinvestimentos a receber no final do período em análise  
(\*\*) i.e. balanço excluindo os reinvestimentos  
(\*\*\*) adicionar 3198 € resultado de reinvestimentos

valor final do investimento no sistema solar a preços correntes: 3404 €  
valor actualizado líquido (VAL): -6267 €

-----  
-----

3 | Eduardo Maldonado | 19-02-2010 12:48:47 |

Relatório económico em 26 anos.txt

solTerm 5.0

Licenciado a Eduardo Maldonado  
(DGGE - Direcção Geral de Geologia e Energia)

Análise do interesse num investimento em energia solar  
vs. um outro investimento financeiro seguro.

Parâmetros operacionais e económicos do sistema

Área de captação: 11,5 m<sup>2</sup>

Tempo de vida da instalação: 26 anos  
Renovação de componentes: no 14º ano

Componente fixa do preço: 600 €  
Componente variável do preço: 700 €/m<sup>2</sup> de colector  
Preço total do sistema: 8650 €

Componente fixa dos incentivos: 0 €  
Componente variável dos incentivos: 2 €/m<sup>2</sup> de colector  
Incentivos: 23 €

Valor das renovações: 1,0 % do preço do sistema  
Manutenção anual: 1,0 % do preço do sistema  
Valor residual em fim de vida: 0,0 % do preço do sistema

Fonte de energia convencional: Gás Natural  
Poder Calorífico Inferior: 10,53 kWh/m<sup>3</sup>  
Rendimento da transformação: 75 %  
Preço da energia convencional: 0,850 €/m<sup>3</sup> (0,108 €/kwh)  
Energia convencional deslocada: 3931 kWh/ano

Cenário financeiro sobre 26 anos

Taxa de inflação média: 2,0 % ao ano  
Deriva média do preço da energia: 2,0 % ao ano (acima da inflação)  
Rendimento seguro de aplicação alternativa: 4,0 % ao ano

Síntese de resultados da análise

Opção: aplicação num sistema solar

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| Investimento:                  | -8650 € |
| Incentivos:                    | 23 €    |
| Custos energéticos evitados:   | 18746 € |
| Valor residual em fim-de-vida: | 0 €     |
| Reinvestimentos:               | 8630 €  |
| Manutenção:                    | -2971 € |
| Reparações:                    | -114 €  |
| Benefícios totais:             | 15664 € |

Opção: aplicação financeira segura alternativa

|                         |         |
|-------------------------|---------|
| Investimento:           | -8627 € |
| Restituição do capital: | 8627 €  |
| Rendimento:             | 15291 € |
| Benefícios totais:      | 23918 € |

# Relatório economico em 26 anos.txt

N.B. Valores a preços correntes (i.e. incluindo inflacção); quaisquer poupanças líquidas obtidas com o sistema solar são de imediato reinvestidas com o rendimento seguro da aplicação alternativa.

## Análise de rentabilidade

|                        | Valor actualizado<br>líquido | Rentabilidade<br>média anual |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Sistema solar:         | 734 €                        | 2,2%                         |
| Aplicação alternativa: | 5666 €                       | 4,0%                         |

Avaliação: Investimento em energia solar  
compensador nestas condições

ANEXO: tabela de cash-flow anual a preços correntes para a operação do sistema solar

| Preço do<br>Ano sistema<br>simples (**) | Incentivos | Manutenção | Reparações | Energia<br>evitada | Balanco<br>Salvados | Balanco<br>anual |
|-----------------------------------------|------------|------------|------------|--------------------|---------------------|------------------|
| 0                                       | -8650 €    | 23 €       |            |                    |                     | -8627 €          |
| 1                                       |            | -88 €      |            | 423 €              |                     | 335 €(*)         |
| 2                                       |            | -90 €      |            | 440 €              |                     | 350 €(*)         |
| 3                                       |            | -92 €      |            | 458 €              |                     | 366 €(*)         |
| 4                                       |            | -94 €      |            | 476 €              |                     | 382 €(*)         |
| 5                                       |            | -96 €      |            | 495 €              |                     | 399 €(*)         |
| 6                                       |            | -97 €      |            | 515 €              |                     | 417 €(*)         |
| 7                                       |            | -99 €      |            | 535 €              |                     | 436 €(*)         |
| 8                                       |            | -101 €     |            | 557 €              |                     | 455 €(*)         |
| 9                                       |            | -103 €     |            | 579 €              |                     | 476 €(*)         |
| 10                                      |            | -105 €     |            | 602 €              |                     | 497 €(*)         |
| 11                                      |            | -108 €     |            | 626 €              |                     | 519 €(*)         |
| 12                                      |            | -110 €     |            | 651 €              |                     | 542 €(*)         |
| 13                                      |            | -112 €     |            | 677 €              |                     | 565 €(*)         |
| 14                                      |            | -114 €     | -114 €     | 704 €              |                     | 476 €(*)         |
| 15                                      |            | -116 €     |            | 733 €              |                     | 616 €(*)         |
| 16                                      |            | -119 €     |            | 762 €              |                     | 643 €(*)         |
| 17                                      |            | -121 €     |            | 792 €              |                     | 671 €(*)         |
| 18                                      |            | -124 €     |            | 824 €              |                     | 701 €(*)         |

Relatório economico em 26 anos.txt

|             |        |        |          |       |
|-------------|--------|--------|----------|-------|
| 219 €       |        |        |          |       |
| 19          | -126 € | 857 €  | 731 €(*) |       |
| 950 €       |        |        |          |       |
| 20          | -129 € | 891 €  | 763 €(*) |       |
| 1713 €      |        |        |          |       |
| 21          | -131 € | 927 €  | 796 €(*) |       |
| 2509 €      |        |        |          |       |
| 22          | -134 € | 964 €  | 830 €(*) |       |
| 3339 €      |        |        |          |       |
| 23          | -136 € | 1003 € | 866 €(*) |       |
| 4205 €      |        |        |          |       |
| 24          | -139 € | 1043 € | 904 €(*) |       |
| 5109 €      |        |        |          |       |
| 25          | -142 € | 1084 € | 942 €(*) |       |
| 6051 €      |        |        |          |       |
| 26          | -145 € | 1128 € | 0 €      | 983 € |
| 7034 €(***) |        |        |          |       |

(\*) disponível para reinvestimentos a receber no final do período em análise

(\*\*) i.e. balanço excluindo os reinvestimentos

(\*\*\*) adicionar 8630 € resultado de reinvestimentos

Valor final do investimento no sistema solar a preços correntes: 15664 €

Valor actualizado líquido (VAL): 734 €