



**FEUP**  
Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia

# **TÉCNICAS CONSTRUTIVAS AMBIENTALMENTE ADEQUADAS**



**MIGUEL JOSÉ DE FREITAS AMARAL VIEIRA**

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

---

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

---

Co-Orientador: Professor Doutor Roberto Lamberts



# **TÉCNICAS CONSTRUTIVAS AMBIENTALMENTE ADEQUADAS**

**MIGUEL JOSÉ DE FREITAS AMARAL VIEIRA**

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

---

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

---

Co-Orientador: Professor Doutor Roberto Lamberts

Fevereiro de 2008

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008**

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 - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

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 e Irmão

*“Reflect on your present blessings,  
of which every man has many;  
not on your past misfortunes,  
of which all men have some”*

*Charles Dickens*



## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de deixar expressos os meus agradecimentos a todos aqueles que contribuíram e apoiaram a realização desta dissertação:

1. Ao Professor Alfredo Soeiro, pela orientação fornecida e disponibilidade para esclarecer todo o tipo de dúvidas.
2. Ao Professor Roberto Lamberts por toda a atenção e cordialidade que demonstrou durante todo o período de intercâmbio em Florianópolis.
3. À arquitecta Juliana Oliveira Baptista pela forma como me recebeu na Casa Eficiente e disponibilizou o espaço e a informação existente.
4. Ao Professor Miguel Aloysio Sattler pela forma como me recebeu em Porto Alegre e dispendeu o seu tempo na troca de conhecimentos. Apesar de não ter sido meu Professor e sendo eu de outro país, demonstrou no seu trato uma cordialidade exemplar.
5. Ao Arquitecto Otávio Urquiza por todo o conhecimento e informação que me transmitiu. Terei sempre presente a incrível simpatia que demonstrou ao receber-me em sua casa, sendo eu um completo desconhecido e a cortesia de me ter fornecido toda a informação que precisei.
6. À Engenheira e amiga Inês Aires, por todo o apoio prestado e auxílio nos momentos mais difíceis da realização deste trabalho. Agradeço-lhe ainda o facto de estar sempre presente quando precisei, em assuntos profissionais e pessoais.
7. Aos amigos Rui e Joana pela sua companhia, paciência e incentivo ao longo de todo o trabalho. Sem eles esta dissertação teria sido um processo mais moroso.
8. Aos colegas de faculdade Rui, João, Artur, Pedro e Jorge pelo companheirismo demonstrado ao longo de todos os anos do curso. O seu apoio e amizade contribuíram indirectamente para a realização deste trabalho.
9. Aos meus pais e irmão que sempre me apoiaram nos melhores e piores momentos. A finalização desta dissertação representa o culminar de um período de 5 anos de estudo que seguiram de forma atenta e participativa. Celebraram os sucessos e apoiaram nas derrotas, contribuindo de forma contínua para que me encontre onde estou actualmente.
10. À Caroline por estar sempre ao meu lado durante todo o processo, pelo incentivo e carinho.



## **RESUMO**

A presente dissertação visou demonstrar a necessidade e importância de adoptar uma nova visão da engenharia civil e construção, que promova um desenvolvimento sustentável. Teve como objectivo ainda, fornecer alguns passos para que essa mudança tenha efeito.

A abordagem adoptada foi um estudo aprofundado das novas tecnologias e técnicas construtivas, associadas a fontes de energias renováveis, desde o seu fundamento teórico a possíveis aplicações, prós e contras. O estudo incidiu sobre formas de aproveitamento solar activo e passivo, ventilação natural, aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas, orientação solar, protecção solar e utilização de inércia térmica. Inicialmente, cada técnica foi avaliada individualmente, passando-se depois a analisar combinações mais eficientes de várias técnicas em simultâneo.

No seguimento da pesquisa, estudou-se casos reais de edifícios sustentáveis e energeticamente eficientes, recolhendo dados sobre estratégias adoptadas e sobre a eficiências das mesmas. O estudo incidiu quer em edifícios protótipo quer em edifícios existentes e de uso corrente, que adoptaram uma visão “amiga” do ambiente. O principal caso de estudo foi um protótipo presente nas instalações da empresa Eletrosul, em Florianópolis, Brasil, construído em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina, designado por Casa Eficiente. Este edifício apresentava várias soluções inovadoras com o intuito de racionalizar os gastos energéticos e reduzir o impacte ambiental. A cooperação com a equipa responsável pelo projecto, permitiu a recolha de dados de uma auditoria energética do edifício, na qual se comparou o consumo de um modelo de construção tradicional, com o consumo de modelos com novas tecnologias.

Partindo da informação recolhida na pesquisa, avaliou-se a construção tradicional e propuseram-se medidas para melhoramento da mesma. Avaliaram-se medidas que podem ser adoptadas em diferentes fases do processo construtivo, desde a fase de projecto até soluções a serem incorporadas em edifícios pré-existentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** desenvolvimento sustentável, técnicas construtivas, energias renováveis, edifícios sustentáveis, ambiente.



## **ABSTRACT**

The object of this thesis is to demonstrate the importance of assuming a new concept regarding civil engineering and construction, one which promotes sustainable development. It also aims to provide some essential steps to undergo that change.

The method undertaken involved an exhaustive study of recent, renewable energy related, technologies and construction techniques. The research focused on the theoretical background, possible applications, advantages and disadvantages of the mentioned. The analyzed strategies feature active and passive solar heating, natural ventilation, rainwater harvesting and greywater reuse, solar orientation, shading and correct use of thermal mass. First, each technique was evaluated individually, followed by an evaluation of different combinations, working simultaneously.

During the research, real case studies of sustainable and energy efficient buildings were considered. Data regarding strategies adopted and its efficiency was gathered. Buildings analysed ranged from prototype buildings to existent-common-use-buildings, that had assumed an environmental friendly perspective. The main case study was a prototype building in the facilities of Eletrosul, Florianópolis, Brazil, built in cooperation with the “Universidade Federal de Santa Catarina”, named “Casa Eficiente”. This building presented several innovative solutions meant to ration energy consumption and decrease environmental impact. Cooperation with the team responsible for the project, made it possible to obtain data concerning an energetic auditing of the building, which featured comparisons between energy consumption of a traditional building model and new technology-based models.

Based on the obtained data, traditional Portuguese construction was analyzed and measures of improvement were proposed. The measures concerned can be applied in different phases of the construction process, either when the building is still in design, or in pre-existent buildings.

**KEYWORDS:** sustainable development, construction techniques, renewable energy, sustainable buildings, environment.



## ÍNDICE GERAL

|                                                                                                                                   |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>AGRADECIMENTOS .....</b>                                                                                                       | <b>i</b>      |
| <b>RESUMO .....</b>                                                                                                               | <b>iii</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                             | <b>v</b>      |
| <br><b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                    | <br><b>1</b>  |
| <b>1.1. A SITUAÇÃO ACTUAL DO PLANETA .....</b>                                                                                    | <b>1</b>      |
| 1.1.1. FONTES DE ENERGIA ACTUALMENTE UTILIZADAS .....                                                                             | 2             |
| 1.1.2. O MEIO AMBIENTE – A NECESSIDADE DE ALTERNATIVAS.....                                                                       | 2             |
| 1.1.3. FONTES DE ENERGIA ALTERNATIVAS/RENOVÁVEIS.....                                                                             | 4             |
| <b>1.2. UMA NOVA VISÃO DA ENGENHARIA CIVIL .....</b>                                                                              | <b>5</b>      |
| 1.2.1. A NOÇÃO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL .....                                                                                    | 5             |
| 1.2.2. AS MEDIDAS DE PORTUGAL E DA UNIÃO EUROPEIA.....                                                                            | 7             |
| <br><b>2. A INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO .....</b>                                                                                      | <br><b>11</b> |
| <b>2.1. TECNOLOGIAS INOVADORAS.....</b>                                                                                           | <b>11</b>     |
| 2.1.1. A NECESSIDADE DE DIVULGAÇÃO .....                                                                                          | 11            |
| 2.1.2. PROBLEMAS NA INTRODUÇÃO AO MERCADO.....                                                                                    | 12            |
| 2.1.3. SOLUÇÕES A ADOPTAR PARA A ACEITAÇÃO.....                                                                                   | 13            |
| <b>2.2. CLARIFICAÇÃO DE ALGUNS CONCEITOS .....</b>                                                                                | <b>16</b>     |
| 2.2.1. A NOÇÃO DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA .....                                                                                 | 16            |
| 2.2.2. APROVEITAMENTO SOLAR ACTIVO E PASSIVO.....                                                                                 | 21            |
| 2.2.3. RADIAÇÃO SOLAR.....                                                                                                        | 23            |
| <b>2.3. TÉCNICAS CONSTRUTIVAS A IMPLEMENTAR PARA A CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS<br/>ENERGETICAMENTE EFICIENTES E SUSTENTÁVEIS.....</b> | <b>26</b>     |
| <b>2.3.1. APROVEITAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO .....</b>                                                                             | <b>26</b>     |
| 2.3.1.1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....                                                                                                  | 26            |
| 2.3.1.2. INTEGRAÇÃO EM MEIO URBANO: O PROJECTO PURE .....                                                                         | 31            |
| 2.3.1.3. ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO .....                                                                                            | 36            |
| <b>2.3.2. APROVEITAMENTO SOLAR TÉRMICO.....</b>                                                                                   | <b>39</b>     |
| 2.3.2.1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....                                                                                                  | 39            |

|                                                                                                 |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 2.3.2.2. O PROJECTO ÁGUA QUENTE SOLAR PARA PORTUGAL.....                                        | 48             |
| 2.3.2.3. ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO.....                                                           | 50             |
| <b>2.3.3. GESTÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA .....</b>                                             | <b>54</b>      |
| 2.3.3.1. REGRAS DE BOA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA.....                                                  | 54             |
| 2.3.3.2. APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA.....                                                   | 56             |
| 2.3.3.3. REUTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS CINZENTAS .....                                                 | 62             |
| <b>2.3.4. VENTILAÇÃO NATURAL .....</b>                                                          | <b>67</b>      |
| 2.3.4.1. FUNDAMENTO TEÓRICO .....                                                               | 67             |
| 2.3.4.2. VENTILAÇÃO POR EFEITO CHAMINÉ.....                                                     | 68             |
| 2.3.4.3. VENTILAÇÃO POR ACÇÃO DO VENTO .....                                                    | 70             |
| 2.3.4.4. INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES .....                      | 72             |
| <b>2.3.5. PROTECÇÕES SOLARES E SOMBREAMENTO.....</b>                                            | <b>79</b>      |
| 2.3.5.1. FUNDAMENTO TEÓRICO .....                                                               | 79             |
| <b>2.3.6. UTILIZAÇÃO ADEQUADA DE INÉRCIA TÉRMICA .....</b>                                      | <b>87</b>      |
| 2.3.6.1. FUNDAMENTO TEÓRICO .....                                                               | 87             |
| 2.3.6.2. PAREDES TROMBE .....                                                                   | 90             |
| <b>2.3.7. EQUIPAMENTOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES E REGRAS DE BOA UTILIZAÇÃO .....</b>          | <b>94</b>      |
| <br><b>3. CASOS REAIS DE EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS .....</b>                                       | <br><b>97</b>  |
| <b>3.1. EXEMPLOS DE PROJECTOS EM FUNCIONAMENTO .....</b>                                        | <b>97</b>      |
| 3.1.1. ZERO ENERGY DEVELOPMENT (BEDZED).....                                                    | 97             |
| 3.1.2. ECOOVILA EM PORTO ALEGRE .....                                                           | 99             |
| 3.1.3. EDIFÍCIO SOLAR XXI.....                                                                  | 101            |
| <br><b>4. EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS VS EDIFÍCIOS TRADICIONAIS .....</b>                            | <br><b>105</b> |
| <b>4.1. COMPARAÇÃO ENTRE EDIFÍCIOS TRADICIONAIS E EDIFÍCIOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES.....</b> | <b>105</b>     |
| 4.1.1. CASO DE ESTUDO: A CASA EFICIENTE EM FLORIANÓPOLIS .....                                  | 105            |
| 4.1.2. CONDICIONANTES DO PROJECTO.....                                                          | 106            |
| 4.1.3. CARACTERÍSTICAS DO PROJECTO: ESTRATÉGIAS ADOPTADAS.....                                  | 111            |
| 4.1.4. ANÁLISE ENERGÉTICA E COMPARAÇÃO COM EDIFÍCIOS PADRÃO .....                               | 122            |
| 4.1.4.1. Resultados da avaliação energética .....                                               | 133            |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>5. CONCLUSÕES</b>                                                     | 140 |
| <b>5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                         | 140 |
| <b>5.2. CONCLUSÕES GERAIS</b>                                            | 140 |
| 5.2.1. APROVEITAMENTO SOLAR                                              | 141 |
| 5.2.1.1. Aproveitamento Solar Fotovoltaico                               | 141 |
| 5.2.1.2. Aproveitamento Solar Térmico                                    | 142 |
| 5.2.2. ÁGUA – OS DIFERENTES ASPECTOS                                     | 142 |
| 5.2.2.1. Gestão da Água                                                  | 142 |
| 5.2.2.2. Aproveitamento de Águas Pluviais                                | 142 |
| 5.2.2.3. Reutilização de Águas Cinzas                                    | 142 |
| 5.2.3. VENTILAÇÃO NATURAL                                                | 143 |
| 5.2.4. PROTECÇÕES SOLARES                                                | 143 |
| 5.2.5. INÉRCIA TÉRMICA                                                   | 143 |
| 5.2.6. EDIFÍCIOS EFICIENTES                                              | 144 |
| 5.2.7. EQUIPA PROFISSIONAL                                               | 144 |
| <b>6. BIBLIOGRAFIA</b>                                                   | B1  |
| <b>7. ANEXOS</b>                                                         | A1  |
| 7.1. A INFLUÊNCIA DO CONSUMO DE ÁGUA NO DESEMPENHO DE COLECTORES SOLARES | A1  |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig.1.1 – Consumo energético de edifícios .....                                                                                                   | 1  |
| Fig.1.2 – Principais fontes de energia primária .....                                                                                             | 2  |
| Fig.1.3 – Previsão do aquecimento global .....                                                                                                    | 3  |
| Fig.1.4 – Diversos tipos de energias alternativas.....                                                                                            | 4  |
| Fig.1.5 – Esquema de desenvolvimento sustentável .....                                                                                            | 6  |
| Fig.1.6 – Medidas adoptadas pelo programa E4 .....                                                                                                | 8  |
| Fig.1.7 – Metas indicativas para a produção de energia eléctrica a partir das fontes de energia renovável .....                                   | 9  |
| Fig.1.8 – Exemplos de medidas do Governo, o Programa E4 (à esquerda) e o Programa Água Quente Solar para Portugal (à direita) .....               | 10 |
| Fig.2.1 – Exemplos de iniciativas de divulgação: o Ecobus e a brochura da convenção European Meeting Point: Energy for Development.....           | 12 |
| Fig.2.2 – Estimativa dos custos das medidas propostas .....                                                                                       | 15 |
| Fig.2.3 – Zona de conforto .....                                                                                                                  | 16 |
| Fig.2.4 – Zona de ventilação .....                                                                                                                | 17 |
| Fig.2.5 – Zona de arrefecimento por evaporação .....                                                                                              | 17 |
| Fig.2.6 – Zona de arrefecimento por radiação .....                                                                                                | 18 |
| Fig.2.7 – Zona de arrefecimento artificial .....                                                                                                  | 18 |
| Fig.2.8 – Zona de humificação .....                                                                                                               | 19 |
| Fig.2.9 – Zona de inércia térmica para aquecimento solar .....                                                                                    | 19 |
| Fig.2.10 – Zona de aquecimento solar passivo.....                                                                                                 | 20 |
| Fig.2.11 – Zona de aquecimento artificial.....                                                                                                    | 20 |
| Fig.2.12 – Mapa europeu de radiação solar incidente no plano horizontal.....                                                                      | 21 |
| Fig.2.13 – Exemplos de regras de projecto para vários tipos de clima: a) clima tropical, b) clima quente e árido e c) clima subtropical.....      | 22 |
| Fig.2.14 – Diagrama solar representativo da trajectória do sol ao longo do ano.....                                                               | 23 |
| Fig.2.15 – Espectro electromagnético adaptado .....                                                                                               | 24 |
| Fig.2.16 – Mapas de radiação solar para Portugal .....                                                                                            | 26 |
| Fig.2.17 – Representação do efeito fotovoltaico .....                                                                                             | 28 |
| Fig.2.18 – Exemplos de células fotovoltaicas: a) célula standard de silício cristalino , b) células de 2ª geração, c) células de 3ª geração ..... | 28 |
| Fig.2.19 – Exemplos de painéis fotovoltaicos .....                                                                                                | 29 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig.3.20 – Exemplo de sistema fotovoltaico autónomo, a) módulos fotovoltaicos, b) sistema de regulação de potência de painéis, c) sistema de armazenamento de energia eléctrica, d) conversor DC-AC, e) sistema de backup (opcional), f) sistema de regulação do sistema de backup e g) sistema de ligação ..... | 30 |
| Fig.2.21 – Exemplo de sistema fotovoltaico ligado à rede pública .....                                                                                                                                                                                                                                           | 30 |
| Fig.2.22 – Exemplo de integração de equipamento fotovoltaico em edifícios .....                                                                                                                                                                                                                                  | 31 |
| Fig.2.23 – Variedade de elementos: a) cores, b) elemento transparente, c) exemplo de composição com células fotovoltaicas de diferentes cores.....                                                                                                                                                               | 32 |
| Fig.2.24 – Inclinações de módulos fotovoltaicos consoante o tipo de instalação.....                                                                                                                                                                                                                              | 33 |
| Fig.2.25 – Eficiência da energia fotovoltaica em fachadas e coberturas de diferentes orientações e inclinações .....                                                                                                                                                                                             | 33 |
| Fig.2.26 – As iniciativas Intelligent Europe e PURE .....                                                                                                                                                                                                                                                        | 34 |
| Fig.2.27 – Exemplos de BIPV em fachadas e coberturas .....                                                                                                                                                                                                                                                       | 34 |
| Fig.2.28 – Funções adicionais dos BIPV: protecção contra agentes climáticos, ruído e calor; conversão de energia electromagnética, térmica e fotovoltaica; sombreamento e aspecto estético....                                                                                                                   | 35 |
| Fig.2.29 – Possíveis aplicações da tecnologia fotovoltaica .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 35 |
| Fig.2.30 – Custo por m <sup>2</sup> de diversos materiais de construção.....                                                                                                                                                                                                                                     | 37 |
| Fig.2.31 – Mercado Europeu de energia solar térmica.....                                                                                                                                                                                                                                                         | 39 |
| Fig.2.32 – Exemplo de colector solar plano .....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 40 |
| Fig.2.33 – Exemplo de colector solar concentrador .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 41 |
| Fig.2.34 – Concentrador parabólico composto (CPC), denotar a superfície absorsora com alhetas ...                                                                                                                                                                                                                | 41 |
| Fig.2.35 – Colector solar com tubos de vácuo.....                                                                                                                                                                                                                                                                | 41 |
| Fig.2.36 – Exemplo de um sistema solar térmico com permutador externo.....                                                                                                                                                                                                                                       | 42 |
| Fig.2.37 – Esquema de circulação do tipo termossifão .....                                                                                                                                                                                                                                                       | 43 |
| Fig.2.38 – Esquema de circulação invertida em sistema de termossifão .....                                                                                                                                                                                                                                       | 43 |
| Fig.2.39 – Esquema de um sistema completamente integrado: 1 – colectores solares , 2 – depósito de acumulação, 3 - depósito de apoio e 4 – sistema de apoio .....                                                                                                                                                | 45 |
| Fig.2.40 – Esquema de instalação centralizada com sistemas de apoio individuais .....                                                                                                                                                                                                                            | 45 |
| Fig.2.41 – Esquema de um sistema de colectores centralizado.....                                                                                                                                                                                                                                                 | 46 |
| Fig.2.42 – Esquema de um sistema monobloco .....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 46 |
| Fig.2.43 – Integração de colectores solares em edifícios .....                                                                                                                                                                                                                                                   | 47 |
| Fig.2.44 – Integração de colectores solares em edifícios .....                                                                                                                                                                                                                                                   | 47 |
| Fig.2.45 – Potencial máximo da energia térmica solar em Portugal até 2010 .....                                                                                                                                                                                                                                  | 48 |
| Fig.2.46 – Representação das áreas de colectores possíveis de instalar até 2010. As percentagens sem parêntesis representam o peso de cada sector no total de instalações. A percentagem dentro de parêntesis, reflecte a parcela do potencial máximo que é possível atingir até 2010.....                       | 48 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig.2.47 – Esquema das vertentes de mercado e medidas a adoptar para o solar térmico.....                                                                                                                                                                       | 50 |
| Fig.2.48 – Comparação de custos de aquecimento de água durante um período de 12 anos, recorrendo a diferentes soluções .....                                                                                                                                    | 52 |
| Fig.2.49 – Comparação das emissões de CO <sub>2</sub> de cada alternativa de aquecimento, para um período de 12 anos.....                                                                                                                                       | 52 |
| Fig.2.50 – Orçamento de instalações de sistemas solares térmicos do tipo circulação forçada e termosifão .....                                                                                                                                                  | 53 |
| Fig.2.51 – Gráfico da distribuição por actividades do consumo médio diário de água .....                                                                                                                                                                        | 54 |
| Fig.2.52 – Valores da água desperdiçada por hora e por ano, devido aos tipos de fugas mais comuns.. .....                                                                                                                                                       | 56 |
| Fig.2.53 – Volumes captados em m <sup>3</sup> /ano para sistemas com diferentes áreas de telhados e para diferentes pluviosidades .....                                                                                                                         | 57 |
| Fig.2.54 – Factores de escoamento para diferentes tipos de telhados .....                                                                                                                                                                                       | 57 |
| Fig.2.55 – Esquema de uma instalação de aproveitamento de água das chuvas.....                                                                                                                                                                                  | 58 |
| Fig.2.56 – Esquema de mecanismo de descarga de primeira chuva .....                                                                                                                                                                                             | 59 |
| Fig.2.57 – Medição da área de captação para uso na equação .....                                                                                                                                                                                                | 60 |
| Fig.2.58 – Exemplo de um sistema de aproveitamento de água da chuva (pormenores de ligações e do depósito de armazenamento) .....                                                                                                                               | 62 |
| Fig.2.59 – Esquema de filtração de águas cinzas para uso no interior das habitações. a) primeira fase, b) segunda fase .....                                                                                                                                    | 64 |
| Fig.2.60 – Esquema de tratamento recorrendo a adubo natural (Wet Composting Systems) .....                                                                                                                                                                      | 65 |
| Fig.2.61 – Esquema de mini-etar .....                                                                                                                                                                                                                           | 66 |
| Fig.2.62 – Esquema de um sistema de tratamento de águas cinzas para reutilização na irrigação de zonas ajardinadas.....                                                                                                                                         | 66 |
| Fig.2.63 – Exemplo das diferenças de pressões responsáveis pelo efeito chaminé. Situação a) aberturas na parte superior, b) aberturas na parte inferior e c) aberturas na parte superior e inferior..                                                           | 69 |
| Fig.2.64 – Esquema representativo da distribuição de pressões ao longo de um edifício com cobertura de duas águas inclinadas a 60° e vento incidente normal a uma fachada. Os sinais + representam zonas de sobrepressão e os sinais – zonas de subpressão..... | 71 |
| Fig.2.65 – Exemplo de utilização benéfica de elementos paisagísticos .....                                                                                                                                                                                      | 71 |
| Fig.2.66 – Esquema de funcionamento de ventilação cruzada (à esquerda) [63] e ventilação unilateral (à direita).....                                                                                                                                            | 72 |
| Fig.2.67 – Esquema representativo da oposição do vento ao efeito de chaminé .....                                                                                                                                                                               | 73 |
| Fig.2.68 – Esquema de uma solução de ventilação conjunta. Estão assinaladas as zonas de admissão, passagem e evacuação de ar .....                                                                                                                              | 75 |
| Fig.2.69 – Esquema de uma solução de ventilação separada. Neste caso existem dois sectores distintos de ventilação .....                                                                                                                                        | 75 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig.2.70 – Esquema da distribuição do fluxo de ar na fachada de um edifício. Denotar a zona de recirculação localizada na metade inferior .....                                                                                                                                         | 76 |
| Fig.2.71 – Esquema de aberturas de admissão de ar localizadas na fachada e acima da zona de ocupação .....                                                                                                                                                                              | 76 |
| Fig.2.72 – Exemplo de uma abertura de admissão de ar auto-regulável .....                                                                                                                                                                                                               | 76 |
| Fig.2.73 – Esquema de admissão e evacuação de ar por condutas .....                                                                                                                                                                                                                     | 77 |
| Fig.2.74 – Exemplos de aberturas para passagem de ar no interior das habitações. Da esquerda para a direita: grelha incorporada na porta, grelha aplicada na parede e folga na porta .....                                                                                              | 77 |
| Fig.2.75 – Exemplo de localização de abertura de evacuação de ar numa instalação sanitária. Além de cumprir a cota exigida, a abertura deverá situar-se o mais afastada da porta possível.....                                                                                          | 78 |
| Fig.2.76 – Esquema de ventilação cruzada em edifício de escritórios de San Francisco. As janelas actuam como aberturas de admissão de ar e permanecem abertas durante o horário de trabalho .....                                                                                       | 78 |
| Fig.2.77 – Outra solução para o mesmo edifício em San Francisco que conjuga outra estratégia com a ventilação. Neste caso recorre-se à utilização de um pavimento arrefecido, que auxilia na redução da temperatura do ar admitido, contribuindo para o arrefecimento do ambiente ..... | 79 |
| Fig.2.78 – Exemplo da exposição solar de uma fachada Este (esquerda) e outra Sul (direita) em situação de Inverno .....                                                                                                                                                                 | 80 |
| Fig.2.79 – Exemplo da exposição solar das mesmas fachadas anteriores, agora em situação de Verão .....                                                                                                                                                                                  | 80 |
| Fig.2.80 – À esquerda: Exemplo de medição dos ângulos $\alpha$ , $\beta$ e $\gamma$ no transferidor de sombras. À direita: transferidor de sombras.....                                                                                                                                 | 81 |
| Fig.2.81 – Exemplo de pala horizontal infinita, edifício Jacobs II. Verifica-se a continuidade da pala ao longo de toda a fachada.....                                                                                                                                                  | 82 |
| Fig.2.82 – Esquema da medição de ângulos e definição da máscara de sombra para a) pala horizontal infinita e b) pala horizontal finita .....                                                                                                                                            | 82 |
| Fig.2.83 – Esquema de pala horizontal infinita (à esquerda) e finita (à direita).....                                                                                                                                                                                                   | 83 |
| Fig.2.84 – Exemplo de medição de ângulos e definição de máscara de sombra para a) pala vertical infinita e b) pala vertical finita .....                                                                                                                                                | 83 |
| Fig.2.85 – Exemplos de variantes às palas horizontais e verticais base.....                                                                                                                                                                                                             | 84 |
| Fig.2.86 – Exemplos de estores exteriores .....                                                                                                                                                                                                                                         | 85 |
| Fig.2.87 – Exemplos de telas: interiores em PVC e fibra de vidro (à esquerda) e de filtro solar (à direita).....                                                                                                                                                                        | 85 |
| Fig.2.88 – Exemplo de persianas: Denotar na figura da esquerda, a composição de cor realizada com estes elementos .....                                                                                                                                                                 | 85 |
| Fig.2.89 – Exemplo de edifícios dotados de vidros absorsores de radiação solar .....                                                                                                                                                                                                    | 86 |
| Fig.2.90 – Esquema da projecção da sombra de um edifício para as 15h.....                                                                                                                                                                                                               | 86 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig.2.91 – À esquerda: esquema representativo dos ciclos de aquecimento diários no período de Verão, em paredes de elevada massa térmica. À direita: esquema do funcionamento da massa térmica elevada na situação de Verão .....                                                                                                 | 88  |
| Fig.2.92 – Esquema do funcionamento da massa térmica elevada na situação de Inverno.....                                                                                                                                                                                                                                          | 88  |
| Fig.2.93 – Exemplo de pavimento em betão na casa Carbondale. O betão absorve o calor lentamente durante o dia libertando-o gradualmente ao longo da noite. Foram dimensionadas protecções solares destinadas a impedirem os raios solares de Verão (mais inclinados), de incidirem no piso, mantendo-o fresco e confortável ..... | 89  |
| Fig.2.94 – Valores de massa térmica para alguns materiais correntes .....                                                                                                                                                                                                                                                         | 90  |
| Fig.2.95 – Esquema construtivo de uma parede Trombe .....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 91  |
| Fig.2.96 – Esquema construtivo de uma parede de Trombe modificada: denotar as aberturas de circulação de ar, o isolamento térmico aplicado na base e a protecção solar aplicada no telhado .....                                                                                                                                  | 92  |
| Fig.2.97 – Dados da análise do NREL relativamente à eficácia das paredes Trombe no edifício Zion Center .....                                                                                                                                                                                                                     | 92  |
| Fig.2.98 – Fotografias em infravermelhos das paredes Trombe do Zion Center: a) 16 de Dezembro às 20:30h e b) 21 de Janeiro às 20:00h. Denotar o calor acumulado pelas paredes durante o dia de Inverno .....                                                                                                                      | 93  |
| Fig.2.99 – Exemplo de uma etiqueta de eficiência energética de um electrodoméstico .....                                                                                                                                                                                                                                          | 94  |
| Fig.3.1 – Diferentes aspectos da comunidade BedZED .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 99  |
| Fig.3.2 – Pormenores das edificações: à esquerda: lareira a lenha; à direita: saída de ar aquecido..                                                                                                                                                                                                                              | 100 |
| Fig.3.3 – Outros aspectos da ecovila: denotar o telhado jardim, os colectores solares, os materiais das edificações e os tanques de aproveitamento de águas pluviais .....                                                                                                                                                        | 101 |
| Fig.3.4 – Fachada Sul do edifício Solar XXI, dotada de painéis fotovoltaicos integrados .....                                                                                                                                                                                                                                     | 102 |
| Fig.3.5 – Pormenor do sistema de ventilação natural incorporado na fachada solar .....                                                                                                                                                                                                                                            | 103 |
| Fig.3.6 – Esquema representativo do sistema de arrefecimento através de tubos enterrados.....                                                                                                                                                                                                                                     | 103 |
| Fig.4.1 – Mapa da ilha de Florianópolis.....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 106 |
| Fig.4.2 – Análise sobre a carta de Givoni dos dados climáticos do TRY, recorrendo ao Análisis Bio. Os dados abrangeram 8760 horas de registos, correspondentes à totalidade do ano de referência... ..                                                                                                                            | 107 |
| Fig.4.3 – Relatório do software Análisis Bio, contendo os resultados da análise e as estratégias a adoptar.....                                                                                                                                                                                                                   | 107 |
| Fig.4.4 – Gráficos relativos aos dados de temperatura do Ano Climático de Referência. À esquerda: Temperaturas de Bulbo Seco Mensais; à direita: Amplitudes Térmicas Diárias .....                                                                                                                                                | 108 |
| Fig.4.5 – Rosa dos Ventos representando a frequência dos ventos segundo a direcção, para o TRY.... ..                                                                                                                                                                                                                             | 109 |
| Fig.4.6 – Gráfico da frequência mensal da direcção do vento para o TRY .....                                                                                                                                                                                                                                                      | 109 |
| Fig.4.7 – Frequência dos ventos segundo a direcção, para diferentes horas do dia. Dados relativos ao TRY.....                                                                                                                                                                                                                     | 110 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig.4.8 – Humidade relativa mensal, em percentagem, para o TRY de Florianópolis .....                                                                                                                                                                                         | 111 |
| Fig.4.9 – Pormenor da execução de uma parede externa de alvenaria vazada. Esta parede situada na fachada Sul, actua como mecanismo de redução da velocidade do vento .....                                                                                                    | 112 |
| Fig.4.10 – Esboços iniciais do projecto da Casa Eficiente .....                                                                                                                                                                                                               | 112 |
| Fig.4.11 – Pormenores da edificação: à esquerda: o fogão a lenha; à direita: escada de caracol em madeira de pinus .....                                                                                                                                                      | 113 |
| Fig.4.12 – Pormenores de protecções solares horizontais e verticais.....                                                                                                                                                                                                      | 113 |
| Fig.4.13 – Fachada Norte da Casa Eficiente .....                                                                                                                                                                                                                              | 114 |
| Fig.4.14 – Da esquerda para a direita: pormenor da constituição de uma parede; pormenor da constituição da cobertura; esquema da localização do telhado-jardim .....                                                                                                          | 114 |
| Fig.4.15 – Planta do piso térreo evidenciando a estratégia de ventilação natural .....                                                                                                                                                                                        | 115 |
| Fig.4.16 – Pormenor do equipamento de adução de ar nocturno exterior para arrefecimento dos quartos.....                                                                                                                                                                      | 115 |
| Fig.4.17 – Pormenor do tubo de cobre do sistema de aquecimento dos quartos .....                                                                                                                                                                                              | 116 |
| Fig.4.18 – Pormenor da instalação do sistema fotovoltaico (esquerda) e do sistema solar térmico (direita) .....                                                                                                                                                               | 117 |
| Fig.4.19 – Tanques de armazenamento de água localizados no piso superior .....                                                                                                                                                                                                | 117 |
| Fig.4.20 – Pormenor das calhas de captação.....                                                                                                                                                                                                                               | 118 |
| Fig.4.21 – Pormenores do sistema de descarga de água de primeiras chuvas.....                                                                                                                                                                                                 | 118 |
| Fig.4.22 – Cisterna de armazenamento, vista em corte .....                                                                                                                                                                                                                    | 119 |
| Fig.4.23 – Pormenor e esquema representativo do tanque de raízes.....                                                                                                                                                                                                         | 120 |
| Fig.4.24 – Quadro eléctrico de circuitos e exemplo de sensores de medição .....                                                                                                                                                                                               | 121 |
| Fig.4.25 – Aspectos adicionais da Casa Eficiente: a fachada Sul e a rampa exterior (em cima) e o quarto de casal e a sala principal (em baixo).....                                                                                                                           | 121 |
| Fig.4.26 – Descrição das características presentes em cada modelo ensaiado.....                                                                                                                                                                                               | 122 |
| Fig.4.27 – Períodos de ocupação dos compartimentos considerados em todos os modelos. Cada figura vermelha ou azul representa um ocupante, sendo que a cor vermelha indica o período diurno (entre as 6h e as 18h) e a cor azul o período nocturno (entre as 18h e as 6h)..... | 123 |
| Fig.4.28 – Modelo virtual da Casa Eficiente utilizado no programa EnergyPlus .....                                                                                                                                                                                            | 124 |
| Fig.4.29 – Elementos construtivos do modelo base .....                                                                                                                                                                                                                        | 124 |
| Fig.4.30 – Carga interna do edifício por zona térmica .....                                                                                                                                                                                                                   | 125 |
| Fig.4.31 – Electrodomésticos considerados no caso base .....                                                                                                                                                                                                                  | 125 |
| Fig.4.32 – Características do sistema de climatização artificial.....                                                                                                                                                                                                         | 126 |
| Fig.4.33 – Características do sistema de ventilação natural .....                                                                                                                                                                                                             | 126 |
| Fig.4.34 – Esquema representativo do sistema de ventilação natural .....                                                                                                                                                                                                      | 127 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig.4.35 – Utilização do sistema artificial de iluminação no caso base, em diferentes compartimentos, estações do ano e horas do dia.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 127 |
| Fig.4.36 – Alterações de equipamento realizadas entre o modelo 1 e o modelo 2 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 128 |
| Fig.4.37 – Sistema de ventilação artificial utilizado no modelo 2.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 128 |
| Fig.4.38 – Utilização eficiente do sistema de iluminação artificial no caso 3.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 129 |
| Fig.4.39 – Características da cobertura utilizada no modelo 4: esquema representativo e valores de transmissão e atraso térmico. Denotar que estes valores são inferiores aos valores máximos presentes na norma (em quadrado azul na figura) .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 129 |
| Fig.4.40 – Características da parede utilizada no modelo 5: esquema representativo e valores de transmissão e atraso térmico .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 130 |
| Fig.4.41 – Protecções solares adoptadas no modelo 7 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 130 |
| Fig.4.42 – Representação esquemática da solução de vidro duplo adoptada no modelo 8 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 131 |
| Fig.4.43 – Períodos de aplicação das soluções passivas de climatização.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 131 |
| Fig.4.44 – Esquemas e propriedades térmicas das coberturas do modelo 10 e da Casa Eficiente: telhado-jardim (em cima) e cobertura em telha metálica com isolamento de lã de rocha.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 132 |
| Fig.4.45 – Consumo de energia eléctrica anual dos diferentes modelos ensaiados e comparação com o caso base .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 133 |
| Fig.4.46 – Consumo mensal de energia eléctrica de cada modelo ensaiado.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 133 |
| Fig.4.47 – Utilização final da energia eléctrica anual para cada modelo ensaiado. Estes gráficos traduzem a forma como foi consumida a energia total correspondente a cada modelo, demonstrada na figura 4.42. Isto é, a percentagem refere-se à energia gasta nesse caso: por exemplo, o facto de no caso 2 os equipamentos terem 36% de consumo e no caso 1 apenas 30%, não significa que houve maior gasto em 2, uma vez que esse valor representa 36% de um total de energia inferior ao do caso 1 ..... | 134 |
| Fig.4.48 – Consumo de energia eléctrica por tipo de utilização, para cada modelo analisado .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 135 |
| Fig.4.49 – Comparação do consumo de energia eléctrica entre o modelo 10 e o caso base (gráfico e tabela).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 135 |
| Fig.4.50 – Fluxo de calor através da cobertura para diferentes ambientes, no modelo base e no modelo 10. Em cima: situação de Verão, em baixo: situação de Inverno. Os valores apresentados são em $W/m^2$ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 136 |
| Fig.4.51 – Fluxo de calor através da parede para diferentes ambientes interiores, no modelo 10 e no caso base. Os valores apresentados são para a situação de Verão e encontram-se expressos em $W/m^2$ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 137 |
| Fig.4.52 – Fluxo de calor através de elementos envidraçados para diferentes ambientes interiores, no modelo 10 e no caso base. Os valores apresentados são para a situação de Verão e encontram-se expressos em $W/m^2$ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 138 |
| Fig.4.53 – Somatório de graus.h necessários para arrefecimento, situação de Verão .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 138 |
| Fig.4.54 – Somatório de graus.h necessários para aquecimento .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 139 |

## **ÍNDICE DE QUADROS**

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Orçamento de diferentes instalações fotovoltaicas .....                                                       | 38 |
| Quadro 2 – Estimativas de produção de águas negras e cinzas associadas a uma utilização e gestão eficiente da água ..... | 63 |

## **ÍNDICE DE EQUAÇÕES**

|                 |    |
|-----------------|----|
| Equação 1 ..... | 26 |
| Equação 2 ..... | 27 |
| Equação 3 ..... | 27 |
| Equação 4 ..... | 60 |





## INTRODUÇÃO

### 1.1. A SITUAÇÃO ACTUAL DO PLANETA

Há várias décadas que se fala do impacte negativo da actividade humana no planeta, como sejam o consumo desmesurado de recursos naturais, vários tipos de poluição e desflorestação, entre outros. Esta repercussão do estilo de vida actual ameaça todas as fontes de vida existentes, o ar, o solo, a água e a energia [1].

Um dos grandes contribuintes para esse impacte negativo é a porção do sector económico conhecido como construção civil. Esta indústria movimenta anualmente 642 mil milhões de euros, o que corresponde a 1/10 da economia mundial, representando 30% dos investimentos realizados no continente europeu, 21% dos realizados nos Estados Unidos da América e 23% dos realizados na totalidade dos países em desenvolvimento [2]. Devido à dimensão atingida por esta indústria, os edifícios são responsáveis por uma parcela considerável da utilização de recursos do planeta. Em média, consomem 40% da energia mundial, 16% da água potável e 25% das florestas de madeira, sendo ainda responsáveis por 50% das emissões de CO<sub>2</sub> a nível mundial [2]. Analisando individualmente cada país, 30 a 40% da energia total produzida, é consumida por edifícios [2].

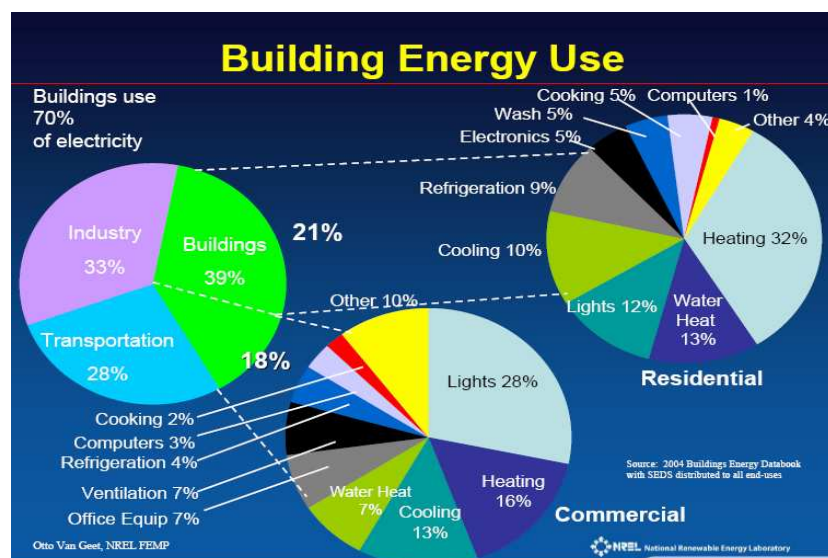


Figura 1.1: Consumo energético de edifícios [3].

### 1.1.1. FONTES DE ENERGIA ACTUALMENTE UTILIZADAS

Actualmente encontramos-nos perante uma situação precária dos recursos energéticos do planeta. A dependência de fontes de energia primária de carácter não renovável, como o petróleo, carvão e gás natural, coloca diversas questões relativas ao horizonte temporal da sua utilização. Estas fontes de energia são limitadas e encontram-se perto da escassez, sendo as previsões 40 anos para o petróleo, 61 anos para o gás natural e 270 anos para o carvão [4].

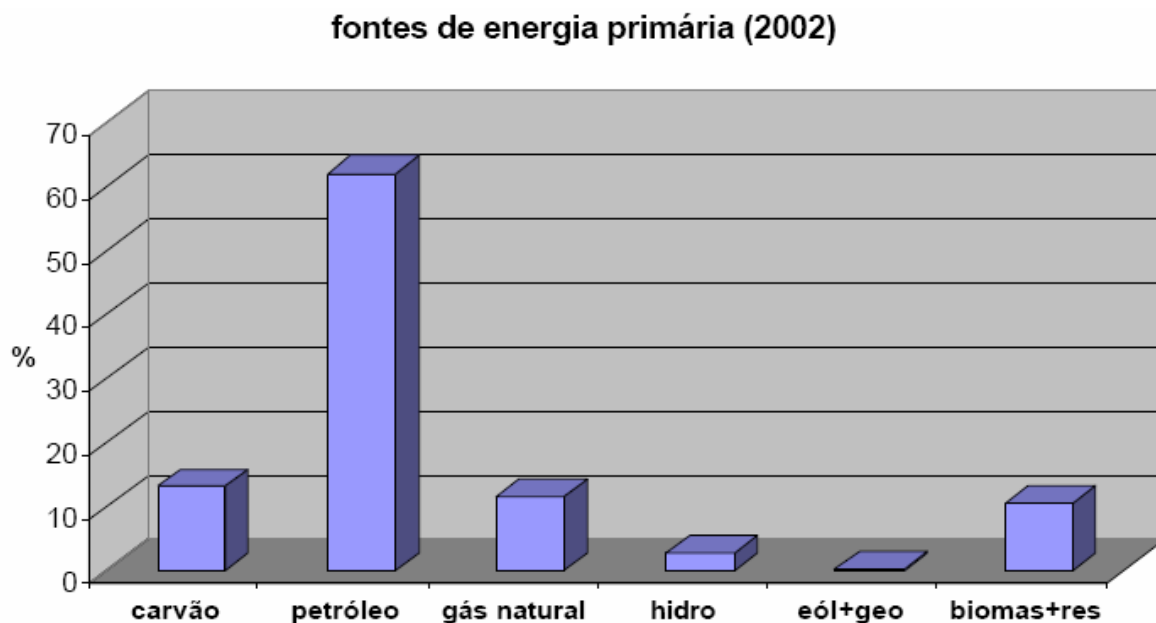


Figura 1.2: Principais fontes de energia primária [5].

Este tipo de energias, além de terem um reduzido período futuro de utilização, são ainda altamente poluentes, sendo responsáveis pela emissão de gases causadores do efeito de estufa e por diversos efeitos nocivos ao meio ambiente.

### 1.1.2. O MEIO AMBIENTE — A NECESSIDADE DE ALTERNATIVAS

O impacto negativo do Homem é facilmente visível na Natureza. Repetidamente se referiu a escassez de água, alterações climáticas, poluição ambiental, resíduos industriais, entre outros. As reservas de água começam a desaparecer, pelo que a poupança e redução do desperdício da mesma se torna crucial. As alterações climáticas resultantes principalmente da emissão de gases de estufa como é o caso do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e os compostos halogenados, apresentam dimensões preocupantes. O aquecimento global é o mais importante e preocupante exemplo das referidas alterações climáticas.

Segundo o relatório AR4 da IPCC (International Panel on Climate Change) [6]:

- os últimos onze anos estão entre os mais quentes desde 1850;
- a taxa de aumento de temperatura nos pólos foi o dobro da esperada;
- o nível das águas do mar subiu entre 2.4 a 3.8 mm por ano entre 1993 e 2003;

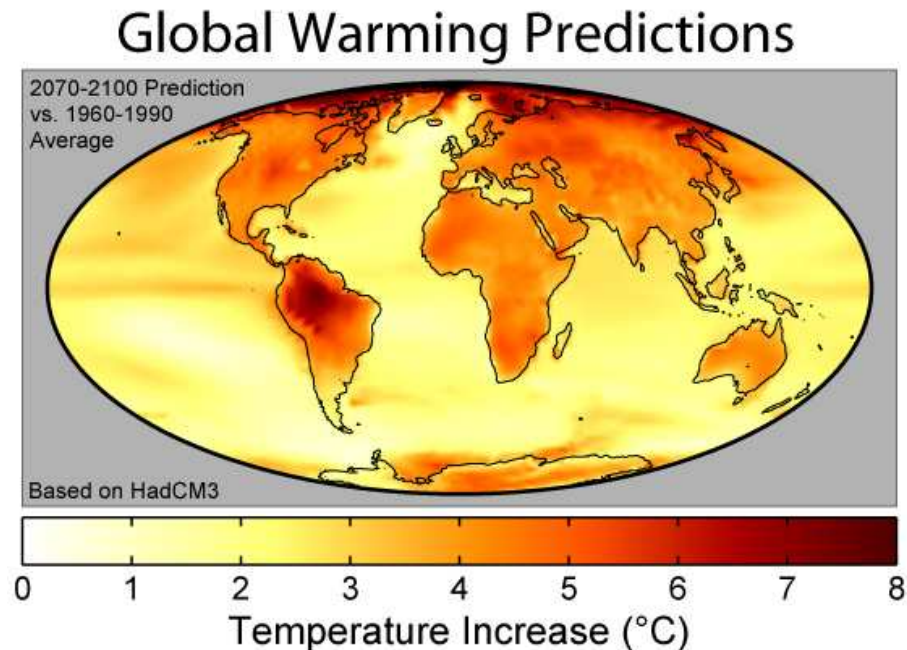


Figura 1.3: Previsão do aquecimento global [7].

A Conferência das Mudanças Climáticas de 1997 em Kyoto, onde foi assinado o Protocolo de Kyoto, deixou bem patente a importância de assumir um compromisso. Estabeleceu-se que até 2012, dever-se-ia reduzir em 5,2% a emissão de gases de efeito de estufa, relativamente a 1990, por parte dos 55% países mais poluidores. Este protocolo abordou ainda a necessidade de melhorar o desempenho térmico das edificações, aumentando a sua eficiência energética.

Os diferentes tipos de poluição apresentam também consequências desastrosas nomeadamente a contaminação de solos e bacias hidrográficas, destruição de habitats e formação de chuvas ácidas.

Perante o estado actual do planeta e as previsões realizadas para anos próximos, torna-se imperativo adoptar uma atitude diferente e conceitos inovadores. É necessário recorrer a fontes de energia limpas, renováveis e amigas do ambiente, bem como adoptar tecnologias alternativas que possibilitem um desenvolvimento sustentável. Sendo a indústria da construção uma das que mais exige dos recursos naturais, tanto durante a fase de obra como durante a fase de utilização, afectando negativamente o meio ambiente, faz todo o sentido que seja uma das primeiras a incorporar conceitos de sustentabilidade.

### 1.1.3. A ALTERNATIVA – FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

Este tipo de energia surge como uma necessidade crucial e apresenta-se como uma escolha indubitavelmente viável para a substituição das fontes de energia tradicionais. Geralmente denominadas de “energias verdes”, estas fontes energéticas apresentam características relevantes quando comparadas com as fontes não renováveis. Por um lado, e passo o pleonasmo, são renováveis, não havendo o risco de depleção de matéria-prima como se começa a verificar com o petróleo ou o carvão. Por outro, são energias “amigas do ambiente” na medida em que a sua utilização resulta em diminuições brutais dos gases de efeito de estufa e os resíduos por elas provocados têm um impacto muito inferior na natureza. Permitem ainda a poupança de recursos naturais e de energia, adicionando uma importante componente económica ao aspecto ambiental.

Entre os tipos de energia alternativa mais utilizados actualmente, destacam-se:

- energia solar;
- energia eólica;
- energia hídrica;
- energia das ondas e marés
- hidrogénio;
- cogeração;
- biomassa;



*Figura 1.4: Diversos tipos de energias alternativas [8].*

No que respeita a indústria de construção civil, não se pode recorrer de forma directa a todos estes tipos de energia, pois a tecnologia utilizada para o seu aproveitamento nem sempre se enquadra no perfil das obras de engenharia. O caso da energia produzida por cogeração ou por queima de biomassa só é viável em centrais de grande dimensão. A energia eólica e hídrica, apesar de serem associadas, respectivamente, a parques eólicos e a barragens ou minihídricas, podem ser utilizadas ao nível de edifícios, não sendo no entanto as mais rentáveis.

## 1.2. UMA NOVA VISÃO DA ENGENHARIA CIVIL

Reflectindo a referida necessidade de recorrer a energias limpas, novas técnicas construtivas e tecnologias surgiram no mercado. Sendo a engenharia civil uma ciência em constante progresso e evolução, melhorias e inovações ocorrem diariamente neste sector. No entanto, é conhecido o carácter estático de quem constrói, na medida em que há uma certa relutância em aceitar a novidade. Várias vezes, mesmo dispondo de equipamento e técnicas inovadoras, opta-se pela forma tradicional. Esta é uma das problemáticas que tem ser resolvida, de forma a incorporar toda uma nova mentalidade no sector. É necessária uma maior receptividade por parte de quem constrói de forma a inovar e melhorar o processo construtivo. Só assim será possível produzir obras mais eficientes do ponto de vista energético e económico, que simultaneamente tenham um reduzido impacte ambiental.

A construção começou a adoptar novos parâmetros, vendo-se obrigada a ser integrada no meio que a rodeia, sem o prejudicar. Surgiram conceitos como ecoovilas ou permacultura que reflectem a tentativa de conjugar a natureza circundante com o próprio edifício. Designações como edifícios “verdes”, edifícios energeticamente eficientes ou arquitectura sustentável começam a incorporar o âmbito da engenharia civil. A utilização de materiais novos com características semelhantes ou superiores aos tradicionais tornou-se banal, adoptando-se materiais menos tóxicos e que podem ser reaproveitados aquando do fim da vida útil da obra. Em suma, surgiu todo um aglomerado de medidas que visam a construção de edifícios mais económicos, resultante da poupança energética, e cujo processo construtivo seja menos danoso para o planeta.

### 1.2.1. A NOÇÃO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O facto da consciência ambiental estar presente apenas muito recentemente na história do Homem, gera dúvidas relativamente a alguns conceitos utilizados, nomeadamente o de sustentabilidade. Diariamente se refere o conceito de sustentabilidade, e a necessidade de adoptar medidas que permitam um desenvolvimento sustentável, sem a plena noção do seu significado.

Diversas medidas que geralmente se referem como sendo sustentáveis, nada mais são que conceitos lógicos, constantemente referidos, nomeadamente:

- evitar o desperdício de água, racionando o seu consumo;
- utilizar preferencialmente recursos energéticos renováveis;
- reduzir a quantidade de materiais de construção utilizada;
- seleccionar materiais causadores de menos impacte, quer no ambiente quer no ser humano;
- maximizar o período de vida das construções, reutilizando materiais na sua construção [9];

Segundo Gibberd, sustentabilidade é viver dentro da capacidade de suporte do planeta e desenvolvimento sustentável é aquele que conduz à sustentabilidade. Segundo Sachs, que analisa de forma mais científica o conceito de sustentabilidade, esta aparece-nos segundo 5 dimensões distintas [9]:

- **sustentabilidade social** que engloba as questões da distribuição de riqueza na sociedade, procurando uma igualdade;

- **sustentabilidade económica** que refere que a eficiência económica deve ser medida por critérios macrosociais;
- **sustentabilidade ecológica** que aborda a necessidade de preservar os recursos não renováveis, de diminuir o volume de resíduos produzidos e de reduzir o consumo de energia;
- **sustentabilidade geográfica** que aborda a configuração urbana bem como a localização de ecossistemas passíveis de serem afectados;
- **sustentabilidade cultural** que pretende que as soluções adoptadas sejam apropriadas ao ecossistema pré-existente, permitindo uma continuidade cultural.



Figura 1.5: Esquema de desenvolvimento sustentável [10].

O engenheiro civil deve tentar incorporar todas as dimensões possíveis nos seus projectos, de forma a produzir edifícios acessíveis a todos, confortáveis e com reduzido impacte ambiental. Como directrizes para cumprir cada uma das dimensões previamente referidas, abordam-se as seguintes, a título de exemplo [9]:

- a sustentabilidade social deve ser procurada construindo edifícios que possibilitem conforto e uma boa qualidade de vida às populações de menores possibilidades. Não deve ser apenas procurado o menor custo, mas também um bom comportamento do edifício em termos estruturais, de conforto ambiental e durabilidade;
- a sustentabilidade económica advém de um bom planeamento do projecto, utilizando métodos eficientes na construção, técnicas apropriadas e escolhendo materiais de construção existentes no local da edificação, reduzindo desta forma os custos de transporte;
- a sustentabilidade ecológica pode ser atingida escolhendo apropriadamente os materiais e processos construtivos de menor impacte, integrando as construções no meio envolvente e projectando com vista à poupança energética;
- a sustentabilidade geográfica consegue-se incorporando técnicas de planeamento de território apropriadas, construindo em dimensão e escalas adequadas ao local;

- a sustentabilidade cultural deverá ser encontrada incluindo no projecto zonas destinadas a actividades culturais típicas da comunidade.

#### 1.2.2. AS MEDIDAS DE PORTUGAL E DA UNIÃO EUROPEIA

A procura de um progresso ambientalmente adequado, foi suportada por diversas conferências e iniciativas relativas a este tema, nomeadamente as Conferências das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUCED) de 1992 e 2002, a Conferência das Mudanças Climáticas em Kyoto 1997 e as resoluções do Conselho Europeu. No seguimento destas, os estados membros viram-se obrigados a repensar a sua política económica e de desenvolvimento.

Várias resoluções e propostas foram apresentadas no decorrer dos anos, sendo aqui expostas apenas uma minoria, considerada de suma importância. No que respeita o governo português, duas medidas são de referir, a **resolução do Conselho de Ministros nº174/2001** e a **resolução do Conselho de Ministros nº63/2003**.

A resolução nº174/2001 é também conhecida como **Programa E4** (Eficiência Energética e Energias Endógenas). Este programa baseou-se numa comparação do panorama nacional com o dos restantes membros da União Europeia, no que respeita a utilização de energias limpas, emissões de gases de efeito de estufa e dependência energética. De acordo com o estudo efectuado estipularam-se objectivos e adoptaram-se directrizes. Precognizou-se como possível:

- duplicar a potência eléctrica instalada por via renovável e satisfazer o objectivo de possuir um total de 39% de energia eléctrica renovável num horizonte de 10 a 15 anos;
- proceder ao aquecimento de águas utilizadas nos sectores habitacionais e industriais recorrendo ao uso de colectores solares;
- reduzir a energia dispendida na procura de conforto ambiental, adoptando soluções de aquecimento e arrefecimento solar passivas, iluminação natural e incorporando conceitos de arquitectura bioclimática.

Ao lançar este programa o Governo Português comprometeu-se a adoptar diversas medidas que permitissem uma estratégia adequada de procura e oferta de energia, recorrendo a energias renováveis e à eficiência energética. Desta forma estaria a contribuir para uma melhoria da competitividade do país a nível europeu em termos económicos e tecnológicos, ao mesmo tempo que incorporava uma preocupação ambiental, devido à redução de gases emitidos.

De forma a cumprir os seus objectivos o programa assentou em 3 tópicos principais:

- diversificar as formas de acesso a energias renováveis e aumentar os prazos de garantia fornecidos pelas empresas de oferta energética;
- promover uma melhoria da eficiência energética resultando numa diminuição da intensidade energética do PIB, da factura energética e dos danos ambientais;
- promover o recurso a energias alternativas como é o caso da solar, hídrica, eólica, biomassa e energia das ondas, numa simbiose entre o desenvolvimento económico e as condicionantes ambientais [11].



Figura 1.6: Medidas adoptadas pelo programa E4 [11].

Uma importante proposta deste programa designou-se por Água Quente Solar para Portugal (AQSpP), cujo objectivo era fomentar a utilização de colectores solares no aquecimento de Águas Quentes Sanitárias (AQS) e de Águas Quentes de Processo (AQP). Pretendia-se um aumento anual de 150 000 m<sup>2</sup> na área ocupada por colectores solares, que conduziria, em 2010, a aproximadamente 1 000 000 m<sup>2</sup> de área aproveitada (menos de 7% do potencial nacional) [12]. De referir ainda os incentivos fiscais para cidadãos interessados em adquirir equipamento de aproveitamento de energias alternativas, com taxas de IVA na ordem de 12%.

A resolução nº63/2003 resultou da necessidade de implementação de uma política energética adequada simultaneamente ao progresso económico e às condicionantes ambientais. Esta resolução foi revista e substituída posteriormente pela resolução nº169/2005. Sendo Portugal um país de grande dependência energética externa, visou-se medidas que permitissem:

- a liberalização do mercado;
- a redução da intensidade energética no produto;
- a redução da factura energética;
- a melhoria da qualidade do serviço;
- a segurança do aprovisionamento e do abastecimento;
- a diversificação das fontes e aproveitamento dos recursos endógenos;
- a minimização do impacte ambiental; e
- a contribuição para o reforço da produtividade da economia nacional;

Portugal importa cerca de 85% da energia consumida, o que corresponde a gastos de cerca de 4 milhões de euros por ano. A solução para reduzir a dependência reside no aproveitamento das energias renováveis, de grande potencial no território nacional.

**Metas indicativas para a produção de energia eléctrica a partir das fontes de energia renovável (FER)**

| Recursos endógenos                      | Capacidade instalada em 2001 (megawatts) | Capacidade a instalar até 2010 (megawatts) |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Eólicos .....                           | 101                                      | 3 750                                      |
| Pequenos aproveitamentos hídricos ..... | 215                                      | 400                                        |
| Biomassa .....                          | 10                                       | 150                                        |
| Biogás .....                            | 1                                        | 50                                         |
| Resíduos sólidos urbanos .....          | 66                                       | 130                                        |
| Ondas .....                             | 0                                        | 50                                         |
| Fotovoltaico .....                      | 1                                        | 150                                        |
| Hídricos .....                          | 4 209                                    | 5 000                                      |
| <i>Total</i> .....                      | 4 603                                    | 9 680                                      |

*Figura 1.7 : Metas indicativas para a produção de energia eléctrica a partir das fontes de energia renovável [12].*

Incorporado nesta política energética estava o reforço do Programa Nacional para a Eficiência Energética dos Edifícios, que englobava nova legislação e a obrigatoriedade de Certificação Energética para edifícios, uma medida de extrema importância e que recentemente entrou em vigor. A etiquetagem é feita com base no RCCTE (Regulamento das Características e Comportamento Térmico dos Edifícios) e RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios), englobando uma escala de 7+2 classes. A atribuição deste certificado permite uma comprovação ao utilizador, de uma correcta aplicação dos regulamentos de térmica e qualidade interior do ar, fornecendo também informação relativa ao desempenho energético do empreendimento. Desta forma, é possível incorporar esta componente na escolha de um imóvel, introduzindo mais um elemento de auxílio à decisão [13].

Relativamente à União Europeia, foi aprovada em 23 de Janeiro de 2008, em Bruxelas, um pacote de propostas designado IP/08/80, com o âmbito de travar as alterações climáticas e promover o uso de energias alternativas. Estas propostas ficaram conhecidas como 20/20by20, na medida em que o seu objectivo é que a União Europeia reduza em 20% as emissões de gases de efeito de estufa e aumente em 20% a parcela das energias renováveis no consumo energético, até o ano de 2020 [14].

Observa-se assim, uma tendência crescente da consciencialização ambiental a nível mundial. As medidas enunciadas referem-se apenas à União Europeia, mas vários outros países adoptaram estratégias semelhantes, como é o caso dos E.U.A. ou do Brasil.



Figura 1.8 : Exemplos de medidas do Governo, o Programa E4 (à esquerda) [15], e o Programa Água Quente Solar para Portugal, (à direita) [15].

## 2

## A INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

### 2.1. TECNOLOGIAS INOVADORAS

A designação de tecnologias inovadoras não está verdadeiramente correcta tendo em conta o objecto que contempla. A maior parte das chamadas técnicas inovadoras, não o são, estando presentes no mercado e sendo do conhecimento de engenheiros e projectistas há vários anos. No entanto, apenas recentemente se verificou um maior número de projectos a incorporá-las, advindo daí o termo “inovadoras”. Com o intuito de possibilitar a utilização de energias limpas, provenientes de fontes energéticas renováveis, essas tecnologias têm sido adoptadas. Tendo em conta que alguns tipos de energias endógenas apenas se tornam rentáveis com equipamentos em grande escala, como é o caso das centrais de cogeração ou os parques eólicos, serão abordadas apenas as energias cujas técnicas de aproveitamento são passíveis de serem aplicadas a edifícios. Apesar de estarem presentes há vários anos no sector da construção, estas técnicas são no entanto postas de parte como primeira escolha, por serem a alternativa ao convencional. Desta forma, o utilizador fica sempre relutante a apostar nas energias limpas, mentalidade que tem que ser alterada. Há que referir, no entanto, que os primeiros contactos com estes equipamentos não causaram uma impressão favorável, na medida em que se verificaram problemas relativos a funcionamento, rentabilidade, garantia e manutenção. Actualmente, porém, a evolução verificada nesta área permite a utilização de equipamentos e técnicas de alta qualidade, certificadas e com rendimento adequado, nomeadamente:

- aplicação de colectores solares;
- aplicação de painéis fotovoltaicos;
- uso correcto de ventilação natural;
- aplicação de protecções solares.
- aproveitamento de inércia térmica;
- correcta orientação solar; e
- aproveitamento e reutilização de água.

#### 2.1.1. A NECESSIDADE DE DIVULGAÇÃO

Uma mudança de mentalidade a nível global não é facilmente processada nem aceite. A tentativa de mudar hábitos e estilos de vida adquiridos ao longo de anos é uma tarefa árdua que tem que ser abordada cuidadosamente e insistentemente. Apenas há cerca de 20 anos teve início o movimento de preocupação para com o estado dos recursos naturais, os níveis de poluição, em suma,

com a saúde do planeta. Anteriormente, não havia referências relativamente à escassez de água, às emissões de gases de efeito de estufa, não havia a noção de desenvolvimento sustentável. Os hábitos de utilização da habitação reflectiam a mentalidade:

- aparelhos electrónicos em modo stand-by;
- lâmpadas continuamente ligadas em áreas sem utilizadores;
- electrodomésticos sem níveis de eficiência adequados;
- excesso de água desperdiçada no uso do chuveiro.

Actualmente, estes hábitos incorrectos ainda são observados em grande número de habitações, porém várias campanhas de sensibilização têm sido efectuadas com a intenção de os alterar. Este tipo de iniciativas tem que abranger não apenas a mudança de costumes, mas também a promoção de novas energias.

No que respeita a promoção de energias endógenas vários projectos foram realizados, desde convenções (a European Meeting Point: Energy for Development 2007 e a Portugal Sustainable Building 2007), passando por programas da EDP (Ecobus, My Energy), do IST (Enertown) e da própria União Europeia. É necessária esta aposta para que a resistência à inovação seja atenuada e as novas tecnologias passem a ser a regra e não a excepção. Dando a conhecer ao público as vantagens económicas e ambientais resultantes do uso de energias alternativas, a sua aceitação atingirá os níveis desejados.



Figura 2.1: Exemplos de iniciativas de divulgação: o Ecobus [16] e a brochura da convenção European Meeting Point: Energy for Development [17].

#### 2.1.2. PROBLEMAS NA INTRODUÇÃO AO MERCADO

De forma geral, as problemáticas relacionadas com o desenvolvimento e expansão dos sistemas de construção alternativos, são comuns a todos eles. Devido à sua pequena dimensão no mercado, a produção de equipamentos não é realizada em massa, provocando um acréscimo no seu preço. De acordo com estudos e workshops realizados, identificaram-se 5 grandes entraves ao desenvolvimento das energias limpas [18]:

- **elevado investimento inicial** na aquisição de equipamentos de aproveitamento solar, derivado da falta de suportes financeiros adequados. Não existem meios de financiamento para o investimento inicial, apenas incentivos fiscais;
- **reduzida credibilidade** das tecnologias junto do público alvo, derivada das primeiras experiências com os equipamentos, que transmitiram uma impressão negativa devido a más instalações e reduzida manutenção.  
Além destes resultados negativos, as empresas que normalmente apostam neste tipo de tecnologias são de pequena dimensão, sem uma forte componente financeira, o que ajuda a imagem de descrédito;
- **fraco conhecimento do consumidor** no que respeita os benefícios da utilização destas tecnologias, nomeadamente os económicos e ambientais. O impacte ambiental positivo atrairá, por si só, alguns interessados, mas o factor económico será também um trunfo crucial na angariação de investidores;
- **fraca compatibilidade dos equipamentos** com as infra-estruturas existentes. A legislação corrente contempla todas as técnicas construtivas tradicionais e equipamentos padrão, prevendo a sua integração na obra. No entanto, para as técnicas de energias renováveis, não existe legislação adequada que pormenorize essa mesma integração;
- **falta de registos confiáveis**, muitas vezes incompletos e sem dados consistentes. A informação contida nestes registos refere-se ao comportamento dos sistemas, quer na instalação quer na fase de funcionamento. Muitos deles não identificam a fonte, nem servem de base de comparação com outros países da União Europeia.

### 2.1.3. SOLUÇÕES A ADOPTAR PARA A ACEITAÇÃO

Para lidar com as problemáticas referidas, foram propostas as seguintes medidas [18]:

- Para atenuar o **gasto inicial**, os programas de incentivos fiscais teriam que ser reavaliados. Inicialmente estes programas apenas abrangiam entidades públicas ou empresas, tendo que ser alterados para incluir o sector particular, de grande potencial. Alguns subsídios poderiam ser facilmente atribuídos:
  - a particulares que apresentassem o recibo do pagamento do sistema;
  - a empresas instaladoras se o seu valor tiver sido reduzido no pagamento total devido;
  - às empresas vendedoras mediante apresentação do contrato de prestação de serviços;
  - a empresas que adquiram o equipamento, mediante o incentivo associado ao IRC.

Um factor de grande importância é a divulgação destes incentivos ao público, que na maior parte das vezes não se encontra devidamente informado. Tendo todos estes parâmetros em conta, a reavaliação passaria por:

- alargar o incentivo de redução do IVA (12% para equipamentos de energias endógenas);
- promover a divulgação do incentivo do IRC que permite o pagamento da instalação num prazo de 4 anos, e modificá-lo para que abranja empresas fabricantes de equipamentos e empresas de instalação e manutenção;
- divulgar e aprimorar a redução no IRS para instalações domésticas;
- atribuir os subsídios apenas a empresas que trabalhem com equipamentos certificados.

- ii. No sentido de **melhorar a credibilidade** é crucial que as empresas envolvidas no ramo sujeitem os seus equipamentos ao processo de certificação. Apesar de ser um processo voluntário, é preciso convencer os intervenientes a apostarem nele, pois é a principal forma de acreditar este tipo de tecnologia. Porém, para um funcionamento apropriado do sistema, é também necessário que a instalação seja executada correctamente, assim como a manutenção. Para isto, torna-se necessária a formação adequada e certificada de projectistas e instaladores.

Para possibilitar um melhor fornecimento de serviços, devem ser instaladas linhas verdes de apoio técnico às empresas, para esclarecimento de dúvidas. Por último, as empresas devem fornecer períodos de garantia de duração considerável, de forma a ganhar a confiança do consumidor.

- iii. Com o intuito de **informar o público alvo** das vantagens das energias renováveis, devem ser realizadas campanhas de divulgação dos subsídios. Estas iniciativas devem ser focadas tanto no consumidor doméstico, como nas entidades públicas e empresas. A criação de uma linha de apoio ao consumidor, que permita troca de informações com responsáveis pelas empresas existentes no mercado, bem como auxiliar na defesa do consumidor, pode revelar-se uma mais valia.
- iv. O problema da **compatibilidade** pode ser ultrapassado prevendo regulamentação e normas apropriadas. Devem ser adoptadas regras de boa prática para a instalação de equipamentos de energias renováveis e promover a integração dos mesmos nos projectos de novos edifícios.
- v. Por último, para **reforçar a base de dados existente**, propõe-se a construção de um ou vários Observatórios de energias renováveis, que façam um acompanhamento constante do desenvolvimento das mesmas, apresentando relatórios anuais.

Na página seguinte encontra-se parte de um estudo representando a estimativa de custo para as diferentes medidas apresentadas.

| BARREIRA                                       | ACÇÃO PROPOSTA                                                                                       | PRIORIDADE | Prevista<br>Prog. E4 | Tipo                                                   | EXECUÇÃO<br>(Meses) | CUSTOS<br>(kEuro) |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|
| ELEVADO INVESTIMENTO INICIAL                   |                                                                                                      |            |                      |                                                        |                     |                   |
|                                                | A.1. Incentivos                                                                                      |            |                      |                                                        |                     |                   |
|                                                | A.1.1 – Reforço e flexibilização dos programas de incentivos                                         | 2          | Sim                  | Incentivo à aquisição                                  | 120                 | 63 777            |
|                                                | A.1.2 – Novas formas de incentivo ao sector doméstico                                                | 1          | Sim                  | Incentivo à aquisição                                  | 120                 | 319 458           |
|                                                | A.2. – Melhoria e divulgação alargada de todos os incentivos (directos ou indirectos, p.ex. fiscais) | 2          | Sim                  | Divulgação                                             | 120                 | _ <sup>1</sup>    |
|                                                | A.3. – Divulgação especial de novos esquemas de financiamento                                        |            |                      | Enquadramento Contratual / Exemplificação / Divulgação | 12                  | 60                |
|                                                | A.3.1. – Venda de Água Quente                                                                        | 2          | Sim                  |                                                        |                     |                   |
|                                                | A.3.2. – Fundos de Investimento Verde                                                                | 3          | Não                  |                                                        |                     |                   |
| FRACA CREDIBILIDADE / MÁ REPUTAÇÃO             |                                                                                                      |            |                      |                                                        |                     |                   |
|                                                | B.1. Certificação                                                                                    |            | Sim                  | Regulamentação dos incentivos                          | 120                 |                   |
|                                                | B.1.1 – Certificação de equipamentos (colectores e sistemas)                                         | 1          | Sim                  | Incentivo às Empresas                                  | 60                  | _ <sup>2</sup>    |
|                                                | B.1.2 – Certificação de Projectistas / Instaladores                                                  | 1          | Sim                  | Incentivo a entidade(s)                                | 12                  | 20                |
|                                                | B.2 – Formação                                                                                       | 2          | Sim                  | Incentivo a entidades Formadoras                       | 24                  | 40                |
|                                                | B.3 – Apoio técnico às empresas do sector / Linha Verde                                              | 2          | Não                  | Incentivo a entidade(s)                                | 120                 | 300               |
|                                                | B.4 – Garantia de Resultados                                                                         | 2          | Não                  | Enquadramento contratual / Divulgação                  | 12                  | 60                |
|                                                | B.5 - Reabilitação de instalações de grande impacto                                                  | 3          | Não                  | Incentivo a entidade(s)                                | 24                  | 120               |
| POUCO CONHECIMENTO POR PARTE DO GRANDE PÚBLICO |                                                                                                      |            |                      |                                                        |                     |                   |
|                                                | C.1 – Informação/Divulgação                                                                          | 1          | Sim                  | Financiamento de campanha de divulgação                | 24                  | 1 000             |
|                                                | C.2 – Informação/Defesa do consumidor – Linha Verde                                                  | 2          | Não                  | Incentivo a entidade(s)                                | 120                 | 300               |
| CONSTRANGIMENTO FÍSICO                         |                                                                                                      |            |                      |                                                        |                     |                   |
|                                                | D.1 – Introdução de Normas e Regulamentos – preparação de edifícios para o Solar Térmico Activo      | 2          | Não                  | Incentivo a entidade(s)                                | 12                  | 40                |
| FALTA DE DADOS CREDÍVEIS                       |                                                                                                      |            |                      |                                                        |                     |                   |
|                                                | E.1 - Criação de um Observatório da evolução do Solar Térmico Activo                                 | 1          | Sim                  | Incentivo a entidade(s)                                | 120                 | 300               |

Figura 2.2: Estimativa dos custos das medidas propostas [18].

## 2.2. CLARIFICAÇÃO DE ALGUNS CONCEITOS

Previamente à apresentação das tecnologias em pormenor, torna-se importante esclarecer algumas noções relacionadas com as mesmas.

### 2.2.1. A NOÇÃO DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

O conceito de arquitectura bioclimática pode ser entendido como uma vertente da arquitectura que incorpora o clima na sua concepção. Assim, na fase de projecto são tidos em conta diversos elementos climáticos do local como sol, água e vento. Avaliando o comportamento destes factores em interacção com o edifício, torna-se possível melhorar o comportamento do mesmo, ao nível do conforto térmico e poupança energética. Um dos principais objectivos dos edifícios bioclimáticos, é proporcionar as melhores condições de conforto aos utilizadores, mediante a combinação de factores climáticos, de concepção do edifício e do tipo de utilização. Apesar do conceito de conforto térmico ser subjectivo, variando de indivíduo para indivíduo, é sempre influenciado por variáveis humanas (metabolismo e vestuário) e ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e humidade relativa do ar).

A aplicação de noções e estratégias bioclimáticas aquando da concepção de um edifício permite um melhor desempenho térmico, aumentando a sensação de conforto dos utilizadores. Uma vez que a maior parte da energia consumida está associada ao nível de conforto pretendido, surge uma dualidade entre estratégias bioclimáticas e consumo energético. Um uso apropriado deste tipo de estratégias terá como consequência uma redução da factura energética.

Uma forma simples e eficiente de saber qual o tipo de estratégia a adoptar, reside na carta psicrométrica de Baruch Givoni. O procedimento consiste em analisar as condições exteriores do ar como temperatura e humidade, que são depois registadas nesta carta, resultando numa mancha, associada ao tipo de clima do local. Dependendo da localização da mancha na carta, assim se avalia o tipo de estratégia a utilizar [19].

Partindo duma zona central do diagrama, designada zona de conforto, as áreas para a esquerda necessitam de estratégias de aquecimento e as zonas para a direita devem adoptar técnicas de arrefecimento. As principais zonas e estratégias são:

- **zona de conforto:**

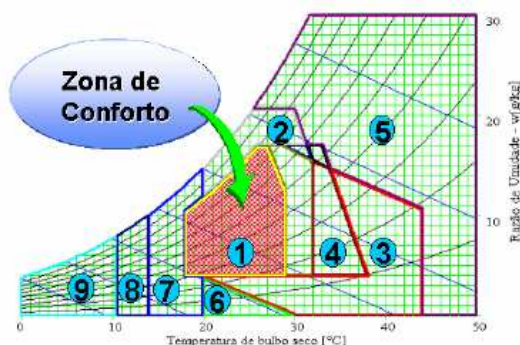


Figura 2.3: Zona de conforto [19].

Situações climáticas situadas nesta região, traduzem na maioria dos casos sensação de conforto térmico para os utilizadores. A humidade relativa do ar varia entre 20% e 80% e temperaturas entre os 18°C e os 29°C.

- zona de ventilação:

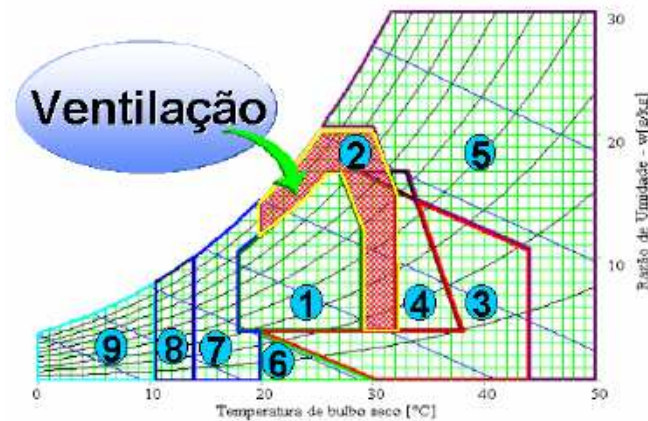


Figura 2.4: Zona de ventilação [19].

Nesta zona deve ser aplicada a estratégia de ventilação natural, através da qual se consegue um arrefecimento do ambiente, por substituição do ar interno (de temperatura elevada) por ar externo (temperaturas mais baixas). As técnicas mais utilizadas são ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso sob o edifício.

- zona de arrefecimento por evaporação:

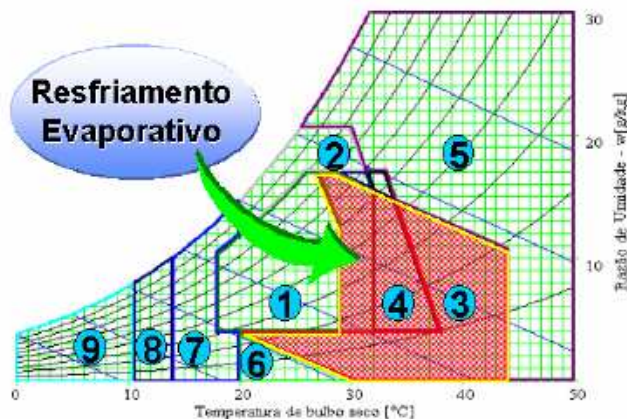


Figura 2.5: Zona de arrefecimento por evaporação [19].

Quando os dados climáticos se apresentam nesta zona, deve ser adoptada a técnica de arrefecimento por evaporação, que consiste em aumentar a humidade relativa do ar e simultaneamente diminuir a sua temperatura. Estas condições podem ser obtidas através de meios directos ou indirectos. Poderá ser utilizada vegetação ou fontes de água incorporadas no ambiente a arrefecer.

- zona de arrefecimento por radiação/utilização de inércia térmica:

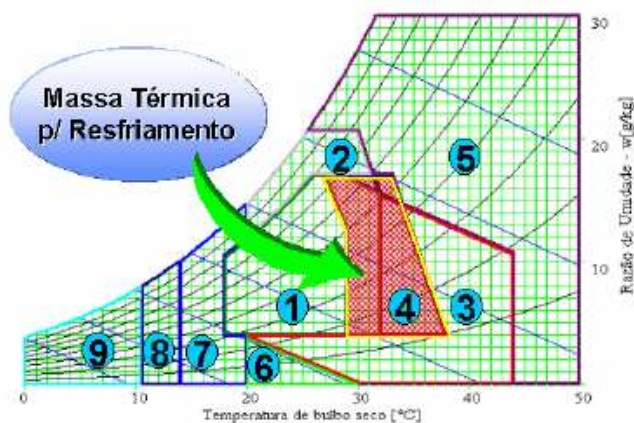


Figura 2.6: Zona de arrefecimento por radiação [19].

O arrefecimento é obtido através da utilização de materiais com capacidade térmica superior, que permitem um atraso da onda de calor, fazendo que esse mesmo calor seja sentido apenas no período noturno. A inércia térmica permite que os picos de temperatura exterior não sejam sentidos no interior da edificação.

- zona de arrefecimento artificial:

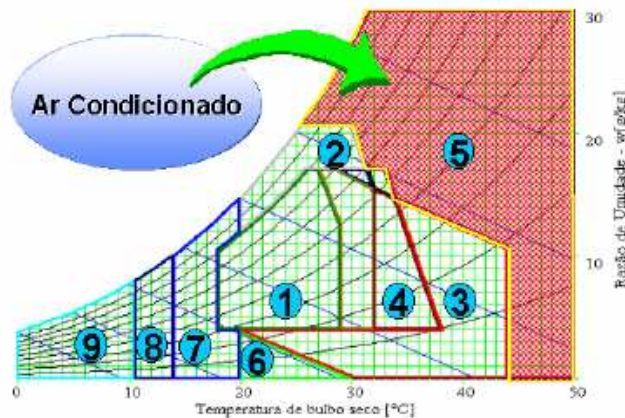


Figura 2.7: Zona de arrefecimento artificial [19].

Esta estratégia, actualmente utilizada em grande número, deve ser a última alternativa, e só ser adoptada quando todas as outras não forem suficientes.

- zona de humificação:

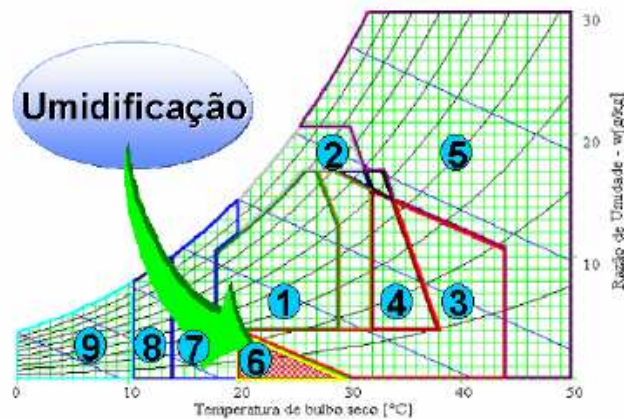


Figura 2.8: Zona de humificação [19].

A humificação recomenda-se quando a temperatura do ar é inferior a 27°C e simultaneamente a humidade relativa é inferior a 20%. Fontes de água podem ser utilizadas de forma a aumentar a humidade relativa, e caixilharias herméticas podem reter a humidade produzida por actividades domésticas e plantas.

- zona de inércia térmica para aquecimento solar:

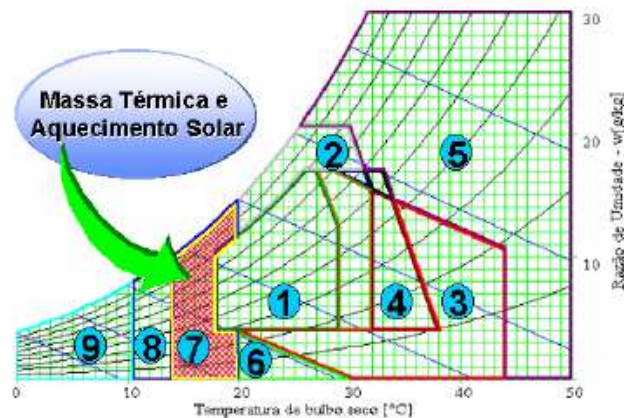


Figura 2.9: Zona de inércia térmica para aquecimento solar [19].

Ganhos solares podem ser conseguidos através do uso de materiais construtivos de maior inércia térmica, que em conjunto com isolamento térmico permitem evitar perdas de calor, visto esta zona apresentar temperaturas desconfortáveis entre os 14°C e os 20°C.

- **zona de aquecimento solar passivo:**

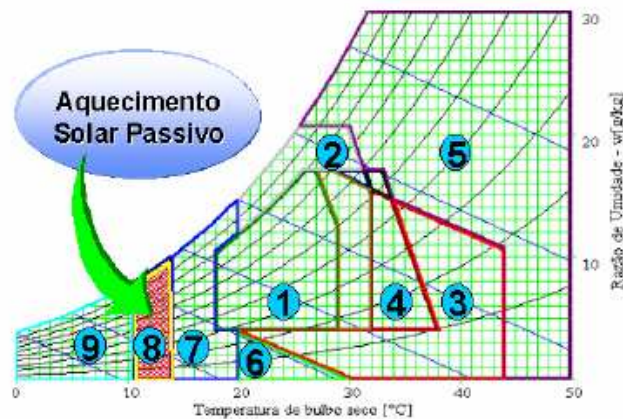


Figura 2.10: Zona de aquecimento solar passivo [19].

Esta técnica deve ser utilizada em casos em que a temperatura do ar é reduzida. Permite um aumento da temperatura e da sensação de conforto sem recorrer a equipamentos artificiais. As formas de maximizar esta utilização consistem na correcta orientação solar, utilização de cores escuras que maximizem os ganhos de calor, fachadas envidraçadas orientadas para o sol e redução das aberturas nas fachadas não iluminadas, de forma a diminuir as perdas.

- **zona de aquecimento artificial:**

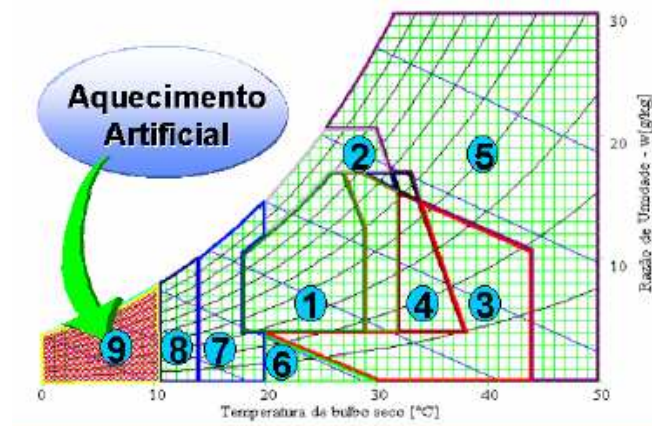


Figura 2.11: Zona de aquecimento artificial [19].

Esta estratégia só deve ser utilizada em condições de extremo frio, quando as estratégias de aquecimento previamente referidas não forem suficientes para manter as condições de conforto desejado. Deve-se tentar ao máximo reduzir as perdas caloríficas para o meio externo.

### 2.2.2. APROVEITAMENTO SOLAR ACTIVO E PASSIVO

Torna-se importante proceder ao esclarecimento destes dois conceitos, antes de aprofundar individualmente cada tecnologia. Portugal é um dos países da União Europeia com maior potencial de utilização de energia solar, devido aos elevados níveis de radiação solar verificados ao longo de todo o ano. Esta radiação pode ser captada para posteriormente ser utilizada sob a forma de energia térmica ou eléctrica.

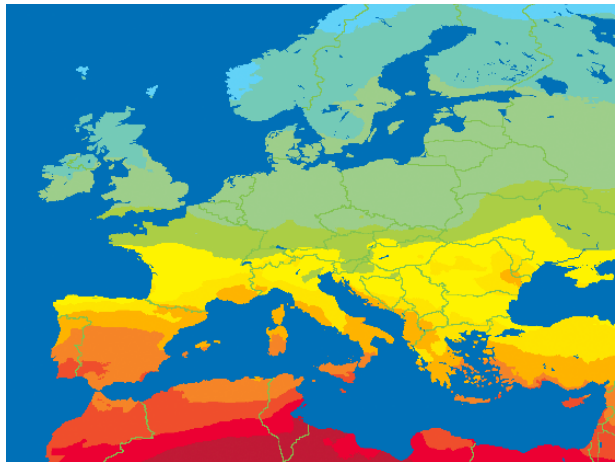


Figura 2.12: Mapa europeu de radiação solar incidente no plano horizontal [19]

O **aproveitamento solar activo** corresponde à utilização de equipamentos para utilização da energia solar, havendo um processo activo de captação. Os principais tipos de solar activo são aproveitamento solar térmico com utilização de colectores solares para aquecimento de água, e aproveitamento solar fotovoltaico que recorre a painéis fotovoltaicos para produção de energia eléctrica. Estes tipos de instalações reflectem a abordagem tradicional de utilização da energia solar.

O **aproveitamento solar passivo** consiste na combinação de diferentes técnicas construtivas que maximizem o potencial da radiação solar. É uma das formas mais eficazes de reduzir a factura energética uma vez que grande parte da energia consumida é para fins de climatização. Estes sistemas estão apenas relacionados com a energia térmica, permitindo aquecer ou arrefecer espaços do edifício. O uso desta técnica apresenta várias vantagens [21]:

- Não apresenta qualquer tipo de despesa quando projectada para um edifício novo;
- Apropriada para todas as zonas que necessitem de aquecimento no Inverno e arrefecimento no Verão;
- Pode ser conseguida com todos os sistemas construtivos actuais;
- Fácil de incorporar na construção de um novo edifício que apresente exposição solar;
- Possível de integrar num projecto existente, procurando um edifício com correcta orientação solar e efectuando algumas alterações pouco complexas.

No que respeita o **aquecimento solar passivo**, as principais medidas para o tornar eficaz são [21]:

- Orientar as zonas mais utilizadas durante o período diurno, para a direcção com maior exposição solar (Sul no hemisfério Norte e Norte no hemisfério Sul) ;
- Colocar as fachadas envidraçadas orientadas para a direcção acima referida;
- Aplicar correctamente formas de protecção solar (palas, persianas, etc..) que permitam entrada de radiação no Inverno mas que a impeçam no Verão, de forma a não provocar sobreaquecimento.
- Uso apropriado de inércia térmica para armazenamento de calor;
- Localização adequada das diferentes divisões consoante as necessidades de aquecimento;
- Escolha apropriada do tipo de vidro a utilizar nas esquadrias.

O **arrefecimento solar passivo** combina o impedimento de ganhos caloríficos com a dissipação de calor, recorrendo às seguintes técnicas [21]:

- Orientação adequada para aproveitamento de correntes de ar frescas;
- Aumentar a ventilação natural do edifício, removendo barreiras à passagem do ar;
- Prever a utilização de meios artificiais de ventilação, como ventiladores, para casos de ausência de correntes de ar;
- Planeamento cuidadoso da localização de divisões, permitindo maiores condições de conforto diurnas e nocturnas;
- Protecção solar adequada;
- Uso adequado de inércia térmica, materiais pesados em zonas com grandes variações de temperatura e materiais leves para zonas com baixas variações de temperatura; e
- Utilização de cores claras que minimizem a absorção de radiação solar.

As regras apresentadas são directrizes gerais, devendo ser aplicadas sempre que possíveis. No entanto, devem ser estudadas de acordo com as características do local de implantação do edifício. Consoante a zona climática, poderão surgir pequenas nuances dentro destas técnicas, que deverão ser tidas em conta na fase de projecto.

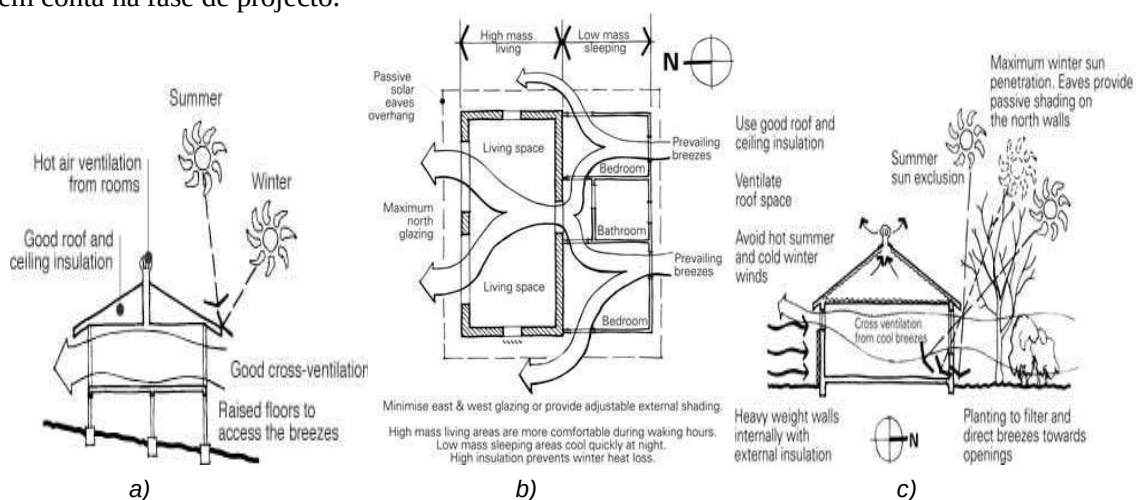


Figura 2.13: Exemplos de regras de projecto para vários tipos de clima: a) clima tropical, b) clima quente e árido e c) clima subtropical [21].

### 2.2.3. A RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é a principal fonte de energia do planeta, no que respeita o fornecimento de calor e de luz. É portanto de extrema importância o seu estudo e incorporação na arquitectura das edificações. Os factores luz e calor podem ser maximizados ou reduzidos, na sua interacção com o edifício, sendo um erro tradicionalmente recorrente, o foco em apenas um deles. Isto é, há uma concentração apenas na vertente do calor, ou apenas na vertente da luminosidade, sendo a outra deixada para segundo plano, para ser solucionada recorrendo a sistemas artificiais.

Actualmente começa a surgir uma nova abordagem que consiste na compreensão dos fenómenos relacionados com luz e calor, e na tentativa de os incorporar simultaneamente na edificação. É importante conhecer o comportamento do Sol, nomeadamente a sua posição aparente em dias específicos (equinócios e solstícios) e saber combinar essa informação com a contida nas cartas solares [22]. Desta forma, torna-se possível determinar a posição solar em determinado dia e hora, dado de extrema importância no conhecimento da exposição solar do edifício. Conhecendo a forma como a radiação solar incide na edificação ao longo do ano, é possível adoptar estratégias para definir o melhor aproveitamento.

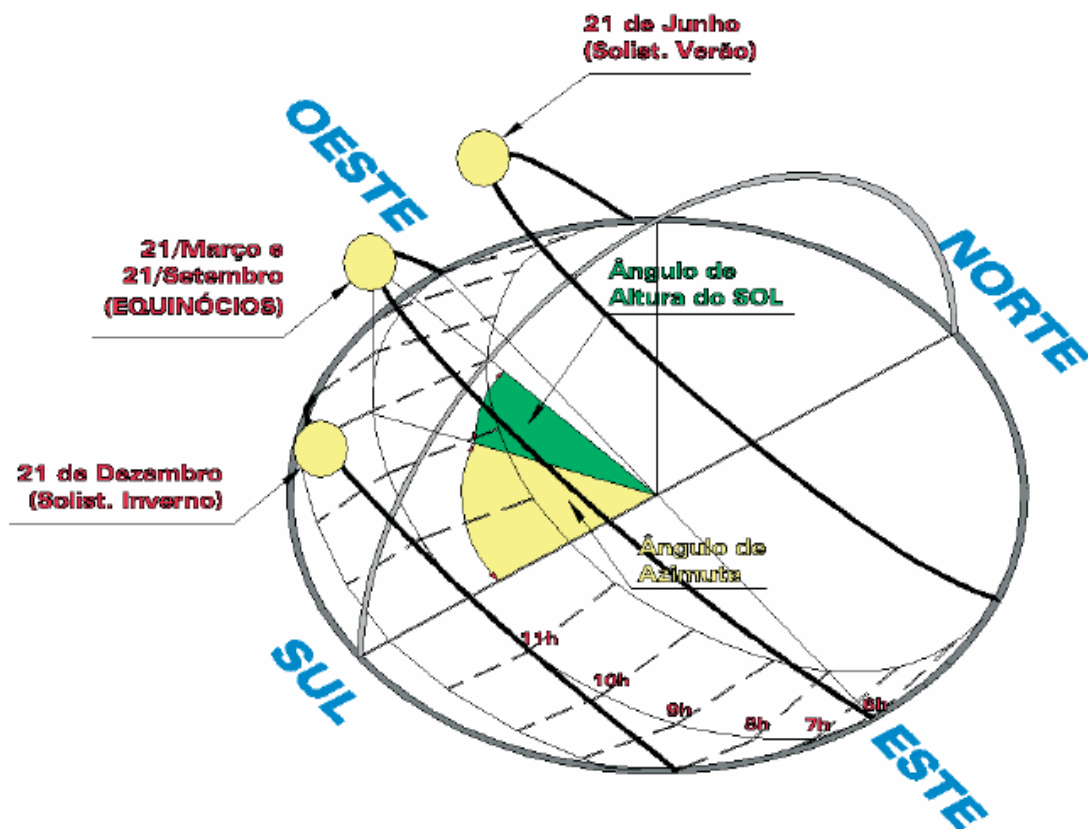


Figura 2.14: Diagrama solar representativo da posição aparente do sol ao longo do ano [19].

A radiação em si, é uma onda electromagnética curta, cuja intensidade varia ao longo do ano devido aos movimentos de rotação e translação do planeta.

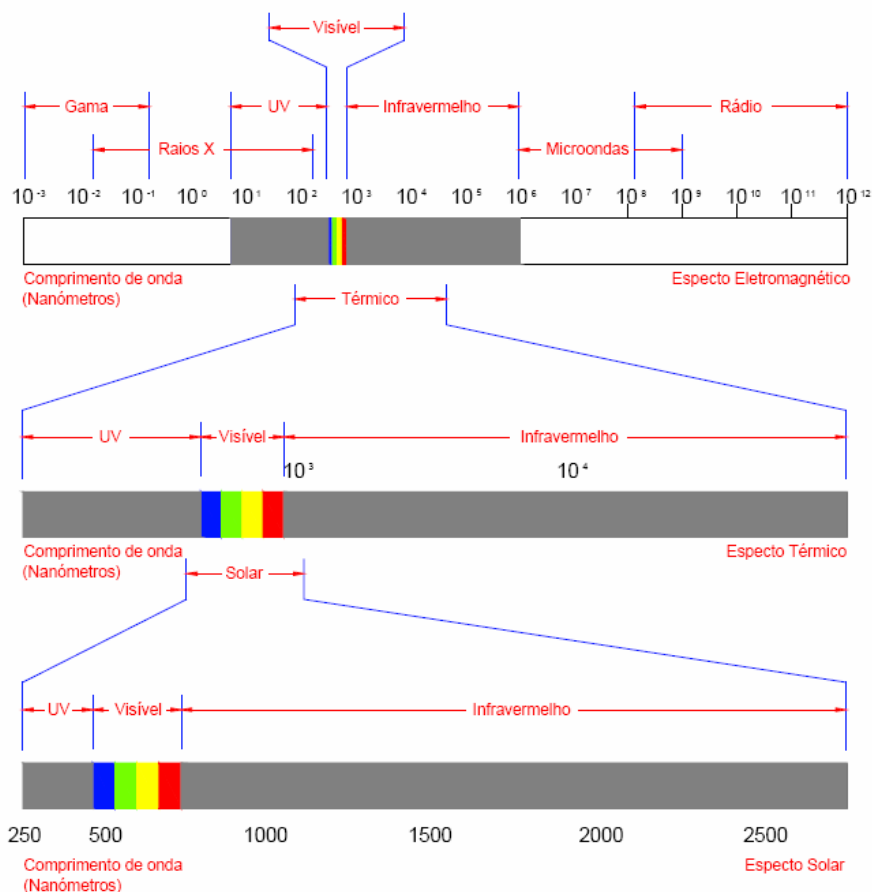


Figura 2.15: Espectro electromagnético adaptado [20].

A radiação ao atingir a atmosfera, divide-se em radiação directa e radiação difusa. A radiação directa chega à superfície terrestre sem interferências, enquanto que a difusa sofre um espalhamento nas partículas de água e nas nuvens, reflectindo-se na abóbada celeste e voltando a ser irradiada para a superfície. A parcela directa apresenta maior intensidade luminosa e contribui grandemente para ganhos térmicos do edifício, dependendo a sua intensidade da altura solar ( $\gamma$ ) e do ângulo de incidência dos raios solares em relação ao receptor ( $\theta$ ). A radiação difusa, por seu lado, é utilizada principalmente para fins de iluminação, visto não possuir potencial térmico. Uma vez que a parcela difusa corresponde à parte da radiação que sofreu espalhamento na atmosfera, a sua percentagem é mais elevada em dias nublados do que em dias de céu limpo.

Estudando a interacção da radiação solar com o edifício, encontram-se três novas parcelas a somar às anteriormente referidas, no que se refere a ganhos térmicos por radiação. Surge a radiação emitida pelo solo aquecido (onda longa), a radiação reflectida pelo solo (onda curta) e a radiação emitida pelo edifício (onda longa).

Um fenómeno extremamente importante relacionado com os comprimentos de onda, é o **efeito de estufa**, facilmente explicado recorrendo aos conceitos referidos.

A radiação solar (onda curta) ao penetrar num edifício, por meio de aberturas ou zonas envidraçadas, vai encontrar superfícies de corpos, ocorrendo os seguintes fenómenos:

- se entrar em contacto com uma superfície transparente, como vidro, a radiação será dividida numa parcela absorvida, uma parcela reflectida e uma parcela transmitida;
- se entrar em contacto com uma superfície opaca, a radiação solar terá apenas 2 parcelas, uma reflectida e uma absorvida.

A parcela fundamental para o efeito de estufa é a absorvida. Os corpos depois de absorverem a radiação vão novamente libertá-la, emitindo-a sob a forma de onda longa. Ora, o vidro, sendo transparente às ondas curtas, e como tal, permitindo a entrada da luz directa, é praticamente opaco às ondas longas, não permitindo a saída da radiação emitida pelos corpos. Ao não encontrar saída, esta radiação permanece no interior do edifício, provocando um superaquecimento dos compartimentos.

## 2.3. TÉCNICAS CONTRUTIVAS A IMPLEMENTAR PARA A CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES E SUSTENTÁVEIS

### 2.3.1. APROVEITAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO

#### 2.3.1.1. Fundamento Teórico

No que respeita o campo do aproveitamento solar activo, a geração de energia eléctrica representa uma vertente de grande importância. A energia solar fotovoltaica começa a assumir relevo no panorama mundial, como uma alternativa viável à rede de distribuição tradicional. Na Europa, Portugal situa-se entre os 3 primeiros, na lista dos países com maior potencial de utilização de equipamento fotovoltaico, acompanhado pela Espanha e Grécia. Observando os mapas de radiação solar para Portugal, torna-se claro o enorme potencial desta energia no nosso país. Em 2006, o número de horas anuais médias de insolação, e consequentemente de produção de energia eléctrica fotovoltaica, rondou as 2500, um valor bastante superior à média europeia.

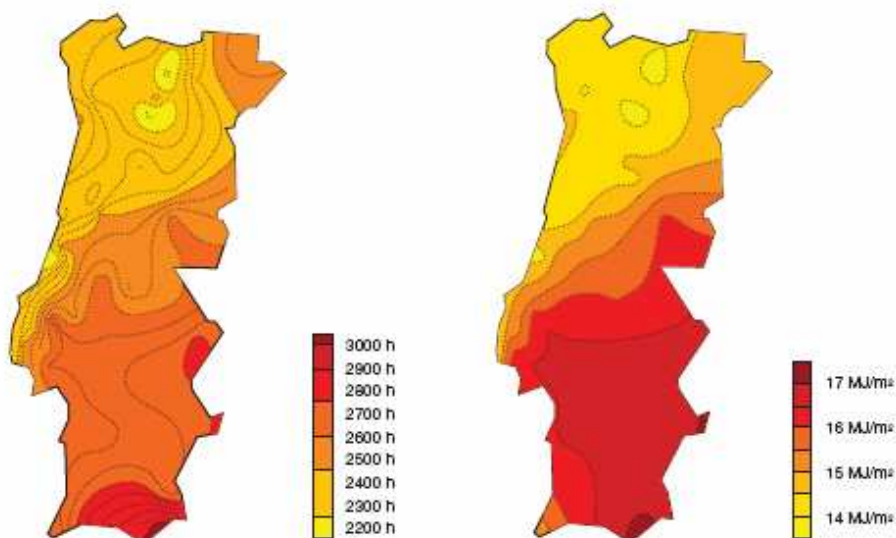


Figura 2.16: Mapas de radiação solar para Portugal [18].

Uma das principais críticas à energia solar fotovoltaica, é que nunca será suficiente para fazer frente às necessidades humanas. No entanto, avaliando a potência total radiada pelo Sol, traduzida pela seguinte equação, apercebemo-nos da grandeza desta fonte energética [23]:

$$P = S \times 4 \times \pi \times R^2 = 3,87 \times 10^{26} \text{ W} \quad (1)$$

Onde R = raio da órbita da Terra;

e S = intensidade da radiação solar ao nível da órbita da Terra, ou constante solar = 1367 W/m².

Traduzindo este número de forma a ser melhor compreendido, a energia libertada pelo Sol num segundo, seria suficiente para fazer face às exigências energéticas mundiais, durante um período de um milhão de anos.

Se fosse possível aproveitar a energia de painéis fotovoltaicos instalados no espaço, as necessidades energéticas anuais de Portugal da ordem de 5 GW, poderiam ser satisfeitas com 1 sistema de 25 km<sup>2</sup> de área [23]:

$$P = S \times A \times 0,15 \Leftrightarrow 5 \times 10^9 (W) = 1367 \left( \frac{W}{m^2} \right) \times A \times 0,15 \Leftrightarrow A \cong 25 (km^2) \quad (2)$$

P = Potência total consumida;

S = Constante solar;

A = Área necessária de instalação fotovoltaica;

0,15 = Eficiência da instalação (15 %).

No entanto, a intensidade da radiação solar na superfície terrestre, não apresenta o valor da constante S, medido ao nível do espaço, devido à existência de atmosfera, dos períodos diurnos e nocturnos e da variação da inclinação dos raios solares durante o dia. Cada um destes factores provoca uma redução de 1/2 na intensidade média da radiação que incide na superfície, quando comparada com o espaço. Assim, para se conseguir gerar a mesma energia na órbita e na superfície terrestre, as áreas dos painéis são bastante diferentes, sendo as da superfície oito vezes superiores às do espaço:

$$P = S \times \left( \frac{1}{8} \right) \times 0,15 \times A \Leftrightarrow 5 \times 10^9 (W) = 1367 \left( \frac{W}{m^2} \right) \times \left( \frac{1}{8} \right) \times 0,15 \times A \Leftrightarrow A \cong 195 (km^2) \quad (3)$$

Ou seja, uma instalação fotovoltaica de aproximadamente 200 km<sup>2</sup> de área, conseguiria satisfazer as necessidades energéticas médias anuais de Portugal. Esta abordagem é estritamente académica pois não é real conceber uma única instalação dessa dimensão, nem depender apenas deste tipo de energia.

Esta pequena demonstração, permite no entanto analisar o potencial da energia solar fotovoltaica frente às necessidades energéticas.

O elemento que permite a conversão de energia solar em energia eléctrica são as **células fotovoltaicas**. Estas células baseiam-se no efeito fotovoltaico descoberto por Edmond Becquerel em 1839 [24], sendo o silício o material de eleição. Existem três tipos de células constituídas por silício, com variações no tipo de cristal utilizado, na quantidade de energia dispendida na sua construção e na sua eficiência [25]:

- células mono-cristalinas com eficiência na ordem dos 15%, produzidas recorrendo a técnicas de custo elevado e necessitando de muita energia devido à perfeição dos cristais e materiais;
- células poli-cristalinas com eficiência na ordem dos 12%, redução devida à maior imperfeição do cristal, o seu processo construtivo é mais económico pois não consome tanta energia;
- células de silício amorfo com eficiência na ordem dos 9%, apresentam o custo de produção mais económico e sendo películas finas podem ser incorporadas como material de construção.

O princípio de funcionamento das células fotovoltaicas está associado à movimentação e trocas de energia de moléculas com carga electromagnética. Resumidamente, a radiação solar é uma corrente de fótons com capacidade de ceder energia a electrões. Quando o electrão absorve essa energia pode passar a um estado de excitação superior, deixando uma lacuna na banda de valência. Sendo o electrão e a lacuna elementos móveis, se o material semiconductor conseguir dirigir os electrões para um eléctrodo (negativo) e as lacunas para outro eléctrodo (positivo), estamos na presença de uma célula fotovoltaica.

As reduzidas eficiências das células podem ser explicadas através destas trocas energéticas entre moléculas, uma vez que muitos fótons provenientes da radiação solar não apresentam energia suficiente, sendo desperdiçados.

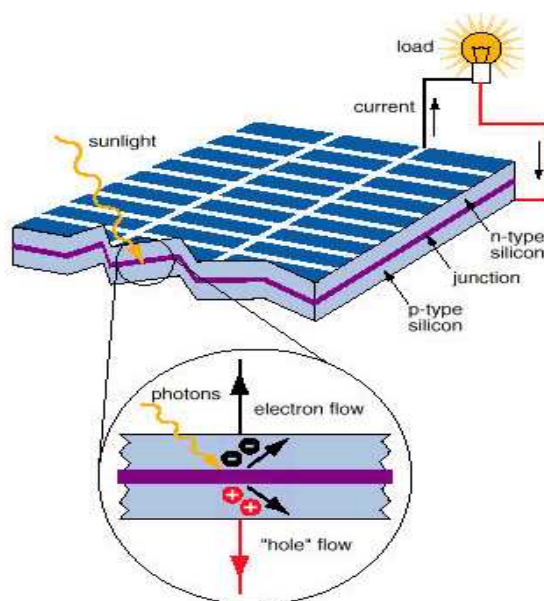


Figura 2.17: Representação do efeito fotovoltaico [26].

Apesar das células de silício cristalino representarem quase a totalidade do mercado, novos materiais e tipos de células estão a ser pesquisados. As células podem ser divididas em três gerações, sendo que a primeira corresponde às células normais de silício cristalino, a segunda baseia-se em películas finas sobre substratos rígidos, representando 10% do mercado, e a terceira geração ainda em fase de pesquisa, consistirá em películas finas sobre substratos flexíveis.

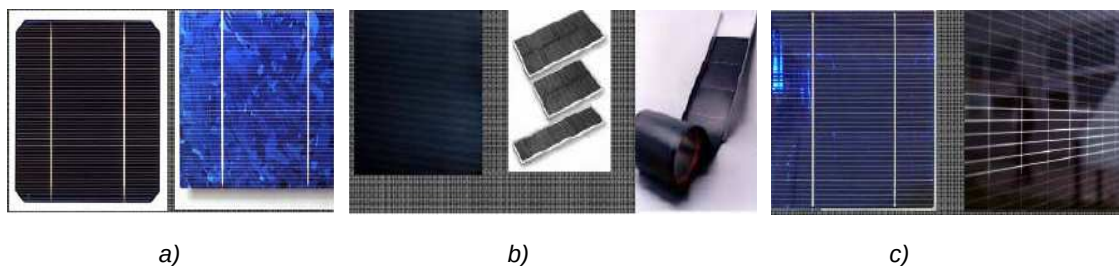


Figura 2.18: Exemplos de células fotovoltaicas: a) célula standard de silício cristalino, b) células de 2ª geração, c) células de 3ª geração [26].

Dada a reduzida potência eléctrica produzida por cada célula, que ronda 1 e 3 W, não existe a possibilidade do seu uso individual. Com o intuito de produzir potências consideráveis, as várias células são aglomeradas entre si, criando painéis ou módulos fotovoltaicos. Por sua vez, a integração entre estes módulos permite a criação de sistemas fotovoltaicos. A forma de ligação entre células pode ser realizada em série ou em paralelo, consoante se pretenda respectivamente, um aumento de tensão ou um aumento de corrente eléctrica.

Relativamente aos painéis, estes podem apresentar diferentes dimensões consoante as necessidades energéticas. Para pequenos equipamentos, como é o caso de relógios ou calculadoras, aplicam-se painéis de reduzida potência e voltagem, constituídos por 3 a 12 elementos de silício amorfo. Para equipamentos de média dimensão como rádios, parquímetros ou pequenas bombas de água, aplicam-se pequenos painéis com voltagens entre 3 e 12V e potências entre 1 e 10 W. Por fim, temos os grandes painéis, utilizados na construção civil, com aplicações em grandes bombas de água ou em edificações, com potências entre 10 e 60 W e tensões entre 6 e 12V [25].



Figura 2.19: Exemplos de painéis fotovoltaicos [24].

Os sistemas fotovoltaicos podem ser autónomos ou ligados à rede eléctrica pública. Os autónomos são os sistemas tradicionais para uso privado, que possuem equipamentos de armazenamento de energia eléctrica, geralmente baterias. A energia armazenada pode posteriormente ser utilizada para fazer às necessidades de consumo. Nos sistemas ligados à rede, além de poder consumir a energia produzida, o utilizador pode ainda vender a terceiros ou à rede pública, parte ou a totalidade da mesma. Independentemente do tipo de sistema, a composição base é semelhante entre ambos [25],[27]:

- módulos fotovoltaicos para captação de energia solar;
- cabos de ligação entre os componentes;
- alternador/inversor DC/AC que transforma a corrente eléctrica continua produzida nos painéis, em corrente eléctrica alterna comum de 230V;
- contador de produção de energia solar;
- sistema de regulação de potência dos painéis.

Em termos de equipamento as principais diferenças entre os 2 tipos de sistemas consistem nos dispositivos de armazenamento dos sistemas autónomos, e nos contadores de consumo e caixas de ligação dos sistemas ligados à rede.

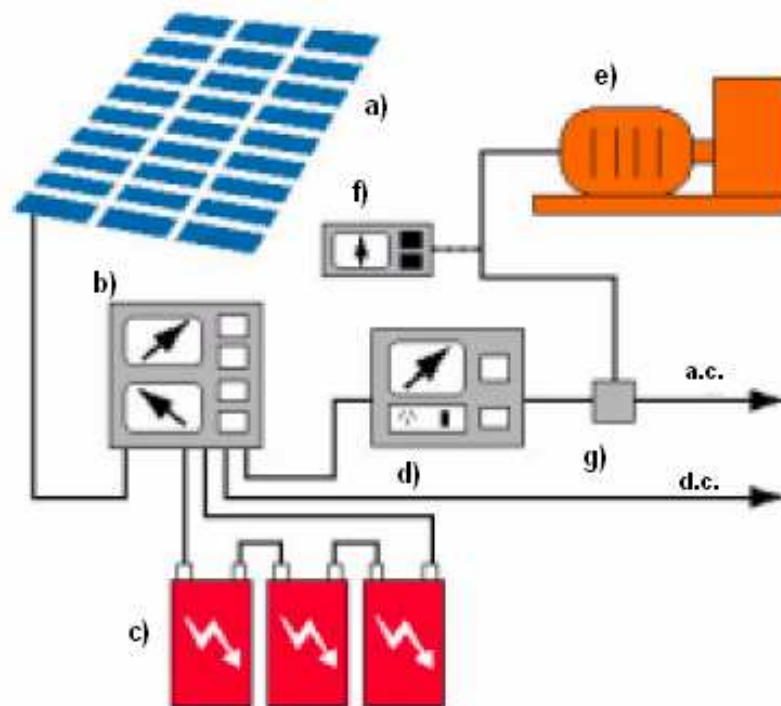
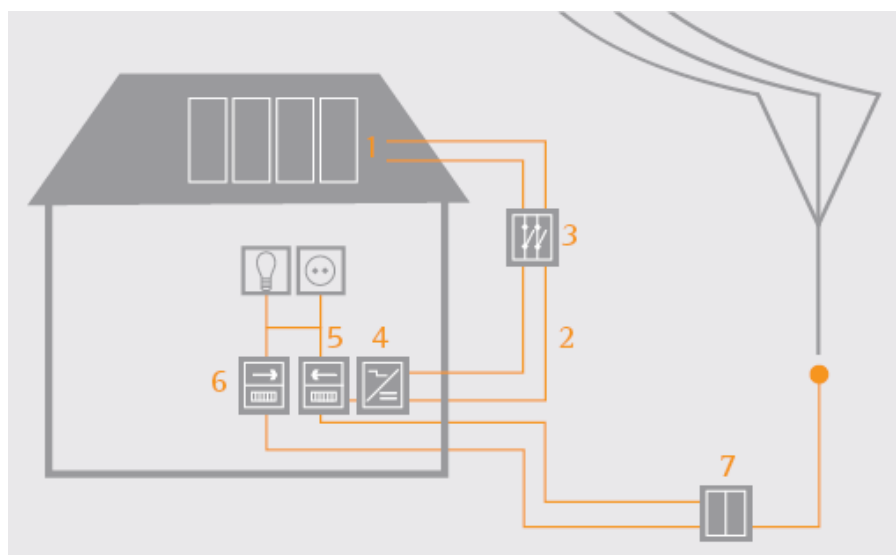


Figura 2.20: Exemplo de sistema fotovoltaico autónomo, a) módulos fotovoltaicos, b) sistema de regulação de potência de painéis, c) sistema de armazenamento de energia eléctrica, d) conversor DC-AC, e) sistema de backup (opcional), f) sistema de regulação do sistema de backup e g) sistema de ligação [25].



1 Gerador fotovoltaico 2 Cabos de ligação 3 Interruptor DC 4 Inversor  
5 Contador de energia solar 6 Contador de consumo 7 Caixa de ligação EDP / Portinhola

Figura 2.21: Exemplo de sistema fotovoltaico ligado à rede pública [28].

### 2.3.1.2. Integração em Meio Urbano: O Projecto PURE

Uma das vertentes em maior crescimento na utilização de sistemas fotovoltaicos é a sua integração em meio urbano, não apenas em edifícios mas também em outras estruturas de mobiliário urbano. Os equipamentos fotovoltaicos não têm que aparecer como um obstáculo ao projecto arquitectónico e ao sentido estético da edificação. Ao invés do que muitos pensam, esta tecnologia pode ser incorporada de forma harmoniosa na edificação, graças à sua flexibilidade e versatilidade.

A integração de fotovoltaicos em edifícios, mais conhecida por BIPV (Building Integrated Photovoltaics), sugere a sua utilização como um material de construção independente. Isto é, os painéis ou telas fotovoltaicas, poderão substituir outros materiais convencionais, sendo aplicados directamente como elementos construtivos em fachadas e coberturas de edifícios. Esta abordagem torna-se extremamente interessante, devido à possibilidade de um elemento construtivo apresentar a capacidade de produzir energia, gerando dessa forma rentabilidade económica.



*Figura 2.22: Exemplo de integração de equipamento fotovoltaico em edifícios [29].*

Apesar da possibilidade de instalação desta tecnologia em edifícios pré-existentes, seja em trabalhos de reabilitação ou apenas com o intuito de aumentar o carácter sustentável do edifício, uma integração perfeita tem que ter início na fase de projecto. Ainda nesta fase, tem que ser pensada a melhor forma de incorporar os equipamentos fotovoltaicos, sempre visando a máxima eficiência energética e maximizando o aproveitamento solar. Para tal, é necessária uma equipa projectista multidisciplinar, que integre profissionais de diferentes especialidades, de forma a estudar as melhores aplicações da tecnologia. Desta forma torna-se possível rentabilizar os módulos, atribuindo-lhes em simultâneo várias funções, como sombreamento, iluminação e efeito estético.

Um dos aspectos que torna essa integração viável, é a variedade em que se apresentam os módulos fotovoltaicos. Podem apresentar diferentes cores e texturas, ser opacos, transparentes, rígidos ou flexíveis, permitindo ainda formar diversas composições entre eles [26].

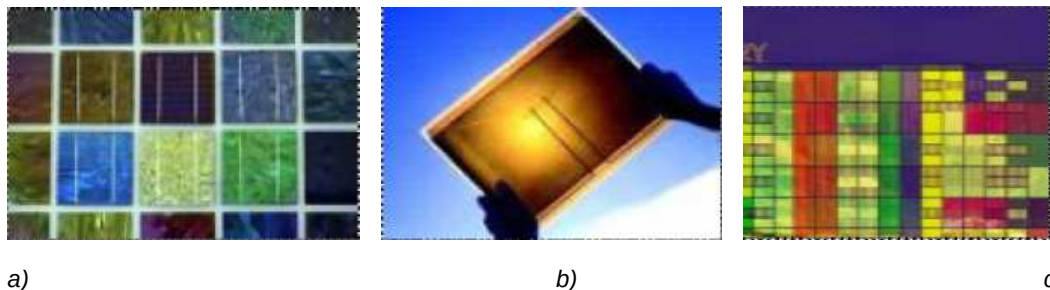


*Figura 2.23: Variedade de elementos: a) cores, b) elemento transparente, c) exemplo de composição com células fotovoltaicas de diferentes cores [26].*

Existem algumas regras a ser cumpridas aquando da utilização de sistemas BIPV, nomeadamente no que respeita a própria instalação dos módulos e a escolha da zona de instalação. Relativamente aos módulos, há que respeitar as seguintes recomendações:

- evitar o seu sombreamento por parte de outros elementos;
- maximizar a ventilação natural de forma a arrefecer a parte posterior dos módulos, que de outra forma aquecem e perdem rendimento;
- ter em atenção a orientação e inclinação óptimas.

Esta última recomendação está relacionada com a maximização de ganhos solares e produtividade do equipamento. Como já foi referido nos subcapítulos 2.2.2 e 2.2.3, a orientação óptima para promover ganhos solares é Sul, devido ao facto da sua exposição à radiação solar ser superior à de todas as outras. A adicionar a este factor, surge a inclinação dos módulos da instalação, que deve ser adequada ao local de implantação. As possibilidades de incorporação desta tecnologia em edifícios são diversas, podendo ser classificadas em 4 grupos:

- integração em coberturas horizontais;
- integração em coberturas inclinadas;
- integração em fachadas; e
- integração em elementos envolventes aos edifícios.

Consoante o grupo em que a instalação se insere, a inclinação dos painéis fotovoltaicos deve variar de forma a proporcionar a maior eficiência do sistema. Não existe uma inclinação perfeita, podendo no entanto, estimar-se intervalos de inclinações que maximizem a performance do equipamento.

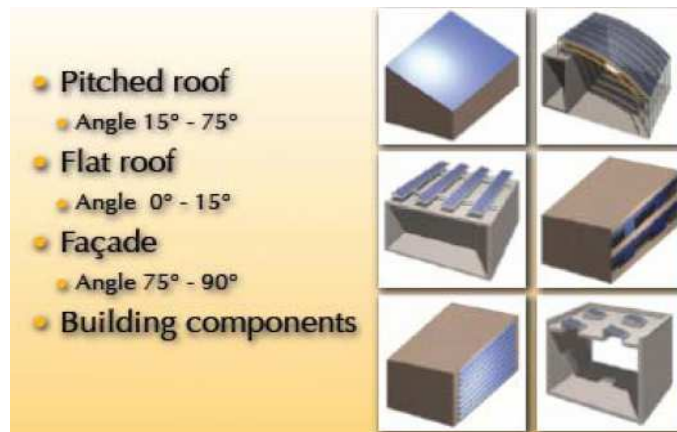


Figura 2.24: Inclinações de módulos fotovoltaicos consoante o tipo de instalação [26].

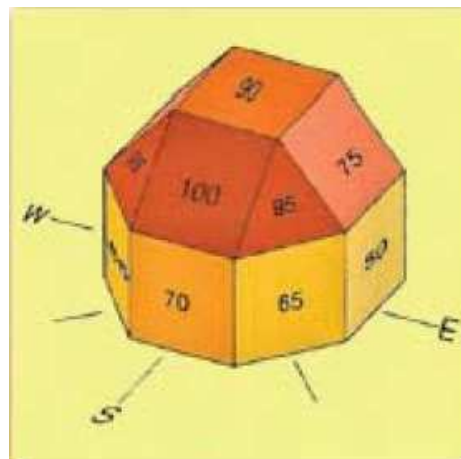


Figura 2.25: Eficiência da energia fotovoltaica em fachadas e coberturas de diferentes orientações e inclinações [26].

A promoção desta estratégia de uso de energia fotovoltaica, deve-se grandemente ao projecto **PURE**, incorporado na iniciativa Intelligent Energy Europe da União Europeia. O PURE (Promotion of the Use of Photovoltaic Systems in Urban Environment through Demo Relay Nodes), tem como objectivo divulgar o uso de sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios (BIPV), recorrendo a centros de demonstração abertos ao público. O projecto conta com a participação de 5 países europeus: Portugal, Espanha, Eslováquia, Itália e Grécia, e foca as características e vantagens da tecnologia solar fotovoltaica [27]:

- robustez, durabilidade, facilidade de manutenção e montagem dos módulos;
- benefícios económicos derivados da substituição de materiais utilizados nas fachadas e coberturas, que podem reduzir o custo de construção e manutenção do edifício. A energia produzida pelos sistemas pode ser consumida ou vendida à rede pública, reduzindo a factura energética;
- potencial estético do equipamento, devido à variedade existente no mercado, que permite uma integração adequada às preferências do utilizador;
- energia renovável produzida junto do local de consumo, reduz os problemas associados à importação de energia, e minimiza as perdas relacionadas com a rede pública de distribuição;

- energia produzida através de uma fonte “limpa” contribuindo para a redução de gases de efeito de estufa;
- exposição ao público dos sistemas fotovoltaicos de edifícios, contribuindo lentamente para a sua aceitação e reconhecimento, por parte de possíveis utilizadores.



Figura 2.26: As iniciativas Intelligent Europe e PURE [30].

Das inúmeras aplicações que se podem realizar em fachadas e coberturas, utilizando elementos fotovoltaicos, apresentam-se em seguida alguns exemplos:



Figura 2.27: Exemplos de BIPV em fachadas e coberturas [29].

Sendo a conversão da radiação solar em energia eléctrica, o principal objectivo da utilização de módulos fotovoltaicos, a sua integração em edifícios permite rentabilizar o equipamento, atribuindo-lhe funções adicionais.

Desta forma, os módulos podem ser aproveitados como barreiras sonoras ou fonte de aquecimento de compartimentos, entre outras:

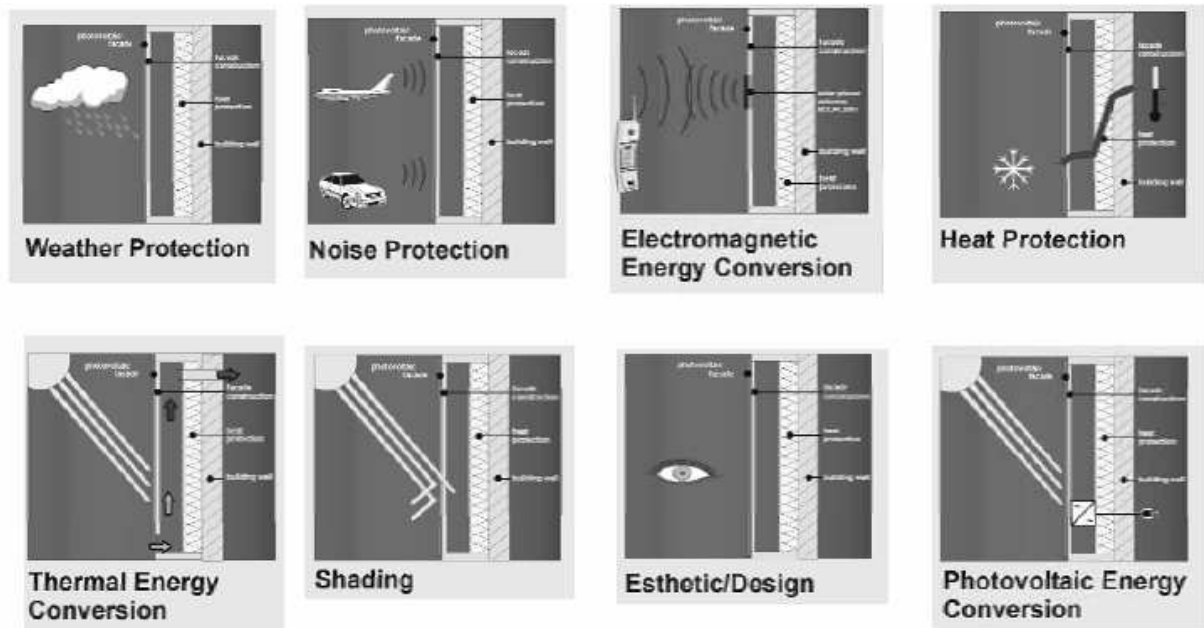


Figura 2.28: Funções adicionais dos BIPV: protecção contra agentes climáticos, ruído e calor; conversão de energia electromagnética, térmica e fotovoltaica; sombreamento e aspecto estético [31].

Por último, incorporada no programa PURE, encontra-se outra vertente dos BIPV, relacionada com as envolventes dos edifícios, normalmente referidas como mobiliário urbano. De facto, não é apenas em edificações que a energia solar fotovoltaica apresenta potencial, podendo ser aplicada em elementos tão diversos como coberturas de estacionamentos, painéis de autoestrada, esculturas ou fontes de iluminação exteriores.



Figura 2.29: Possíveis aplicações da tecnologia fotovoltaica [32].

### 2.3.1.3. Análise Custo/Benefício

Conhecidos todos os aspectos da tecnologia no que respeita o funcionamento, tipos de aplicação, potencial e benefícios, surge a questão da viabilidade económica. Apesar de todas as vantagens apresentadas, o principal factor que ditará a aquisição ou não desta tecnologia é o preço da instalação e manutenção. Uma parcela importante nesta análise está associada à situação actual de Portugal em termos de expansão da tecnologia e de políticas de apoio ao consumidor.

As instalações típicas de sistemas fotovoltaicos no panorama nacional, correspondem a sistemas autónomos, de pequenas dimensões. Dado que as metas portuguesas no que respeita a potência fotovoltaica total instalada, precognizam 150 MWp até 2010 e no final de 2006 apenas existiam 3 MWp, o governo propôs algumas medidas de incentivo. Assim, começaram a aparecer instalações de maiores dimensões, ligadas à rede pública, bem como centrais fotovoltaicas de grandes dimensões, nomeadamente a de Serpa ( actualmente a maior do mundo) e a de Moura (em fase de construção e futuramente a maior do mundo).

Os sistemas ligados à rede apresentam um grande atractivo económico em relação aos sistemas autónomos, que reside no facto do utilizador poder vender a energia produzida. Desta forma, o utilizador continua a ter a possibilidade de consumir a energia que produz, mas a esta opção acresce a venda de energia a terceiros, a um preço superior ao da rede pública. Existem dois tipos de exploração destes sistemas, o PAC (Produtor com Auto Consumo) e o PRE (Produtor de Regime Especial). Ambos os regimes são legislados e apresentam as seguintes características [26]:

- o regime **PAC** está abrangido no Decreto-Lei 68/2002 que regula a actividade de produção de energia de baixa tensão (BT), não havendo contrapartida da venda de excedente a terceiros ou à rede pública. Algumas das medidas a reter são:
  - exigência de um mínimo de 50% de consumo próprio ou venda a terceiros da energia produzida;
  - limite de produção de 150 KW em baixa tensão;
  - tarifa de venda indexada à BT adicionada de uma parcela tecnológica durante 120 meses, tempo após o qual a tarifa de venda passa a 50%.
- O regime **PRE** inicialmente contemplado no Decreto-Lei 33-A/2005, foi recentemente alterado segundo o DL 255/2007, que prevê maiores incentivos à expansão da energia fotovoltaica, inclusivé uma reserva de 50 MW de energia para integração de fotovoltaicos em edifícios. A reter deste Decreto-Lei:
  - 100% da energia produzida tem que ser vendida à rede;
  - garantida de 15 anos sobre a tarifa;
  - as tarifas de venda são de 0,43 €/kWh para sistemas com potências entre 5 kWp e 150 kWp e 0,56€/kWh para sistemas com potências inferiores a 5 kWp.

A somar a estes programas existem ainda outros incentivos fiscais, como é o caso de IVA a 12%, dedução no IRS até um máximo de 750€ e isenção de taxas alfandegárias.

Considerando a legislação apresentada, torna-se interessante estimar o custo de uma instalação fotovoltaica e analisar o tempo em que esta compensa o seu investimento e começa a ser lucrativa.

Dado as células fotovoltaicas serem um produto cuja produção tem aumentado exponencialmente nos últimos anos, a tendência é que ocorra uma redução no preço dos elementos tecnológicos deste tipo de energia. Actualmente verifica-se que os módulos ainda apresentam um valor elevado, que no entanto, consegue ainda ser próximo ou mesmo inferior, ao de alguns materiais de construção geralmente utilizados.



Figura 2.30: Custo por m<sup>2</sup> de diversos materiais de construção [31].

O valor apresentado tende a decrescer consideravelmente no futuro, devido à expansão desta tecnologia, que resultará em melhorias dos processos de produção, minimizando a energia dispendida nos mesmos.

O “payback” energético dos sistemas fotovoltaicos, isto é, o tempo necessário para que a energia produzida pelo sistema seja equivalente à consumida na sua produção, varia dependendo principalmente do factor de utilização do sistema e da duração de insolação. Elevados níveis de incidência solar e de utilização do sistema, resultarão num período de payback energético mais reduzido. Por exemplo, na cidade de Lisboa, devido aos grandes períodos de insolação, o período de payback estimado é de 1,8 anos para sistemas instalados em coberturas e 2,9 anos para sistemas instalados em fachadas [26]. Em comparação, em sistemas instalados na cidade do Porto, que apresenta um clima mais nublado durante o ano, o período de compensação sofrerá um pequeno aumento.

No que respeita o “payback monetário”, este pode ser conseguido através da venda à rede pública da energia produzida pelo sistema, através da poupança económica que advém do consumo dessa mesma energia ou de uma combinação de ambas. Como seria de esperar, este período é superior ao do “payback energético”, dependendo também do tipo de instalação e regime de utilização (produtor, consumidor ou produtor com autoconsumo).

No entanto, mesmo imaginando o pior cenário possível, estes sistemas não deixam de ser vantajosos em termos económicos, visto que os materiais de construção comuns e equipamentos associados apenas realizam as funções para as quais foram adquiridos, sem fornecer qualquer retorno. Isto é, há um gasto inicial em determinado componente sabendo à partida que esse valor não vai ser reavido. No caso dos fotovoltaicos, essa realidade altera-se visto que além de se obter um componente para determinada função, este permite ainda obter rendimentos económicos ao longo do seu ciclo de vida, que não só fazem face à despesa inicial, mas que geram lucro.

A título de exemplo, apresenta-se em seguida alguns valores de orçamentos de instalações fotovoltaicas, para diferentes tipos de habitações e utilizações, apresentando-se o lucro consoante o tipo de regime adoptado.

Quadro 1: Orçamento de diferentes instalações fotovoltaicas [33].

|                                                               | Energy one<br>(1,2 kW)     | Energy House<br>(2,4 kW)    | Copérnico 352 MG<br>(3,6 kW) |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Características habitação (nº pessoas, área e consumo diário) | 2 pessoas, 150 m2, 5,8 kWh | 4 pessoas, 200 m2, 10,9 kWh | N/A                          |
| Preço                                                         | 9257 €                     | 15969 €                     | 20328,46 € + IVA             |
| Lucro anual produtor - autoconsumo a 50%                      | 588 €                      | 1120 €                      | Não se aplica                |
| Lucro anual microgeração venda a 100 %                        | 1197 €                     | 2280 €                      | 3237 €                       |
| Lucro anual factura autoconsumo a 100%                        | 242,5 €                    | 440 €                       | Não se aplica                |

Verificam-se como anteriormente referido, os elevados valores necessários à instalação de um sistema solar fotovoltaico. Por outro lado, os sistemas Energy One e Energy House permitem satisfazer quase 100% das necessidades energéticas de uma casa e família-padrão com as características apresentadas, havendo ainda a possibilidade de venda de energia. O sistema Copérnico é apenas projectado para venda de electricidade à rede pública, sendo ideal para integração em edifícios onde além da sua função como material construtivo, representa uma fonte de rendimento e um incentivo à microgeração de energia limpa e renovável.

Concluindo esta análise custo/benefício, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma aposta segura, que apesar do seu elevado custo inicial permite uma remuneração desse investimento e até mesmo obtenção de lucro, ao que temos que somar o seu efeito positivo no meio ambiente.

## 2.3.2. APROVEITAMENTO SOLAR TÉRMICO

## 2.3.2.1. Fundamento Teórico

A outra parcela do aproveitamento solar activo reside na possibilidade de conversão da energia solar em energia térmica. A energia térmica pode ser utilizada para aquecimento de água, aquecimento e arrefecimento de espaços ou como forma de produção de energia eléctrica através de processos de conversão térmica. Visto este último processo ser inteiramente industrial, a abordagem de maior interesse para o presente projecto centra-se no aspecto de aquecimento de água. Este tipo de sistemas pode ser dividido na parte relativa a **AQS** (Águas Quentes Sanitárias) destinadas a satisfazer as exigências dos sectores doméstico e de serviços, e na parte ligada a **AQP** (Águas Quentes de Processo) utilizadas no sector industrial. Destas duas dimensões do aquecimento de água, a que apresenta o maior potencial e simultaneamente os maiores entraves, é a parcela referente à AQS, salientado o sector doméstico. Neste campo, os colectores e restantes equipamentos do sistema apresentam elevados níveis de qualidade e certificação, uma vez que este tipo de instalações foi o original e continua actualmente a ser o mais procurado. No entanto, devido à falta de incentivos e apoios estes sistemas apresentam ainda uma dimensão reduzida no mercado, o que impede a diminuição do seu custo que poderia ser atingida através de produção em massa.

As possibilidades de utilização desta tecnologia para aquecimento de águas sanitárias englobam moradias e edifícios com consumo por particulares, pavilhões gimnodesportivos, hotéis, hospitais, lares de terceira idade, piscinas e edifícios de uso colectivo.

Este tipo de energia, gerado através de aproveitamento solar, apresenta as mesmas potencialidades que a energia solar fotovoltaica no que respeita as condições de insolação favoráveis do nosso país. O facto de Portugal apresentar períodos de insolação muito acima da média europeia, permite criar expectativas optimistas quanto à sua expansão. No entanto, e à semelhança do que ocorre no caso do aproveitamento solar fotovoltaico, Portugal encontra-se ainda nos últimos lugares no que respeita áreas de instalações, quando comparado com outros países europeus.

| PAÍS      | TOTAL INSTALADO<br>ATÉ 1999 (m²) | PER CAPITA<br>(m²/hab) | INSTALADO<br>EM 1999<br>(m²) | INSTALADO<br>EM 2000(PREVISÃO)<br>(m²) | ESTIMATIVA<br>PARA 2001<br>(m²) |
|-----------|----------------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| Alemanha  | 2 900 000                        | 0.036                  | 420 000                      | 615 000                                | 800 000                         |
| Áustria   | 1 476 000                        | 0.184                  | 141 000                      | 170 000                                | 190 000                         |
| Bélgica   | 19 500                           | 0.002                  | 1 500                        | 2000                                   | 3000                            |
| Dinamarca | 282 000                          | 0.054                  | 14 000                       | 15 000                                 | 20 000                          |
| Espanha   | 313 000                          | 0.008                  | 33 000                       | 40000                                  | 60000                           |
| Finlândia | 12 000                           | 0.002                  | 7 000                        | 7000                                   | 7000                            |
| França    | 296 000                          | 0.005                  | 8 000                        | 7000                                   | 14000                           |
| Grécia    | 2 645 000                        | 0.252                  | 180 000                      | 170 000                                | 200 000                         |
| Itália    | 244 000                          | 0.004                  | 22 000                       | 27000                                  | 40000                           |
| Portugal  | 219 500                          | 0.022                  | 4 500                        | ????                                   | ???                             |
| Suécia    | 157 000                          | 0.018                  | 9000                         | 15000                                  | 20000                           |

Figura 2.31: Mercado Europeu de energia solar térmica [18].

O equipamento responsável pela conversão da energia solar em energia térmica designa-se por colector solar. Existem diferentes tipologias dos mesmos, destinadas a se adaptarem às características dos sistemas, nomeadamente à temperatura da água. Os colectores classificam-se em [34]:

- **Planos** – é o tipo de colector mais utilizado e destina-se a sistemas em que a água não atinga temperaturas superiores a 60°C. Apresentam um grande ângulo de visão, o que lhes permite absorver não só a radiação directa, como também a difusa. Geralmente são constituídos por:
  - cobertura transparente que contribui para a ocorrência de efeito de estufa, bem como para a estanquidade e redução de perdas térmicas do colector;
  - superfície absorvedora responsável pela conversão da radiação solar em energia térmica, transmitindo-a em seguida para o fluido térmico que circula em tubos paralelos ou em serpentina;
  - caixa isolada que protege o interior do equipamento de agressões externas, ao mesmo tempo que confere rigidez e contribui para a diminuição de perdas;
  - isolamento térmico a ser aplicado no interior da caixa isolada, de forma a reter o calor produzido e diminuir as perdas térmicas.

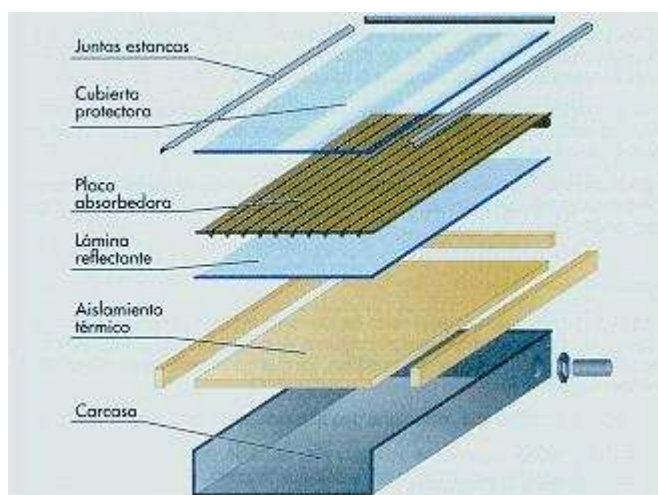


Figura 2.32: Exemplo de colector solar plano [35].

- **Concentradores** – este tipo de colectores permite atingir temperaturas mais elevadas que os planos, mas com algumas contrapartidas. De forma a atingir temperaturas superiores há que reduzir ao máximo as perdas térmicas no colector, que são proporcionais à superfície do mesmo. A concentração de um colector é designada pela relação entre a área de captação de radiação e a área do colector em si. Aumentando esta variável, reduzem-se as perdas térmicas, mas por outro lado reduz-se o ângulo de captação de radiação, o que obriga que este tipo de equipamento possua seguimento solar. A tecnologia necessária para que o equipamento acompanhe a trajectória do sol durante o dia é não só complexa como também dispendiosa e permite apenas o aproveitamento de radiação directa.



Figura 2.33: Exemplo de colector solar concentrador [36].

- **CPC** (concentradores parabólicos compostos) – estes colectores apresentam-se como uma versão melhorada dos colectores planos, uma vez que apresentam as mesmas características destes mas permitem obter temperaturas de água mais elevadas (acima de 70°C). A sua produção tornou-se possível graças a avanços no campo da engenharia óptica. A principal diferença entre os CPCs e os colectores planos reside na superfície absorvedora, visto que nos CPCs esta é constituída por uma grelha de alhetas em forma piramidal, que permitem absorção solar directa na sua superfície superior e absorção solar reflectida na superfície inferior. Este mecanismo minimiza as perdas caloríficas e resulta num aumento da temperatura do fluido.



Figura 2.34: Concentrador parabólico composto (CPC), denotar a superfície absorvedora com alhetas [37].

- **A vácuo** – consistem em tubos de vidro alinhados que no seu interior possuem tubos de metal, responsáveis pela absorção solar. O interior dos tubos não possui ar o que elimina as perdas convectivas, permitindo grandes rendimentos a temperaturas elevadas.



Figura 2.35: Colector solar com tubos de vácuo [38].

Porém o colector isolado não tem qualquer utilidade, apesar de converter a radiação em energia térmica, não tem como a transmitir para a água de consumo, aquecendo-a. Assim, os colectores necessitam de ser incorporados num sistema de aproveitamento solar térmico, composto por elementos adicionais, de forma a cumprirem a sua função.

Um sistema de conversão de energia solar térmico tem um princípio de funcionamento bastante simples e os seus principais componentes são [39]:

- captador – um ou mais colectores que absorvem a radiação solar incidente e a transformam em energia térmica;
- depósito de acumulação – acumula água quente até que seja consumida;
- circuito hidráulico – válvulas, tubagens, bombas, etc;
- permutador – transmite a energia térmica captada pelos colectores ao sistema de consumo. Pode ser interior ou exterior ao depósito de acumulação;
- elementos de regulação e controlo – elementos mecânicos e eléctricos que permitem um correcto desempenho do sistema;
- sistema de backup – sistema convencional de aquecimento de água, para fazer face aos períodos de maior demanda ou de menor insolação.

O sistema funciona através de simples trocas cíclicas de calor entre elementos. A superfície de absorção dos colectores capta a energia solar, convertendo-a em energia térmica. O calor resultante é transmitido ao fluido térmico que circula no sistema hidráulico, aquecendo-o. Esse fluido aquecido é encaminhado através do sistema hidráulico para o permutador, que transfere o calor para a água existente no depósito de acumulação, aquecendo-a. O fluido agora frio devido às trocas energéticas, retorna ao colector solar para reiniciar o processo. A água quente permanece armazenada no depósito até ser consumida.

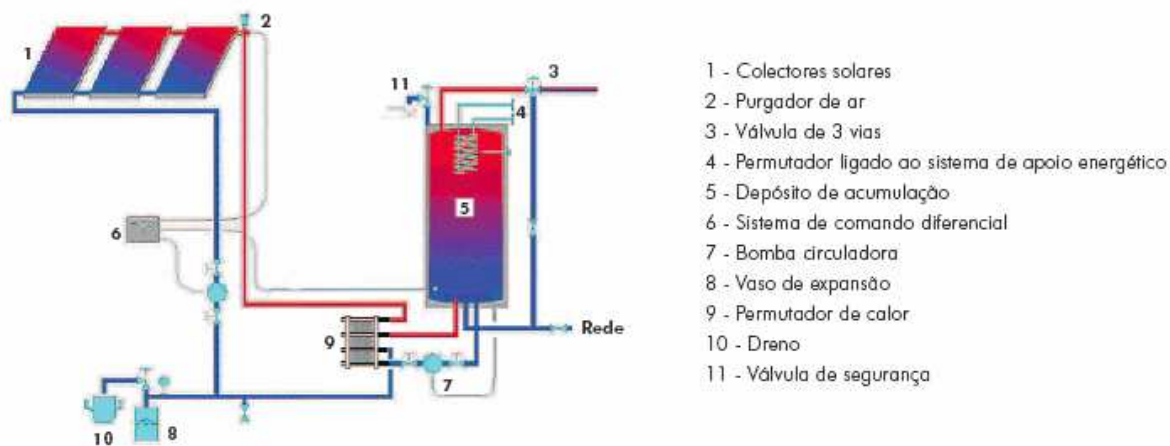


Figura 2.36: Exemplo de um sistema solar térmico com permutador externo [39].

No que respeita o circuito hidráulico, este pode ser classificado em **circuito directo** ou em **circuito primário**. A diferença entre ambos está no tipo de fluido que circula na tubagem, água no caso do directo e um fluido térmico no caso do primário. No circuito directo, a própria água de consumo circula nas tubagens, sendo aquecida e posteriormente devolvida ao depósito, enquanto que no circuito primário, o fluido aquecido é encaminhado a um permutador onde ocorre a transferência térmica para

o sistema de consumo. No entanto, a utilização de água nas tubagens origina problemas de corrosão e calcificação, razão pela qual o circuito directo se encontra em desuso [40].

Os sistemas podem ainda ser **activos** ou **passivos** dependendo da forma de circulação do fluido no sistema. Se o fluido for impulsionado recorrendo ao auxílio de uma bomba (circulação forçada), o sistema designa-se por activo, se o fluido se desloca de forma natural o sistema é passivo. A deslocação do fluido de forma natural processa-se através da diferença de densidades do mesmo, quando se encontra aquecido ou à temperatura ambiente. Este mecanismo é também designado de **termossifão** e implica que o depósito de acumulação esteja situado acima do colector solar. O fenómeno ocorre da seguinte forma [40]:

- a radiação solar captada pelo colector é convertida em energia térmica que por sua vez é transmitida para o fluido circulante;
- o fluido aquecido apresenta uma densidade inferior à densidade de temperatura ambiente, o que provoca a sua ascensão do colector em direcção ao depósito de acumulação;
- após a ocorrência de trocas caloríficas entre o fluido e o permutador (interno ou externo), o fluido arrefece e aumenta a sua densidade, iniciando a sua descida de volta aos colectores.

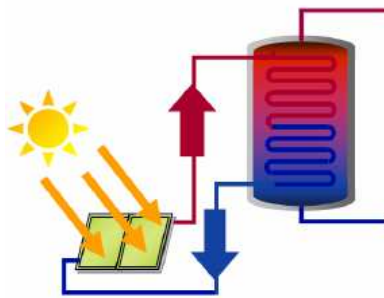


Figura 2.37: Esquema de circulação do tipo termossifão [40].

Um dos problemas associados a este tipo de funcionamento, reside na possibilidade de inversão do sentido de circulação. Esta situação ocorre com clima nublado em que a irradiação é reduzida, havendo a possibilidade de redução da temperatura do fluido existente no colector. Este arrefecimento provoca um aumento da densidade do fluido que inicia o caminho inverso para o depósito. O fluido aquecido existente no depósito, é impulsionado a sair do mesmo devido à pressão exercida pelo fluido ascendente, retornando ao colectores onde a sua energia térmica se dissipa.

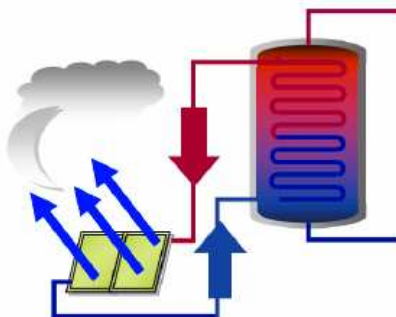


Figura 2.38: Esquema de circulação invertida em sistema de termossifão [40].

Foram apresentadas algumas classificações relacionadas com elementos responsáveis pelo funcionamento do sistema. Existe ainda uma outra forma de análise associada à instalação em si, relacionada com a **temperatura desejável da água** [18]:

- Temperaturas baixas – instalações em que água apresenta temperaturas entre a temperatura ambiente e 90°C e cuja principal finalidade é o aquecimento de água. Os colectores utilizados são planos ou do tipo CPC de baixa concentração, todos utilizando tecnologia extremamente desenvolvida. Estas instalações são as de maior interesse devido à elevada procura de mercado e por serem as mais utilizadas no sector doméstico, já referido como o de maior potencial.
- Temperaturas médias – instalações que utilizam água com temperatura entre 90°C e 150°C, podem ter como objectivo:
  - produção de vapor em indústrias;
  - aquecimento e arrefecimento de água utilizando equipamento frigorífico;
  - produção de electricidade recorrendo a turbinas de baixa temperatura;
  - dessalinização com sistemas multflash.

Os colectores utilizados nestas instalações devem apresentar elementos que reduzam as perdas térmicas, nomeadamente barreiras anti-convectivas, vácuo e no caso da utilização de CPCs, a sua concentração deve ser inferior a 2.

- Temperaturas altas – este tipo de sistema é apenas utilizado no sector industrial em processos de produção de energia eléctrica por conversão térmica. As temperaturas atingem entre 150°C e 300°C e é necessário que os colectores apresentem seguimento solar, aconselhando-se o uso de colectores cilindro-parabólicos.
- Temperaturas muito altas – da mesma forma que os anteriores, estes sistemas destinam-se à produção de energia eléctrica por via térmica, mas com ciclos termodinâmicos de temperaturas superiores, acima de 300°C. Os colectores utilizados podem ser novamente os cilindro-parabólicos ou então estações em torre que utilizam espelhos planos designados heliostátos.

A utilização de colectores solares em edifícios é conseguida de forma eficaz apesar desta tecnologia não apresentar a versatilidade da fotovoltaica. Os sistemas de energia térmica solar aparecem geralmente como um equipamento a ser colocado na cobertura ou fachada do edifício, não apresentando a vertente de incorporação integral, como acontece com os painéis fotovoltaicos. No entanto, prevendo e projectando a sua utilização em edificações é possível minimizar o impacto visual e tirar partido das vantagens desta tecnologia.

Como apresentado anteriormente, a orientação óptima para aproveitamento solar é Sul, podendo ainda maximizar-se o ganho instalando os equipamentos com inclinação de 38°. Estas são as condições perfeitas para o sistema, mas como o edifício nem sempre as reúne, estudaram-se alternativas que revelaram que desvios de 45° de orientação para Este ou Oeste representam pouca diferença de rendimento, desde que se reduza a inclinação para 25°. No caso de edifícios com telhados inclinados, pode adoptar-se a inclinação do mesmo (com um mínimo de 8°) de forma a minimizar o impacto visual, podendo no entanto provocar uma redução de rendimento. No que respeita o ângulo com a horizontal, 35° é o aconselhado, mas este valor deve ser adaptado consoante a utilização dada ao edifício, visto que ângulos superiores a 35° adequam-se ao Inverno e ângulos inferiores favorecem o Verão [39].

Considerando o sector doméstico, a integração dos sistemas pode ser efectuada em habitações monofamiliares ou em edifícios multifamiliares. De acordo com a quantidade de famílias à qual é necessário fornecer água quente, instalam-se sistemas **monoblocos** compactos no caso de uma única família, ou **sistemas colectivos** no caso de várias. Os sistemas monobloco têm a vantagem de incorporar o colector e o depósito de acumulação numa única estrutura, enquanto que os colectivos apresentam colocações distintas destes dois componentes.

Na instalação de sistemas colectivos em edifícios, precognizam-se quatro tipos diferentes de integração [39],[41]:

- i. **Sistema completamente integrado** – esta proposta é a que contempla a utilização mais generalizada do sistema, uma vez que todos os seus componentes são comuns. Os colectores, o depósito de reserva e o sistema de apoio consistindo numa caldeira a gás, são todos comuns às diversas habitações.

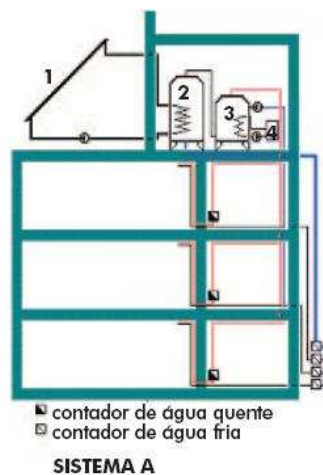


Figura 2.39: Esquema de um sistema completamente integrado: 1 – colectores solares , 2 – depósito de acumulação, 3 - depósito de apoio e 4 – sistema de apoio [39].

- ii. **Sistema centralizado com sistemas de apoio individuais** – composto por colectores solares e depósito de acumulação comum, mas com sistemas de apoio individuais para cada habitação.

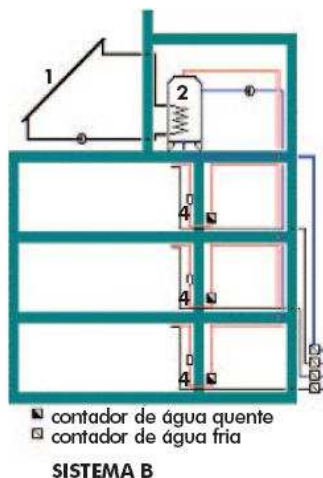


Figura 2.40 – Esquema de instalação centralizada com sistemas de apoio individuais [39].

- iii. **Sistema de colectores centralizado** – esta alternativa prevê colectores comuns a todas as habitações, mas depósitos de acumulação e sistemas de apoio individuais para cada uma.

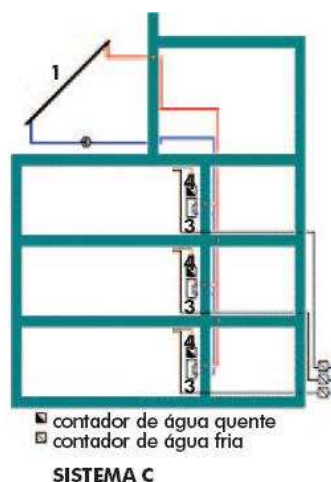


Figura 2.41: Esquema de um sistema de colectores centralizado [39].

- iv. **Sistema totalmente individual (monobloco)** – é o mesmo sistema utilizado em habitações unifamiliares, cada habitação possui o seu sistema de aproveitamento (colectores, depósito de acumulação e sistema de apoio).

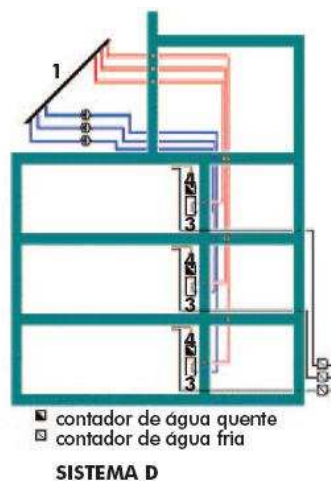


Figura 2.42: Esquema de um sistema monobloco [39].

É importante referir que todas estas propostas deverão ser previstas ainda em fase de projecto, de forma a evitar problemas referentes a alterações. Se as medidas de integração forem adoptadas aquando da construção, evita-se os incómodos associados às modificações em si, nomeadamente ruído e falha de abastecimento e ainda problemáticas burocráticas relacionadas com a associação de condóminos.

Em seguida demonstram-se alguns exemplos da integração de sistemas de aproveitamento solar térmico em edificações:



*Figura 2.43: Integração de colectores solares em edifícios, [42],[43].*



*Figura 2.44: Integração de colectores solares em edifícios [44].*

Por último, é interessante referir as variações de rendimento sofridas pelos colectores consoante diferentes consumos de água quente. Os sistemas são dimensionados de forma a satisfazer as necessidades do período de Verão sem recorrer ao sistema de apoio, e as necessidades do período de Inverno combinando o sistema primário com o sistema de apoio. Esse mesmo dimensionamento é efectuado recorrendo a valores estimados para as áreas de colectores e para o volume de armazenamento necessários, por pessoa. Admite-se uma área de  $1\text{ m}^2$  a  $2\text{ m}^2$  e um volume entre 50l e 70l para cada utilizador. Apresenta-se no anexo 1 um estudo em que se avalia três cenários possíveis de consumo e as respectivas contribuições dos sistemas de colectores [39].

### 2.3.2.2. O Projecto Água Quente Solar para Portugal

Como anteriormente referido, encontra-se incorporado no Programa E4, uma iniciativa designada por AQSpP (Água Quente Solar para Portugal). Lançado em 2001, o seu objectivo visava impulsionar a tecnologia solar térmica em território nacional, traçando metas e estabelecendo medidas. Na mesma altura em que era aprovado este programa, a ADENE (Agência para a Energia) e o INETI realizavam o FORUM para as Energias Renováveis, propondo uma reflexão sobre as energias endógenas por parte de diversas instituições e especialistas. Os estudos efectuados em ambos os programas, avaliaram não só o potencial total desta energia em Portugal mas também a percentagem desse potencial, passível de ser atingido ao longo dos anos tendo como horizonte o ano de 2010 [42]:

|             |     | $A_c$ (m <sup>2</sup> ) | CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA |                    |
|-------------|-----|-------------------------|-------------------------|--------------------|
|             |     |                         | $E_{\text{útil}}$       | $E_{\text{final}}$ |
|             |     |                         | (Mtep/ano)              |                    |
| Doméstico   | AQS | 7 468 112               | 0.424                   | 0.583              |
| Indústria e | AQS | 244 669                 | 0.021                   | 0.022              |
| Serviços    | AQP | 6 907 095               | 0.448                   | 0.527              |
| Total       |     | 14 619 876              | 0.893                   | 1.132              |

( $A_c$  – Área de colectores solares;  $E_{\text{útil}}$  – Energia útil;  $E_{\text{final}}$  – Energia final).

Figura 2.45: Potencial máximo da energia térmica solar em Portugal até 2010 [42].

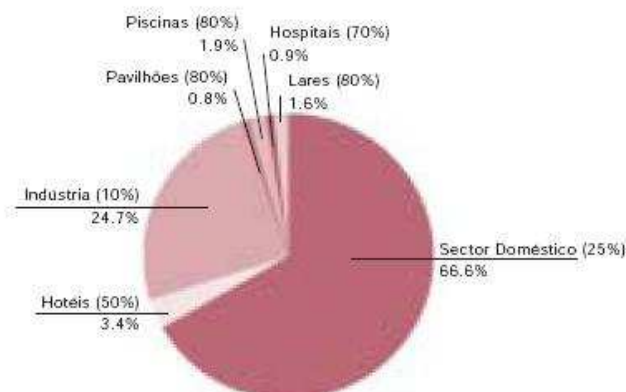


Figura 2.46: Representação das áreas de colectores possíveis de instalar até 2010. As percentagens sem parêntesis representam o peso de cada sector no total de instalações. A percentagem dentro de parêntesis, reflecte a parcela do potencial máximo que é possível atingir até 2010 [42].

Tendo em conta a exequibilidade de expansão, os valores possíveis para 2010 seriam uma área instalada de colectores de 2 801 446 m<sup>2</sup>, produção de energia útil de 0,165 Mtep (tep = tonelada equivalente de petróleo, 1 MWh = 0,086 tep) e de energia total de 0,213 Mtep.

Porém, devido a todas as barreiras de integração no mercado, apresentados no início deste capítulo, a proposta do Programa E4 visou **metas** mais modestas e realísticas [45]:

- Incentivar a expansão do sector solar térmico em Portugal;
- Criar um mercado estável com uma taxa de crescimento de 150 000 m<sup>2</sup> de área de colectores solares por ano, atingindo um valor de 1 000 000 m<sup>2</sup> em 2010;
- Criação de postos de trabalho relacionados com a instalação e manutenção;
- Acreditação da tecnologia junto dos consumidores, melhorando a imagem e incentivando a aquisição de sistemas solares térmicos.

De modo a atingir estes objectivos foram adoptadas **medidas** cruciais:

- Certificação de equipamentos (norma EN 12975);
- Certificação de instaladores e técnicos;
- Criação de website e linha telefónica de apoio;
- Criação de um Observatório para a energia solar térmica, cuja função é monitorizar as instalações efectuadas e o seu bom funcionamento;
- Aumento do período de garantia dos sistemas para 6 anos;
- Campanhas promocionais.

As medidas contidas neste programa revelaram-se positivas, alertando consumidores para as vantagens desta tecnologia e garantindo-lhe uma maior visibilidade nos anos recentes. Actualmente é possível adquirir equipamento certificado, que será instalado por técnicos também eles certificados, transmitindo uma sensação de segurança ao utilizador. Com o progressivo aumento de sistemas instalados e consumidores satisfeitos, espera-se que cada vez mais se adopte este tipo de solução. A utilização deste tipo de sistemas apresenta diversas **vantagens** quer para os utilizadores privados, quer para o país em geral:

- Tecnologia em sintonia com as novas políticas energéticas e de certificação energética de edifícios;
- Energia limpa, sem produção de gases de efeito de estufa, nomeadamente CO<sub>2</sub>;
- Contribuição para o progresso tecnológico nacional, acompanhando os restantes membros da UE;
- Criação de empregos;
- Fonte energética abundante e renovável : o Sol;
- Facilidade de montagem e instalação;
- Versatilidade de estruturas de suporte permitem instalação em qualquer tipo de edifício;
- Possibilidade de aparecimento de um mercado de venda de água quente solar, a um preço inferior ao praticado pela rede pública;
- Compatibilidade com os sistemas de apoio, ou seja, os sistemas correntes de aquecimento de água, minimizando custos e maximizando o rendimento;
- Redução da factura energética.

## 2.3.2.3. Análise Custo/Benefício

À semelhança do ocorrido para a tecnologia solar fotovoltaica, foram propostos incentivos fiscais e de mercado para a aquisição de equipamento solar térmico. A expansão da energia solar térmica é inevitável, visto estar decretado no RCCTE (Regulamento de Comportamento de Características Térmicas dos Edifícios), a obrigatoriedade de uso de colectores solares para aquecimento de água, sempre que possível [43].

O mercado desta energia apresenta duas grandes vertentes destinadas a satisfazer diferentes tipos de utilizadores. A abordagem tradicional de venda e instalação de equipamento continua a ser possível, apresentando agora cuidados redobrados para evitar os problemas das instalações iniciais. A alternativa, surge como uma inovação de grande potencial fomentando o aparecimento de empresas privadas de venda de água quente. Estas, apresentam como principal atractivo o facto de serem mais cómodas para os consumidores, que não necessitam de adquirir o equipamento, recebendo apenas uma factura mensal como acontece com o gás ou a electricidade. O princípio de acção desta vertente de mercado reside na instalação de todo o equipamento por parte da empresa, responsabilizando-se ainda pela manutenção do mesmo, o que representa uma poupaça monetária considerável por parte do utilizador que não é obrigado a realizar um investimento inicial. Outro elemento positivo a somar aos referidos reside na tarifa paga pelo consumidor, inferior à praticada pela rede pública.

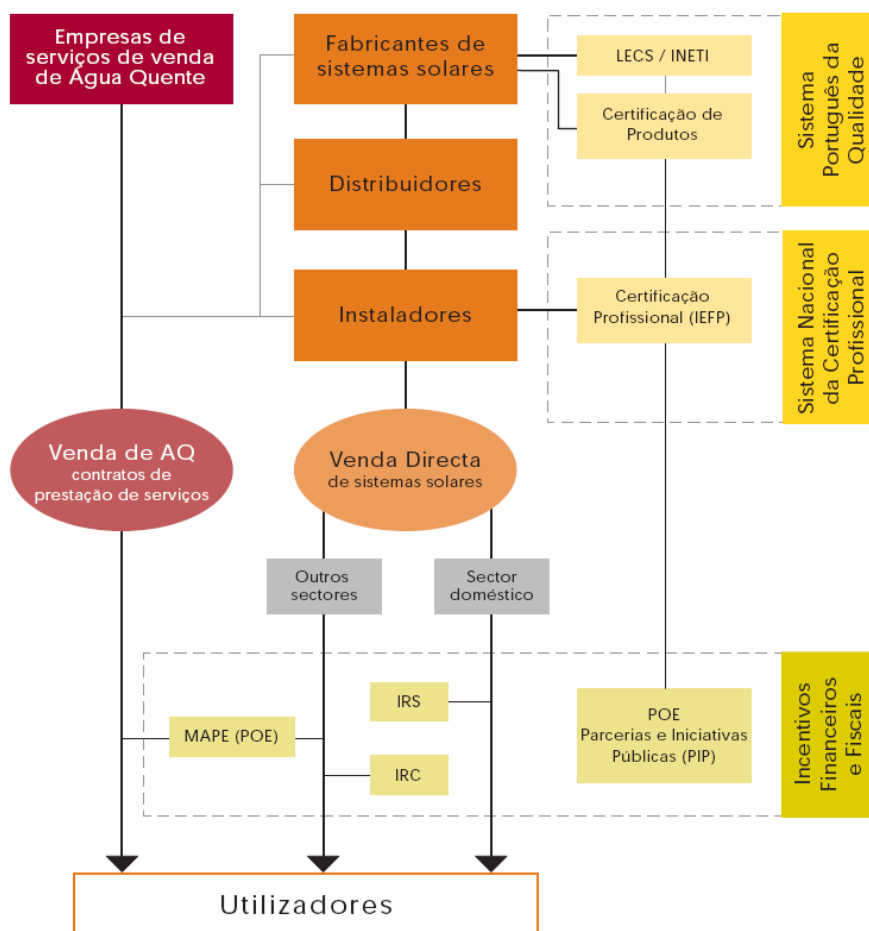


Figura 2.47: Esquema das vertentes de mercado e medidas a adoptar para o solar térmico [46].

No que respeita os **incentivos fiscais**, estes dividem-se por três tipos de impostos abrangendo empresas e particulares [47]:

- IRS – previsto na proposta de Lei 478/2006, que permite a dedução no total do imposto, de 30% do valor investido em equipamentos de aproveitamento de energias renováveis, até um máximo de 761€. Porém esta redução só poderá ser obtida senão se possuir um crédito à habitação;
- IRC – abrangido no despacho nº22/99, que estipula um período mínimo de utilização do sistema de 4 anos, para usufruir da amortização. Esta medida permite uma redução do valor anual do IRC, acumulável com outros investimentos e que permite reduzir o tempo de retorno do investimento;
- IVA – previsto na Lei 109-B/2001, a qual decreta uma taxa de 12% para aquisição de equipamentos de aproveitamento solar.

Encontram-se ainda contemplados no MAPE (Medidas de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos) **incentivos financeiros** [44]:

- Financiamento de 30% a 40% do valor do investimento, consoante a energia fornecida, valorizando os sistemas de melhor desempenho;
- Incentivo de 50% do valor investido reembolsável, excepto para entidades públicas em que não existe qualquer tipo de reembolso;
- Redução do investimento mínimo elegível por aplicação de 15 000€ para 10 000€;
- Valor máximo de investimento elegível por m<sup>2</sup> de 600€/m<sup>2</sup>, sendo este valor ajustado consoante a evolução do mercado;

Tendo em conta as diversas políticas e possibilidades de mercado, apresenta-se em seguida uma estimativa do custo de instalação de um sistema de aproveitamento solar térmico padrão, bem como alguns orçamentos de diferentes equipamentos.

O custo de um sistema depende de diversos factores, nomeadamente da sua dimensão, tipo de instalação, número de consumidores, tipo de utilização e exposição solar. Considerando principalmente o sector doméstico em que os sistemas mais utilizados são do tipo “kit”, o investimento inicial mínimo ronda os 1700€. De acordo com um estudo efectuado pela ENERGAIA [48],[49] um sistema solar térmico tipo “kit”, com uma capacidade de acumulação de 350l e uma área de captação de 4m<sup>2</sup> (recomendado para 2 pessoas), apresenta um preço de 2670€. No entanto, aplicando os incentivos acima descritos, este valor diminui para 1909€ (redução de 30% no IRS). Admitindo que este sistema é dimensionado para satisfazer 60% a 80% das necessidades de água quente, de forma a evitar sobreaquecimento do equipamento, os restantes 40% a 20% são fornecidos pelo sistema de apoio movido a gás ou electricidade.

O estudo considerou o horizonte médio de vida dos equipamentos de aproveitamento solar (12 anos), para estabelecer comparações de custos de aquecimento de água nesse período, recorrendo a diferentes fontes de aquecimento. Os valores apresentados, apesar de serem apenas uma estimativa, permitem observar o benefício monetário que advém do uso desta tecnologia.

Ainda abordado nesta análise encontra-se o factor ambiental, de extrema importância, em que se estabelece uma comparação semelhante à realizada para o custo, mas avaliando agora as emissões de gases de estufa decorrentes do uso das diferentes fontes.

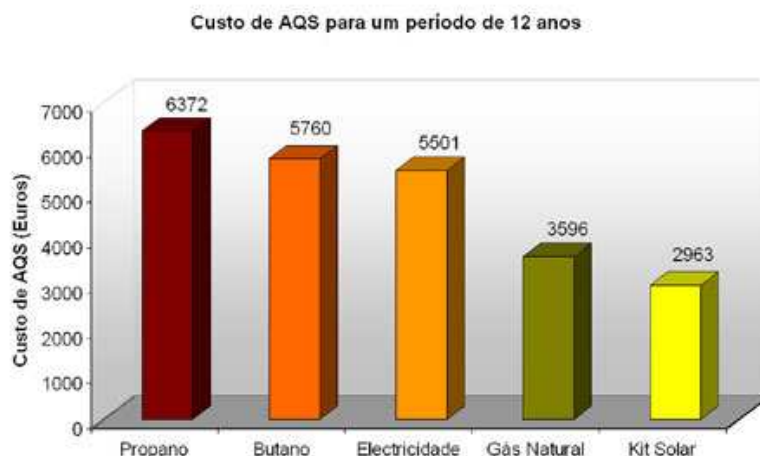


Figura 2.48: Comparação de custos de aquecimento de água durante um período de 12 anos, recorrendo a diferentes soluções [49].

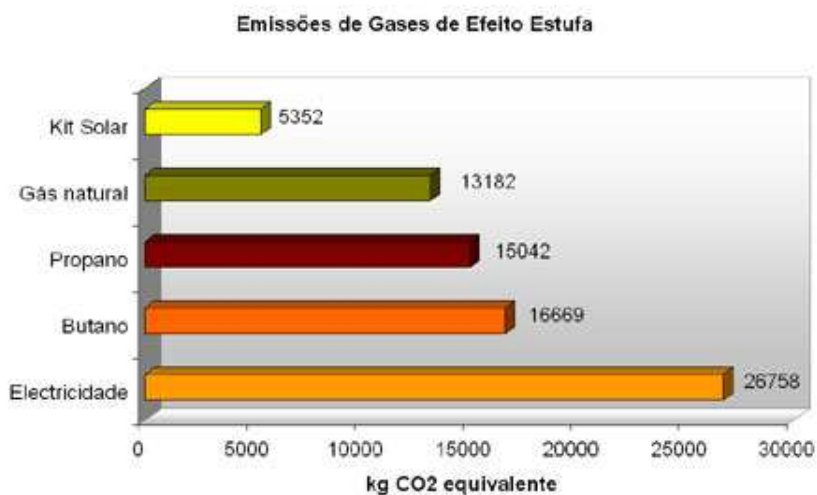


Figura 2.49: Comparação das emissões de CO2 de cada alternativa de aquecimento, para um período de 12 anos [49].

Observando os resultados deste estudo verifica-se a rentabilidade económica proveniente do uso de colectores solares para o aquecimento de água, quando comparado com as restantes tecnologias. Em relação à electricidade por exemplo, a poupança é de aproximadamente 2000€, valor próximo do custo da instalação do sistema solar térmico. Assim, o **payback monetário** desta instalação rondaria o período de 12 anos analisado.

Analisando ainda as emissões de CO2, verifica-se uma diminuição considerável aquando do uso de colectores. Os valores de emissões relativos ao uso de electricidade são aproximadamente 5 vezes superiores aos dos da energia solar, demonstrando novamente as características ambientais positivas desta última. Tendo em conta que em média, um veículo automóvel que percorra 10 000 km num ano, emite certa de 2 toneladas de CO2 para a atmosfera, este valor poderá ser compensado pela utilização de um sistema solar térmico com uma área de 4m<sup>2</sup> durante o mesmo período [50].

Apresentam-se de seguida alguns orçamentos relativos a instalações solares térmicas de diferentes dimensões e características. É importante lembrar ainda que alguns factores influenciam o custo destes sistemas, como a previsão da sua incorporação no edifício na fase de projecto ou o nível de expansão do mercado, que permitirá uma redução dos preços no futuro.

| Marca                                                                               | Modelo                                  | Descrição                               | Volume do depósito (lt) | Especificações                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Preço Venda (€) s/IVA | Preço Venda (€) c/IVA de 12% |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
|    | 200 lt - 1,9 m <sup>2</sup> (1 painel)  | E2 - Solar Keymark - Circulação forçada | 200                     | Depósito Independente de Duplo Circuito Alumínio Anodizado no exterior, interior com esmalte de vidro; Isolamento Lã-de-Rocha 30 mm + 20 mm Poliuretano; Caixa Colector Alumínio; Absorvor Selective Ultrasonic - TINOX; Vidro Classe 4 mm de segurança, sem ferro; Vaso de Expansão 20 Lt; Bomba Wilo; Termostato Diferencial; resistência aquecimento backup de 2 kW | € 2.148               | € 2.406                      |
|    | 260 lt - 3,8 m <sup>2</sup> (2 painéis) | E2 - Solar Keymark - Circulação forçada | 260                     | Depósito Independente de Duplo Circuito Alumínio Anodizado no exterior, interior com esmalte de vidro; Isolamento Lã-de-Rocha 30 mm + 20 mm Poliuretano; Caixa Colector Alumínio; Absorvor Selective Ultrasonic - TINOX; Vidro Classe 4 mm de segurança, sem ferro; Vaso de Expansão 25 Lt; Bomba Wilo; Termostato Diferencial; resistência aquecimento backup de 2 kW | € 2.591               | € 2.902                      |
|    | 300 lt - 3,8 m <sup>2</sup> (2 painéis) | E2 - Solar Keymark - Circulação forçada | 300                     | Depósito Independente de Duplo Circuito Alumínio Anodizado no exterior, interior com esmalte de vidro; Isolamento Lã-de-Rocha 30 mm + 20 mm Poliuretano; Caixa Colector Alumínio; Absorvor Selective Ultrasonic - TINOX; Vidro Classe 4 mm de segurança, sem ferro; Vaso de Expansão 33 Lt; Bomba Wilo; Termostato Diferencial; resistência aquecimento backup de 4 kW | € 2.998               | € 3.358                      |
| Marca                                                                               | Modelo                                  | Descrição                               | Volume do depósito (lt) | Especificações                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Preço Venda (€) s/IVA | Preço Venda (€) c/IVA de 12% |
|   | 200 lt - 1,9 m <sup>2</sup> (1 painel)  | E2 - Solar Keymark - Temosifão          | 200                     | Temosifão - Depósito Integrado Alumínio Anodizado no exterior, interior com esmalte de vidro; Isolamento Lã-de-Rocha 30 mm + 20 mm Poliuretano; Caixa Colector Alumínio; Absorvor Selective Ultrasonic - TINOX; Vidro Classe 4 mm de segurança, sem ferro; Termostato Diferencial; resistência aquecimento backup de 2 kW                                              | € 1.342               | € 1.504                      |
|  | 260 lt - 3,8 m <sup>2</sup> (2 painéis) | E2 - Solar Keymark - Temosifão          | 260                     | Temosifão - Depósito Integrado Alumínio Anodizado no exterior, interior com esmalte de vidro; Isolamento Lã-de-Rocha 30 mm + 20 mm Poliuretano; Caixa Colector Alumínio; Absorvor Selective Ultrasonic - TINOX; Vidro Classe 4 mm de segurança, sem ferro; Termostato Diferencial; resistência aquecimento backup de 2 kW                                              | € 1.973               | € 2.210                      |
|  | 300 lt - 3,8 m <sup>2</sup> (2 painéis) | E2 - Solar Keymark - Temosifão          | 300                     | Temosifão - Depósito Integrado Alumínio Anodizado no exterior, interior com esmalte de vidro; Isolamento Lã-de-Rocha 30 mm + 20 mm Poliuretano; Caixa Colector Alumínio; Absorvor Selective Ultrasonic - TINOX; Vidro Classe 4 mm de segurança, sem ferro; Termostato Diferencial; resistência aquecimento backup de 4 kW                                              | € 2.051               | € 2.297                      |

Figura 2.50: Orçamento de instalações de sistemas solares térmicos do tipo circulação forçada e termosifão [51].

Concluindo esta análise, verifica-se o conjunto de vantagens que advém do uso da energia solar térmica. É uma energia limpa, rentável, cujos equipamentos de aproveitamento se encontram bem desenvolvidos e integrados no mercado, apresentando certificação adequada. O custo inicial de investimento num sistema deste tipo, revela-se ainda um pouco elevado não sendo no entanto proibitivo, ainda mais tendo em conta os benefícios fiscais. Novamente, e como acontecia no caso da energia solar fotovoltaica, esta energia possibilita uma poupança financeira caso seja utilizada para auto-consumo, ou gerar rendimento no caso da venda a terceiros. As medidas adoptadas pelo Estado, ainda que precárias em alguns sentidos, fornecem auxílio na aquisição destes equipamentos, bem como uma sensação de segurança aos utilizadores que sabem estar a adquirir um sistema seguro, certificado e com garantia de manutenção por profissionais especializados.

Resumindo, a utilização desta tecnologia é proveitosa para todos, quer para o utilizador privado em termos financeiros, quer para o planeta em termos ambientais.

### 2.3.3. GESTÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA

Devido à escassez cada vez mais acentuada deste recurso natural, todas as medidas que permitam a sua preservação são de suma relevância. De acordo com a ONU, em 2025, vários milhões de pessoas não terão acesso a água potável e quase dois terços da população mundial será vítima de falta de água [52]. Uma breve reflexão acerca destes números revela a importância de adoptar acções de forte repercussão. Actualmente a legislação em vigor, o PNUEA/2001 (Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água), contempla linhas de acção que abordam os diversos tipos de água (potável, pluvial e residual) como um todo interligado. O plano contém as seguintes propostas [53]:

- Elaboração de um plano de gestão integrada de águas urbanas;
- Acções com vista a reduzir os consumos;
- Soluções para reduzir perdas em sistemas públicos e privados;
- Aproveitamento de águas alternativas, como efluentes de ETAR's, águas recicladas e águas das chuvas;
- Medidas para reduzir os caudais pluviais recorrendo a planeamento geográfico ou bacias de retenção.

Além de soluções construtivas que permitam o armazenamento ou reutilização deste recurso, medidas de boa prática e adequada escolha de equipamentos têm que ser uma prioridade, pois só conjugando essas duas dimensões se conseguirá uma mudança positiva do panorama actual.

#### 2.3.3.1. Regras de Boa Utilização da Água

É crucial aprender como gerir correctamente este recurso de forma a rentabilizar as técnicas construtivas que visam o aproveitamento e reutilização de água. De outro modo, mesmo dimensionando e projectando as melhores soluções construtivas, a eficiência e poupança proporcionada pelas mesmas será diminuta.

A abordagem lógica para confrontar qualquer problemática inicia-se pelo conhecimento do problema em si. Assim, surge a necessidade de saber onde e como a água é desperdiçada ou mal aproveitada. Avaliando os gastos médios diários de água de uma habitação, torna-se possível identificar os principais responsáveis pelo consumo e consequente valor da factura mensal.

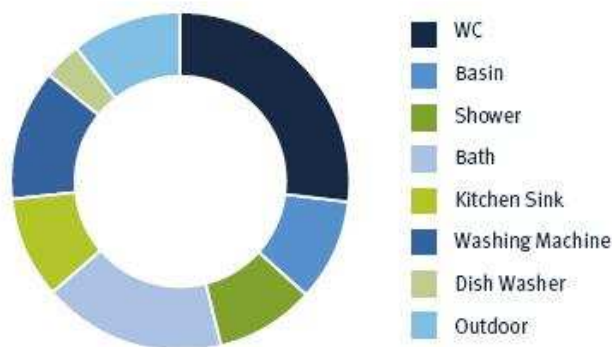


Figura 2.51: Gráfico da distribuição por actividades do consumo médio diário de água [54].

A maior parte da água utilizada diariamente nas habitações corresponde ao uso da casa de banho, nomeadamente do chuveiro e do autoclismo, seguindo-se actividades como lavagem da roupa e da loiça (na cuba de cozinha). Ora, estas serão as principais áreas a ter em conta ao adoptar medidas de poupança e redução de desperdício, não só no que respeita a eliminação de maus hábitos de utilização, mas também na escolha acertada de equipamentos adequados.

Apresentam-se em seguida, separadas por tópicos, algumas simples regras de utilização e manutenção, que permitem uma considerável redução no consumo de água em habitações [52],[54],[21]:

- **Chuveiros/Banheiras** – representam cerca de 45% do consumo diário de água, devido ao tempo que os utilizadores dispõem no seu uso mas também devido aos equipamentos de alta pressão disponíveis no mercado. Outro hábito errado dos consumidores encontra-se relacionado com a pressão de água que consideram “confortável” para o banho, normalmente muito acima da necessária. Os principais factores que influenciam a quantidade de água consumida no banho são os mecanismos de aquecimento, mecanismos de controlo de temperatura e o caudal. As propostas seguintes são simultaneamente eficazes e económicas:
  - chuveiros eficientes que proporcionem condições adequadas de conforto, reduzindo o caudal normal de 20 l/min para 9 l/min. A utilização deste equipamento permitirá não só reduzir os gastos relativos ao consumo de água mas também ao aquecimento da mesma, uma vez que reduzem a água quente utilizada;
  - instalação de misturadoras de água quente e fria, ao invés da solução tradicional de torneiras separadas para cada temperatura, que permitem diferentes combinações reflectindo-se num aumento de consumo de água até se obter a temperatura desejada;
  - recorrer a caldeiras eficazes de forma a diminuir o período de aquecimento de água, o qual é proporcional ao desperdício da mesma;
  - no caso de utilização da banheira para o banho, estas devem ser escolhidas com forma e volume adequados.
- **Sanitas** – outro dos grandes responsáveis pelo consumo de água nas habitações. Uma das principais causas dos elevados valores registados devem-se a fugas. Na realidade, uma pequena fuga de água nestes equipamentos pode ser responsável por grandes quantidades de água desperdiçada bem como um aumento significativo dos custos mensais, pelo que esta patologia deve ser reparada de imediato. Outra forma de minimizar as perdas, prende-se com a escolha acertada de equipamentos eficientes, presentes em diversas formas no mercado:
  - sanitas com regulação de descarga que permitem uma escolha entre reduzida, média ou alta, adequando a quantidade de água à situação;
  - sanitas com dois depósitos de diferentes capacidades, normalmente um de 6l e outro de 3l, que permitem um uso diferenciado;
  - sanitas com botões de descarga com interrupção, que cessam a descarga uma vez que deixam de ser pressionados;
  - recorrer ao uso de urinóis em habitações privadas, que permitem elevadas poupanças de água e podem ser integrados de forma a proporcionar um efeito estético positivo.

|                                      | LITRES<br>PER HOUR | LITRES<br>PER YEAR |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Slow leak, barely visible            | 0.5                | 4,400              |
| Leak visible in bowl, no noise       | 1.5                | 13,100             |
| Visible leak, just audible           | 6                  | 52,600             |
| Visible leak, constant hissing sound | 11                 | 96,400             |

Figura 2.52: Valores da água desperdiçada por hora e por ano, devido aos tipos de fugas mais comuns [21].

- **Máquinas de lavar roupa** - é possível poupar água na lavagem da roupa, escolhendo máquinas eficientes que reduzam o volume de água utilizado em cada lavagem. Mesmo com estes equipamentos eficientes, apenas se deve iniciar a lavagem quando a máquina estiver na capacidade máxima e utilizando o ciclo de lavagem económico.
- **Máquinas de lavar loiça** – podem revelar-se mais económicas do que a alternativa manual. Os cuidados a ter são iguais aos das máquinas de lavar roupa, adicionando a medida de não passar a loiça por água antes de a introduzir na máquina.
- **Jardinagem** – em moradias com jardim, a água utilizada na rega pode constituir uma parcela considerável do consumo. A recolha de informação sobre jardinagem pode revelar-se proveitosa, fornecendo dados sobre as plantas mais adequadas a cada solo, bem como a quantidade de água que necessitam, geralmente muito inferior à que se julga apropriada. O recurso a flores e plantas que necessitem de pouca água para a sua manutenção apresenta-se como uma alternativa interessante.

A maioria das medidas anteriores são do conhecimento geral, o que não significa que todos as cumpram. Cada vez mais se torna obrigatório alterar os maus hábitos adquiridos e incorporar estas pequenas e simples propostas no nosso quotidiano.

#### 2.3.3.2. Aproveitamento de Água da Chuva

Apresentadas as pequenas alterações que o público em geral pode introduzir nas suas habitações e adoptar no seu quotidiano sem recorrer a profissionais especializados, expõem-se agora técnicas de construção do ramo da engenharia civil cujo propósito continua a ser a poupança de água.

A utilização de água potável para descargas sanitárias, rega ou lavagem da roupa, surge como um facto absurdo e quase irracional, se tivermos em conta as reservas actuais deste recurso bem como o elevado número de pessoas que sofrem com a sua escassez. Assim, procuraram-se alternativas de fornecimento de água para estas actividades que não recorressem a água potável, e que permitissem simultaneamente a utilização de recursos não aproveitados até então.

Uma considerável fonte de água geralmente não rentabilizada reside na **água da chuva**. Este recurso pode ser aproveitado nas habitações, para uso externo ou interno, sendo esta última aplicação mais complexa e de maior interesse. No que respeita o uso no interior das habitações, os sistemas podem ser destinados ao consumo de água potável (pouco utilizados devido a questões de higiene e saúde), ou de água não potável para diversos fins (mais presentes no mercado). Esta tecnologia pode ainda ser incorporada em zonas urbanas que possuam acesso à rede pública de abastecimento de água, ou em zonas remotas sem acesso à mesma.

A eficiência da captação de água está associada a factores como a pluviosidade média anual, o tipo e localização do tanque de armazenamento e o tipo de superfície de captação.

As principais zonas para recolha de água da chuva são telhados e superfícies lisas pavimentadas, que devem apresentar determinadas características e serem monitorizadas de forma a não prejudicarem a qualidade da água [21]:

- Os telhados e superfícies não devem possuir tintas com componentes tóxicos nem elementos que contenham metais pesados como chumbo e cádmio;
- As superfícies e caleiras devem ser limpas periodicamente para não apresentarem vegetação nem resíduos;
- A vegetação circundante deve ser removida;
- Os elementos de ligação da zona de captação ao tanque de armazenamento devem ser protegidos com filtros;

No que respeita os telhados, admite-se que apenas 60% da água que neles cai é armazenada, isto porque há momentos em que o tanque está na capacidade máxima e outros em que a demanda é reduzida. A figura seguinte traduz uma estimativa dos volumes anuais captados por sistemas deste tipo, para diferentes combinações de pluviosidade anual e áreas de recolha.

| Plan roof area m <sup>2</sup> |      | 50 | 75   | 100 | 125   | 150 |
|-------------------------------|------|----|------|-----|-------|-----|
| mm rain/year                  | 500  | 15 | 22.5 | 30  | 37.5  | 45  |
|                               | 1000 | 30 | 45   | 60  | 75    | 90  |
|                               | 1500 | 45 | 67.5 | 90  | 112.5 | 135 |
|                               | 2000 | 60 | 90   | 120 | 150   | 180 |

Figura 2.53: Volumes captados em m<sup>3</sup>/ano para sistemas com diferentes áreas de telhados e para diferentes pluviosidades [54].

A textura e rugosidade dos telhados introduz uma outra variável designada por coeficiente de escoamento, que representa a relação entre a quantidade de água que efectivamente atinge as caleiras e a quantidade que cai no telhado. Assim, um factor de 0.5 significa que apenas metade da água que cai no telhado alcança as caleiras.

| Roof type                   | Drainage factor |
|-----------------------------|-----------------|
| Pitched roof tiles          | 0.75 – 0.9      |
| Flat roof smooth tiles      | 0.5             |
| Flat roof with gravel layer | 0.4 – 0.5       |

Figura 2.54: Coeficientes de escoamento para diferentes tipos de telhados [54].

Os sistemas devem ser ajustados ao tipo de utilização pretendida, consoante sejam para fins **privados** (indústrias, rega, utilização de água não potável ou consumo de água potável) ou **públicos** (lavagem de arruamentos, abastecimento de fontes ou lagos). No entanto, independentemente da sua função específica, a constituição dos sistemas é idêntica, salvo alguns acessórios e a dimensão do tanque de armazenamento. Os elementos necessários a um adequado sistema de aproveitamento de água da chuva são os seguintes [54],[21],[55]:

- Tubos ou caleiras de recolha e transporte da água;
- Filtros e redes aplicados em diversos pontos do sistema, que impedem o contacto da água com folhas ou outros detritos;
- Mecanismos de descarga ou desvio das primeiras chuvas, mais contaminadas que as restantes;
- Tanque de armazenamento;
- Sistema de transbordo, geralmente de sifão de descarga, cuja função é desviar a água em excesso quando o depósito se encontra na capacidade máxima;
- Bomba de distribuição de água, que poderá ser dispensável em sistemas de uso externo (rega de jardins ou lavagem de veículos);
- Sistema de desinfecção, que apesar de não ser essencial em sistemas de água não potável, permite uma maior segurança em termos de higiene e saúde.
- Mecanismo de mudança da fonte de abastecimento de água, com a função de alternar entre a água da rede pública e a captada pelo sistema. Deve possuir um sistema de separação para que os dois tipos de água não entrem em contacto e apenas é necessário em sistemas de uso interno.

Além dos componentes acima mencionados existem outros pequenos acessórios que podem ser incorporados nestas instalações, nomeadamente válvulas de retorno, caixas de gordura e medidores de nível de água do tanque. Apresenta-se em baixo o esquema de uma instalação possível para água não potável, com captação de água ao nível do telhado e do solo (entrada da garagem):

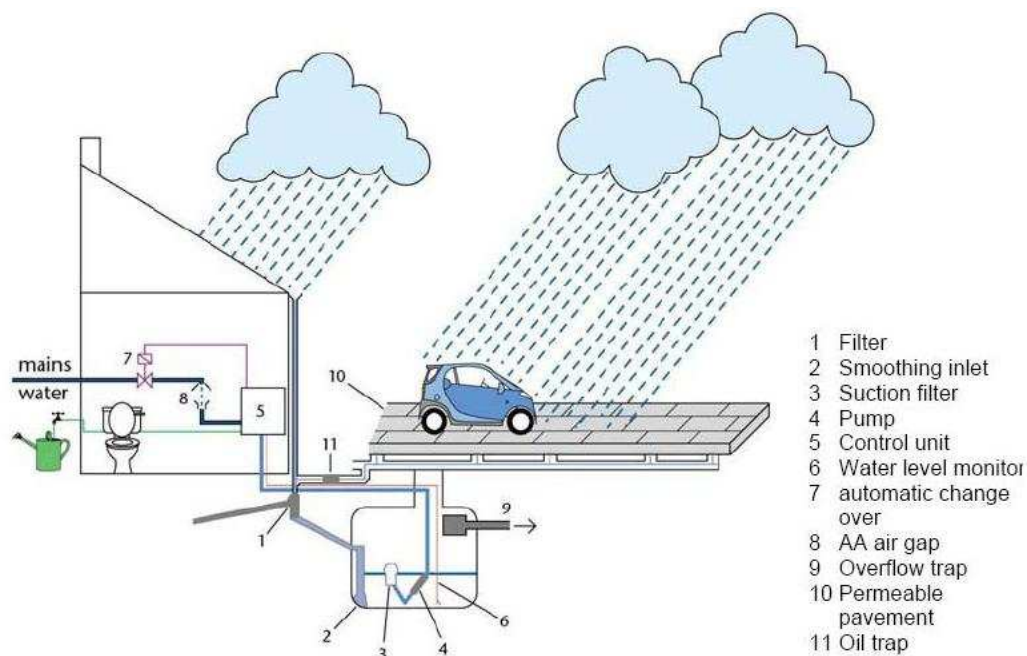


Figura 2.55: Esquema de uma instalação de aproveitamento de água das chuvas [54].

Considerando ainda o esquema anterior, torna-se possível demonstrar de forma simples o princípio de funcionamento destes sistemas. A numeração entre parêntesis refere-se ao elemento correspondente do esquema:

- i. A água captada é recolhida através de tubagens ou caleiras e encaminhada para o tanque de armazenamento. Antes de entrar no tanque, a água é submetida a um processo de filtragem (1) que remove folhas e outros resíduos sólidos, aumentando a sua qualidade;
- ii. Ao atingir o tanque a água entra em contacto com um mecanismo de perda de carga (2) que reduz a sua energia e permite que o seu escoamento para o tanque se processe calmamente. De outra forma, a brusca entrada do líquido no depósito agitaria os resíduos sedimentados no fundo do mesmo, prejudicando a qualidade da água. A entrada de água no depósito permite ainda uma renovação do oxigénio da água previamente armazenada, mantendo-a fresca e reduzindo a probabilidade de ocorrência de processos anaeróbios envolvendo microorganismos. Outro mecanismo que pode ser incorporado realizando a mesma função é o de descarga de primeira chuva, que ao apresentar um pequeno depósito de acumulação, provoca a referida perda de carga;

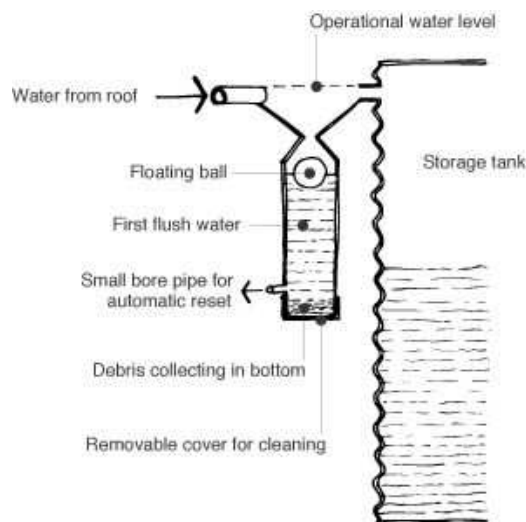


Figura 2.56: Esquema de mecanismo de descarga de primeira chuva [21].

- iii. Uma vez no tanque de acumulação, ao ser solicitado o uso da água, esta é impulsionada por uma bomba (4) e atravessa um filtro de sucção (3) que impede a passagem de partículas em suspensão;
- iv. Ainda presentes no depósito encontram-se mecanismos de controlo como é o caso do medidor de nível de água (6), que possibilita ao utilizador visualizar esta informação no painel de controle (5). O medidor permite ainda a activação automática do sistema de transbordo, que activa o sifão de descarga (9) quando o tanque se encontra cheio, e do sistema de backup da rede pública (7) quando se encontra vazio. Ambos estes sistemas devem apresentar válvulas de retorno ou mecanismos semelhantes que impeçam a inversão do sentido da água;

- v. Outra forma de captação da água é através do pavimento de entrada da garagem (10). Este, tem que apresentar características permeáveis que possibilitem a recolha através de tubagens adequadas. Neste caso, há uma maior possibilidade de contaminação da água devido a óleos ou excrementos de animais, pelo que devem ser instaladas caixas de gordura (11), que separam todos os contaminantes que apresentem densidades inferiores às da água, e sistemas de desinfecção. No que respeita estes últimos, a desinfecção por cloro é a mais económica sendo simultaneamente eficiente e facilmente automatizada.

Como referido anteriormente, os sistemas devem ser adequados ao fim a que se destinam. Um dos maiores erros na compra deste tipo de equipamentos está relacionado com o volume do tanque de armazenamento. A maioria dos utilizadores não tem a sensibilidade necessária para realizar esta escolha, resultando daí situações em que os depósitos são demasiado reduzidos para acumular a água necessária ou apresentam dimensões exageradas passando a ser subaproveitados. Outro aspecto importante relacionado com este componente, está no facto de ser o mais dispendioso de todo o sistema, o que acresce um cariz económico à sua escolha. O tanque ideal deve equilibrar a demanda de água, o factor económico e a necessidade de transbordo bi-anual para limpeza de resíduos [54].

A determinação da dimensão adequada do depósito, para uso habitacional, é conseguida recorrendo a uma simples equação, que engloba diversos factores de forma a maximizar a eficiência do sistema e minimizar os custos totais. Nesta expressão figuram as limitações dos sistemas e locais de implementação sob a forma de coeficientes de escoamento, factores de eficiência dos filtros, pluviosidade anual e área de captação. A equação assenta ainda na premissa que o dimensionamento do tanque deve ser realizado tendo em conta 5% da pluviosidade anual [54]:

$$A(m^2) \times c \times e \times p(mm/ano) \times 0,05 = V(l) \quad (4)$$

A = Área de captação em m<sup>2</sup>;

c = coeficiente de escoamento do telhado (varia entre 0 e 1, adimensional);

e = eficiência dos filtros (varia entre 0 e 1, adimensional);

p = pluviosidade anual em mm/ano;

V = volume do tanque de armazenamento em litros;

0,05 = 5% da demanda anual.

Nota : a área de captação é em projecção horizontal, ver figura abaixo:

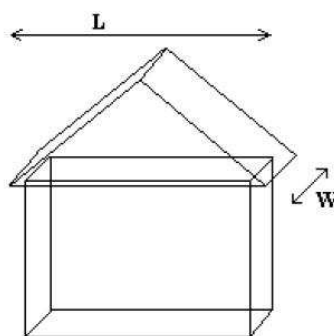


Figura 2.57: Medição da área de captação para uso na equação 4 [54].

Para garantir um correcto funcionamento do sistema e as melhores condições de salubridade da água, alguns pequenos cuidados de manutenção devem ser adoptados:

- Os filtros devem ser limpos três vezes por ano, de acordo com a vegetação circundante;
- O tanque deve transbordar duas vezes por ano de forma a eliminar partículas mais leves que água que se encontrem em suspensão;
- Deve ser efectuada uma inspecção anual do tanque, eliminando camadas de poeira que eventualmente se tenham formado;
- Verificar anualmente o sistema de backup de água da rede pública;

No que respeita os custos de um sistema deste tipo, o principal responsável será, como referido anteriormente, o depósito de armazenamento. Consoante a edificação possua, ou não, acesso à rede pública de abastecimento de água, a dimensão do depósito variará. Assim, uma instalação sem sistema de backup precisará de um tanque de dimensão muito mais elevada do que uma instalação que o possua, uma vez que a água da chuva será a sua única fonte de abastecimento. Relativamente a valores, um sistema destinado apenas à rega de zonas ajardinadas, deve possuir em média um depósito com capacidade entre 2000l e 4000l, que representa um investimento que pode variar entre 630€ e os 1300€. Para um sistema isolado da rede, a capacidade do tanque deverá situar-se entre os 50 000l e os 100 000l, correspondendo a um valor entre 3000€ e 5000€ [21]. Estes valores são apenas para o depósito, pelo que o preço do sistema será superior, uma vez que inclui os restantes componentes, as obras de canalização e o custo de mão-de-obra. Em média o custo de um sistema completo, com todos os processos de instalação rondará os 3 100€ [54].

De forma a justificar o investimento anterior, há que referir as diversas vantagens apresentadas por esta tecnologia, nomeadamente [21],[54]:

- Permite possuir uma reserva de água em situações de escassez de água;
- É uma fonte mais pura de água potável uma vez que não apresenta cloro como é o caso da água fornecida pela rede de abastecimento;
- Ao armazenar a água da chuva, provoca-se uma redução do risco de cheias, através de uma diminuição dos caudais das águas pluviais que escorrem nas ruas e passeios;
- Preserva um recurso natural fundamental à vida;
- Reduz indirectamente as emissões de CO<sub>2</sub>, diminuindo a quantidade de energia dispendida nas bombas de água da rede pública;
- Diminui os gastos em infra-estruturas;

Resumindo, esta técnica revela-se muito interessante, tendo sido adoptada em larga escala por países como a Alemanha e o Japão onde o custo da água da rede é considerável. Nos países com custos de água irrisórios actualmente, estes sistemas virão a tornar-se economicamente atractivos, à medida que a realidade de escassez da água se aproxima e o seu custo aumenta inevitavelmente. A somar a esta vertente financeira encontra-se a enorme contribuição ambiental positiva fornecida por estes sistemas, permitindo a preservação de um recurso fundamental à vida, para nós e para as gerações vindouras.



Figura 2.58: Exemplo de um sistema de aproveitamento de água da chuva (pormenores de ligações e do depósito de armazenamento) [56].

#### 2.3.3.3. Reutilização de Águas Cinzas e Negras

Baseada no mesmo princípio de preservação das reservas de água em que assenta a utilização de águas da chuva, surge uma outra solução que consiste na reutilização de águas cinzas.

No processo de utilização das habitações são produzidos dois tipos de água, as cinzas e as negras. As chamadas águas cinzas são águas usadas, provenientes de equipamentos como chuveiros, banheiras, lavatórios e bidés e que devido ao seu reduzido nível de contaminação podem ser reaproveitadas para uso interior. As águas negras são as águas produzidas pelas sanitas e apresentam um nível de contaminação elevado, devendo apenas ser utilizadas no exterior das edificações.

As principais utilizações do aproveitamento de águas usadas são semelhantes às da água da chuva, mas neste caso deve ser desconsiderada a hipótese de consumo, visto os tratamentos necessários para a tornarem potável serem demasiado complexos e dispendiosos. Assim, as finalidades serão todas as de fins menos nobres como é o caso da rega, descarga de sanitas, lavagem de pátios, espelhos de água e até lavagem de roupa, dependendo do nível de tratamento. Os sistemas mais básicos desta tecnologia limitam-se a captar as águas de chuveiros e banheiras e desviá-las para serem utilizadas nas sanitas ou em mecanismos de rega de jardins. Sistemas mais avançados, com processos de tratamento mais eficazes, podem permitir a reutilização da água em máquinas de lavagem da roupa.

Quadro 2: Estimativas de produção de águas negras e cinzas associadas a uma utilização e gestão eficiente da água [54].

| BLACKWATER        | LITRES/PERSON/DAY |
|-------------------|-------------------|
| Toilet            | 22                |
| GREYWATER         | LITRES/PERSON/DAY |
| Shower            | 56                |
| Hand Basin        | 6                 |
| Kitchen tap       | 12                |
| Dishwasher        | 5                 |
| Laundry tap       | 7                 |
| Washing Machine   | 27                |
| Total - Greywater | 113               |
| Total - Overall   | 135               |

Devem ser adoptadas precauções quando se recorre a este tipo de sistemas, uma vez que estas águas são passíveis de conter os mais variados tipos de contaminação, que podem pôr em perigo a saúde pública. Dependendo da fonte de recolha (chuveiro, lavatório, etc), a composição da água pode variar, devendo este factor ser tido em conta ao definir qual a função da água reutilizada. É possível diferenciar dois tipos de sistemas, os de **reutilização no interior dos edifícios** e os de **reutilização no exterior**. As precauções a ter e os tipos de tratamento adoptados para cada um diferem em alguns aspectos:

- i. Os **sistemas de uso no interior** para descarga de sanitas e abastecimento de máquinas de lavar roupa são os de maior potencial e rentabilidade. Estes dois equipamentos são responsáveis por grande parte do consumo diário de água, pelo que o reaproveitamento de águas cinzas para o seu abastecimento poderá conduzir a poupanças consideráveis. Estima-se que através desta técnica se consigam poupar numa habitação, aproximadamente 65l/dia no que respeita as descargas sanitárias e 90l/dia devido às máquinas de lavar roupa [54].

Nestes sistemas apenas devem ser utilizadas águas cinzas, sendo necessário um processo cuidadoso de tratamento, para eliminar organismos patogénicos e impedir que a água armazenada possua odores desagradáveis. A proliferação de bactérias é uma das principais preocupações a ter nos sistemas de uso interior. Este fenómeno ocorre quando a água captada rica em nutrientes é armazenada ainda a temperaturas elevadas. Os sistemas têm que prever meios de eliminar estes organismos de forma a preservar as condições de higiene e saúde humana, dispondo para isso de três abordagens [54]:

- Limitar o tempo de armazenamento das águas cinzas. Esta técnica consiste em esvaziar o tanque de armazenamento antes de se atingir o período necessário para a incubação de microorganismos. Um dos meios de se conseguir este objectivo é através de uma válvula de descarga controlada electronicamente, que permita descarregar o depósito após um determinado período de inactividade;
- Recorrer a desinfetantes químicos como é o caso do cloro, que eliminam as bactérias e permitem um aumento do tempo de armazenamento das águas;

- Instalar uma pequena estação de tratamento de esgotos que permita que a água seja tratada e se torne apropriada para ser reaproveitada. Esta abordagem é, no entanto, raramente adotada, devido ao elevado custo energético e financeiro.

O processo de **tratamento** consiste inicialmente na **filtração** da água reaproveitada, de forma a remover partículas de grandes dimensões. A filtração é realizada em duas fases, em que a primeira consiste em fazer passar a água por um filtro grosseiro, geralmente um saco filtrante localizado numa caixa à prova de água; a segunda fase consiste em filtrar novamente a água proveniente da fase anterior recorrendo a um filtro de areia. Na 2ª fase, a filtração ocorre numa caixa impermeável onde a areia é colocada sobre uma camada de gravilha e a água escorre do topo para o fundo, sendo removidos alguns nutrientes. Em seguida apresentam-se esquemas de ambas as fases:

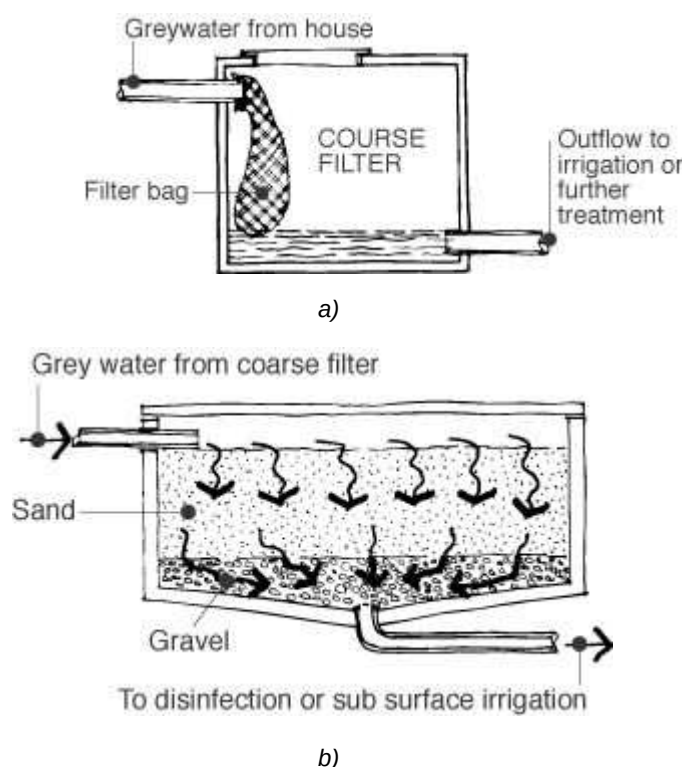


Figura 2.59: Esquema de filtração de águas cinzas para uso no interior das habitações. a) primeira fase, b) segunda fase [21].

Após a filtração segue-se um **processo de desinfecção da água**, normalmente recorrendo a cloro devido à sua eficácia e economia. Este processo deve ser regularmente monitorizado, de forma a controlar a qualidade da água e a não permitir a existência do desinfectante em quantidades exageradas, que podem ser prejudiciais à saúde. Existem ainda outros tipos de desinfetantes como é o caso da radiação ultra-violeta ou o ozono, mas o custo da sua utilização torna-os desaconselháveis.

- ii. Os **sistemas de uso no exterior** têm como principal objectivo a rega de zonas ajardinadas e a lavagem de veículos e superfícies exteriores. Nestes sistemas, além de águas cinzas podem também utilizar-se águas negras mas apenas para lavagens e após cuidadoso tratamento e desinfecção.

As águas cinzas podem ser utilizadas em irrigação no subsolo ou à superfície, devendo ser tratadas em ambos os casos. Estima-se que o recurso a esta tecnologia permita poupanças de água na ordem dos 30% a 50%, em moradias com jardins.

Uma das principais precauções a ter na utilização de sistemas exteriores é o de não regar plantas e vegetais comestíveis, uma vez que os organismos patogénicos podem ainda estar presentes na água, mesmo após o tratamento. Outros cuidados incluem não regar em demasia os jardins, uma vez que o excesso de nutrientes e sais presentes na água reutilizada pode infiltrar-se nos lençóis freáticos e provocar o crescimento de algas.

O **tratamento** da água em sistemas de uso exterior pode ser realizado recorrendo a variados tipos de sistemas. Apresentam-se em seguida duas alternativas, uma fazendo uso de **processos naturais** e a outra utilizando uma **mini-eta** [21],[57]:

- O processo mais natural é baseado no fenómeno de decomposição aeróbia da matéria orgânica biodegradável (*composting*), levado a cabo por bactérias, fungos e outros seres vivos de pequenas dimensões [58]. Através deste fenómeno os resíduos orgânicos são transformados num tipo de adubo natural, que é posteriormente utilizado como filtro das águas cinzas e negras. Após esta filtração a água tem que ser desinfetada para ser utilizada no exterior. Este sistema além de funcionar como forma de tratamento da água, permite ainda o aproveitamento de resíduos orgânicos provenientes da cozinha ou jardim para criar o referido adubo. Estes sistemas são designados por AWTS (*Aerated Wastewater Treatment Systems*) e um dos cuidados a ter na sua utilização é o de remover periodicamente as camadas de adubo formadas, depositando-o no subsolo de forma a servir de fertilizante.

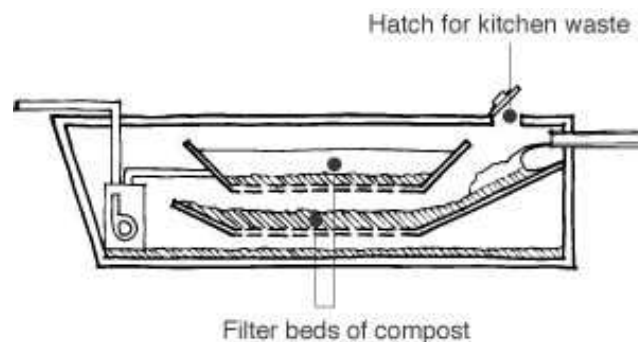


Figura 2.60: Esquema de tratamento recorrendo a adubo natural (*Wet Composting Systems*) [21].

Este mecanismo de tratamento deve ainda possuir uma forma de descarregar ou armazenar a água não utilizada.

- Outra forma de tratar a água destinada a usos exteriores é através de mini-etares, que podem ser incorporadas na fase de construção ou em edifícios já existentes. Em águas cinzas este tipo de tratamento pode atingir níveis de depuração até 99%, tornando-as apropriadas para diversos tipos de utilização. O princípio de funcionamento é bastante simples e consiste num ciclo de 4 fases: enchimento, sedimentação, ventilação e reciclagem. O processo inicia-se com uma pré-decantação, em que a água é libertada das partículas de maiores dimensões sendo posteriormente armazenada.

De seguida a água suja passa lentamente para a zona de tratamento onde é intensamente ventilada e misturada, ocorrendo degradação biológica. Por último a água limpa é decantada, separando-se das impurezas e sendo depois escoada [57].



Figura 2.61: Esquema de mini-etar [57].

Apresentados os diversos tipos de sistemas existentes, assim como o seu potencial e condicionantes, resumem-se de seguida as principais conclusões a reter [21],[59],[60]:

- A utilização desta tecnologia permite uma redução do valor da factura mensal de água;
- A reutilização de água permite a preservação das suas reservas naturais;
- O tratamento realizado neste processo contribui para uma redução da contaminação dos sistemas de esgoto, uma vez que a água reutilizada apresenta menos poluentes;
- É uma técnica que reduz a necessidade de criação de novas infra-estruturas de tratamento de águas residuais, o que proporciona uma poupança financeira;
- A reutilização de águas cinza e negras, diminui o volume de afluentes lançado na rede de tratamento de águas residuais, reduzindo a solicitação da mesma e aumentando a sua durabilidade;

Relativamente ao custo, uma das principais desvantagens desta tecnologia, é difícil apresentar um orçamento global uma vez que o valor depende de diversos factores [21],[61]:

- Do sistema de tratamento de águas residuais pré-existente e a forma como pode ser compatibilizado com o sistema de reaproveitamento;
- Se o sistema for previsto na fase de projecto da edificação, os custos serão consideravelmente inferiores aos de se proceder à instalação após o edifício estar concluído;
- Da disponibilidade e custo da água no local de instalação;
- Do tempo que se vai residir na habitação, utilizando o sistema;
- Do tipo de sistema instalado e da utilização pretendida para a água;

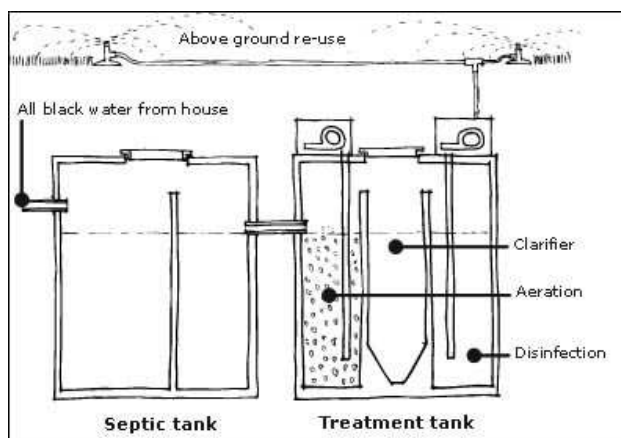


Figura 2.62: Esquema de um sistema de tratamento de águas cinzas para reutilização na irrigação de zonas ajardinadas [21].

Concluindo, os sistemas de reaproveitamento de águas cinza e negras apresentam maior eficiência e rentabilidade em moradias com jardins e pátios exteriores. No entanto, não devem ser desconsiderados nas restantes habitações, uma vez que podem permitir reduções consideráveis das facturas mensais da água e simultaneamente preservar o ambiente. O recurso a esta tecnologia é benéfico não só ao nível do consumidor privado que recebe regalias financeiras, mas também ao nível da natureza cujas reservas de águas são menos contaminadas e preservadas por mais tempo.

#### 2.3.4. VENTILAÇÃO NATURAL

##### 2.3.4.1. Fundamento Teórico

O conceito de ventilação é geralmente mal interpretado pela maioria das pessoas, sendo geralmente associado a correntes de ar frio perceptíveis. No entanto, e principalmente no âmbito da engenharia civil, esta noção é muito redutora. A ventilação de um ambiente é definida como a troca de ar interno por ar externo, apresentando as seguintes funções:

- Libertar o ambiente interno de impurezas e odores indesejáveis;
- Fornecer oxigénio e diminuir a concentração de CO<sub>2</sub> do ambiente interno;
- Remover o excesso de calor produzido por equipamentos, pessoas ou actividades;
- Arrefecer a estrutura do edifício evitando sobreaquecimento;
- Promover as trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente circundante;
- No Inverno, possibilitar através de fenómenos de convecção, que o ar das zonas mais quentes da edificação se movimente para as zonas mais frias da mesma, aquecendo-as;
- Remover o excesso de vapor de água presente no ar, impedindo a ocorrência de condensações superficiais.

Como referido no subcapítulo 2.2.1, a sensação de conforto térmico depende de factores humanos e de factores ambientais, tornando-se portanto um critério individual e subjectivo. Assim, um ambiente confortável para um utilizador poderá não o ser para outro, facto que exige grande versatilidade por parte das soluções.

Em edifícios, a técnica de ventilação é utilizada não só para arrefecimento de espaços, mas também como forma de manter a sua salubridade, sem que seja necessariamente perceptível a deslocação de ar. Existem diversas formas de ventilar determinado espaço, separadas em dois grandes grupos: **ventilação natural** e **ventilação artificial**.

A **ventilação artificial** consiste na utilização de equipamentos eléctricos de forma a proporcionar as condições de conforto térmico desejadas. Este tipo de soluções é extremamente utilizado actualmente, sendo responsáveis por grande parte dos gastos energéticos das edificações. Existem situações em que o seu uso é inevitável quer por situações climatéricas extremas, quer pela natureza das actividades realizadas nos edifícios como, por exemplo, edifícios industriais ou comerciais. Nestes sectores, a mínima sensação de desconforto térmico pode resultar em reduzida produtividade ou perdas de potenciais clientes [22].

No entanto, muitas das instalações de sistemas de ventilação artificial são desnecessárias tendo em conta o tipo de edificação e a sua utilização-tipo. Muitas vezes esta solução é adoptada por ser a mais simples, sem se pensar nos custos de instalação, manutenção ou no factor ambiental. Grande parte destes sistemas poderia ser dispensado se a problemática da climatização fosse pensada atempadamente na fase de projecto, adoptando-se soluções de ventilação alternativas.

A **ventilação natural** surge cada vez mais como uma “exigência” a ser considerada na fase de projecto. Apresenta inúmeras vantagens quando comparada com o recurso a equipamentos, permitindo a criação de edifícios energeticamente eficientes e sustentáveis. Os princípios desta estratégia foram estabelecidos no início do século XVIII, tendo-se descoberto que o principal responsável pelas movimentações de ar nos edifícios era a **diferença de pressão**. Esta, pode ser gerada pela diferença de temperatura entre o ar interior e exterior ou pela diferença entre pressões internas e externas, produzidas pelo impacto do vento no edifício [61].

Designa-se por ventilação natural a passagem de ar através da edificação, penetrando na mesma através de determinadas aberturas e saindo através de outras. Ao abrir as janelas para permitir a entrada de ar num determinado compartimento, não se garante a renovação total do ar ali existente. Esta noção é contrária ao que se poderia pensar, mas o ar introduzido no edifício não se mistura obrigatoriamente com a totalidade do ar existente nos espaços por onde circula, podendo assim existir zonas de ar estagnado em espaços dotados de aberturas de ventilação.

Os princípios da ventilação e do comportamento do ar não são facilmente perceptíveis, podendo suscitar dúvidas e desconfiança por parte dos consumidores quando confrontados com esta técnica. No entanto, algumas directrizes fundamentais são de fácil compreensão e poderão auxiliar na clarificação desta estratégia [52]:

- O ar quente é menos denso que o ar frio, o que provoca uma corrente ascendente de ar quente nos edifícios;
- Várias actividades humanas e equipamentos produzem calor que deve ser dissipado para não provocar sobreaquecimento;
- O ar utilizado de maior toxicidade, encontra-se a temperaturas mais elevadas, ascendendo;
- Quando o ar quente entra em contacto com uma superfície fria, arrefece e gera-se uma corrente descendente junto a essa superfície. Este fenómeno é comum no Inverno, quando o ar aquecido entra em contacto com as janelas;
- Em compartimentos com pé-direito diminuto, o ar dispõe-se por camadas de acordo com a sua temperatura, podendo originar zonas de ar estagnado;
- Em espaços com pé-direito duplo, o ar movimenta-se através de convecção libertando-se de substâncias tóxicas nesse processo;
- As pressões provocadas pelo vento em fachadas opostas permitem que o ar atravesse toda a habitação, ventilando os espaços existentes.

Expostas estas considerações, apresenta-se de seguida duas formas de ventilação natural que poderão ser integradas em habitações.

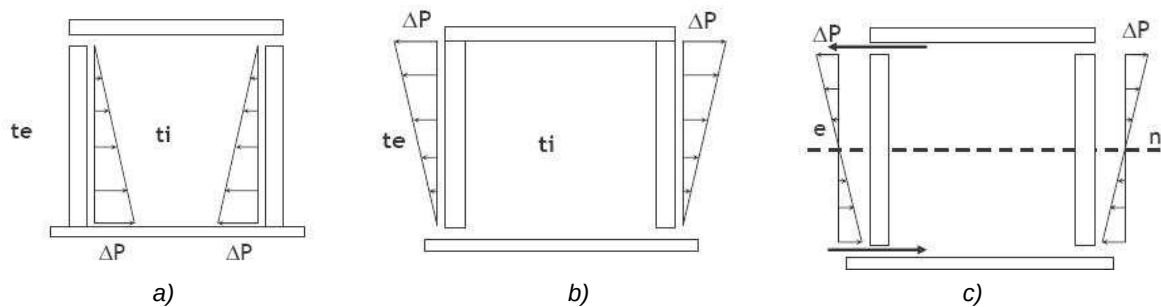
#### 2.3.4.2. Ventilação por Efeito Chaminé

Esta forma de ventilação baseia-se na diferença de temperatura entre o ar interior e exterior do edifício, o que provoca uma deslocação da massa de ar da zona de maior pressão para a de menor pressão. A diferença de pressão é gerada pela diferença de peso entre colunas de ar da mesma altura mas de temperaturas diferentes (devido ao facto do ar quente ser menos denso que o ar frio).

De forma a clarificar a movimentação do ar num compartimento dotado de aberturas, apresenta-se de seguida um simples exemplo apoiado em algumas considerações [61],[62]:

- A temperatura interior ( $t_i$ ) é superior à temperatura exterior ( $t_e$ );
- Na abertura não ocorre circulação de ar;
- A diferença de pressão aumenta à medida que a distância ao rasgo também aumenta;
- Ausência de vento;
- Temperatura exterior uniforme;
- Desprezível a resistência à circulação do ar;
- Ocorrência de perdas de carga unicamente nas passagens de ar pelas aberturas.

Imaginando um sistema compartimento/exterior com as características anteriormente descritas, apresenta-se a pressão do ar em 3 diferentes situações. Introduzindo aberturas em diferentes zonas torna-se possível analisar as movimentações do ar, recolhendo importantes dados para o dimensionamento de sistemas de ventilação.



$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

- $p$  - pressão nas paredes verticais
- $p_0$  - pressão no orifício
- $\rho$  - massa específica do ar
- $g$  - aceleração da gravidade
- $h$  - altura da coluna

Figura 2.63: Exemplo das diferenças de pressões responsáveis pelo efeito chaminé. Situação a) aberturas na parte superior, b) aberturas na parte inferior e c) aberturas na parte superior e inferior [62].

No **caso a)** em que as aberturas se encontram no topo, a diferença de pressão entre o interior e o exterior aumenta à medida que nos aproximamos da base. Dado que na abertura a pressão é  $P_0$ , na base a pressão será  $P_0$  adicionada do peso da coluna ar que se encontra por cima. Ora, uma vez que a temperatura no interior é superior à exterior, o ar interior é mais quente que o exterior e portanto menos denso. Assim, o peso da coluna de ar interior é menor que o peso da coluna de ar exterior o que provoca que na base, a pressão exterior seja superior à pressão interior. Neste caso, o interior do compartimento está em **sub-pressão** [20],[61],[62].

No **caso b)** as aberturas encontram-se na base da divisão e a diferença de pressão aumenta à medida que nos aproximamos do topo. A pressão na abertura é  $P_0$  e contabiliza o peso da coluna de ar que se encontra acima. Assim, se nos aproximarmos do topo a coluna de ar vai sendo cada vez menor, até que no limite deixa de existir, razão pela qual a pressão será  $P_0$  subtraída do peso da referida coluna. Novamente a coluna de ar interior é menos densa que a exterior, uma vez que o ar interior se encontra mais quente. Então, no topo, a pressão exterior será menor que a pressão interior, o que provoca um estado de **sobre-pressão** no interior do compartimento [20],[61],[62].

Finalmente no **caso c)** existem aberturas no topo e na base. Resultante dos casos anteriores, dentro do compartimento verificar-se-á uma zona de **sub-pressão na base** e outra de **sobre-pressão no topo**, verificando-se o inverso no exterior. Dado que o ar se movimenta sempre da zona de maior pressão (sobre-pressão) para a zona de menor pressão (sub-pressão), verifica-se que o ar entra no compartimento pela abertura inferior e sai do mesmo pela abertura superior [20],[61],[62].

Este é o princípio crucial para a integração de sistemas de ventilação natural em edificações. O caudal de ar que passa através das aberturas e o número de renovações de ar horárias podem ser determinados com base em equações relativamente simples. Caso seja necessário aumentar o caudal de vazão podem adoptar-se duas soluções, uma que consiste no aumento da área das aberturas e outra que sugere o aumento da distância vertical entre as aberturas de entrada e saída de ar.

No exemplo apresentado considerou-se a ausência de vento de modo a demonstrar o funcionamento teórico do efeito chaminé. No entanto, não é real considerar a não existência de vento em determinada zona, surgindo esta estratégia quase sempre associada à ventilação natural pela acção do vento. De facto, nas épocas de calor o efeito chaminé é pouco sentido uma vez que a diferença de temperaturas entre interior e exterior diminui, originando reduzidas velocidades de ar. Por outro lado, na ocorrência de períodos de maior calma, em que se verifica ausência temporária de brisas ou velocidades de vento demasiado reduzidas para satisfazer os requisitos de ventilação, o efeito chaminé torna-se o único responsável pela renovação de ar dos edifícios.

Devido a este facto, é de extrema importância o conhecimento deste fenómeno por parte do projectista, aquando da escolha das características e localização das aberturas da edificação.

#### 2.3.4.3. Ventilação por Acção do Vento

Esta é a segunda forma de ventilação natural e ocorre devido às diferenças de pressão provocadas pelo contacto do vento com o edifício. Ao incidir na superfície externa do edifício, o vento provoca zonas de sobrepressão (pressão superior à atmosférica) e zonas de subpressão (pressão inferior à atmosférica), cujo valor e distribuição dependem da forma e dimensão do edifício bem como das características do vento incidente. Simultaneamente, do lado interno da fachada geram-se pressões provocadas pela incidência do vento no lado externo, dependentes das pressões exteriores e das características das aberturas de circulação do ar.

A diferença de pressões externas e internas é o motor da ventilação natural por acção do vento, uma vez que este se desloca das zonas de sobrepressão para as de subpressão. Assim, é de suma importância o estudo da distribuição de pressões ao longo da fachada do edifício, recorrendo a ensaios em túnel aerodinâmico ou análise de edifícios semelhantes, de forma a determinar os locais e áreas adequadas para as aberturas [20],[61].

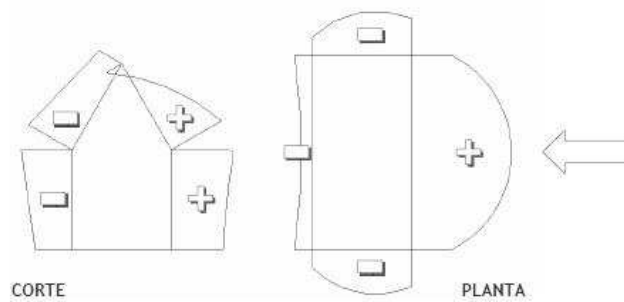


Figura 2.64: Esquema representativo da distribuição de pressões ao longo de um edifício com cobertura de duas águas inclinadas a 60° e vento incidente normal a uma fachada. Os sinais + representam zonas de sobrepressão e os sinais – zonas de subpressão [62].

A utilização do vento como fonte de ventilação pressupõe um conhecimento vasto sobre o seu comportamento e a forma como é afectado por elementos externos. O primeiro passo para conhecer as características das movimentações de ar em determinada zona, reside na recolha de registos de estações meteorológicas. Através deles, torna-se possível estimar a frequência da direcção e velocidade do vento apesar da inconstância dessas variáveis.

A velocidade do ar aumenta à medida que nos afastamos do solo, uma vez que deixa de ser afectada pela rugosidade do terreno. A rugosidade é uma característica associada à densidade de elementos que se encontram no solo, ou seja, uma área muito arborizada ou densamente construída apresentará elevada rugosidade. Assim, nestas zonas, esses elementos actuam como obstáculos à deslocação do vento reduzindo a sua velocidade e aumentando a altura a que poderá fluir livremente [61],[62].

Os obstáculos presentes na área em redor da edificação devem ser tidos em conta na fase de projecto, uma vez que a existência de muros, árvores ou outras construções pode alterar drasticamente a distribuição das pressões no edifício em estudo. No entanto, os componentes paisagísticos podem ser aproveitados de forma positiva, canalizando correntes de ar ou actuando como barreira aos ventos frios de Inverno.

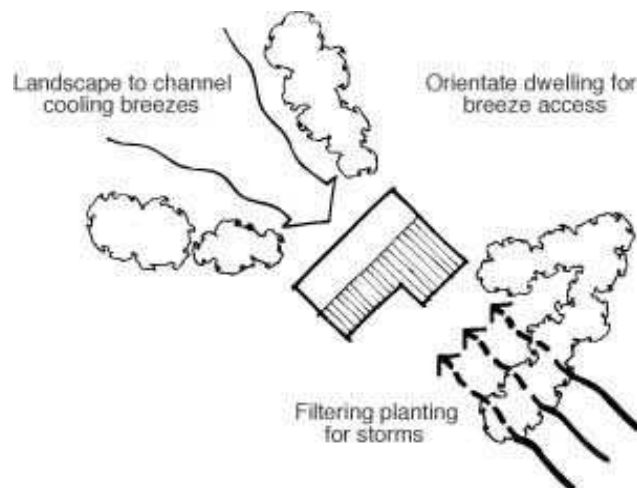


Figura 2.65: Exemplo de utilização benéfica de elementos paisagísticos [21].

De forma a promover uma ventilação eficaz dos espaços não é suficiente orientar o edifício de acordo com os ventos mais favoráveis e dotá-lo de aberturas. É necessário que se estabeleça um fluxo contínuo que atravessasse transversalmente a habitação, permitindo renovação do ar existente. Este objectivo pode ser atingido de duas formas [20],[62]:

- A abertura de entrada de ar localiza-se em determinada fachada e a abertura de saída encontra-se na fachada oposta. Esta técnica designa-se por **ventilação cruzada** e é a mais indicada devido à eficiência e caudal de vazão que proporciona.
- A abertura de entrada de ar é a mesma de saída, caso corrente na maioria de apartamentos de edifícios de habitação colectivos. Este tipo de ventilação designa-se por **ventilação unilateral** e a sua eficácia é bastante inferior à obtida através do uso da ventilação cruzada. É no entanto a única forma de ventilação existente em muitos edifícios antigos, cujas habitações só possuem aberturas para o exterior numa mesma fachada.

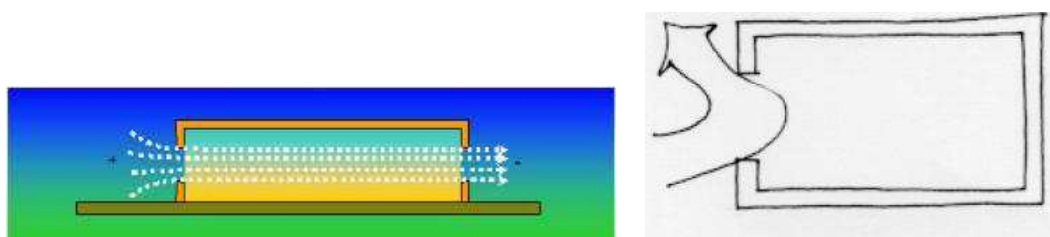


Figura 2.66: Esquema de funcionamento de ventilação cruzada (à esquerda) [63] e ventilação unilateral (à direita) [20].

Por último, um problema que os projectistas deverão ter em atenção refere-se à sensação de conforto em época de Verão. Nos meses de temperaturas mais elevadas, as necessidades de ventilação englobam questões térmicas e higiénicas. Um erro comum consiste em posicionar as aberturas a cotas demasiado elevadas, o que provoca que o fluxo de ar que atravessa o compartimento não entre em contacto com os utilizadores, que permanecem com uma sensação de calor. De forma a proporcionar uma sensação de conforto adequado, as aberturas deverão situar-se a cotas inferiores possibilitando que o fluxo atravessasse o compartimento ao nível das pessoas.

#### 2.3.4.4. Integração de Sistemas de Ventilação Natural em Edificações

Referidos os dois principais efeitos através dos quais se processa a ventilação natural, surge a questão de como os incorporar nas edificações. Dada a complexidade do problema apenas serão apresentadas algumas considerações interessantes, como regras de ventilação natural para edificações dotadas de equipamentos a gás (NP 1037-1/2002) e soluções de ventilação cruzada para edifícios comerciais.

Como mencionado anteriormente, para se obter uma ventilação adequada deve-se conjugar o efeito chaminé com a acção do vento. Desta forma preenchem-se as lacunas apresentadas por cada um dos processos, permitindo uma ventilação contínua. No entanto, existe a possibilidade de um efeito se sobrepor ao outro, deixando de existir complementaridade de processos e passando a existir **oposição** dos mesmos. A título de exemplo (figura 2.67), consideremos a fachada de uma habitação dotada de aberturas na base e no topo, com condições de temperatura adequadas ao efeito chaminé (temperatura interior superior à exterior) e orientada para permitir adequada exposição ao vento.

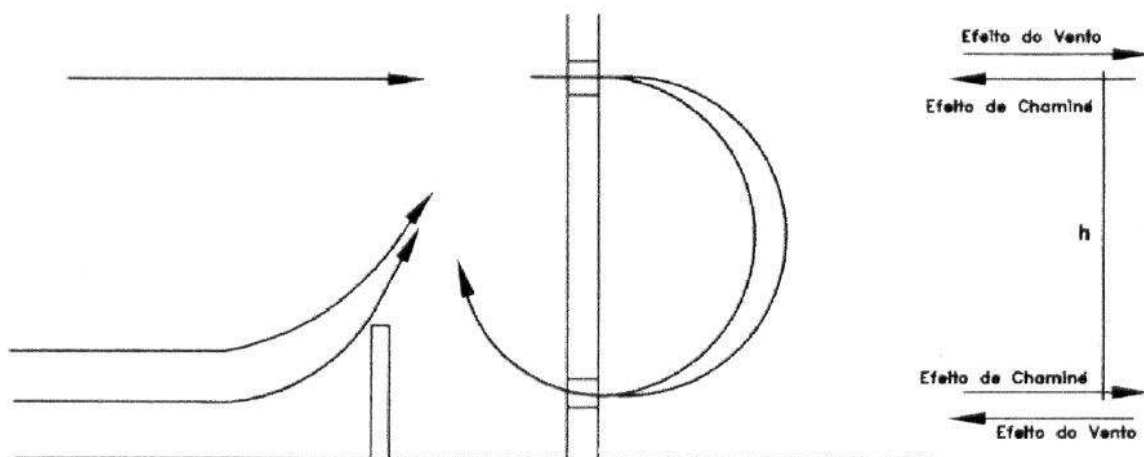


Figura 2.67: Esquema representativo da oposição do vento ao efeito de chaminé [61].

O funcionamento normal do efeito chaminé pressupõe a entrada de ar pela abertura inferior e saída do mesmo pela abertura superior. No que respeita o vento, o seu funcionamento não é tão regrado, penetrando no edifício por uma qualquer abertura em situação de sobrepressão e saindo por outra que se encontre em subpressão. No exemplo acima demonstrado, existe um obstáculo à passagem do vento situado à cota da abertura inferior. Este anteparo provoca um desvio e diminuição de velocidade do vento nas aberturas inferiores, gerando uma zona de subpressão. O contrário é verificado nas aberturas superiores onde o vento incide livremente gerando sobrepressões. Assim, o vento entra no compartimento pela abertura superior e é evacuado pela abertura inferior, realizando o percurso contrário ao efeito chaminé. Esta sobreposição do efeito do vento ao efeito chaminé ocorre devido às pressões superiores que o vento gera nas aberturas, atingidas para reduzidas velocidades de ar (2m/s a 3m/s). Deste fenómeno advém que o ar quente e viciado que seria evacuado pelo topo do edifício através do efeito chaminé, passe ao invés a ser expulso pela base da fachada gerando problemas para os utilizadores [61],[62].

Tendo em conta o problema acima descrito, a **conjugação** entre os dois processos deverá ser cuidadosamente estudada de forma a permitir que os fluxos de ar provenientes de cada processo se complementem, originando a situação mais favorável. Um exemplo comum onde se deveria implementar a simbiose dos processos, são as habitações de edifícios multifamiliares que geralmente possuem um reduzido pé-direito. Nestes espaços, e na ausência de climatização interior, o efeito chaminé é pouco sentido devido à reduzida distância entre aberturas e à pequena diferença entre temperaturas interiores e exteriores. Nesta situação, a ventilação mínima pode ser assegurada pelo efeito chaminé mas a sensação de conforto térmico requer a utilização do vento. No que respeita as habitações unifamiliares o principal responsável pela ventilação é o vento, pelo que se deve prever orientações adequadas consoante as brisas predominantes. Nestas habitações a ventilação deve abranger toda a área, fazendo uso das diferenças de pressão registadas entre diferentes fachadas e promovendo a ventilação cruzada [61].

As regras de **concepção e integração** de sistemas de ventilação natural em edifícios, são abordadas na norma NP 1037-1 com grande detalhe técnico e englobando diversos casos. Não é objectivo deste documento a análise aprofundada de sistemas de ventilação, pelo que a informação apresentada de seguida foi filtrada da norma, de modo a transmitir apenas alguns conceitos básicos. Desta forma, os dados expostos podem ser proveitosos a qualquer leitor interessado no tema, seja ele licenciado em engenharia ou apenas um utilizador curioso.

De forma a satisfazer as suas funções, a ventilação das edificações deve ser **geral e permanente** mesmo em períodos em que os elementos envidraçados não possam ser abertos devido a baixas temperaturas. No Inverno a diferença entre temperaturas interiores e exteriores é mais acentuada, maximizando o efeito chaminé; no Verão o vento assume o papel principal no processo de ventilação, devendo-se abrir as janelas para maximizar a sua acção.

As aberturas que comunicam com o exterior devem ser localizadas em fachadas opostas de forma a aproveitar as diferenças de pressão existentes e aumentar a eficiência da ventilação. As referidas fachadas devem por sua vez ser orientadas adequadamente de acordo com os ventos predominantes na região. Além da orientação, há que proceder a um estudo da influência do vento no edifício, dado que esta depende [64]:

- Da classe de exposição ao vento do edifício, determinada tendo em conta diversos parâmetros (a velocidade do vento no local, a rugosidade do terreno e a altura acima do solo a que se situa a abertura);
- Da permeabilidade ao ar da envolvente do edifício, que na eventualidade de ser elevada pode permitir a entrada de caudais de ar exagerados que comprometam o sistema de ventilação. Assim, considera-se a permeabilidade de janelas e portas exteriores, portas de patamar e portas interiores, estabelecendo-se valores máximos para cada.

Para garantir as exigências de higiene e salubridade, a norma estabelece um número mínimo de **renovações horárias** do ar que a ventilação natural deve garantir. Neste tópico procede-se à classificação de compartimentos em **principais** (zonas de estar e dormir: quartos, escritórios e salas) e **secundários** (lavandarias, sanitários ou cozinhas). A exigência para os compartimentos principais é de 1 renovação de ar por hora enquanto que para os compartimentos de serviço é de 4 renovações por hora. De modo a garantir estas exigências, está previsto na norma um determinado caudal-tipo que tem que ser atingido. Este caudal tem em conta o tipo de compartimento, o seu volume e a renovação de ar mínima associada, sendo utilizado como elemento de dimensionamento dos sistemas [64].

No que respeita a ventilação na habitação podem ser instalados dois grandes tipos de sistemas: os de **ventilação conjunta** e os de **ventilação separada**. Os primeiros consideram a habitação como um todo servindo as necessidades de ventilação da mesma como se tratasse apenas de uma única área. Os segundos dividem a habitação em diferentes fracções de um ou mais compartimentos, com sistemas de ventilação independentes. Esta divisão da habitação por sectores de ventilação deve ser adoptada em locais que possuam lareiras. Independentemente do tipo de sistema adoptado, o seu princípio de funcionamento é semelhante, devendo possuir:

- **Entradas de ar** situadas nos compartimentos principais, que permitam admissão de ar exterior através de aberturas ou condutas situadas na fachada ou na cobertura;
- **Passagens de ar** dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço, dotadas de aberturas previstas para o efeito;
- **Saídas de ar** localizadas nos compartimentos de serviço sob a forma de aberturas, que permitam a evacuação de ar para o exterior através de condutas.



Figura 2.68: Esquema de uma solução de ventilação conjunta. Estão assinaladas as zonas de admissão, passagem e evacuação de ar [62].



Figura 2.69: Esquema de uma solução de ventilação separada. Neste caso existem dois sectores distintos de ventilação [62].

Finalizando a abordagem à norma, apresenta-se de seguida alguns exemplos e considerações relativas a admissão, passagem e evacuação de ar em edificações [64]:

- i. A **admissão de ar** exterior pode processar-se por meio de aberturas ou condutas. As **aberturas** deverão ser reguláveis e apresentar dispositivos anti-retorno para impedir a inversão do fluxo. O ar introduzido deve apresentar parâmetros mínimos por forma a não poluir o interior dos espaços. Não é viável proceder ao seu tratamento antes da entrada na edificação, mas é possível atender à sua qualidade tendo em conta o seguinte:
  - Grande parte das fontes de poluição encontram-se ao nível do solo, nomeadamente veículos automóveis responsáveis pela emissão de CO<sub>2</sub>;
  - Aberturas localizadas a este nível permitiriam a entrada do ar poluído para o interior das edificações;

- Os edifícios são obstáculos à livre deslocação do vento provocando alterações no seu fluxo. Ao deparar-se com a fachada, o vento redistribui-se pela mesma criando uma zona de recirculação de ar, localizada geralmente na metade inferior do alçado. Assim, as aberturas devem ser colocadas a cotas mais elevadas de forma a evitar a zona de recirculação de ar.

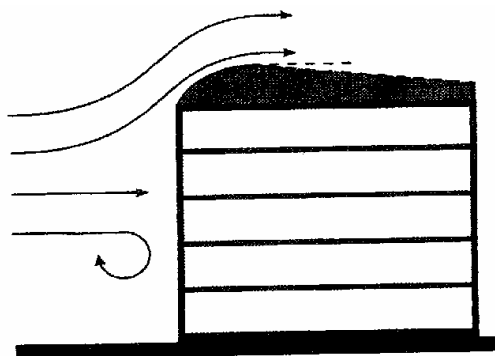


Figura 2.70: Esquema da distribuição do fluxo de ar na fachada de um edifício. Denotar a zona de recirculação localizada na metade inferior [61].

- As aberturas devem ser introduzidas a cotas elevadas de forma a permitir a entrada de ar menos poluído. No entanto, a velocidade do vento aumenta com a distância ao solo, como previamente referido, o que gera uma problemática dual. Devem ser considerados ambos os conceitos, uma vez que aberturas em cotas elevadas podem receber ventos fortes, passíveis de provocar correntes de ar desconfortáveis e problemas de ruído.

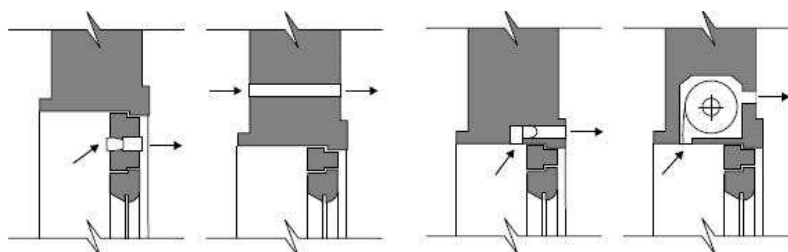


Figura 2.71: Esquema de aberturas de admissão de ar localizadas na fachada e acima da zona de ocupação [62].

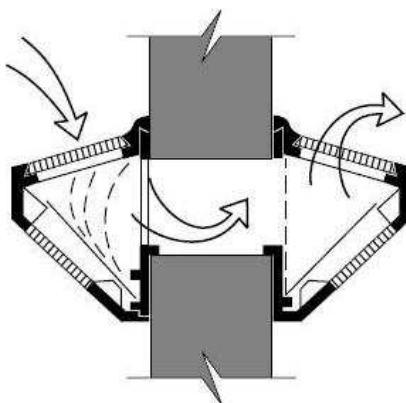


Figura 2.72: Exemplo de uma abertura de admissão de ar auto-regulável [62].

No caso de se recorrer a **condutas** para introduzir ar exterior no edifício, deve existir uma conduta horizontal situada na base do mesmo por onde se realiza a entrada de ar, através de aberturas em fachadas opostas. Essa conduta apresenta ligação com outras condutas verticais (individuais ou colectivas), que comunicam com os compartimentos principais das diferentes habitações.

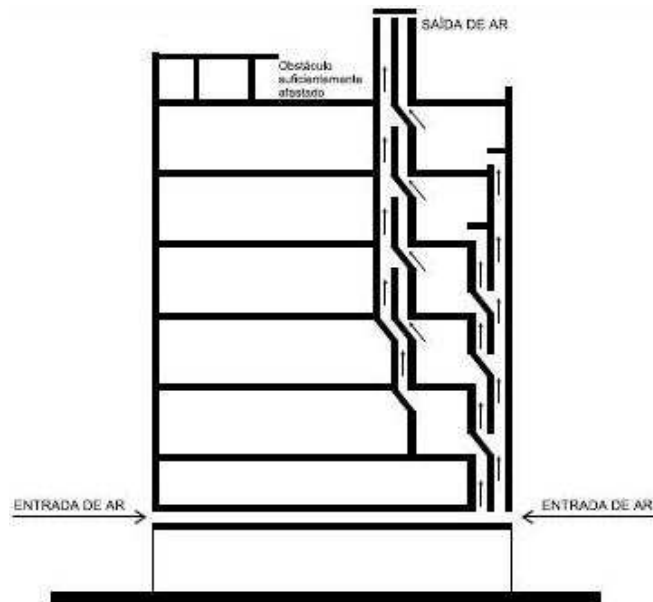


Figura 2.73: Esquema de admissão e evacuação de ar por condutas [62].

- ii. As **passagens de ar** interiores têm como função permitir que o ar introduzido nos compartimentos principais circule e alcance os compartimentos de serviço para ser evacuado. Para tal, devem ser previstas aberturas que podem ser incorporadas de diversas formas:

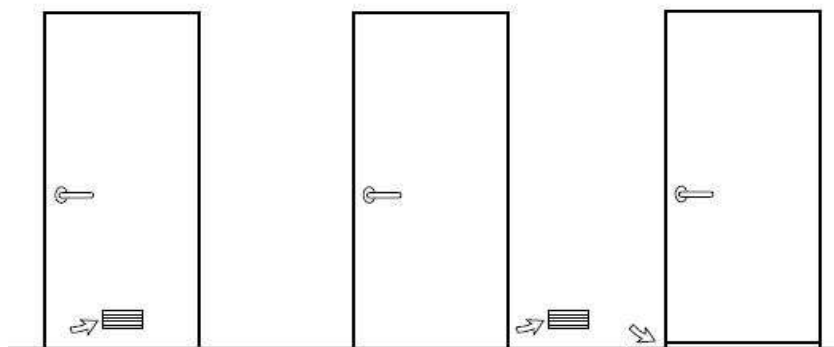


Figura 2.74: Exemplos de aberturas para passagem de ar no interior das habitações. Da esquerda para a direita: grelha incorporada na porta, grelha aplicada na parede e folga na porta [62].

- iii. A **evacuação de ar** pode ser realizada, à semelhança do que ocorre na admissão, através de aberturas ou condutas. As **aberturas** de evacuação dos compartimentos devem ser equipadas com grelhas e situar-se sobre o fogão no caso das cozinhas e a pelo menos 2,1 m do pavimento no caso de instalações sanitárias.

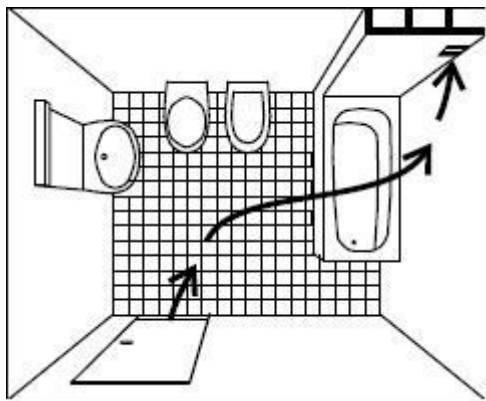


Figura 2.75: Exemplo de localização de abertura de evacuação de ar numa instalação sanitária. Além de cumprir a cota exigida, a abertura deverá situar-se o mais afastada da porta possível [62].

As aberturas interiores de evacuação de ar, devem estar conectadas a **condutas** de evacuação que cumpram determinadas exigências de estanquidade, resistência à corrosão, resistência à temperatura e isolamento térmico. Estas condutas podem ser colectivas no caso de apresentarem uma conduta colectora principal dotada de ramais, ou individuais no caso de existir apenas uma conduta que serve cada compartimento de serviço. O isolamento térmico é um factor crucial em todas as condutas, uma vez que arrefecimentos consideráveis podem provocar diminuições nos caudais de tiragem de ar.

A comunicação das condutas de evacuação com o exterior deve ser cuidadosamente estudada, de forma a maximizar a sua eficiência e a evitar possíveis problemas. Os principais transtornos decorrentes do mau dimensionamento das bocas de saída englobam a passagem de emissões para edifícios adjacentes e o fenómeno de auto-poluição. Dependendo do edifício, as bocas de saída poderão ser dotadas de ventiladores estáticos, destinados a impedir a entrada da chuva para as condutas e a manter as condições de subpressão.

As soluções apresentadas na norma destinam-se a edifícios de habitação correntes e outros dotados de aparelhos de funcionamento a gás. Torna-se interessante apresentar também algumas estratégias para edifícios comerciais, nomeadamente de escritórios, onde a ventilação adopta um outro nível de importância. Nestes casos, uma ventilação inadequada apresenta influência directa na produtividade e motivação dos trabalhadores, podendo chegar a causar problemas de saúde.

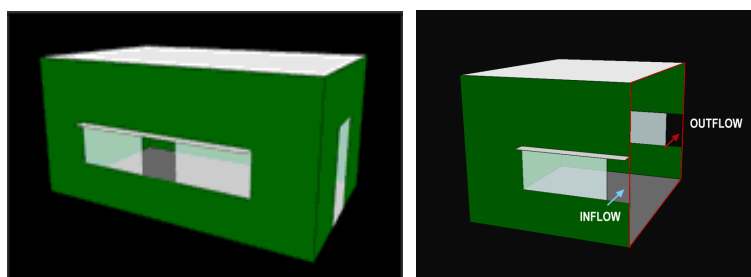


Figura 2.76: Esquema de ventilação cruzada em edifício de escritórios de San Francisco. As janelas actuam como aberturas de admissão de ar e permanecem abertas durante o horário de trabalho [65].

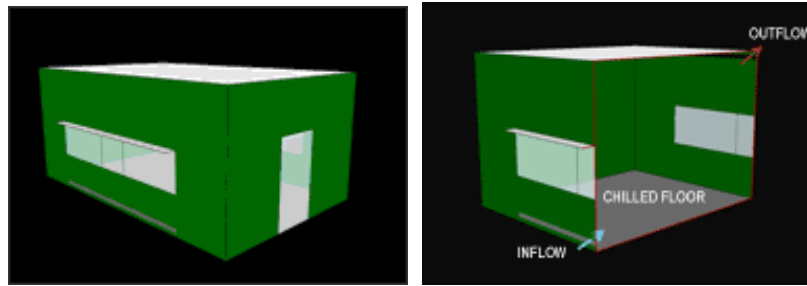


Figura 2.77: Outra solução para o mesmo edifício em San Francisco que conjuga outra estratégia com a ventilação. Neste caso recorre-se à utilização de um pavimento arrefecido, que auxilia na redução da temperatura do ar admitido, contribuindo para o arrefecimento do ambiente [65].

Resumindo, a ventilação natural é uma estratégia conhecida por engenheiros e projectistas há vários anos. No entanto, a situação energética e ambiental actual tornaram esta técnica mais mediática e proveitosa nos últimos anos. O seu potencial e versatilidade tornam-a uma mais valia em qualquer projecto, devendo ser aplicada sempre que possível. Essa mesma versatilidade e adaptabilidade fazem com que seja impossível apresentar uma estimativa do seu custo, uma vez que cada edifício exige uma solução individual e adaptada às suas características. As vantagens que possibilita abrangem diferentes sectores desde o económico ao da saúde [60],[65],[66]:

- A ventilação cruzada pode ser obtida recorrendo a elementos do próprio edifício como janelas e portas, sem necessitar de gastos adicionais;
- Permite evitar o sobreaquecimento dos espaços contribuindo para uma sensação de conforto;
- É uma estratégia considerada na Certificação Energética dos Edifícios, que possibilita a obtenção de uma melhor classificação na etiquetagem;
- Possibilita uma melhor qualidade do ar dos espaços interiores, removendo o ar viciado rico em substâncias tóxicas;
- Permite evitar o síndrome do edifício doente que afecta cerca de 30% dos edifícios novos e reabilitados;
- Contribui para uma redução da factura mensal de electricidade devido à não utilização de equipamentos eléctricos;
- Apresenta uma vertente ambiental positiva diminuindo as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de equipamentos de climatização;
- Funcionamento livre de ruído;
- Nível de manutenção reduzido;
- As aberturas permitem a entrada de luz natural para os ambientes e o contacto com o meio exterior gera um efeito positivo nos ocupantes.

### 2.3.5. PROTECÇÕES SOLARES E SOMBREAMENTO

#### 2.3.5.1. Fundamento Teórico

É hábito comum por parte dos ocupantes maximizar a entrada de luz solar na habitação desobstruindo todas as aberturas existentes. Apesar de necessária e muito útil em estratégias de aquecimento passivo e iluminação natural, a radiação solar pode provocar inconvenientes caso incida directamente nas fachadas. Os ganhos térmicos resultantes podem provocar desconforto, gerando a necessidade de recorrer a equipamentos de climatização artificial, que custam milhões anualmente.

De modo a aproveitar da melhor forma os efeitos da radiação, é indispensável o conhecimento do percurso do sol ao longo do ano e a forma como os raios solares incidem nas diferentes fachadas da edificação. Esta informação pode ser obtida recorrendo a diagramas solares, que representam o percurso aparente do sol ao longo do ano, permitindo saber a sua posição exacta em determinado momento. Recorrendo a estes diagramas torna-se possível:

- Determinar se a radiação solar vai penetrar no edifício e se é necessário adoptar medidas de protecção;
- Saber o número de horas de sol para determinado dia;
- Calcular a extensão da sombra produzida por elementos circundantes ao edifício;
- Determinar a forma como a radiação incide em dado compartimento, permitindo saber a extensão da divisão iluminada.

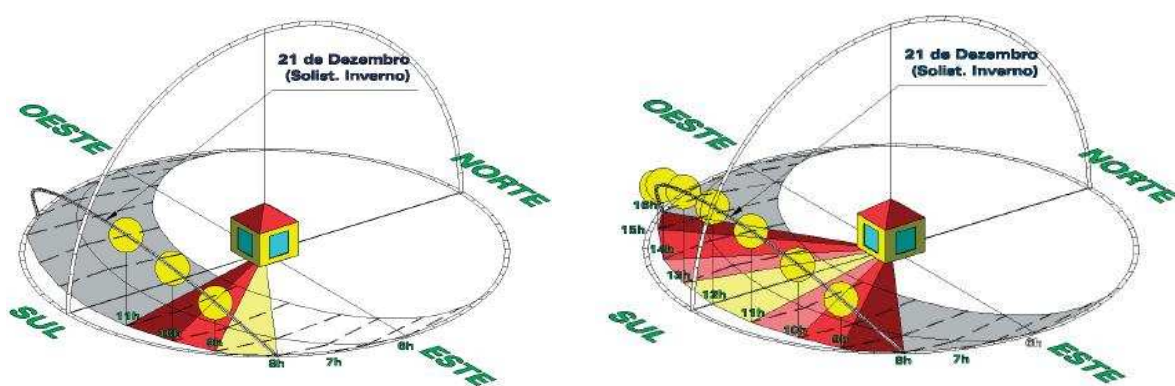


Figura 2.78: Exemplo da exposição solar de uma fachada Este (esquerda) e outra Sul (direita) em situação de Inverno [19].

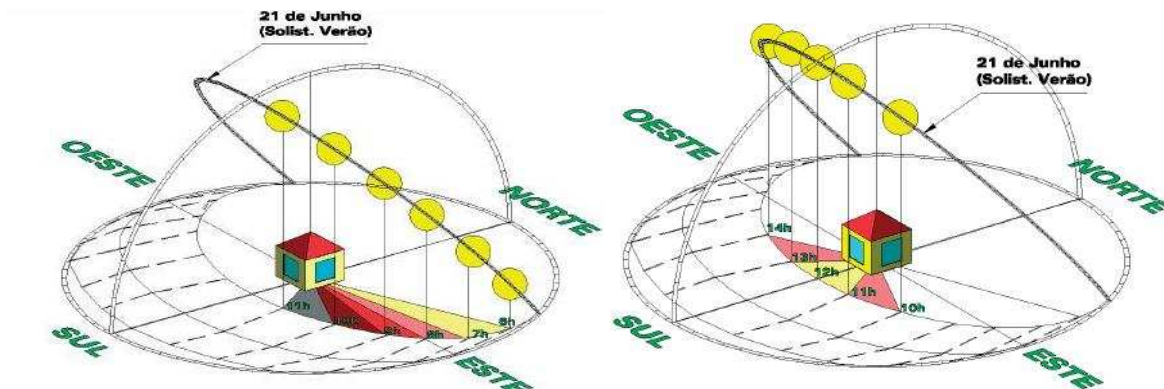


Figura 2.79: Exemplo da exposição solar das mesmas fachadas anteriores, agora em situação de Verão [19].

A radiação solar apresenta potenciais distintos consoante a época do ano, uma vez que deve ser evitada no Verão e aproveitada ao máximo no período de Inverno. A razão deste procedimento prende-se com o factor térmico, uma vez que a luz solar directa provoca ganhos de calor significativos associados ao efeito de estufa. Para a estratégia em causa, que consiste no sombreamento de aberturas e superfícies envidraçadas, o período de maior interesse é o Verão. No entanto, as necessidades de aproveitamento solar de Inverno têm que ser sempre consideradas, o que exige um carácter dual por parte da solução proposta.

Além dos meses de Verão em que a radiação solar directa é inconveniente devido ao factor térmico, existem ainda outras situações em que não é desejável, nomeadamente devido ao conforto visual, que poderá ser comprometido devido a um excesso de luminosidade e reflexo.

Nos casos referidos, a luz solar deve ser evitada recorrendo a **protecções solares**. Apesar de se recomendar que todas as superfícies envidraçadas possuam mecanismos de sombreamento reguláveis, nomeadamente persianas ou telas, podem adoptar-se soluções que residem na utilização da própria arquitectura do edifício ou da envolvente para a obtenção de sombra.

Relativamente ao próprio edifício, existem elementos arquitectónicos que podem adoptar diversas formas desde palas, “brises”, lamelas ou estores cujo objectivo é impedir a entrada de luz solar nos períodos desejados. Apresentam grande versatilidade, podendo ser adaptados de acordo com necessidades do projecto e o gosto pessoal do projectista.

Para se proceder ao seu projecto e dimensionamento é necessário, em primeiro lugar, observar o diagrama solar e avaliar a incidência de radiação na superfície que pretendemos sombrear. Em seguida, surge o desafio de projectar um elemento capaz de conciliar simultaneamente as exigências de Inverno e de Verão. Para tal, utiliza-se um instrumento designado por **transferidor de sombras**, que permite converter em ângulos as características de geometria solar de um elemento. Sobrepondo o transferidor e o diagrama solar, determinam-se os dias e horas em que se pretende o sombreamento e desenha-se a respectiva máscara de sombra. Por último, obtêm-se através desta máscara, os 3 ângulos principais,  $\alpha$  (alfa),  $\beta$  (beta) e  $\gamma$  (gama), necessários ao dimensionamento da pala [20]:

- $\alpha$  é o ângulo entre o zénite e a direcção de incidência do raio solar, visto em corte. Varia entre  $0^\circ$  no plano vertical e  $90^\circ$  quando atinge o horizontal e representa a projecção da aresta horizontal de um plano;
- $\beta$  é o ângulo entre o ângulo vertical e a direcção da incidência do raio solar, visto em planta. Varia entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$  em cada quadrante da circunferência e permite definir arestas verticais;
- $\gamma$  é medido da mesma forma que  $\alpha$ , mas apresenta uma rotação de  $90^\circ$  em relação a este. Permite limitar os referidos ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ .

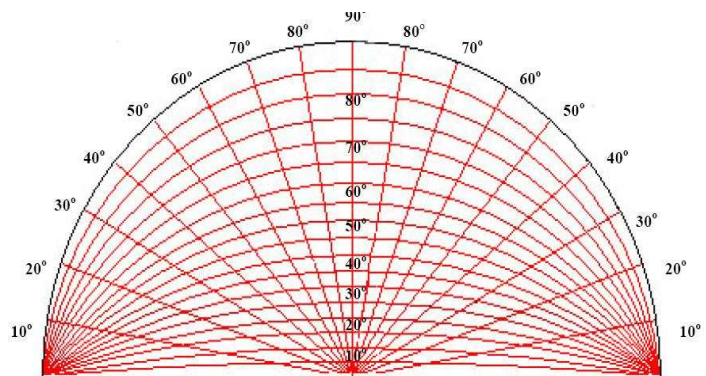
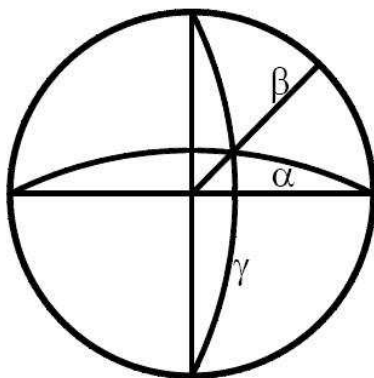


Figura 2.80: À esquerda: Exemplo de medição dos ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  no transferidor de sombras. À direita: transferidor de sombras [20].

As palas adoptadas podem apresentar uma infinidade de configurações distintas, todas elas baseadas em dois tipos base: o horizontal e o vertical.

As **palas horizontais** impedem a incidência dos raios tendo em conta o ângulo de altitude solar. No que respeita a máscara de sombra produzida por este tipo de solução, esta é definida através do ângulo  $\alpha$ , determinado quando se observa a vista do elemento, em corte. Há ainda que fazer a distinção entre palas horizontais infinitas e finitas e a sua relação com o ângulo  $\gamma$ . Como o próprio nome indica, as palas infinitas apresentam uma extensão contínua, se tomarmos como ponto de observação a própria janela ou abertura. Como é óbvio, as palas não são infinitas, mas a sua dimensão é tal que em termos de dimensionamento são assim consideradas. Neste caso o ângulo relacionado é  $\alpha$  e não sofre de qualquer limitação. As palas finitas são o caso mais comum, em que as extremidades do elemento são visíveis a partir do ponto de observação, intervindo então o ângulo  $\gamma$  que age como limitador. A grande diferença entre estes dois tipos de pala horizontal é o tipo de sombreamento que proporcionam.



Figura 2.81: Exemplo de pala horizontal infinita, edifício Jacobs II. Verifica-se a continuidade da pala ao longo de toda a fachada [19].

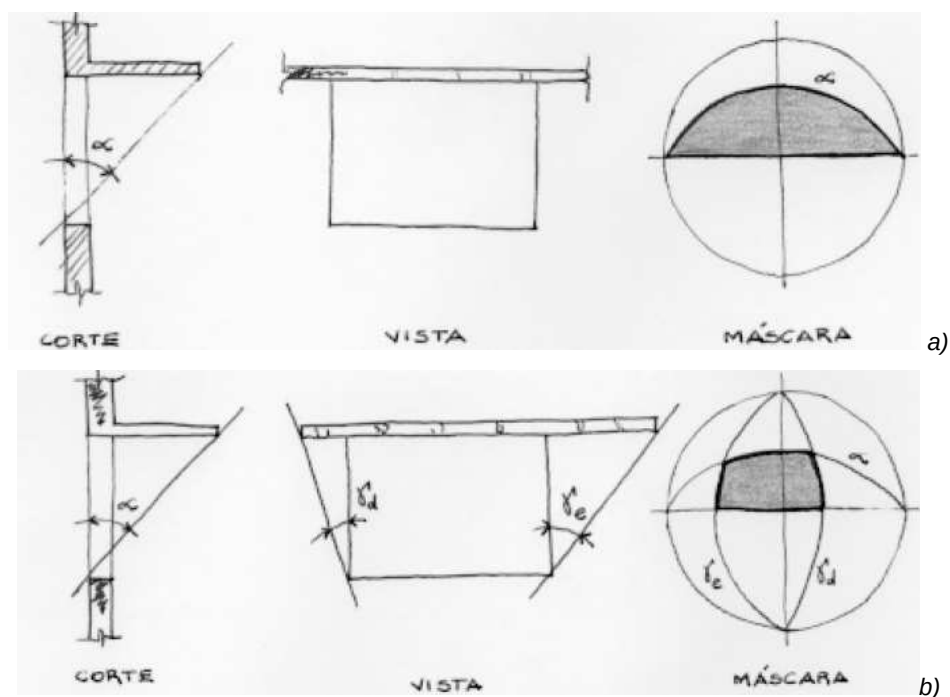


Figura 2.82: Esquema da medição de ângulos e definição da máscara de sombra para a) pala horizontal infinita e b) pala horizontal finita [20]. Nota: "vista" corresponde à vista frontal da janela.

No que respeita as **palas verticais**, a sua colocação é realizada lateralmente à janela ou abertura, permitindo o sombreamento de raios solares tendo em conta o ângulo de azimute solar. A sombra provocada por este tipo de elemento é definida através do ângulo  $\beta$ , que pode novamente ser limitado ou não, consoante se trate respectivamente de palas finitas ou infinitas.

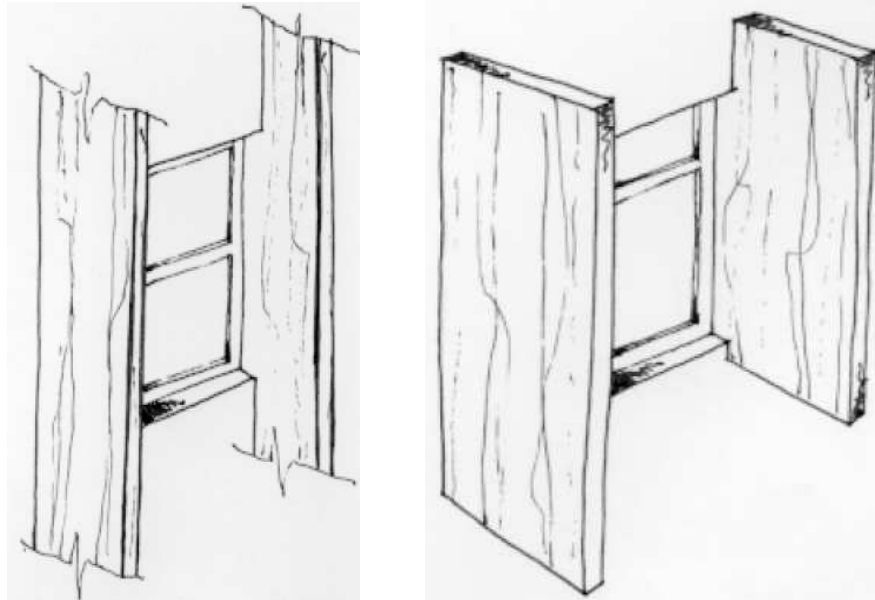


Figura 2.83: Esquema de pala horizontal infinita (à esquerda) e finita (à direita) [20].

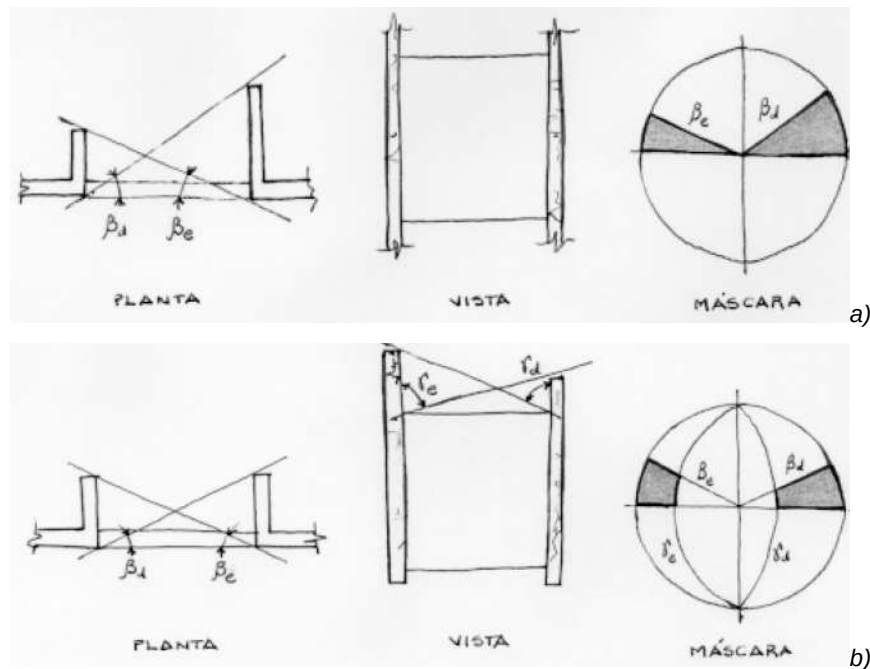


Figura 2.84: Exemplo de medição de ângulos e definição de máscara de sombra para a) pala vertical infinita e b) pala vertical finita [20].

Partindo destas duas soluções base várias alterações podem ser efectuadas, desde a combinação de palas horizontais e verticais (palas mistas), até a aplicação de várias palas de menores dimensões posicionadas paralelamente, inclinadas ou não, designadas por lamelas. A vantagem desta infinidade de propostas é que cada uma proporciona uma máscara de sombra distinta, o que torna esta estratégia adequada a qualquer situação e necessidade. Apresenta-se em seguida alguns esquemas de soluções possíveis.

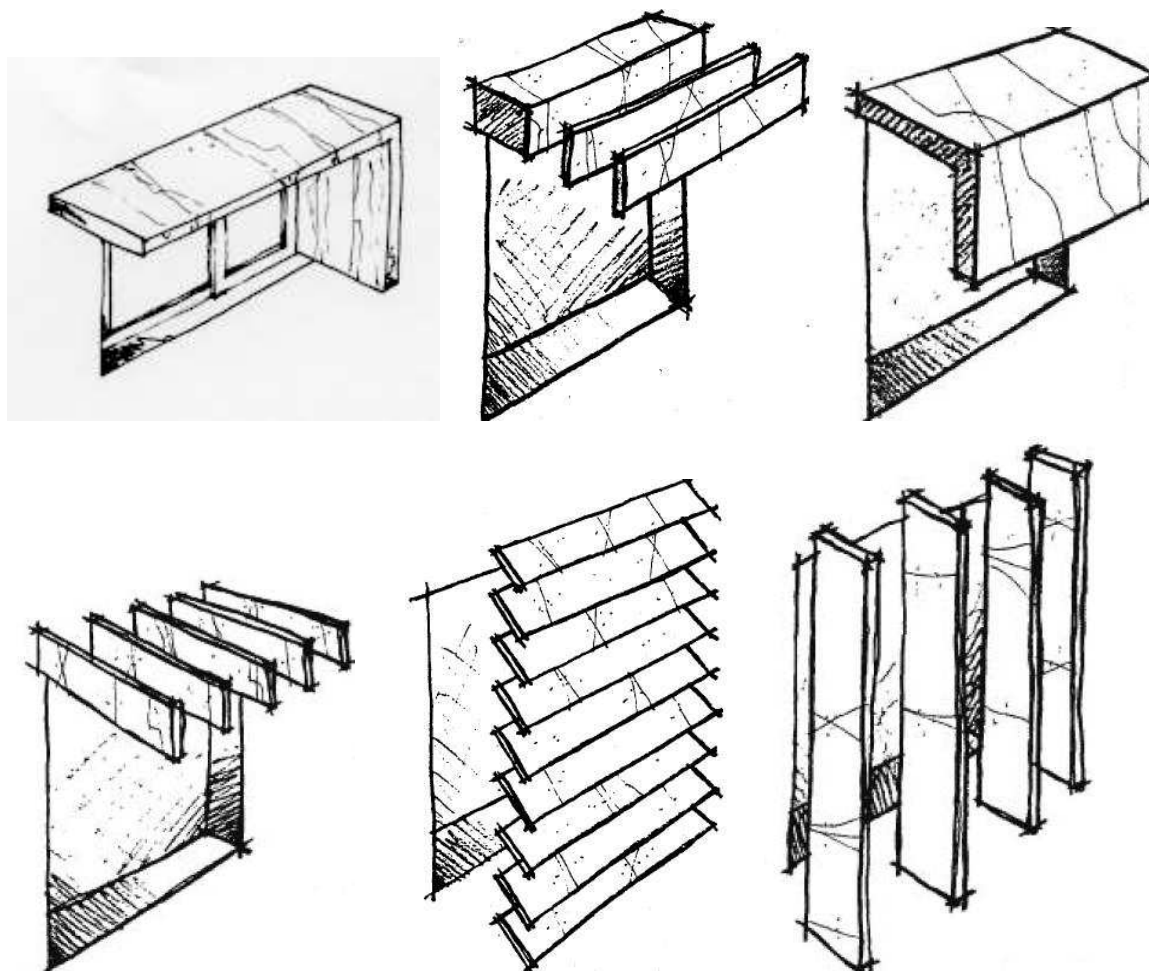


Figura 2.85: Exemplos de variantes às palas horizontais e verticais base [20].

Relativamente a protecções solares instaladas no próprio edifício, existem ainda outras técnicas além das palas e lamelas que as podem complementar ou substituir. Na maioria, estas soluções são instaladas em contacto com as zonas envidraçadas e apresentam uma vasta gama de cores e dimensões, o que as torna multifuncionais. Novamente, como acontecia com a utilização de elementos arquitectónicos, a variável estética é tida em conta nestas soluções permitindo valorizar o edifício graças à variedade de cores, formas e texturas. Algumas das propostas actualmente no mercado apresentam-se em seguida [67], [68]:

- **Estores exteriores** – conferem protecção e sombreamento das fachadas reflectindo até 80% dos raios solares incidentes. Actuam ainda como uma fonte de privacidade uma vez que impedem a visibilidade para o interior, sem nunca prejudicar a vista para o exterior.



Figura 2.86: Exemplos de estores exteriores [67].

- **Telas** – podem ser interiores ou exteriores e têm como função proteger o ambiente interior da radiação térmica e dos raios solares. Alguns tipos de tela existentes são: “black-out” que impede totalmente a entrada de luz e radiação; filtro solar que selecciona a radiação e filtra o calor até 94% ; telas internas de rolo e telas externas verticais. A sua constituição é variável podendo conter fibra de vidro e PVC, tecidos naturais e tecidos metálicos laminados. Todas estas propostas apresentam diferentes cores e transparências.



Figura 2.87: Exemplos de telas: interiores em PVC e fibra de vidro (à esquerda) e de filtro solar (à direita) [68].

- **Persianas** – apresentam-se como sendo a solução mais comum e tradicional no que respeita a protecção solar. No entanto, novas variantes têm sido introduzidas no mercado, tornando este elemento mais eficaz, funcional e atractivo. A possibilidade de introdução de lâminas de cor nas persianas ao invés do clássico equipamento branco, torna possível visualizar a fachada como um único elemento harmonioso. Além disso, as lâminas orientam-se consoante as necessidades.



Figura 2.88: Exemplo de persianas: Denotar na figura da esquerda, a composição de cor realizada com estes elementos [67].

- **Vidros especiais** – o próprio vidro pode ser utilizado como forma de protecção solar se for construído para esse fim. Existem actualmente vidros capazes de filtrar as radiações solares associadas ao calor, ao mesmo tempo que permitem a entrada de luz para os ambientes. Estas soluções apresentam-se em diferentes cores, cujo objectivo não é apenas o efeito visual, uma vez que o tipo de radiação filtrada e absorvida está relacionada com a cor do vidro.



Figura 2.89: Exemplo de edifícios dotados de vidros absorsores de radiação solar [69].

Por fim devem também ser referidos os elementos da envolvente do edifício que podem actuar como protecção solar. Como mencionado anteriormente, a análise dos diagramas solares permite determinar a posição solar para determinado dia e hora e com esta informação calcular a sombra projectada por um objecto nessa situação. Assim, é possível avaliar a influência da sombra desse objecto no edifício em estudo para qualquer dia do ano.

Este conhecimento torna-se valioso quando se pretende avaliar a necessidade de protecção solar de uma obra, podendo proporcionar uma mais valia económica, uma vez que se utilizam elementos existentes em vez de se investir em novas soluções. Por exemplo, se na vicinidade da obra em estudo existir um outro edifício, é possível determinar a sombra que este projecta sobre o outro nos meses de Verão, em que a necessidade de sombreamento é máxima. No caso de existirem zonas envidraçadas que sejam afectadas pela sombra projectada nas horas de maior calor, essas dispensarão protecção adicional ou na pior das hipóteses, precisarão de uma solução bastante simples. Em seguida apresenta-se um exemplo da projecção da sombra de um edifício para uma posição solar de azimuth 295° e altura solar 39°:

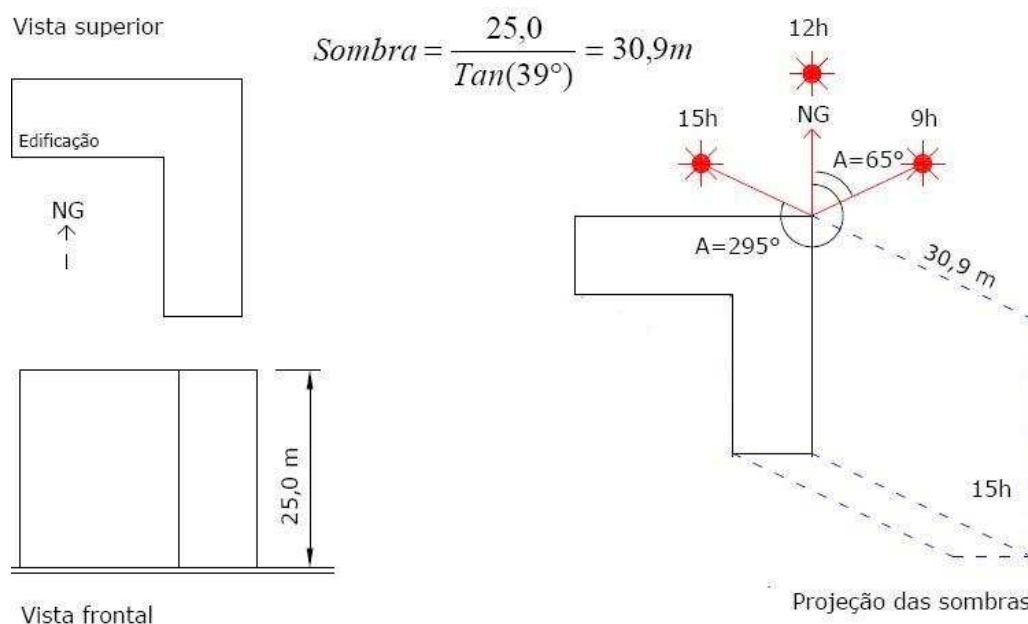


Figura 2.90: Esquema da projecção da sombra de um edifício para as 15h [20].

Outros elementos exteriores ao edifício que devem ser considerados nesta estratégia são as árvores e plantas. Além de serem uma adição positiva ao aspecto ambiental e visual, podem ainda actuar como uma protecção solar para áreas envidraçadas que se encontrem na sua proximidade. A sua colocação estratégica pode proporcionar conforto, absorvendo o calor irradiado e impedindo a incidência dos raios solares. Em zonas em que se pretenda um sombreamento constante devem plantar-se árvores perenes, enquanto que as árvores caducas são ideais para satisfazer tanto as exigências de Verão como de Inverno, uma vez que nos meses quentes a sua copa proporciona sombra e nos meses frios as folhas caem, permitindo a incidência solar.

Em suma, a utilização de protecções solares é uma estratégia a considerar devido às vantagens que apresenta:

- Estratégia extremamente versátil;
- Fácil integração em edificações;
- Permite obter adequadas condições de conforto térmico e visual dos ambientes;
- Evita o recurso a equipamentos eléctricos de climatização, como ar condicionado ou ventiladores;
- Possibilita reduções dos gastos associados à factura eléctrica;
- Contribui para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, preservando o ambiente;
- Adequada a todos os edifícios e necessidades de protecção solar devido à vasta gama de configurações apresentada pelos equipamentos e elementos arquitectónicos utilizados;
- Pode contribuir para uma melhoria da estética da edificação;
- Rentabiliza os elementos da envolvente, integrando-os como fontes de sombra;
- Promove a plantação de árvores e plantas como meios de protecção solar, melhorando o aspecto visual e ambiental.

### 2.3.6. UTILIZAÇÃO ADEQUADA DE INÉRCIA TÉRMICA

#### 2.3.6.1. Fundamento Teórico

A última técnica construtiva a ser abordada encontra-se intrinsecamente relacionada com problemas de climatização. Nesta vertente, é uma estratégia que deve ser conciliada com a ventilação natural e a protecção solar, de forma a proporcionar máxima eficácia e rendimento dos sistemas.

A inércia térmica traduz a capacidade térmica de determinada estrutura por unidade de área, reflectindo a capacidade de o edifício manter estável e confortável o seu ambiente interior. Esta estabilidade térmica, está associada à capacidade dos elementos maciços absorverem e armazenarem calor muito lentamente, como o próprio termo “inércia” indica. Esta propriedade dos elementos construtivos permite que os picos de temperatura que se verificam no exterior não sejam perceptíveis no ambiente interior, dotando-o de uma constância térmica [52].

O conceito mais referido por diversos autores quando se aborda a questão da inércia térmica é o de “thermal mass”, ou seja, massa térmica. Na realidade, a capacidade térmica dos componentes construtivos está inerentemente relacionada com o peso da estrutura, sendo esta última variável expressa pela massa térmica (produto da densidade pela espessura de um material). Assim, algumas das reflexões que se seguem irão considerar este conceito [70].

Sem querer abordar complexos conceitos de Física e Térmica, uma vez que não é o objecto do corrente projecto, pretende-se demonstrar de forma simples o princípio de actuação da inércia térmica.

Os componentes construtivos dotados de elevada massa térmica podem ser entendidos como verdadeiras baterias térmicas, capazes de armazenar calor durante longos períodos. Esta propriedade permite que o calor proveniente da radiação solar nas horas de maior calor, bem como o calor interior em excesso, seja absorvido e armazenado pelo elemento, atingindo o ambiente interior apenas passadas várias horas, já durante o período noturno. Os climas ótimos para a utilização desta técnica são os desérticos e os climas amenos. Em zonas de deserto verificam-se enormes discrepâncias de temperaturas exteriores, atingindo valores muito elevados durante o dia e podendo atingir temperaturas negativas à noite. A inércia térmica permite manter o ambiente fresco durante o dia devido ao atraso da onda de calor, ao mesmo tempo que aproveita as temperaturas baixas da noite para arrefecer a estrutura. Em climas amenos, caso de Portugal, este fenómeno é vantajoso em ambas as situações de Verão e Inverno:

- Verão – durante o pico de temperatura exterior, o calor é armazenado no elemento. A transmissão para o meio interior ocorre 8h a 10h depois, durante a noite. Este processo permite que durante o dia o ambiente interior não sobreaqueça devido à onda de calor, mantendo o ambiente fresco e confortável. Durante a noite, devem ser utilizados sistemas de ventilação natural que permitam a remoção do calor libertado e o arrefecimento da estrutura. Durante o período diurno, se necessário, podem aplicar-se protecções solares para impedir incidência solar excessiva [21];

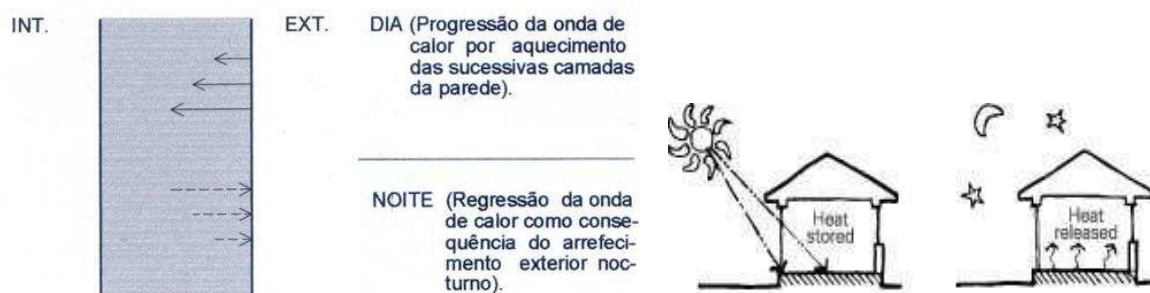


Figura 2.91: À esquerda: esquema representativo dos ciclos de aquecimento diários no período de Verão, em paredes de elevada massa térmica [71]. À direita: esquema do funcionamento da massa térmica elevada na situação de Verão [21].

- Inverno – nos meses mais frios, o calor da radiação solar diurna é absorvido e armazenado. Durante o período noturno quando as necessidades de aquecimento mais se fazem sentir, o calor armazenado é libertado para o meio interno, contribuindo para um ambiente mais confortável.

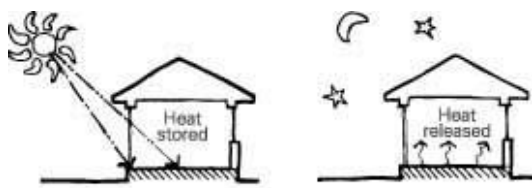


Figura 2.92: Esquema do funcionamento da massa térmica elevada na situação de Inverno [21].

Como se observa, a correcta utilização desta técnica associada à ventilação natural e uso de protecções solares, é uma solução para o conforto interior da edificação, sem ser necessário recorrer a equipamentos eléctricos. Outra técnica fundamental a conciliar com o uso de inércia térmica, é a aplicação correcta de isolamento térmico que deve ser feita de forma contínua e pelo exterior do elemento. Esta configuração permite que a face interna não aqueça através da face externa, que o calor libertado durante a noite não escape para o exterior e que não ocorram condensações internas [71].

Os elementos de construção a que se geralmente se associa o emprego desta técnica são as paredes exteriores. Estas são realmente as mais utilizadas e onde é mais fácil a aplicação, mas a estratégia pode também ser implementada em coberturas, pavimentos e paredes interiores. Recomenda-se que as paredes interiores apresentem massa elevada e não possuam revestimentos isolantes que possam comprometer a sua capacidade de absorver calor. Quanto às coberturas, visto estarem expostas a níveis elevados de insolação, devem ser ventiladas adequadamente e pintadas de cor clara de forma a reflectir a radiação incidente. No caso dos pavimentos, as lajes devem ser em betão e estar em contacto directo com o solo (“slab on the ground construction”), onde tal for possível. Este contacto com o terreno permite um aumento da massa térmica do pavimento, devendo a laje ser isolada em climas mais frescos e frios. Há ainda que ter em atenção o revestimento do elemento, uma vez que materiais com características isolantes como madeira ou alcatifa, diminuem a eficácia do processo de captação de calor. Ao invés, deve-se optar apenas por um polimento da superfície do pavimento de betão ou utilizar tijoleira [71],[21].



*Figura 2.93: Exemplo de pavimento em betão na casa Carbondale. O betão absorve o calor lentamente durante o dia libertando-o gradualmente ao longo da noite. Foram dimensionadas protecções solares destinadas a impedirem os raios solares de Verão (mais inclinados), de incidirem no piso, mantendo-o fresco e confortável [72].*

Outra questão prende-se com a **localização adequada para o uso de massa térmica**, uma vez que a sua posição no edifício influencia grandemente a eficiência da estratégia. Em primeiro lugar, deve-se avaliar se os maiores gastos energéticos estão associados ao período de Verão ou de Inverno. Assim, é possível adoptar medidas que satisfaçam as exigências de aquecimento, arrefecimento, ou ambos, permitindo simultaneamente uma redução dos custos.

- No caso do período de Inverno reflectir os maiores consumos, devido à necessidade de aquecimento, a massa térmica provará ser vantajosa se aplicada em elementos expostos à radiação solar directa ou que se encontrem em contacto com sistemas de aquecimento (radiadores, por exemplo);
- Quando o arrefecimento é necessário para proporcionar uma sensação de conforto adequada em meses de Verão, os elementos com massa térmica elevada devem ser protegidos da luz solar directa. Para tal, deve-se recorrer a protecções solares e isolamento térmico, permitindo ainda que no período nocturno brisas frescas entrem em contacto com os elementos de forma a arrefecer a estrutura;
- Em climas em que se verifica uma necessidade combinada de aquecimento no Inverno e arrefecimento no Verão, devem adoptar-se estratégias multifuncionais que conjuguem as considerações anteriores. Para tal, é necessário conciliar massa térmica com outras estratégias bioclimáticas.

No que respeita os materiais a utilizar para garantir elevada massa térmica, destacam-se o betão, o tijolo e alvenarias de madeira e pedra com espessura adequada. As suas características potenciam a absorção e armazenamento de calor:

| MATERIAL                | THERMAL MASS<br>(VOLUMETRIC HEAT CAPACITY, KJ/M <sup>3</sup> /°K) |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| WATER                   | 4186                                                              |
| CONCRETE                | 2060                                                              |
| SANDSTONE               | 1800                                                              |
| COMPRESSED EARTH BLOCKS | 1740                                                              |
| RAMMED EARTH            | 1673                                                              |
| FC SHEET (COMPRESSED)   | 1530                                                              |
| BRICK                   | 1360                                                              |
| EARTH WALL (ADOBE)      | 1300                                                              |
| AAC                     | 550                                                               |

Figura 2.94: Valores de massa térmica para alguns materiais correntes [21].

Como se viu, o uso de inércia térmica apresenta um princípio de funcionamento relativamente simples, podendo ser aplicado em diversas zonas climáticas e elementos construtivos. No entanto, existe uma técnica de construção que maximiza a rentabilidade do uso de massa térmica e que a tornou mediática. Esta solução é dedicada a paredes exteriores expostas a radiação solar directa e, apesar de existir há vários anos, apenas recentemente tem vindo a ser adoptada em diversos edifícios novos de carácter sustentável e eficiente. Esta alternativa designa-se por Parede Trombe e apresenta-se de seguida.

#### 2.3.6.2. Paredes Trombe

Inventada nos finais de 1950 pelo inventor francês Felix Trombe, estas paredes especiais apresentam todas as recomendações mencionadas anteriormente no que respeita a paredes exteriores, acrescidas de uma adição que as torna únicas. Na sua forma mais básica, uma parede Trombe consiste numa parede de elevada massa térmica e espessura (entre 10cm e 41cm), orientada a Sul e dotada de uma superfície envidraçada no seu exterior. O revestimento exterior da parede deve ser de cor escura de forma a maximizar o coeficiente de absorção e consequentemente os ganhos caloríficos, e a superfície de vidro pode ser simples ou dupla.

Por último, a superfície exterior da parede e o vidro devem distar de 2cm a 5cm, por forma a constituírem uma pequena caixa de ar entre ambos os elementos.

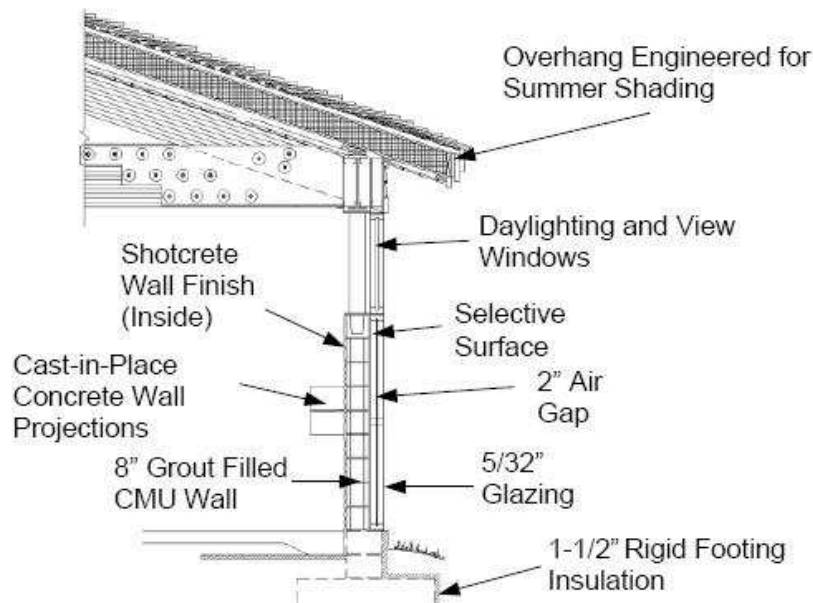


Figura 2.95: Esquema construtivo de uma parede Trombe [3].

O conceito por detrás desta solução assemelha-se ao referido anteriormente para paredes exteriores de elevada massa térmica, ou seja, a radiação incidente é absorvida e o fluxo de calor encaminha-se lentamente para o ambiente interior. Porém, a parede Trombe pode ser considerada um “upgrade” das paredes normais, uma vez que o seu elemento em vidro e a caixa de ar existente maximizam os ganhos solares devido ao efeito de estufa que proporcionam.

Como já foi explicado, o efeito de estufa ocorre devido à transparência do vidro às ondas curtas e à sua opacidade perante ondas longas. A radiação solar que incide no vidro encontra-se sob a forma de onda curta, atravessa-o e incide na parede que por sua vez a absorve. No entanto, a radiação emitida pela parede é de onda longa e não consegue transportar o envidraçado, ficando retida na caixa de ar existente. O calor acumulado é então progressivamente absorvido pela parede que posteriormente o transmite para o ambiente interior. A caixa de ar deve ser correctamente isolada, de forma a não permitir que o calor escape pelas juntas.

Estas características permitem uma maior rentabilidade do processo de aproveitamento de calor, uma vez que as perdas por radiação da parede são reaproveitadas para o seu aquecimento.

À semelhança do que ocorre nas paredes normais de elevada massa térmica, também as paredes Trombe beneficiam da conjugação de estratégias bioclimáticas e do uso de isolamento térmico. As mesmas regras devem ser aplicadas, dotando as paredes de protecções solares adequadas, de mecanismos de ventilação eficazes e de isolamento térmico apropriado. Incorporando estas e outras soluções, como é o caso de vidros e revestimentos especiais, torna-se possível adequar a estratégia às necessidades e aumentar a sua eficiência e versatilidade, criando-se as designadas paredes de Trombe modificadas. Um dos principais mecanismos que estas variantes apresentam, são os orifícios de ventilação localizados na base e no topo e que promovem o atraso da onda de calor durante o dia. Paredes desprovidas de orifícios de circulação de ar só devem ser adoptadas em zonas de ocupação nocturna exclusiva [71].

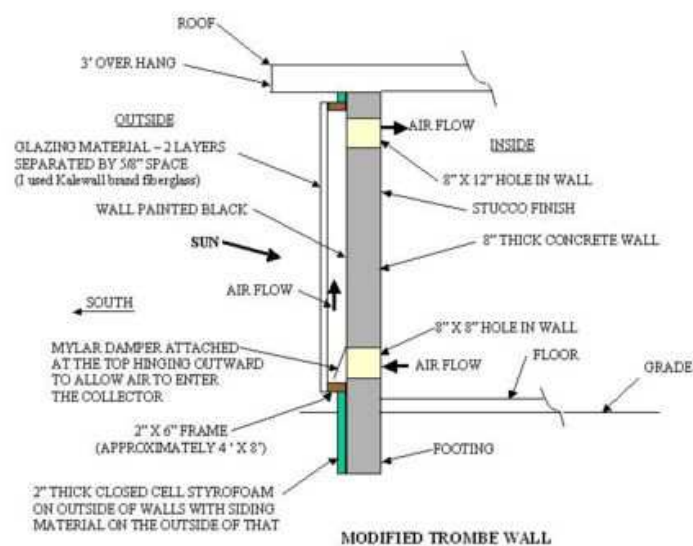


Figura 2.96: Esquema construtivo de uma parede de Trombe modificada: denotar as aberturas de circulação de ar, o isolamento térmico aplicado na base e a protecção solar aplicada no telhado [73].

De acordo com o NREL (National Renewable Energy Laboratory), que avaliou o comportamento de dois empreendimentos dotados desta solução, as paredes Trombe apresentam-se como uma estratégia adequada. As paredes actuaram como fonte complementar do sistema eléctrico de aquecimento, satisfazendo até 20% das necessidades anuais e demonstrando uma eficiência de 13%. Outro ponto positivo foi o facto de em 151 dias de período quente analisados, a solução ter provocado um acréscimo de carga térmica em apenas 2, tendo-se comportado adequadamente nos restantes 149 dias [3].

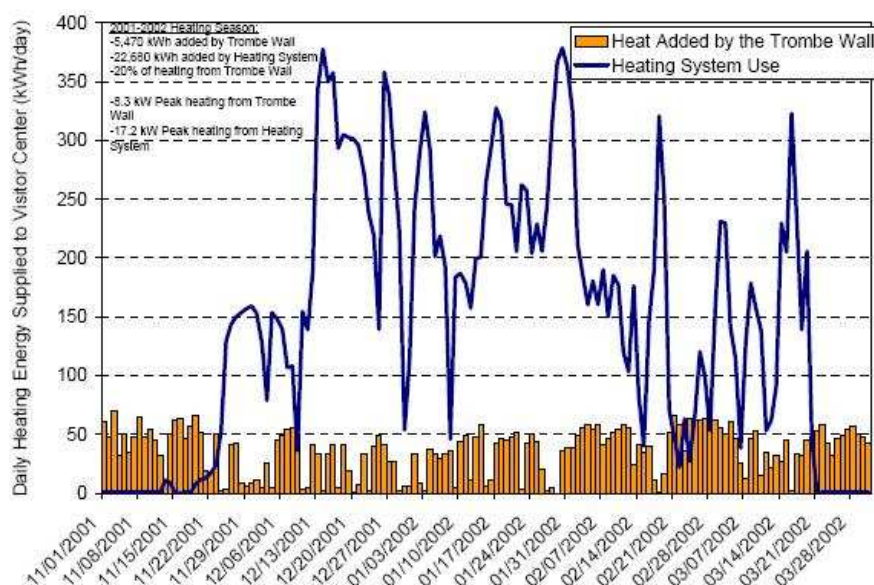


Figura 2.97: Dados da análise do NREL relativamente à eficácia das paredes Trombe no edifício Zion Center [3].

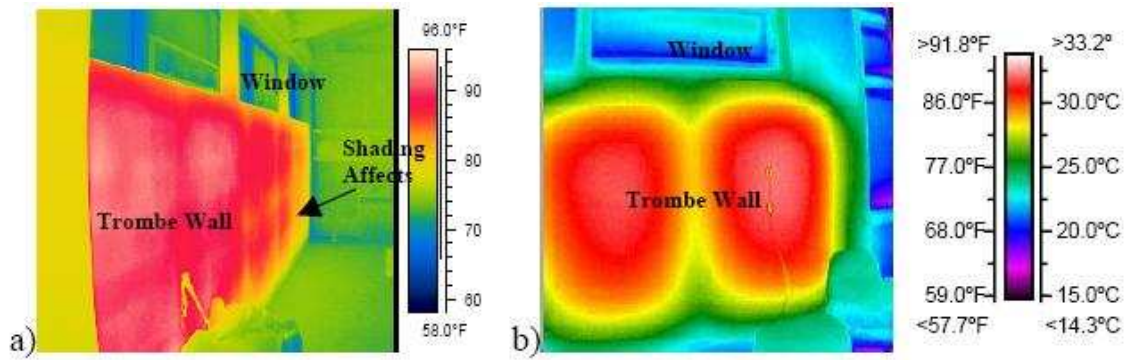


Figura 2.98: Fotografias em infravermelhos das paredes Trombe do Zion Center: a) 16 de Dezembro às 20:30h e b) 21 de Janeiro às 20:00h. Denotar o calor acumulado pelas paredes durante o dia de Inverno [3].

No estudo constavam ainda algumas considerações a ter na utilização de paredes Trombe, nomeadamente [3]:

- A face interior da parede tem que estar em contacto directo com o ambiente interior. Numa das paredes do edifício em estudo, a face interior possuía armários de cozinha que provocaram uma diminuição de 40% no calor irradiado para o ambiente interior;
- O revestimento interior deve ser cuidadosamente pensado, de forma a não ser isolante e estar totalmente em contacto com a parede. Alguns revestimentos deixam alguns espaços de ar entre eles e a superfície da parede, o que diminui a condutividade térmica;
- Durante a fase de construção deve assegurar-se que as cofragens dos blocos de betão são completamente preenchidas, garantido a estabilidade da condutividade térmica ao longo da parede;
- A base da parede em contacto com o solo deve ser muito bem isolada, de forma a impedir perdas de calor por condução. Este fenómeno pode influenciar drasticamente o comportamento da parede, devendo ser acautelado;

Concluindo, uma última observação que pretende alertar não para as desvantagens da estratégia, mas sim para as regras de utilização, obrigatórias em qualquer técnica construtiva. As directrizes apresentadas neste subcapítulo têm como função direccionar o projectista para o correcto uso de inércia térmica. É muito importante que sejam seguidas uma vez que o uso incorrecto desta estratégia provoca o efeito contrário daquilo a que se propõe. Um edifício onde a inércia térmica for mal aplicada, por uma qualquer razão, pode apresentar elevado grau de desconforto e um aumento exagerado dos custos relativos à climatização. Os fenómenos mais normais associados ao uso incorrecto de inércia térmica, são a irradiação de calor para o ambiente interno durante uma vaga de calor de verão, e a absorção de todo o calor produzido no interior durante uma fria noite de Inverno.

Por outro lado, a correcta utilização de inércia térmica em edificações apresenta-se como mais uma solução de climatização adequada. Conjugando-a com outras estratégias apresentadas anteriormente, como a ventilação natural e a protecção solar, é possível obter o máximo de eficiência do aproveitamento solar passivo. As suas principais vantagens são:

- A sensação de conforto térmico que transmite é superior à proporcionada por equipamentos de aquecimento tradicionais, fruto da existência de uma grande área a emanar a radiação absorvida;
- É uma solução passiva que não necessita de manutenção;
- Solução simples de adoptar na construção, sem se manifestar num grande aumento de custos;

- Estratégia versátil, adaptando-se a necessidades de aquecimento e arrefecimento e a diferentes climas;
- Fácil integração arquitectónica, simulando uma janela para quem se encontra no exterior e uma parede comum para quem se encontra no interior;
- Permite obter conforto térmico sem recorrer a equipamentos eléctricos, reduzindo os custos da factura energética;
- Contribui para uma diminuição de CO<sub>2</sub> de outra forma emitidos por equipamentos;
- Contribui para a criação de edifícios sustentáveis e eficientes que serão melhor classificados pela ADENE.

### 2.3.7. EQUIPAMENTOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES E REGRAS DE BOA UTILIZAÇÃO

Este subcapítulo foge um pouco ao tema, mas é importante referir que as estratégias anteriormente apresentadas, devem ser conjugadas com equipamentos eléctricos adequados e hábitos correctos de utilização.

Um edifício que possua simultaneamente as estratégias anteriores e equipamentos de elevada eficiência energética, será mais sustentável, amigo do ambiente e económico do que os restantes. Esta combinação de medidas permitirá reduzir significativamente os gastos mensais de electricidade, gás e água, ao mesmo tempo que limita as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Recentemente foi posta em prática a certificação energética dos edifícios segundo o RCCTE e o RSESE, na qual se avaliam diversos parâmetros das edificações, sendo-lhes posteriormente atribuída uma classificação. Este método de avaliação é em tudo semelhante ao utilizado para electrodomésticos, em que perante uma análise das características do equipamento, se atribui uma etiqueta com uma letra representativa da sua eficiência energética. A simbiose das estratégias apresentadas com este tipo de equipamentos é um passo crucial para que a edificação receba uma classificação elevada na avaliação energética.



Figura 2.99: Exemplo de uma etiqueta de eficiência energética de um electrodoméstico [74].

Os utilizadores devem optar sempre que possível, por aparelhos que possuam eficiência A, que possibilitam um maior rendimento com menos custos.

Dotando um edifício de todas estas mais valias tecnológicas, sobra apenas um parâmetro que influenciará o seu comportamento global: **o tipo de utilização por parte dos ocupantes**. Esta variável é de extrema importância, uma vez que pode contrariar todas as estratégias e técnicas adoptadas para tornar a edificação sustentável e eficiente do ponto de vista energético. De facto, uma utilização errada de edifícios com estas tecnologias pode torná-los mais dispendiosos e problemáticos que um edifício tradicional. Ao longo da descrição de cada estratégia apresentaram-se vários cuidados e considerações a ter na sua utilização, de forma a evitar possíveis incómodos. É importante que essas regras sejam transmitidas ao comum utilizador do edifício, é necessária uma formação para os utilizadores.

Esta formação deve ser entendida não como um curso exaustivo de pequenos pormenores e detalhes técnicos, mas sim como um curto inventário de algumas medidas que os utilizadores devem incorporar no seu uso quotidiano do edifício. A comunicação destes princípios aos ocupantes pode ser realizada pelos próprios responsáveis pelo projecto, através de uma reunião pós-adjudicação ou simplesmente entregando brochuras aos utilizadores. Este processo pode ser moroso, mas deve ser continuado ao longo do período de utilização de forma a permitir a assimilação das regras por parte dos moradores, que passado algum tempo as cumprirão de forma automática.

Estas directrizes de boa utilização devem abranger não só os conceitos de senso comum, por exemplo, desligar as luzes em zonas desocupadas ou não deixar aparelhos em modo stand-by, mas também cuidados a ter com determinadas estratégias como a ventilação natural ou outras.

Concluindo, um edifício que incorpore técnicas construtivas inovadoras, recorrendo à bioclimatologia e ao aproveitamento solar passivo e activo, apresenta elevado **potencial** no que respeita a sustentabilidade. No entanto, a escolha dos equipamentos que o vão integrar e a forma como os ocupantes se comportam na sua utilização diária, são fundamentais para o bom desempenho do edifício. Assim, a interacção edifício-utilizador assume um papel crucial, devendo-se considerar os dois elementos como um todo, aquando do projecto e planeamento da obra.



# 3

## CASOS REAIS DE EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS

### 3.1. EXEMPLOS DE PROJECTOS EM FUNCIONAMENTO

Com o intuito de compilar toda a informação apresentada até este ponto, apresentam-se de seguida alguns projectos de edifícios que incorporam na sua essência as técnicas apresentadas. Todos eles têm como princípio fundamental a preocupação com a problemática energética e ambiental, procurando encontrar soluções que satisfaçam ambas. Nestas edificações procurou-se dar ênfase à utilização de energias renováveis, permitindo a conservação de recursos naturais e diminuindo as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, e simultaneamente torná-las esteticamente atractivas e economicamente vantajosas.

As obras mencionadas são oriundas de diferentes países, o que gera diferentes abordagens para cada uma, mediante as características climáticas, materiais construtivos existentes e até mesmo questões culturais. Denotar as obras existentes em território nacional, que reflectem o crescimento das novas tecnologias no nosso país, bem como a preocupação governamental em preservar o ambiente e os recursos energéticos.

#### 3.1.1. BEDDINGTON ZERO ENERGY DEVELOPMENT (BEDZED)

Este projecto inovador é um dos mais mediáticos no que respeita a construção sustentável. Localizado no Sul de Londres, este complexo foi desenvolvido através de uma parceria entre o Peabody Trust, o atelier de arquitectos Bill Dunster e o Bioregional Development Group, tendo sido concluído em 2002.

O objectivo desta iniciativa era criar uma comunidade sustentável que incorporasse técnicas inovadoras de conservação de energia, permitindo-lhe ser a primeira eco-comunidade neutra em termos de carbono, no Reino Unido.

Como o próprio nome indica (ZED – Zero Fossil Energy Development), a premissa deste empreendimento é que se desenvolve sem consumir recursos energéticos existentes, ou seja, a energia que produz através de fontes renováveis é igual ou superior à energia que consome. Desta forma, o BedZED é um empreendimento de balanço zero no que respeita o carbono, não emitindo CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

O projecto englobou habitações de diferentes tipologias e com diversos tipos de financiamento para aquisição.

Na sua constituição encontram-se 82 moradias, 34 das quais para venda imediata, 23 para co-proprietários, 10 para trabalhadores e 15 para serem alugadas como habitações sociais de baixo custo, além de 14 apartamentos geminados para venda. Além dos edifícios habitacionais integram ainda a comunidade edifícios comerciais, um centro de exposições e uma creche [75].

Em todas as habitações foram integradas estratégias de aproveitamento solar passivo, atendendo aos critérios de orientação solar para as divisões, que conjugadas com materiais de elevada massa térmica e uma camada de isolamento térmico de 30 cm, proporcionam adequadas condições de conforto. Além destas técnicas, outras características do projecto permitem uma redução do consumo de água e luz e asseguram o seu carácter sustentável [75]:

- Utilização de materiais de construção naturais ou reciclados, provenientes de zonas circundantes de modo a reduzir os custos de transporte. Preferência por materiais cuja execução necessite de reduzido consumo energético;
- Aquecimento dos espaços realizado de forma natural, aproveitando a radiação solar e o calor produzido por actividades dos ocupantes. Assim, verifica-se uma redução dos gastos energéticos associados ao uso de aparelhos eléctricos de climatização;
- Utilização de lâmpadas de baixo consumo e de equipamentos energeticamente eficientes;
- A energia fornecida para a comunidade é proveniente de uma central de cogeração (CHP – Combined Heat and Power), que permite que o calor gerado na produção de electricidade seja aproveitado. O calor proveniente da central é utilizado para aquecer a água que circula em canalizações super-isoladas termicamente e que posteriormente é fornecida às habitações. A central de cogeração é alimentada por desperdícios florestais, o que permite manter o balanço zero de CO<sub>2</sub>, uma vez que a quantidade deste composto libertado durante a combustão é igual à quantidade absorvida pela árvore durante o seu período de vida;
- A comunidade visa a preservação ambiental a todos os níveis, não só num plano habitacional mas também num plano relativo aos transportes. Uma vez que os automóveis são um dos grandes responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub>, o BedZED criou uma alternativa mais amiga do ambiente. Nesta comunidade promove-se o uso de transportes públicos e bicicletas e incentiva-se os moradores a andarem mais, contribuindo para a redução da emissão de gases nocivos. Para reforçar estas ideias, criaram-se zonas pedestres agradáveis e acessíveis a todos, bem como ligações às principais redes de transportes públicos. Para quem não dispensa o automóvel, criou-se um clube de carros onde qualquer morador pode requisitar um veículo movimentado a baterias eléctricas.
- Utilização de painéis fotovoltaicos, contabilizando 777 m<sup>2</sup> de instalação;
- Emprego de técnicas de reciclagem de água;
- O próprio empreendimento tornou-se um centro de aprendizagem para o desenvolvimento sustentável, tendo sido criada uma zona de recepção a visitas e de educação dos próprios moradores.



Figura 3.1: Diferentes aspectos da comunidade BedZED [76].

### 3.1.2. ECOOVILA EM PORTO ALEGRE

Localizada na cidade de Porto Alegre, estado de Rio Grande do Sul no Brasil, encontra-se outra comunidade sustentável cujo objectivo é conciliar a interacção com a natureza em ambientes citadinos, com a experiência de viver em habitações ecológicas. Associadas a este projecto encontram-se 2 personalidades reconhecidas no panorama brasileiro de sustentabilidade, o arquitecto Otávio Urquiza responsável pelo projecto, e o engenheiro Miguel Aloysio Sattler responsável pelo NORIE (Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Tendo tido o privilégio de me reunir com ambos, tornou-se possível assimilar os seus conceitos relativamente à sustentabilidade e as premissas que envolveram a criação da Ecoovila 1 na cidade de Porto Alegre.

Além de edificações que integram várias técnicas ambientalmente adequadas, muitas delas anteriormente referidas, o pressuposto por detrás da Ecoovila é a união entre os moradores. Esta comunidade pressupõe que todos os seus utilizadores compartilhem uma mesma visão e ideais, que se reflectem num desenvolvimento sustentável e numa acção de preservação da natureza. O longo processo de planeamento, projecto e execução exige a participação de todos os envolvidos, incutindo-lhes uma sensação de responsabilidade, integração e entreaajuda. Uma vez concluído o projecto, essa participação conjunta mantém-se através da gestão, manutenção e vivência na comunidade. O conceito da comunidade é assente na permacultura e reflecte o triângulo ideológico de Otávio Urquiza que visa a ecologia, educação e economia.

Na construção das edificações foi dado bastante ênfase ao tipo de materiais utilizados, pretendendo-se obter o máximo de aproveitamento com o mínimo de desperdício. Assim, as escolhas realizadas consideraram o ciclo de vida dos materiais, a sua durabilidade, custo e impacto ambiental. Optou-se por materiais disponíveis no local, de forma a minimizar os custos de transporte e a gerar postos de trabalho na zona em questão.

Os edifícios incorporam diversas características e técnicas de forma a minimizar o impacto na natureza, tentando ao invés que esta seja integrada na habitação. Desta forma os edifícios surgem como uma estrutura dinâmica e fluida que pretende ser uma continuação do próprio ambiente circundante. Algumas das estratégias presentes no condomínio são [77]:

- Orientação solar adequada;
- Edificações termoacústicas com paredes em tijolo duplo e janelas de vidro duplo, que permitem estanquidade e preservação das temperaturas. As temperaturas frescas no Verão e quentes no Inverno permitem evitar o recurso a equipamentos eléctricos de climatização;
- Na construção utilizou-se a técnica SPAT, que permite minimizar desperdícios e reduzir o tempo de execução. Esta técnica combina o uso de aço e betão com alvenaria tradicional, não necessitando de cofragens para executar vigas e pilares;
- Adequação das edificações ao terreno, evitando terraplanagens e impermeabilizações;
- Lareira/fogão a lenha, que permite confeccionar refeições e aquecer o ambiente interior. Paralelamente à tubagem da chaminé situam-se duas outras canalizações que encaminham ar aquecido para outras divisões e auxiliam no aquecimento de água.
- Tratamento biológico de esgotos permitindo a criação de riachos de água limpa;
- Sistemas de aproveitamento de água pluvial;
- Instalações de colectores solares para aquecimento de água;
- Reaproveitamento de água para irrigação;
- Os jardins exteriores integram princípios de permacultura na escolha de plantas e flores que permitem harmonizar o ambiente. Encontram-se ainda plantadas árvores frutíferas e vegetais comestíveis;
- Existência de um sistema aromatizador de ambientes, consistindo numa conduta em contacto com ervas como alecrim e hortelã, que conduz os aromas para o interior da habitação;
- Aplicação de telhados jardins que actuam como fortes isolantes térmicos e adicionam valor estético à edificação, permitindo plantar flores de diferentes cores.



Figura 3.2: Pormenores das edificações: à esquerda: lareira a lenha ; à direita: saída de ar aquecido [78].



Figura 3.3: Outros aspectos da ecovila: denotar o telhado jardim, os colectores solares, os materiais das edificações e os tanques de aproveitamento de águas pluviais [78].

### 3.1.3. EDIFÍCIO SOLAR XXI

Situado no terreno do INETI, em Lisboa, encontra-se o edifício SOLAR XXI, fruto de uma parceria entre o INETI, o Ministério da Economia e Educação e o programa PRIME. Este projecto surgiu como forma de demonstrar ao público as possibilidades da utilização de energias renováveis em edifícios. Permite ainda mostrar o potencial destas aplicações na construção de edificações sustentáveis e energeticamente eficientes, agindo como showroom educacional para o público comum e evidenciando o nível de desenvolvimento destas tecnologias em território nacional.

O aproveitamento solar foi uma das principais variáveis consideradas aquando do planeamento do projecto, como o próprio nome indica, tendo-se recorrido a sistemas passivos e activos. Desta forma, valorizou-se uma fonte de energia renovável de extrema importância e potencial em Portugal, rentabilizando as suas vertentes de produção de energia térmica e eléctrica.

Outra questão que se procurou abordar nesta obra foi a forma como a equipa de concepção de projecto tem que ser multifuncional e trabalhar em conjunto, resultando daí uma cooperação entre arquitectos e engenheiros que se traduz em edifícios eficientes e esteticamente agradáveis. Este edifício é um perfeito exemplo da integração de sistemas fotovoltaicos em meio urbano, demonstrando como são parte integrante da estrutura em vez de um apêndice [79].

O edifício em si destina-se a serviços e uso laboratorial, apresentando uma área de 1500 m<sup>2</sup> distribuídos por 3 pisos, um dos quais é enterrado. A distribuição dos espaços interiores foi cuidadosamente planeada, de forma a conciliar a orientação solar e adequadas condições de conforto térmico. As estratégias adoptadas incluíram medidas de eficiência energética, técnicas de aproveitamento solar passivo destinadas a climatização e instalação de equipamentos para aproveitamento solar activo, térmico e fotovoltaico. Entre elas contabilizam-se [79],[80]:

- Envolvente optimizada de forma a reduzir a carga térmica do edifício;
- Fachada com painéis fotovoltaicos integrados orientada para Sul, maximizando os ganhos solares directos;



*Figura 3.4: Fachada Sul do edifício Solar XXI, dotada de painéis fotovoltaicos integrados [78].*

- Instalação de 96 m<sup>2</sup> de fotovoltaicos em fachada, com 12 kWp de potência, que satisfaz 30% a 50% da energia anual consumida pelo edifício;
- Aproveitamento do calor gerado pelo funcionamento dos painéis fotovoltaicos, que deve ser removido de forma a maximizar o seu rendimento. Neste edifício, incorporaram-se estratégias de ventilação natural utilizando dois orifícios, que permitem não só dissipar o calor produzido, mas também aproveitá-lo como fonte de aquecimento para ambientes interiores. Assim, existem diferentes possibilidades de utilização de acordo com a época do ano e as necessidades de conforto, que podem ser facilmente operadas pelo utilizador. No Inverno, abrindo os 2 orifícios torna-se possível fazer o ar interior circular pelo espaço adjacente aos painéis, aquecendo-o e devolvendo-o ao espaço interior. No Verão, o sistema pode ser utilizado para dissipar para o exterior o calor em excesso dos painéis, ou para aproveitar o efeito chaminé expulsando o ar quente do ambiente interior para o exterior. Um esquema representativo do fenómeno encontra-se na página seguinte;

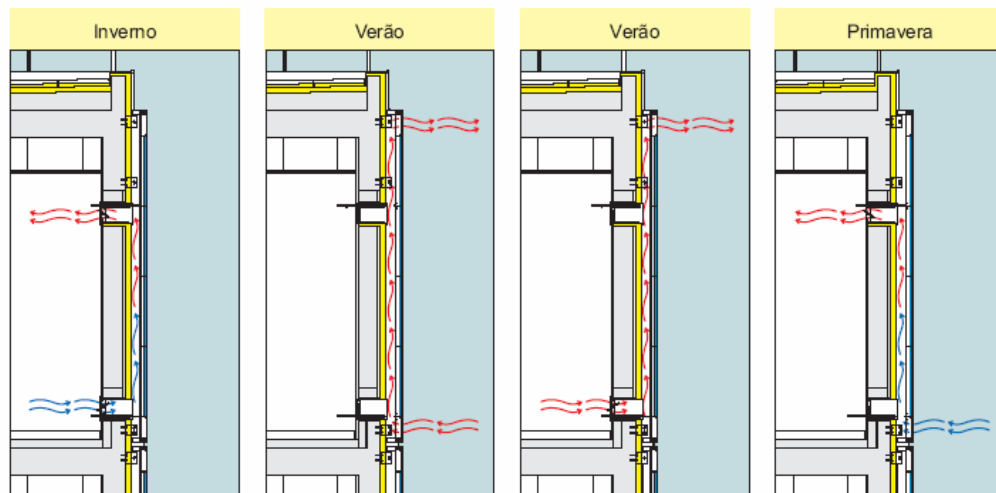


Figura 3.5: Pormenor do sistema de ventilação natural incorporado na fachada solar [80].

- Sistema de arrefecimento passivo, proporcionado por tubos enterrados que fornecem ar fresco aos espaços interiores. Esta instalação é composta por 32 tubos ligados a diferentes espaços do edifício e cuja admissão de ar é realizada por uma entrada localizada a alguns metros do mesmo;

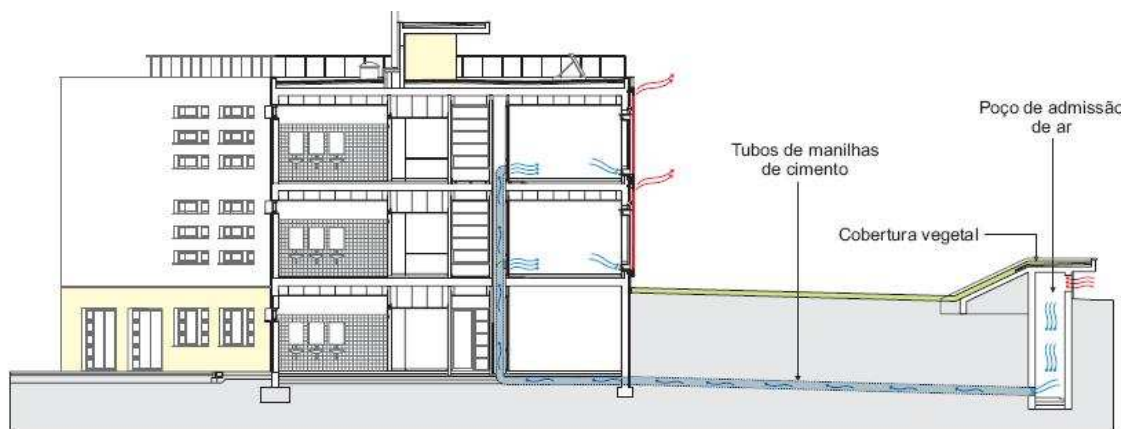


Figura 3.6: Esquema representativo do sistema de arrefecimento através de tubos enterrados [80].

- Utilização de iluminação natural proporcionada através de uma clarabóia comum aos 3 pisos;
- Orientação solar adequada, posicionando as zonas de ocupação permanente na fachada sul, onde beneficiam do sistema de climatização. As zonas de laboratórios, de utilização ocasional, foram colocadas na fachada norte de modo a evitar a exposição solar;
- As paredes do edifício são constituídas por alvenaria de tijolo, isolada termicamente pelo exterior com 6cm de EPS. A laje maciça da cobertura apresenta 10 cm de isolamento térmico, a mesma espessura utilizada para a laje de betão do pavimento em contacto com o solo. Esta solução de isolamento pelo exterior permite eliminar o fenómeno de pontes térmicas;
- Caixilharias de vidro duplo em todo o edifício melhoram a insonorização e o conforto térmico;
- Colectores solares e uma caldeira a gás natural constituem um sistema de aquecimento auxiliar;
- Estores reguláveis actuam como forma de protecção solar do edifício.



## 4

**ANÁLISE DE EDIFÍCIOS  
SUSTENTÁVEIS VS EDIFÍCIOS  
TRADICIONAIS****4.1. COMPARAÇÃO ENTRE EDIFÍCIOS TRADICIONAIS E EDIFÍCIOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES**

No capítulo anterior apresentaram-se exemplos de projectos cujo objectivo era a promoção de um desenvolvimento sustentável, conciliando o progresso humano com a preservação do planeta. Todos eles incorporam as estratégias alternativas que compõem o objecto deste documento, o que lhes confere a capacidade de diminuir as emissões de CO<sub>2</sub>, os gastos energéticos e o recurso a fontes de energia não renováveis.

Até este ponto foram analisadas diversas técnicas construtivas responsáveis pela eficiência e sustentabilidade dos edifícios. Apresentaram-se ainda obras actualmente em funcionamento, que são o exemplo vivo da possibilidade de integração e actuação conjunta dessas mesmas técnicas.

Neste capítulo pretende-se quantificar, através de um estudo realizado num edifício sustentável, as vantagens resultantes de todas estas estratégias. Desta forma, os benefícios descritos anteriormente para cada técnica, adquirem uma dimensão real sob a forma de valores de diferentes análises.

Assim, espera-se provar as vantagens e a necessidade de optar por estas estratégias quer àqueles que as defendem, quer ao público mais céptico e resistente à mudança.

**4.1.1. CASO DE ESTUDO: A CASA EFICIENTE EM FLORIANÓPOLIS**

Localizado em Florianópolis, estado de Santa Catarina, Brasil, encontra-se um protótipo de uma residência unifamiliar sustentável, designado por Casa Eficiente. Este projecto surgiu no âmbito do programa PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Eléctrica), que busca soluções inovadoras no campo da engenharia civil que permitam uma gestão adequada dos recursos energéticos. O desenvolvimento da obra deve-se a uma parceria entre a ELETROSUL (Centrais Eléctricas S.A.), a ELETROBRÁS (Centrais Eléctricas Brasileiras S.A) e a UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), representada pelo seu LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edifícios). Actualmente o projecto encontra-se a ser explorado pelo LABEEE, tendo constituído ele próprio um laboratório de pesquisa, o LMBEE (Laboratório de Monitoramento Ambiental e Eficiência Energética), onde vários profissionais da Universidade realizam o seu trabalho de pesquisa. Assim, a Casa Eficiente tornou-se um showroom de tecnologias e estratégias de eficiência energética e conforto ambiental, promovendo actividades de ensino e pesquisa no âmbito da Engenharia Civil [81].

O objectivo da obra é promover a divulgação das noções de eficiência energética, sustentabilidade, bioclimatologia e utilização racional da água, ao nível de todo o território brasileiro, abrangendo tanto o ambiente académico como o profissional. Para tal, o projecto encontra-se disponível a todos aqueles que o quiserem visitar, tendo sido previstas soluções adequadas de acessibilidade ao público. Foi ainda criado um website de acesso livre, que permite aceder a vasta informação sobre a obra, realizar visitas virtuais e acompanhar os últimos desenvolvimentos. Outro aspecto importante é o facto de se proceder à monitorização diária dos dados termo-energéticos do edifício, que posteriormente são disponibilizados no referido website para fins de pesquisa e ensino [81].

A razão para focar este empreendimento como o caso de estudo central, prende-se com o facto de ter realizado intercâmbio na referida Universidade e de ter tido a possibilidade de visitar, pesquisar e recolher dados relativos ao projecto.

#### 4.1.2. CONDICIONANTES DO PROJECTO

Visando sempre os ideais de eficiência energética e sustentabilidade, procurou-se a perfeita harmonia entre a edificação e o meio ambiente, recorrendo a fontes de energia renováveis e a estratégias que permitissem adequar a construção à envolvente e ao clima existente. Assim, por forma a adoptar as melhores soluções e estratégias bioclimáticas, foram realizados estudos relativos a variáveis climáticas como a exposição solar, vento, pluviosidade, temperatura e humidade.

Os dados considerados para o projecto foram provenientes do TRY (Test Reference Year), ou seja, o Ano Climático de Referência para a cidade de Florianópolis. O TRY é o culminar de 30 anos de pesquisa meteorológica, sendo a sua escolha realizada através da eliminação dos anos que apresentaram a temperatura máxima e mínima e seguida da escolha do ano em que as temperaturas não apresentaram extremos. Apesar de ser definido com base na variável temperatura, este ano de referência contém ainda informações relativas a outros parâmetros relevantes como humidade, velocidade e direcção dos ventos, nebulosidade, pressão atmosférica e radiação solar.

Florianópolis é uma ilha situada no Sul do Brasil, entre os paralelos de 27°10 e 27°50 de longitude Sul e entre os meridianos de 48°25 e 48°35 de latitude Oeste. Apresenta um clima Tropical Temperado, super húmido, com Verões quentes e Invernos amenos, o que proporciona oscilações térmicas reduzidas.

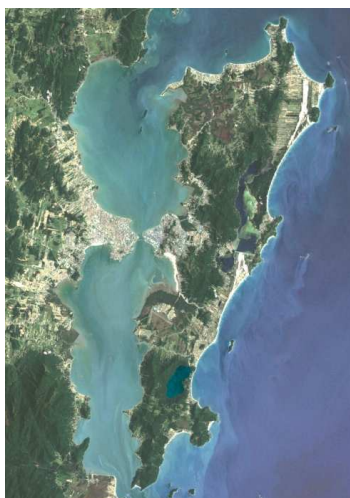


Figura 4.1: Mapa da ilha de Florianópolis [82].

O primeiro passo para garantir uma adequação do projecto ao clima existente, foi avaliar as principais **estratégias bioclimáticas** recomendadas pela carta de Givoni, referida no capítulo 3. Através dos dados de temperatura e humidade do ar do TRY, foi possível obter a mancha de pontos representativa do clima em questão. Para este estudo recorreu-se ao programa *Analisis Bio*, do Laboratório de Eficiência Energética em Edifícios da UFSC, que procede à localização da mancha de pontos na carta, produzindo de seguida um relatório de análise. Partindo dos dados climáticos do ano de referência, o programa determina as percentagens de conforto e desconforto sentidas ao longo do ano, propondo estratégias bioclimáticas adequadas para solucionar os problemas existentes.

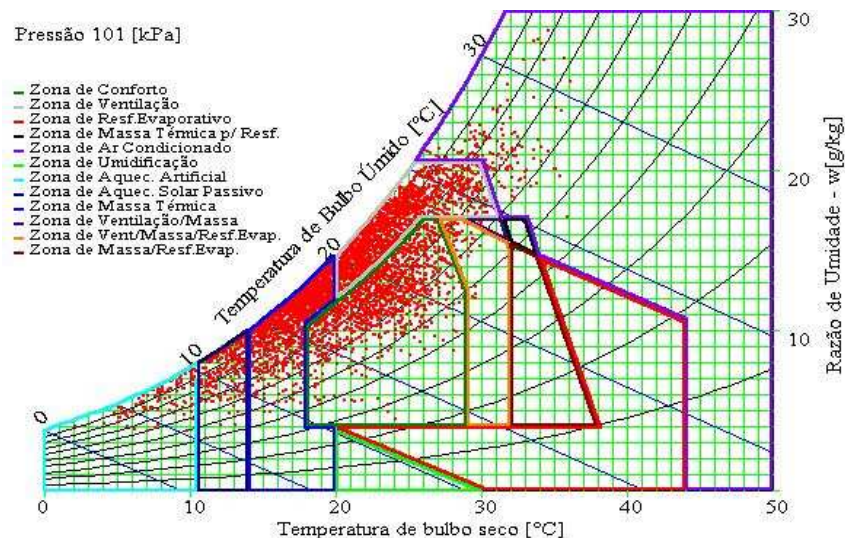


Figura 4.2: Análise sobre a carta de Givoni dos dados climáticos do TRY, recorrendo ao *Analisis Bio*. Os dados abrangeram 8760 horas de registos, correspondentes à totalidade do ano de referência [20].

#### ANO TODO

##### ANO: 63

- »Dia e Mes Inicial: 01/01
- »Dia e Mes Final: 31/12
- »Total de Horas: 8760
- »Pressão: 101.49 KPa

##### GERAL

- »Conforto: 21%
- »Desconforto: 78.9%
- Frio: 40.8%
- Calor: 38.2%

##### Calor

- »Ventilação: 36.4%
- »Massa p/ Resfr.: 0.936%
- »Resfr. Evap.: 0.89%
- »Ar Condicionado: 1.72%

##### Frio

- »Massa Térmica/Aquecimento Solar: 35.4%
- »Aquecimento Solar Passivo: 3.84%
- »Aquecimento Artificial: 1.53%
- »Umidificação: 0%

#### POR ZONAS

- »Ventilação: 35.5%
- »Ventilação/Massa: 0.0571%
- »Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 0.879%
- »Massa Térmica p/ Resfriamento: 0%
- »Massa/Resfriamento Evaporativo: 0%
- »Aquecimento Artificial: 1.53%
- »Conforto: 21%
- »Massa Térmica/Aquecimento Solar: 35.4%
- »Aquecimento Solar Passivo: 3.84%
- »Ar Condicionado: 1.72%
- »Resfriamento Evaporativo: 0.0114%

#### SOMBREAMENTO

- »Porcentagem: 56.7 %

Figura 4.3: Relatório do software *Analisis Bio*, contendo os resultados da análise e as estratégias a adoptar [20].

Através da observação dos dados fornecidos pelo programa, verificou-se que Florianópolis apenas apresenta condições de conforto térmico durante um reduzido período do ano (21%). Durante a restante parte, o desconforto provocado por frio ou calor, apresenta proporções equivalentes (40,8% para o frio e 38,2% para calor), o que demonstra a grande discrepância entre as épocas de Verão e Inverno. As principais estratégias a adoptar para proporcionar adequados níveis de conforto, são a ventilação no caso de excesso de calor e o recurso a elementos de elevada massa térmica, no caso da sensação de frio. Combinando de forma correcta estas duas soluções com aquecimento solar passivo, torna-se possível obter uma percentagem de conforto na ordem de 75% das horas anuais, sem recorrer a equipamentos eléctricos de climatização. Um outro aspecto de grande importância prende-se com o recurso a protecções solares, uma vez que a sombra produzida é necessária em mais de metade das horas anuais, de forma a garantir as referidas condições de conforto [20],[81].

Recolhidas as informações relativas às estratégias contidas na carta de Givoni, o estudo tomou uma nova direcção de forma a determinar as características reais do clima, e a sua adaptabilidade às soluções propostas. A título de exemplo, foi necessário realizar um estudo profundo do comportamento dos ventos de forma a projectar soluções de ventilação natural, ou estudar a irradiação solar existente de forma a maximizar os ganhos solares.

No que respeita a **temperatura**, a diferença entre a máxima e mínima é reduzida durante todo ano devido à proximidade do mar, sendo ainda mais diminuta no Verão, uma vez que a nebulosidade neste período é superior à verificada no Inverno. A temperatura média mensal é de 20°C nas zonas costeiras, verificando-se um valor um pouco superior, na ordem dos 22°C, nas zonas interiores.

O estudo da temperatura de Bulbo Seco para o TRY, apontou Fevereiro como o mês de maior temperatura média e menor desvio padrão (valores mais próximos do valor médio), apesar da temperatura máxima absoluta se ter verificado em Janeiro. Relativamente aos valores mínimos, o mês de menor temperatura média foi Julho e as temperaturas mínimas absolutas verificaram-se em Junho e Agosto. Em relação às amplitudes térmicas diárias, o mês de Setembro apresentou os menores valores enquanto que Maio registou os mais elevados [81].

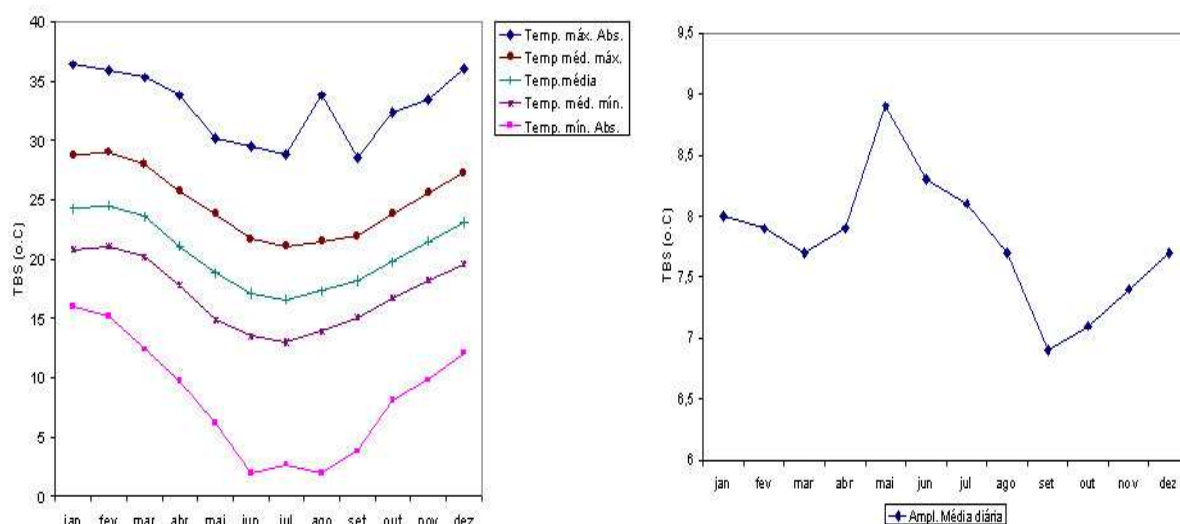


Figura 4.4: Gráficos relativos aos dados de temperatura do Ano Climático de Referência. À esquerda: Temperaturas de Bulbo Seco Mensais; à direita: Amplitudes Térmicas Diárias [81].

Denotar que uma vez que Florianópolis se encontra no hemisfério Sul, as estações do ano são alternadas com as de Portugal que se encontra no hemisfério Norte. Assim, Janeiro e Fevereiro correspondem ao Verão e Julho e Agosto a pleno Inverno, justificando os dados acima apresentados.

A direcção e intensidade dos ventos são factores de extrema importância no estudo climático da ilha, uma vez que esta se encontra exposta a diversas correntes marítimas e frentes frias polares. Em territórios costeiros durante o dia, o ar movimenta-se da massa de água para terra, uma vez que a terra aquece mais devido à radiação solar forçando o ar a subir e permitindo a entrada de ar fresco vindo do mar. No período nocturno verifica-se o contrário, uma vez que a água liberta o calor acumulado durante o dia aquecendo o ar ao seu redor, que ascende e permite a entrada de ar fresco vindo de terra. A movimentação do ar depende ainda de todos os factores referidos no subcapítulo 2.3.4 (Ventilação Natural), como rugosidade e densidade urbana.

Em Florianópolis a direcção predominante para os ventos é Norte em todos os meses do ano, seguindo-se Sul em todos os meses excepto Março, Julho e Dezembro, quando se fazem sentir ventos de Nordeste. Os meses onde se verifica a maior ausência de vento são Abril e Maio [81].

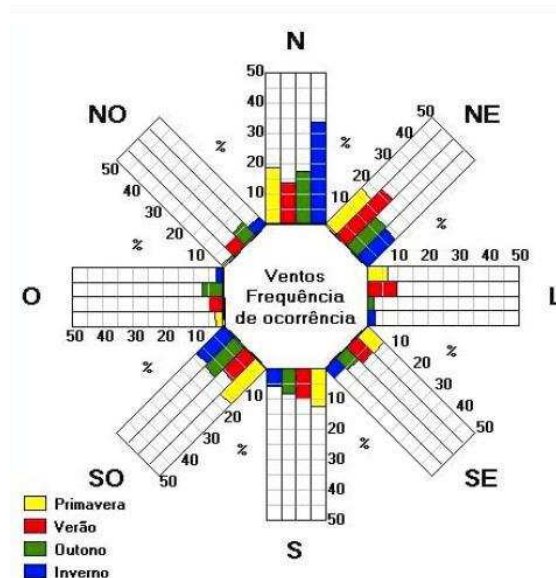


Figura 4.5: Rosa dos Ventos representando a frequência dos ventos segundo a direcção, para o TRY [20].

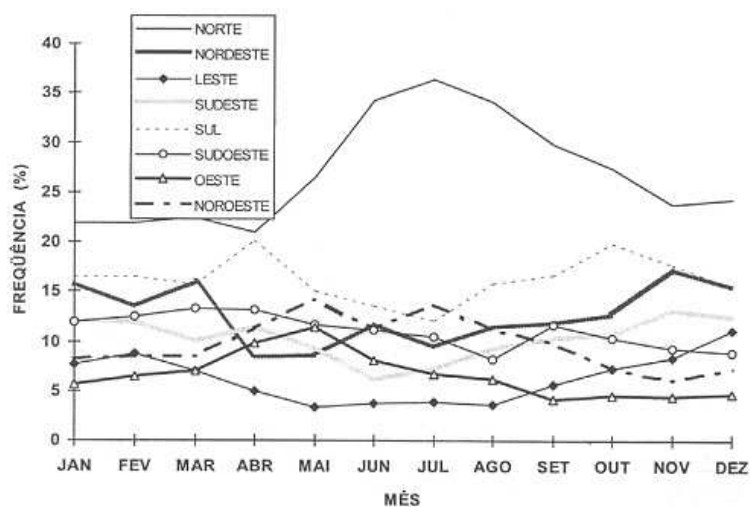


Figura 4.6: Gráfico da frequência mensal da direcção do vento para o TRY [81].

Por forma a complementar ainda mais a informação relativa aos ventos, registaram-se ainda as direcções predominantes para as brisas consoante a altura do dia.

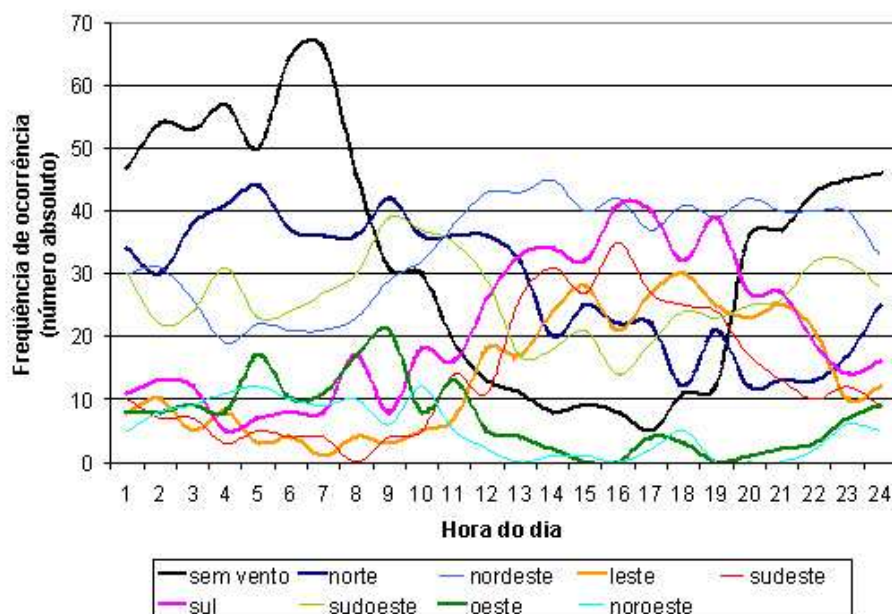


Figura 4.7: Frequência dos ventos segundo a direcção, para diferentes horas do dia. Dados relativos ao TRY [81].

Assim, concluiu-se que durante os períodos de noite e madrugada não existem brisas relevantes, devendo-se recorrer a processos de insuflamento de ar exterior para o ambiente interior, de modo a proporcionar conforto térmico. Durante a tarde, as brisas predominantes são da direcção Sul e uma vez que estas consistem em frentes frias, podem ser utilizadas no Verão para fins de arrefecimento e conforto térmico. No entanto, é preciso ter em atenção o facto que no Inverno estas correntes de ar são indesejadas e que a direcção Sul é a que apresenta as velocidades de vento máximas.

Outro factor climático a analisar é a **humidade relativa** do ar, de extrema importância na definição deste clima. Como se referiu anteriormente, uma das características climáticas de Florianópolis prende-se com a sua elevada humidade relativa, cuja média anual é de 82,7%. As médias mensais situam-se acima dos 80% durante todo o ano, originando um clima extremamente húmido responsável pela redução das amplitudes térmicas e diminuição do calor radiado da terra para a atmosfera.

O gráfico da página seguinte apresenta dados relativos à humidade média mensal para o ano climático de referência, apresentando ainda valores máximos e mínimos. Observa-se assim que o mês com maior humidade média relativa é Setembro, atingindo 85%, e que em todos os meses é atingida a humidade relativa máxima de 100%. Outro aspecto interessante advém da comparação entre este gráfico e o da figura 4.4, relativo às amplitudes térmicas: sendo Setembro o mês de maior humidade relativa média é o que apresenta menor amplitude térmica, comprovando novamente a relação entre estas variáveis [81].

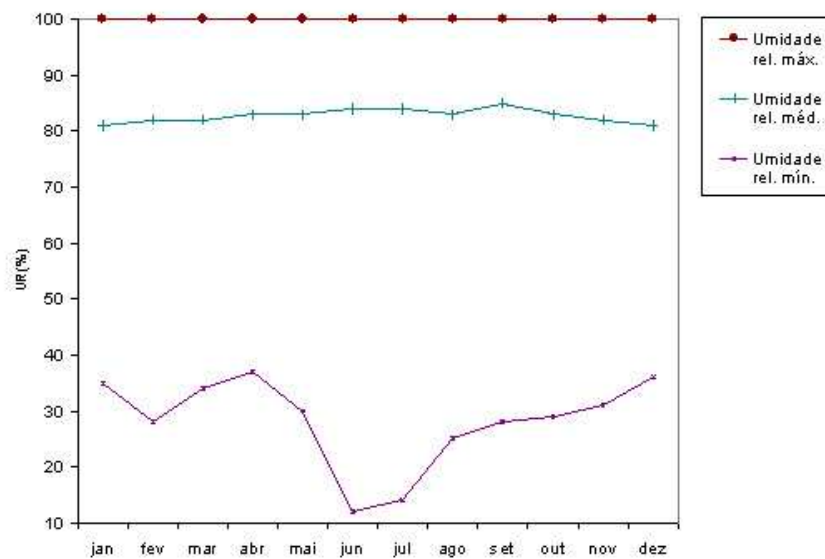


Figura 4.8: Humidade relativa mensal, em percentagem, para o TRY de Florianópolis [81].

Por último surge um factor constante na ilha: a **precipitação**. A existência de várias lagoas de grande superfície contribui para o fenómeno contínuo da evaporação, que aliado a diversos factores físico-químicos responsáveis pela condensação, originam chuvas constantes distribuídas ao longo de todo o ano. Devido a esta particularidade, torna-se praticamente impossível determinar os períodos de pluviosidade máxima e mínima. As chuvas de Verão são geralmente diárias e de curta duração enquanto que as de Inverno são contínuas podendo arrastar-se por dois ou mais dias. Nos períodos frios, a pluviosidade está directamente associada à entrada de frentes frias de ventos polares, as quais podem atingir o território a qualquer altura do ano provocando mudanças bruscas no clima. Os registos das estações meteorológicas permitiram estimar a precipitação anual da ilha em 1600 mm no Norte, e 1400 mm no Sul do território, prevendo-se 140 dias com ocorrência de chuvas [20],[81].

Pretendeu-se demonstrar desta forma, a importância que deve ser dada às características do local de implantação da obra. O estudo das variáveis apresentadas revela-se crucial na escolha de soluções a implementar, que demonstram ser vantajosas durante o período de vida da edificação, garantindo condições gerais de conforto e economia. De referir ainda, o facto que um estudo ambiental na fase de projecto apresenta custos reduzidos, podendo proporcionar poupanças consideráveis, ao evitar futuras alterações ao edifício já construído.

#### 4.1.3. CARACTERÍSTICAS DO PROJECTO: ESTRATÉGIAS ADOPTADAS

A Casa Eficiente é uma moradia unifamiliar com uma área útil de aproximadamente 206 m<sup>2</sup>, composta por dois quartos, uma sala de estar e jantar, uma cozinha, uma área de serviço coberta, uma casa de banho e uma zona de recepção. Antes de se proceder à apresentação das diversas técnicas adoptadas, refere-se novamente o facto de Florianópolis se encontrar no hemisfério Sul, o que inverte as considerações Europeias relativamente às orientações de maior incidência solar; para o hemisfério Norte os maiores ganhos solares verificam-se a Sul, enquanto que no hemisfério Sul os maiores ganhos solares verificam-se para a direcção Norte.

A disposição dos diferentes compartimentos teve em conta diversos critérios, nomeadamente o tempo de permanência dos ocupantes, o tipo de utilização e os aspectos bioclimáticos. Assim, cada divisão e a sua interligação com as restantes foi cuidadosamente estudada, apresentando as seguintes características [81],[83]:

- **Sala** – é o elemento central de ligação entre compartimentos e um dos que possui maior tempo de permanência. As suas aberturas encontram-se orientadas a Norte de modo a maximizar os ganhos solares, existindo também aberturas viradas a Sul de forma a promover o efeito de ventilação cruzada. Atendendo às elevadas velocidades dos ventos vindos de Sul, foram introduzidos dispositivos de redução da velocidade do vento;



Figura 4.9: Pormenor da execução de uma parede externa de alvenaria vazada. Esta parede situada na fachada Sul, actua como mecanismo de redução da velocidade do vento [81].

- **Quartos** – à semelhança da sala, são compartimentos com elevado tempo de ocupação, nomeadamente em período nocturno. As suas aberturas foram orientadas para Norte e Leste maximizando os ganhos solares e as aberturas de ventilação foram posicionadas em fachadas opostas, de modo a permitirem ventilação cruzada;
- **Cozinha** – é uma divisão de permanência temporária, aconselhando-se o seu posicionamento na fachada Oeste. Actua como um elemento de isolamento dos restantes compartimentos, tendo sido utilizado isolamento térmico nas fachadas;
- **Casa de Banho** – Actua como a cozinha, isolando os outros compartimentos da radiação solar de Oeste. Adoptaram-se materiais isolantes na fachada;
- **Área de Serviço** – Comunica com a cozinha e tem a mesma função isolante e localização oeste, que a cozinha e a casa de banho.

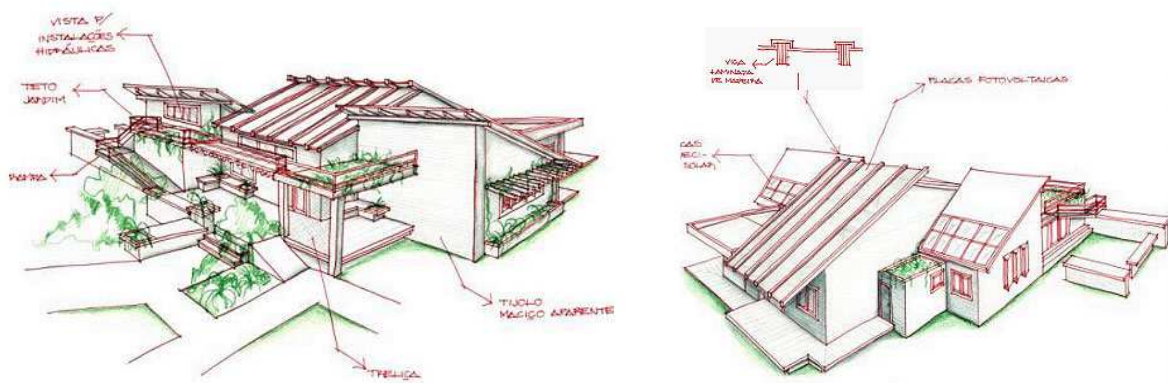


Figura 4.10: Esboços iniciais do projecto da Casa Eficiente [81].

Entre as técnicas construtivas adoptadas na edificação, contabilizam-se várias das anteriormente mencionadas. Algumas das soluções e estratégias utilizadas, apresentam-se de seguida:

- **Redução do impacto ambiental** – a procura por sustentabilidade e integração com a natureza levou a que fossem introduzidas no projecto, medidas que visassem a preservação ambiental. Assim, na escolha dos materiais foi dada prioridade aos materiais locais, de baixo impacto ambiental e provenientes de reaproveitamento ou reciclagem. Desta forma, reduziram-se os custos relativos ao transporte, ao mesmo tempo que se estimulou a economia local. Adoptaram-se telhas e tijolos cerâmicos maciços, bem como madeira laminada de pinus e eucalipto, todos eles materiais abundantes na região. Utilizaram-se ainda resíduos provenientes do pavimento pré-existente no local de implantação, para produzir o betão utilizado nas rampas de acesso. A flora circundante foi criteriosamente escolhida, privilegiando espécies nativas e em vias de extinção, bem como árvores frutíferas que contribuíram para a criação de um microclima local. Outras medidas de minimização de danos ambientais, incluem o recurso a técnicas de climatização naturais, mecanismos de gestão de água e instalação de um fogão a lenha que contribui para aquecer o ambiente interior no Inverno.



Figura 4.11: Pormenores da edificação: à esquerda: o fogão a lenha; à direita: escada de caracol em madeira de pinus [81].

- **Protecções solares** – posicionadas de acordo com os dados recolhidos do estudo de insolação. Todas as aberturas e protecções adoptadas foram dimensionadas recorrendo a máscaras de sombra, permitindo obter a melhor conjugação entre iluminação natural e impedimento de ganhos térmicos indesejáveis. As soluções incluíram palas e persianas exteriores em PVC.



Figura 4.12: Pormenores de protecções solares horizontais e verticais [84].

- **Orientação solar** – adoptou-se o eixo Norte-Sul para a orientação da edificação. Os compartimentos de maior tempo de permanência apresentam aberturas localizadas na fachada Sul, por forma a maximizar os ganhos solares de Inverno e a iluminação natural. Os equipamentos de aproveitamento solar activo foram instalados na cobertura orientada a Norte, maximizando a radiação captada e a eficiência do seu funcionamento;



Figura 4.13: Fachada Norte da Casa Eficiente [84].

- **Inércia térmica e isolamento térmico** – o uso destas duas estratégias em simultâneo é quase obrigatório, uma vez que se complementam. A sua acção na Casa Eficiente permite reduzir os ganhos térmicos em períodos quentes, atrasando a onda de calor, e diminuir as perdas caloríficas em períodos frios. Todas as paredes do edifício são duplas, apresentam uma espessura de 25 cm e são constituídas por tijolo cerâmico maciço e uma camada interna de manta de lã de rocha. Para conferir ainda melhor isolamento, foram instaladas janelas de vidro duplo, providas de persianas exteriores de PVC que actuam como protecção solar e permitem ventilação nocturna. Sendo a cobertura um elemento de extrema importância no que respeita os ganhos térmicos, uma vez que está completamente exposto à radiação, foi-lhe dada especial atenção. Optou-se por duas soluções distintas: nas zonas inclinadas aplicou-se duas camadas de isolamento, uma em manta de lã de rocha e outra reflexiva, cobertas com telhas cerâmicas; nas coberturas planas adoptaram-se telhados-jardins. Esta última solução, além de se apresentar como uma mais valia estética ao integrar a natureza no projecto, é um excelente isolante térmico e actua como bacia de retenção em caso de chuvas fortes, absorvendo as chuvas iniciais e provocando um atraso entre o tempo de início da chuva e o momento em que as águas atingem os sistemas de drenagem.



Figura 4.14: Da esquerda para a direita: pormenor da constituição de uma parede; pormenor da constituição da cobertura; esquema da localização do telhado-jardim [84],[81].

- **Ventilação natural** – atendendo à importância desta estratégia em climas tropicais onde se atingem temperaturas e humidades relativas elevadas, procurou-se maximizar a ventilação cruzada em todos os compartimentos. Em habitações comuns esta estratégia torna-se impossível de introduzir em todas as divisões, devido à disposição das mesmas, que não permite localizar aberturas em fachadas opostas. No entanto, este projecto atentou nesta situação, procedendo à movimentação relativa de compartimentos, de forma a todos possuírem no mínimo duas aberturas opostas, dimensionadas de forma a aproveitarem os ventos dominantes de Norte e Nordeste.

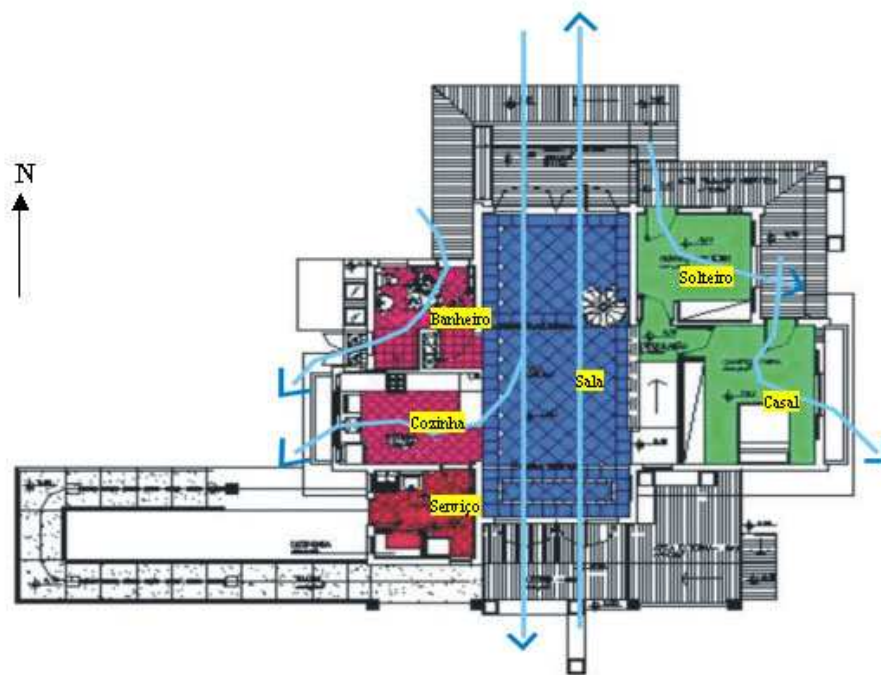


Figura 4.15: Planta do piso térreo evidenciando a estratégia de ventilação natural [81].

Para fazer face ao desconforto térmico sentido nos quartos, durante o período noturno de Verão, adoptaram-se equipamentos mecânicos de adução de ar nocturno exterior. Desta forma o ar fresco exterior é introduzido no quarto, promovendo arrefecimento e melhoria do conforto térmico.



Figura 4.16: Pormenor do equipamento de adução de ar nocturno exterior para arrefecimento dos quartos [84].

- **Sistema de aquecimento interior** – no que respeita o aquecimento dos quartos, adoptou-se uma estratégia alternativa baseada nos fenómenos de radiação e convecção. O sistema é composto por tubos de cobre localizados no rodapé, onde a circulação de água quente é responsável pela transmissão de energia calorífica para o ambiente, por convecção e radiação. A água é aquecida recorrendo ao sistema solar térmico, instalado na cobertura do quarto de casal e a sua circulação proporcionada por uma bomba de funcionamento automático. Os sensores de temperatura existentes nos quartos actuam como mecanismo de accionamento da bomba, uma vez que um registo de temperatura inferior a 18°C (temperatura mínima de conforto segundo Givoni) provoca a sua activação. A introdução desta estratégia permitiu minimizar os gastos energéticos associados aos equipamentos eléctricos de climatização comuns, bem como as suas emissões de CO<sub>2</sub>. Outro aspecto positivo é o reduzido consumo de água que necessita, uma vez que é um sistema fechado e que os gastos decorrem apenas de pontuais descargas para limpeza, realizadas através de uma válvula existente na parede exterior do quarto de casal. Sendo uma tecnologia pouco utilizada, a sua incorporação no projecto visou também a divulgação da estratégia e a monitorização da sua eficiência.



Figura 4.17: Pormenor do tubo de cobre do sistema de aquecimento dos quartos [84].

- **Sistemas de aproveitamento solar activo** – mantendo o carácter sustentável do empreendimento, introduziram-se sistemas de aproveitamento de energias renováveis, nomeadamente a energia solar. A Casa Eficiente conta com equipamentos de aproveitamento solar activo, possibilitando a conversão da radiação solar em energia solar fotovoltaica e energia solar térmica. Ambas as instalações se encontram na fachada orientada a Norte de forma a maximizar os ganhos solares, apresentando a inclinação óptima para o seu funcionamento. O sistema fotovoltaico encontra-se ligado à rede e é constituído por 40 módulos de silício cristalino de 50W, o que lhe confere uma potência instalada de 2,0 kWp e uma eficácia estimada de 14%. Os módulos utilizados no projecto foram produzidos pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS), promovendo o desenvolvimento tecnológico nacional e incentivando projectos de pesquisa, uma vez que os módulos tradicionalmente utilizados eram importados. Relativamente ao sistema de aproveitamento solar térmico, os colectores foram instalados em dois conjuntos separados de 1,4m<sup>2</sup> cada.

Um dos sistemas é responsável pelo aquecimento da água utilizada no sistema de aquecimento dos quartos, enquanto que o outro satisfaz as restantes necessidades de água quente.



Figura 4.18: Pormenor da instalação do sistema fotovoltaico (esquerda) e do sistema solar térmico (direita) [84].

- **Gestão racional da água** – sendo a preservação deste recurso natural uma questão de extrema importância, adoptaram-se várias medidas de minimização de desperdício e consumo. Entre elas encontram-se o aproveitamento de águas pluviais, a reutilização de águas cinzas e a instalação de equipamentos de baixo consumo de água, que serão abordados de seguida. De forma a gerir eficientemente o sistema hidráulico, existem três reservatórios localizados no piso superior, cada um com uma função específica: um destina-se à água potável da rede pública, outro às águas pluviais e o último aos efluentes tratados provenientes de águas cinzas.

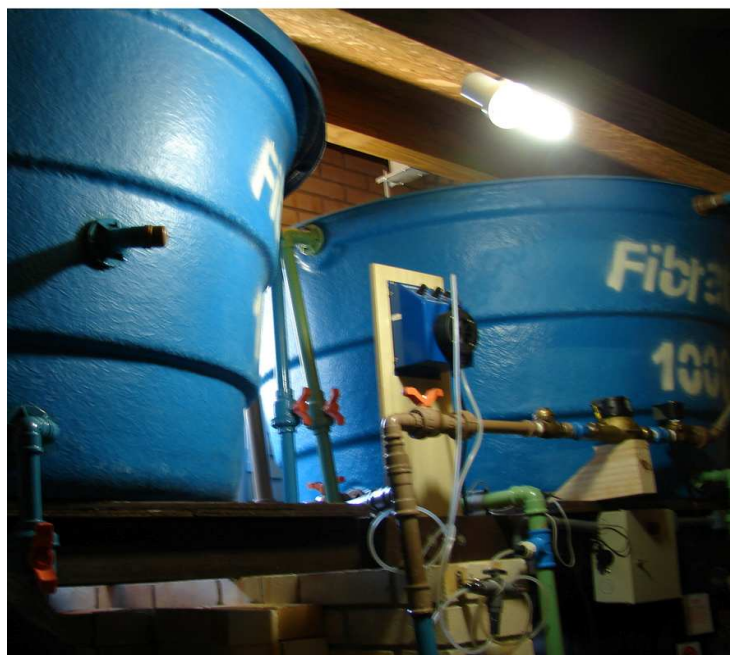


Figura 4.19: Tanques de armazenamento de água localizados no piso superior [84].

- **Aproveitamento de águas pluviais** – o sistema instalado no edifício é composto por elementos de captação de água, mecanismos de filtração de sólidos, dispositivos de descarga de primeira chuva e reservatórios de armazenamento. A captação realiza-se através de calhas e colectores em alumínio anodizado branco, de orientação vertical e horizontal.



*Figura 4.20: Pormenor das calhas de captação [84].*

Após a captação a água é encaminhada para o dispositivo de descarga de primeiras chuvas. Recomenda-se o descarte destas águas pois contêm elevado teor de poluentes atmosféricos, como é o caso de dióxido de enxofre e óxido de nitrogénio, ao mesmo tempo que transportam as poeiras acumuladas nas calhas de captação.



*Figura 4.21: Pormenores do sistema de descarga de água de primeiras chuvas [84].*

A fase seguinte consiste na chegada da água à cisterna de armazenamento, onde antes de entrar, é sujeita a um processo de eliminação de resíduos sólidos, como folhas ou ramos. Após esta filtração a água é armazenada na cisterna, sendo posteriormente bombeada para o reservatório superior, por meio de uma bomba accionada automaticamente através de bóias controladoras de nível.

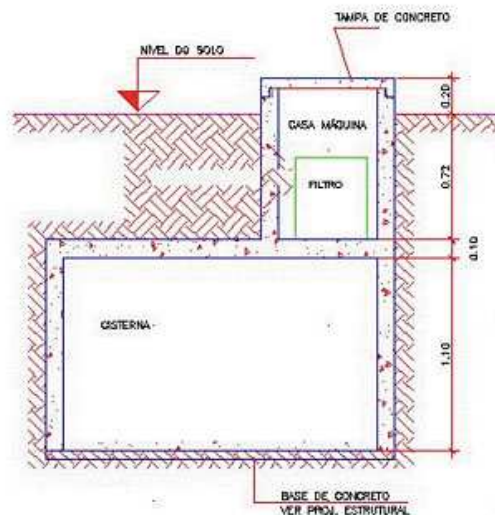


Figura 4.22: Cisterna de armazenamento, vista em corte [81].

A água armazenada no reservatório é utilizada apenas para fins não-potáveis, de forma a preservar as condições de higiene e saúde. As principais utilizações são descargas sanitárias, abastecimento da máquina de lavar roupa e usos externos como irrigação e lavagem de superfícies. O sistema prevê ainda situações limite, contemplando um mecanismo de descarga de água a utilizar quando o reservatório ultrapassar a capacidade máxima, e outro que fornece água potável ao reservatório quando a cisterna não apresentar capacidade suficiente.

- **Reutilização de águas cinzas** – o sistema de águas residuais do edifício foi concebido tendo em consideração a separação de águas negras e águas cinzas. Desta forma, torna-se possível evitar o contacto entre os dois tipos de água, adoptando tratamentos específicos e utilizações finais diversas. As águas provenientes da sanita e do lavatório da cozinha são encaminhadas para uma fossa séptica, onde ocorre sedimentação e digestão anaeróbia de matéria orgânica, passando posteriormente para um tanque de tratamento de dimensões 2,00m x 3,20m. As restantes águas destinam-se a um outro tanque com 2,00m por 4,20m, que possui um separador de sólidos. Apenas as águas cinzas serão reaproveitadas, mas o tratamento de ambos os tipos de efluentes permite reduzir a sobrecarga do sistema público de águas residuais e reduzir a contaminação de águas superficiais e subterrâneas. Os tanques utilizados são construídos em betão impermeabilizado, de modo a evitar infiltrações, e são constituídos por leitos cultivados de plantas. As espécies utilizadas são parte integrante do ecossistema local, permitindo reproduzir sistemas biológicos naturais de tratamento, que não necessitam de energia eléctrica, produtos químicos ou equipamentos e que não produzem odores desagradáveis. O princípio de funcionamento destes tanques baseia-se no contacto da água residual com as raízes das plantas, que a oxigenam e permitem o desenvolvimento de bactérias responsáveis pela fixação de nutrientes, o que origina uma redução dos contaminantes presentes na água.

Um dos tanques utilizados apresenta um leito constituído por camadas de casca de ostra, saibro, areia e casca de arroz, tendo sido plantada uma espécie nativa de junco.

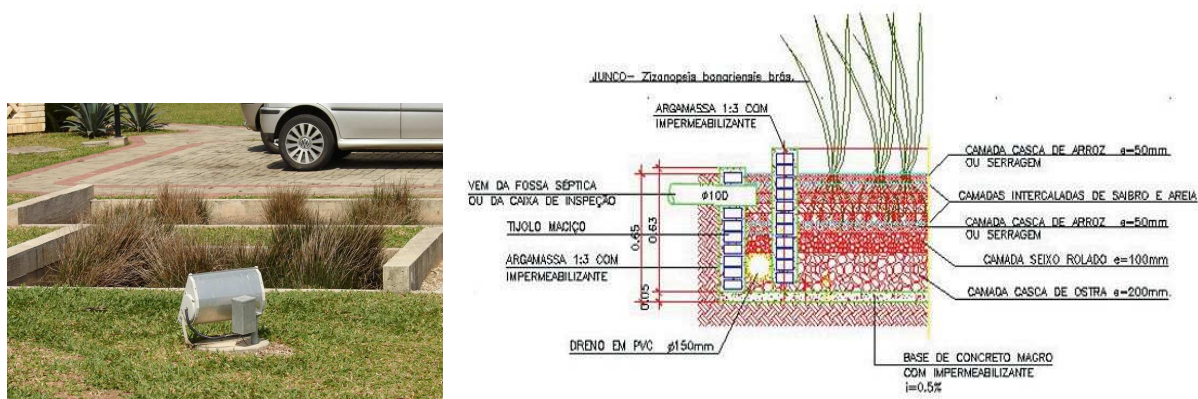


Figura 4.23: Pormenor e esquema representativo do tanque de raízes [81].

Após a passagem pelos tanques, as águas negras são eliminadas pela rede pública de drenagem de águas residuais, enquanto que as águas cinzas são armazenadas num reservatório próprio situado no piso superior. A água do reservatório é posteriormente utilizada na irrigação do jardim envolvente à casa, recorrendo a uma torneira exterior.

- **Equipamentos energeticamente eficientes e de baixo consumo** – de forma a complementar as estratégias adoptadas, todos os equipamentos presentes na Casa Eficiente apresentam elevada eficiência energética e características economizadoras. Os electrodomésticos apresentam classificações energéticas A ou B e todos os componentes relacionados com a utilização de água permitem reduzir o seu desperdício.
- **Acessibilidade dos componentes do sistema hidráulico** – um problema recorrente em edifícios comuns prende-se com as obras necessárias para realizar operações de manutenção, renovação ou alteração dos sistemas hidráulicos existentes. Em vários casos é preciso realizar aberturas em paredes construídas, o que provoca gastos consideráveis e situações incomodativas. Neste projecto, além de se agruparem todas as instalações hidráulicas, recorreu-se a soluções designadas por instalações aparentes, de fácil acesso. Esta estratégia, permite uma maior facilidade em todas as operações que envolvam o sistema, ao mesmo tempo que possibilita a observação das instalações por parte dos visitantes.
- **Monitorização contínua de dados** - como referido anteriormente, uma das vertentes do projecto está relacionada com a divulgação de informação relativa às estratégias adoptadas, conferindo-lhe um carácter científico, informativo e educativo. Os dados recolhidos no edifício são utilizados pelos profissionais envolvidos, em pesquisas na área da Engenharia Civil, sendo também divulgados ao público geral através do website do projecto. A informação termo-energética da edificação é recolhida diariamente através de um sistema de monitorização, constituído por sensores distribuídos pelos compartimentos, um quadro de circuitos eléctricos e um computador onde são armazenados os registos. Os sensores registam a temperatura e humidade relativa dos ambientes, enquanto o quadro eléctrico permite registar os valores de potências instantâneas consumidas pelos equipamentos e produzidas pelo sistema fotovoltaico.

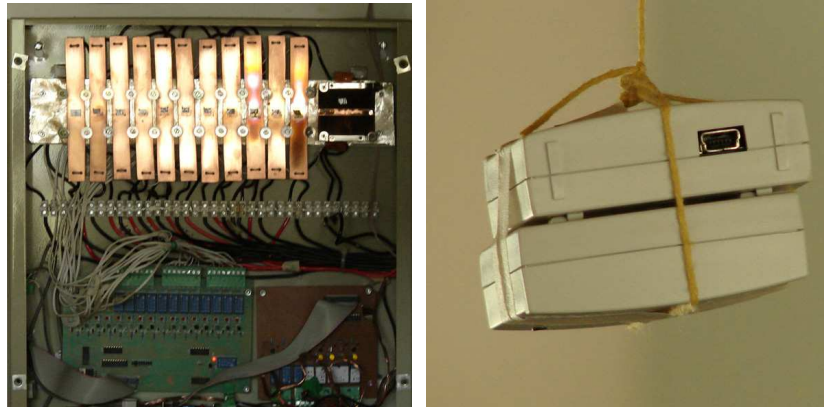


Figura 4.24: Quadro eléctrico de circuitos e exemplo de sensores de medição [84].

- **Acessibilidade do edifício** – por último, foi dada especial atenção à fluidez da movimentação dentro do edifício, bem como à possibilidade de acesso a pessoas com necessidades especiais. Para tal, foram criadas rampas interiores de acesso aos compartimentos e uma rampa exterior que permite aceder ao segundo piso e ao terraço. Os ambientes interiores são amplos, apresentando mais do que um acesso e as bancadas e peitoris foram dimensionados segundo a norma de acessibilidade.



Figura 4.25: Aspectos adicionais da Casa Eficiente: a fachada Sul e a rampa exterior (em cima) e o quarto de casal e a sala principal (em baixo) [84].

## 4.1.4: ANÁLISE ENERGÉTICA E COMPARAÇÃO COM EDIFÍCIOS PADRÃO

Uma vez que a Casa Eficiente é em parte, um centro de pesquisa e investigação de novas tecnologias no campo da sustentabilidade e conforto ambiental, foi realizada uma avaliação energética do edifício com o intuito de avaliar o desempenho e eficiência das várias estratégias adoptadas. Procurou-se quantificar os benefícios provenientes de cada técnica utilizada na casa, bem como aqueles resultantes de hábitos correctos de utilização do edifício e da escolha de equipamentos energeticamente eficientes.

A análise foi efectuada por meio de simulações termo-energéticas, recorrendo ao software EnergyPlus, desenvolvido nos Estados Unidos pelo DOE (Department of Energy) e que permite simular diferentes cargas térmicas de edificações, utilizando modelos virtuais das mesmas. Avaliaram-se estratégias como ventilação natural, protecções solares, utilização de vidros duplos, isolamento térmico de paredes e coberturas e utilização de telhado jardim, tendo em conta os dados bioclimáticos do TRY para Florianópolis. A vantagem deste programa é permitir a criação de diferentes modelos para um mesmo edifício, cujas diferenças recaem em aspectos como elementos construtivos, carga eléctrica, climatização e tipo de utilização. A combinação de todos estes factores tornou possível estimar o consumo energético da Casa Eficiente segundo diferentes configurações e utilizações-tipo.

O estudo levado a cabo considerou um modelo base, representativo da construção comum segundo os padrões de Florianópolis, que serviu de ponto de comparação a outros 9 modelos. A metodologia do estudo consistiu em analisar o modelo padrão, ao qual se foram sucessivamente adicionando estratégias e técnicas utilizadas na Casa Eficiente, até que o modelo 10, o último ensaiado, fosse uma representação idêntica do projecto. Os 10 casos de estudo e suas respectivas características apresentam-se na figura seguinte:

| Alternativas simuladas                                        | Definição/ Tecnologias incorporadas ao projeto                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MODELO 1 - Caso Base                                          | Padrões construtivos comumente empregados.                                                                                     |
| MODELO 2 - MODELO 1 + Equipamentos Eficientes                 | Uso de equipamentos eficientes (lâmpadas e eletrodomésticos).                                                                  |
| MODELO 3 - MODELO 2 + Família Eficiente                       | Uso de equipamentos eficientes associado à redução no período de uso da iluminação artificial.                                 |
| MODELO 4 - MODELO 3 + Cobertura com isolamento térmico        | Uso de câmara de ar, isolamento refletivo de alumínio, manta de lã de rocha e forro de madeira junto com telha de barro.       |
| MODELO 5 - MODELO 3 + Paredes duplas com isolamento térmico   | Uso de paredes duplas de tijolo maciço com manta isolante de lã de rocha.                                                      |
| MODELO 6 - MODELO 3 + Parede dupla e cobertura com isolamento | Emprego conjunto da cobertura com isolamento (MODELO 4) e paredes duplas (MODELO 5).                                           |
| MODELO 7 - MODELO 3 + Aberturas com protetores solares        | Inserção de protetores solares horizontais e venezianas nas aberturas.                                                         |
| MODELO 8 - MODELO 3 + Vidros duplos                           | Emprego de vidros duplos nas aberturas.                                                                                        |
| MODELO 9 - MODELO 3 + Condicionamento alternativo (passivo)   | Adoção da ventilação natural, inclusive no período noturno (quartos), em substituição aos condicionadores de ar tipo "janela". |
| MODELO 10 - MODELOS 6 + 7 + 8 + 9 (Casa Eficiente)            | Proposta equivalente ao projeto real, com a incorporação das tecnologias empregadas nos modelos 6, 7, 8 e 9.                   |

Figura 4.26: Descrição das características presentes em cada modelo ensaiado [85].

Na análise dos casos de estudo considerou-se uma família de 4 pessoas para a qual se estimaram dois factores importantes para as simulações: os seus **hábitos de utilização** e o **tempo de permanência em cada compartimento**. Assim, nos modelos 1 e 2 simulou-se uma família com hábitos errados no que respeita a economia energética, enquanto que nos restantes modelos a família virtual apresentava hábitos conscientes de utilização, maximizando por exemplo, o efeito da iluminação e ventilação natural. Os períodos de ocupação dos diferentes compartimentos foram considerados constantes em todas as simulações, apresentando-se no esquema seguinte:

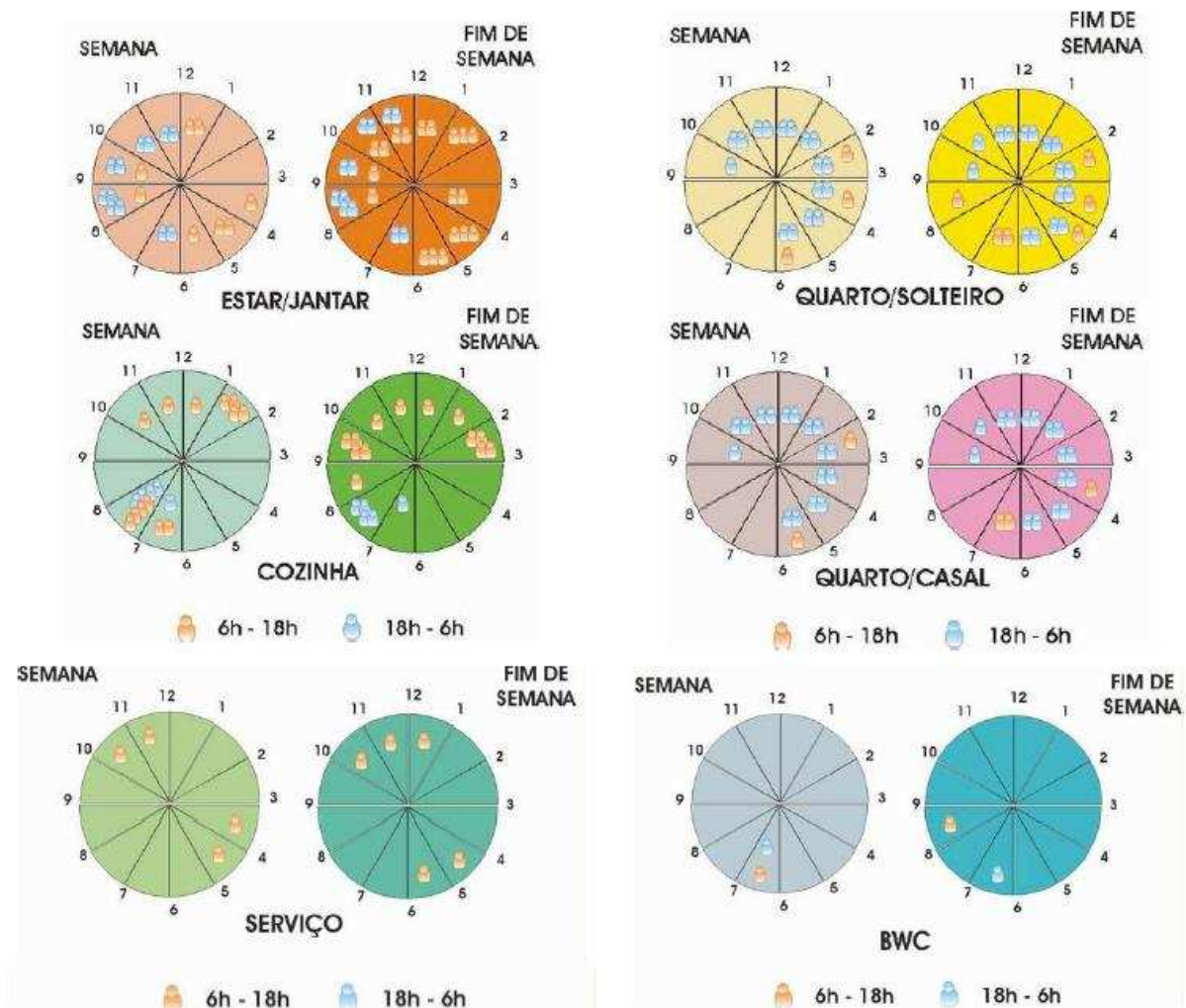


Figura 4.27: Períodos de ocupação dos compartimentos considerados em todos os modelos. Cada figura vermelha ou azul representa um ocupante, sendo que a cor vermelha indica o período diurno (entre as 6h e as 18h) e a cor azul o período noturno (entre as 18h e as 6h [85]).

A representação computacional da Casa Eficiente considerou uma planta comum a todas as simulações, cuja área interna somava 117,7 m<sup>2</sup>. Este valor resulta da incorporação da área da “mezzanine” na área da sala e da não consideração da área dos decks do pavimento térreo. O modelo virtual da edificação era composto por 6 ambientes interiores (wc, cozinha, serviços, quarto de solteiro e casal e sala de estar), cada um dos quais representando uma zona térmica independente.

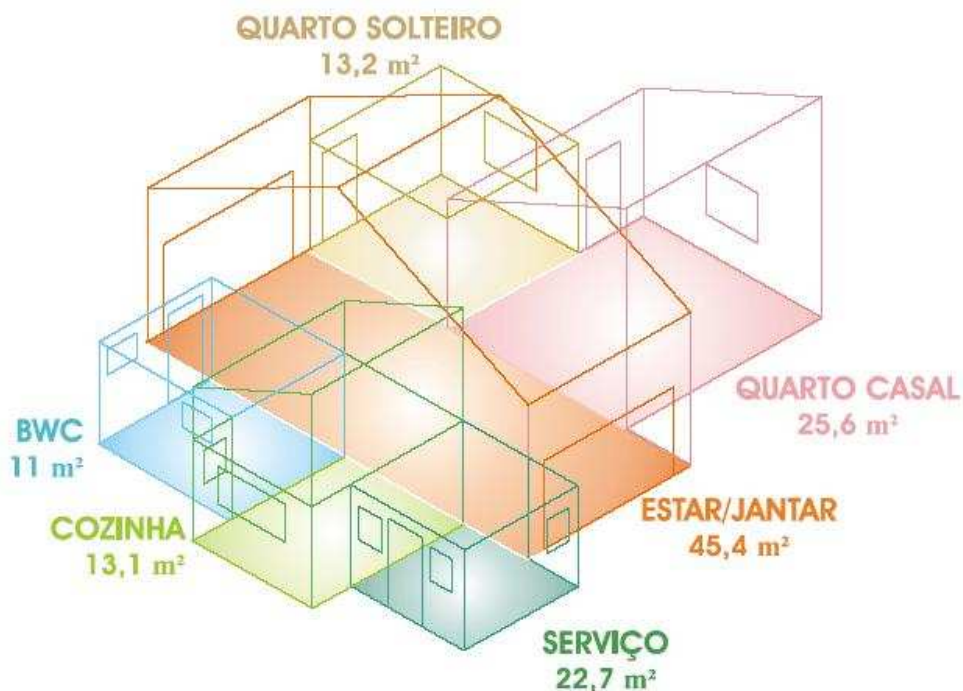


Figura 4.28: Modelo virtual da Casa Eficiente utilizado no programa EnergyPlus [85].

De forma a permitir uma melhor compreensão de cada modelo ensaiado bem como dos benefícios resultantes de cada solução incorporada, apresenta-se de seguida uma breve descrição de cada um, bem como alguns dados complementares [85],[83]. Denotar que o termo “transmitância” expresso por “U” corresponde, no modelo europeu, ao coeficiente de transmissão térmica (K).

- **MODELO 1** ( modelo base) – Este caso representa um projecto inadequado às condições climáticas locais donde resultam elevados gastos energéticos para climatização. Uma vez que todos os restantes modelos são “upgrades” deste, a sua descrição será mais extensa. As principais características deste modelo são cobertura em fibrocimento, não utilização de isolamento térmico e utilização de vidros simples (espessura = 3mm), associados a hábitos de utilização erróneos e equipamentos não eficientes.

#### Cobertura:

Telha de fibrocimento com forro de madeira



#### Paredes externas:

Tijolo maciço (espessura = 10 m)



Figura 4.29: Elementos construtivos do modelo base [85].

No que respeita a carga interna da edificação, deve ser considerada a potência da iluminação interior e dos equipamentos eléctricos e o calor gerado pelos utilizadores e respectivas actividades.

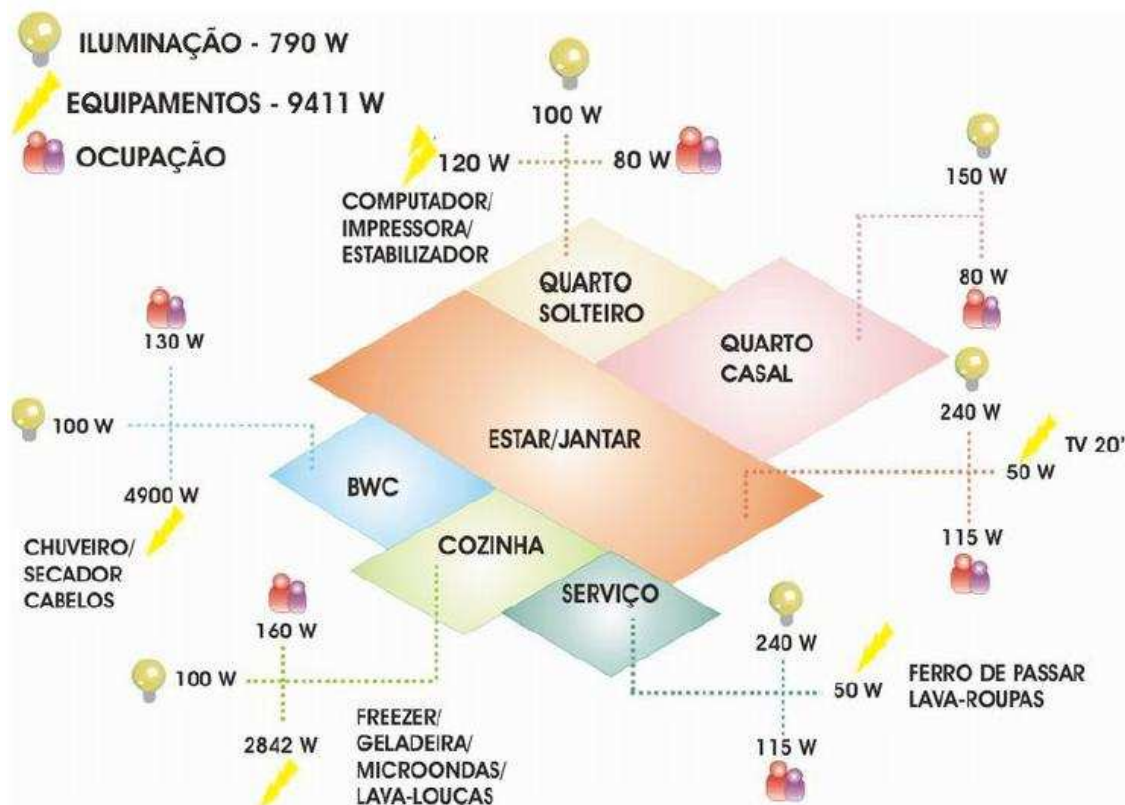


Figura 4.30: Carga interna do edifício por zona térmica no caso base [85].

| Aparelhos Elétricos                   | Potência Média (W) | Dias estimados Uso/Mês | Média de Utilização (h/dia) | Consumo Médio Mensal (kWh) |
|---------------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Lavadora de Roupas                    | 500                | 12                     | 1,00                        | 6,0                        |
| Lavadora de Louças                    | 1500               | 30                     | 0,67                        | 30,2                       |
| Ferro Elétrico Automático             | 1000               | 12                     | 1,00                        | 12,0                       |
| Computador/ Impressora/ Estabilizador | 120                | 30                     | 3,00                        | 10,8                       |
| Forno Microondas                      | 1200               | 30                     | 0,33                        | 12,0                       |
| Secador de Cabelo                     | 1400               | 30                     | 0,17                        | 11,9                       |
| Tv Em Cores - 20"                     | 50                 | 30                     | 5                           | 7,5                        |
| Chuveiro Elétrico                     | 3500               | 30                     | 0,67                        | 70,4                       |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>9270</b>        | <b>-</b>               | <b>-</b>                    | <b>159,8</b>               |

Figura 4.31: Electrodomésticos considerados no caso base [85].

Outro aspecto cuja definição é crucial para se proceder a uma estimativa de consumo e eficiência energética, prende-se com os aspectos de climatização. Assim, torna-se importante descrever quais os critérios de utilização da ventilação natural ou artificial para os diferentes compartimentos e períodos do ano. Neste caso, recorreu-se a equipamentos eléctricos de eficiência D nos compartimentos principais, conjugados com a abertura de janelas ao longo de todo o ano. Nos quartos, considerou-se climatização artificial entre as 21h e as 7h e ventilação natural por abertura de janelas entre as 8h e as 20h. Na sala, o equipamento era accionado entre as 14h e as 21h e no intervalo entre a 1h e as 7h recorria-se à ventilação natural. Nos restantes compartimentos adoptou-se ventilação natural por abertura de janelas durante as 24h. Nos períodos de utilização de equipamentos, considerou-se a infiltração de ar através de frestas, contabilizada através de renovações horárias de 0,4 para a sala e quarto de solteiro e de 0,3 para o quarto de casal. Os critérios para accionamento dos equipamentos de ventilação artificial foram temperaturas superiores a 24°C em meses de Verão e inferiores a 18°C em meses de Inverno. No que respeita a ventilação natural, estimaram-se as taxas de renovação de ar para cada ambiente considerando a velocidade do ar exterior corrigida para o entorno do edifício, a área de aberturas e o volume do compartimento. Considerou-se uma velocidade de vento incidente de 6,7 m/s, com direcção Norte para todas as aberturas à excepção da de serviço onde era Oeste. As características do sistema de climatização artificial e o esquema de ventilação natural eram as seguintes:

| Ambiente           | Vazão de ar (m³/h) | Capacidade Nominal (Btu/h) | Potência Ventilador (kW) | Capacidade Resfriamento (kW) | Eficiência (Wtérmico/Welétrico) | Categoria (INMETRO) |
|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Sala               | 1512               | 30.000                     | 0,36                     | 8,80                         | 2,30                            | D                   |
| Quarto de casal    | 612                | 12.000                     | 0,15                     | 3,52                         | 2,36                            | D                   |
| Quarto de solteiro | 504                | 10.000                     | 0,12                     | 2,93                         | 2,32                            | D                   |
| <b>TOTAL</b>       | <b>2628</b>        | <b>52.000</b>              | <b>0,63</b>              | <b>15,25</b>                 | -                               | -                   |

Figura 4.32: Características do sistema de climatização artificial do caso base [85].

| Ambiente          | Área de abertura (m²) |       | Velocidade (m/s) (corrigida) | Nº renovações do ar/h |
|-------------------|-----------------------|-------|------------------------------|-----------------------|
|                   | Entrada               | Saída |                              |                       |
| Sala estar/jantar | 4,73                  | 4,73  | 5,1                          | 112,7                 |
| Quarto/ casal     | 1,94                  | 0,84  | 5,0                          | 16,9                  |
| Quarto Solteiro   | 1,84                  | 0,84  | 4,2                          | 32,9                  |
| Cozinha           | 0,36                  | 0,81  | 5,0                          | 6,7                   |
| Serviço           | 2,25                  | 0,36  | 4,2                          | 0,8                   |
| BWC               | 2,13                  | 0,24  | 4,2                          | 3,9                   |

Figura 4.33: Características do sistema de ventilação natural do caso base [85].

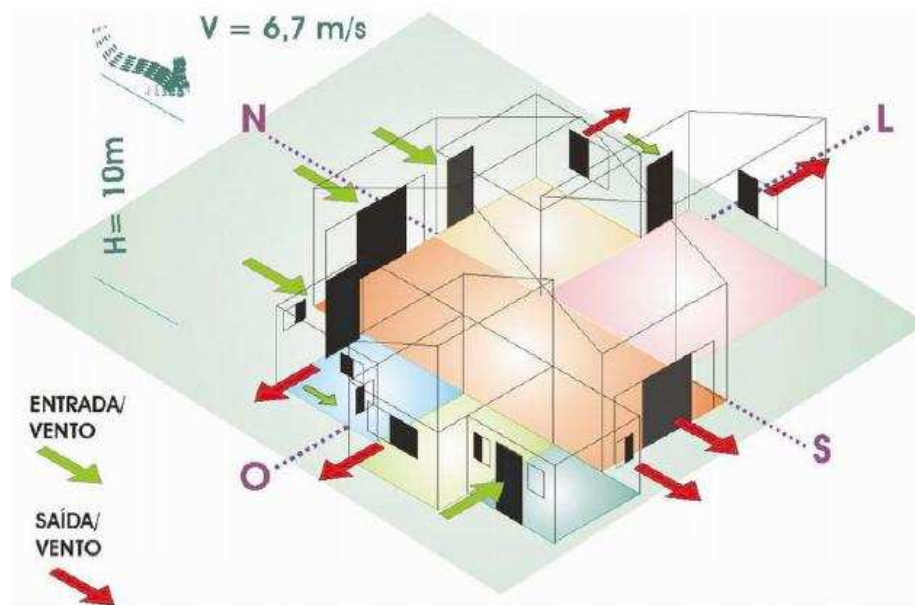


Figura 4.34: Esquema representativo do sistema de ventilação natural [85].

Por último apresenta-se a utilização do sistema artificial de iluminação em diferentes períodos no ano e para os diferentes compartimentos. Os valores apresentados reflectem os hábitos errados da família deste caso, e as percentagens apresentadas são relativas à potência total de iluminação de cada ambiente.

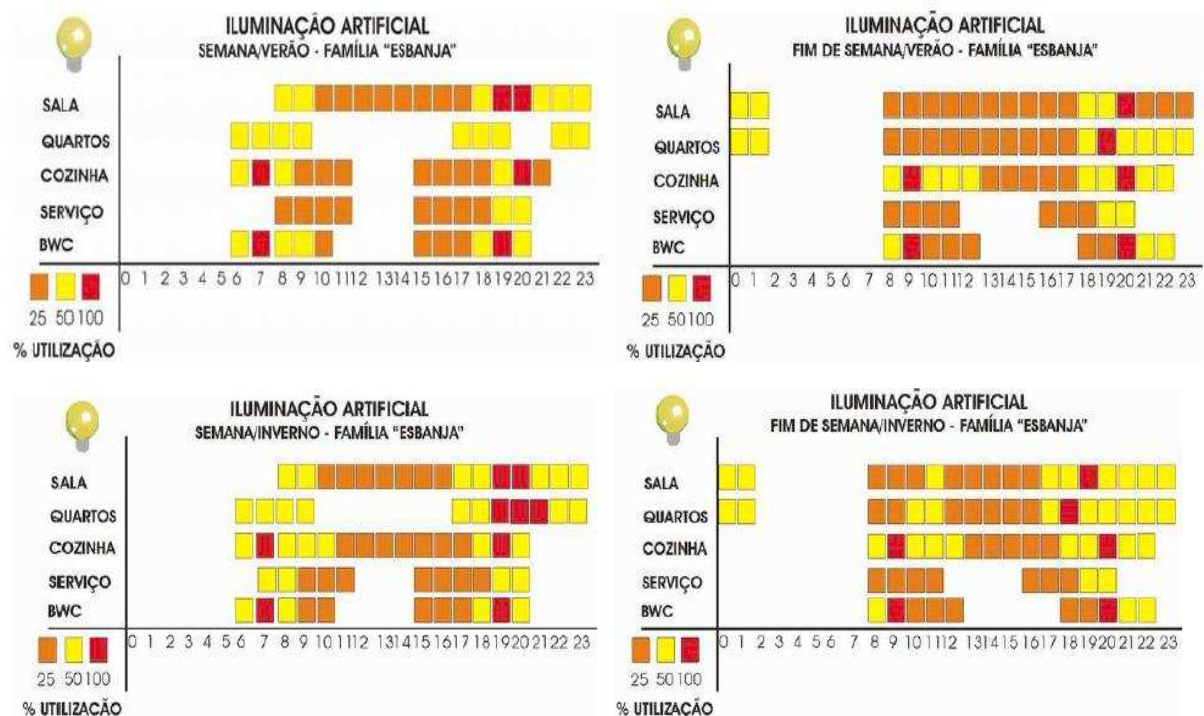


Figura 4.35: Utilização do sistema artificial de iluminação no caso base, em diferentes compartimentos, estações do ano e horas do dia [85].

- MODELO 2** - Este modelo era uma cópia do caso base, à excepção do tipo de equipamentos eléctricos utilizados. Nesta simulação adoptaram-se frigorífico, arca frigorífica e sistemas de climatização artificial com etiquetagem energética A ou B, ou seja, com elevada eficiência energética. Os restantes aparelhos permaneceram inalterados em relação ao caso base, uma vez que não estavam abrangidos pelo sistema de classificação energética. As lâmpadas incandescentes foram substituídas por lâmpadas fluorescentes compactas. Conjugando estas alterações com a constância dos hábitos e períodos de utilização por parte dos ocupantes, verificou-se uma alteração na carga interna do edifício. Assim, observou-se uma redução na potência total instalada para iluminação de cerca de 65% em relação ao caso base, passando de 790W para 272W. No que respeita aos equipamentos a potência instalada sofreu uma pequena diminuição, na ordem dos 0,3%, passando de 9412W para 9380W.

| Equipamentos             | Modelo 1<br>Caso Base |           | Modelo 2<br>Equipamentos eficientes |           |
|--------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
|                          | Potência média (W)    | Categoria | Potência média (W)                  | Categoria |
| Freezer                  | 98,6                  | D         | 77,6                                | A         |
| Geladeira                | 43                    | D         | 32,9                                | A         |
| Demais equipamentos      | 9270                  | -         | 9270                                | -         |
| Potencia instalada Total | 9412                  | -         | 9380,5                              | -         |

Figura 4.36: Alterações de equipamento realizadas entre o modelo 1 e o modelo 2 [85].

| Ambiente          | Vazão de ar (m <sup>3</sup> /h) | Capacidade Nominal (Btu/h) | Potência do ventilador (kW) | Capacidade de resfriamento (kW) | Eficiência (W <sub>térmico</sub> /W <sub>elétrico</sub> ) | Categoria INMETRO |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|
| Sala Estar/Jantar | 1512                            | 30.000                     | 0,36                        | 8,80                            | 2,8                                                       | B                 |
| Quarto/ Casal     | 612                             | 12.000                     | 0,15                        | 3,52                            | 3,2                                                       | A                 |
| Quarto/ Solteiro  | 504                             | 10.000                     | 0,12                        | 2,93                            | 3,2                                                       | A                 |
| TOTAL             | 2628                            | 52.000                     | 0,63                        | 15,25                           | -                                                         | -                 |

Figura 4.37: Sistema de ventilação artificial utilizado no modelo 2 [85].

- MODELO 3** – Este caso era idêntico ao anterior em todos os aspectos físicos, apresentando como única diferença os hábitos de utilização dos ocupantes. Nesta simulação e em todas as que se seguem, considerou-se uma família consciente dos hábitos de consumo e utilização e preocupada com os gastos e desperdícios energéticos. Como já foi referido anteriormente, não basta dotar a edificação de estratégias e equipamentos eficientes, é também necessário que a utilização seja adequada e consciente. Adoptando hábitos correctos de utilização dos sistemas eléctricos e de iluminação artificial, pode atingir-se elevados níveis de economia no que respeita ao sector residencial. Este modelo, quando comparado com o anterior, permite perceber e quantificar a poupança obtida através de bons hábitos de utilização.

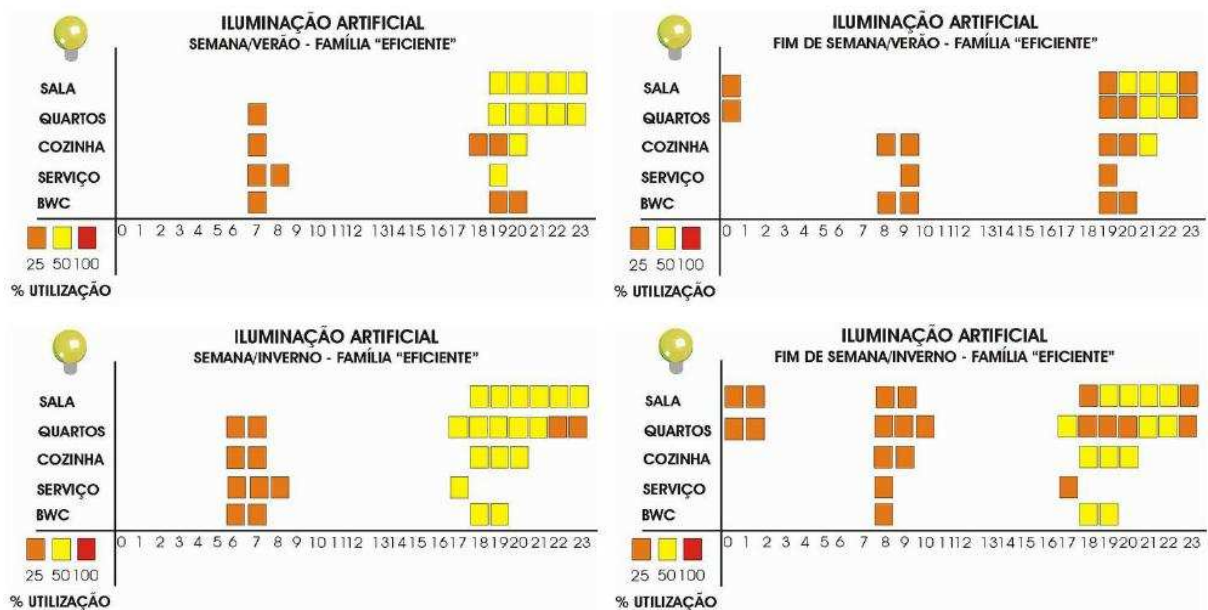


Figura 4.38: Utilização eficiente do sistema de iluminação artificial no caso 3 [85].

- MODELO 4** – Foi o primeiro modelo em que se introduziram alterações construtivas com o intuito de avaliar os benefícios obtidos devido ao uso de determinadas estratégias. Este caso e os restantes partem do modelo 3 e introduzem alterações construtivas, avaliando cada técnica individualmente. Aqui, a alteração foi efectuada na cobertura onde se aplicou isolamento térmico. Esta estratégia é de grande importância uma vez que a cobertura é o elemento construtivo que se encontra mais exposto à radiação solar, o que pode provocar ganhos solares indesejados que resultam em desconforto térmico. O uso de isolamento permite reduzir o coeficiente de transmissão térmica e garantir atrasos térmicos adequados, gerindo a carga térmica proveniente da cobertura.

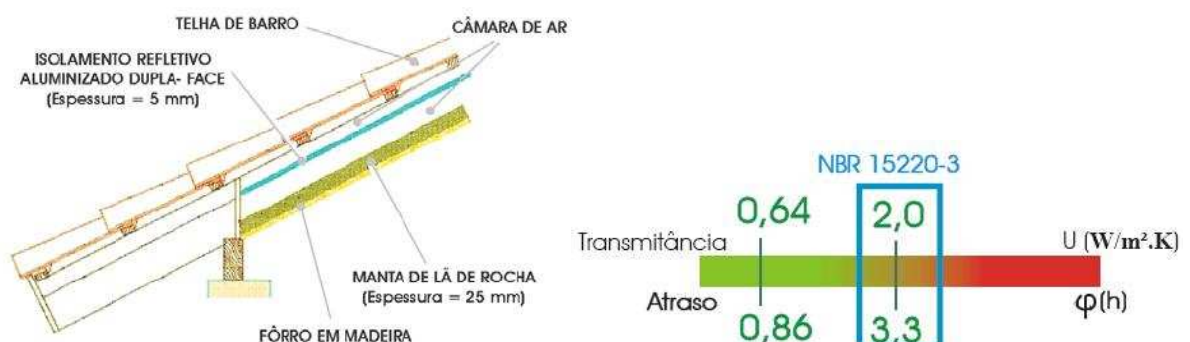


Figura 4.39: Características da cobertura utilizada no modelo 4: esquema representativo e valores de transmissão e atraso térmico. Denotar que estes valores são inferiores aos valores máximos presentes na norma (em quadrado azul na figura) [85].

- **MODELO 5** – A diferença para o modelo 3 residiu na substituição das paredes simples de tijolo maciço, por paredes duplas de tijolo maciço isoladas com manta de lã de rocha. Este tipo de paredes apresenta valores de coeficiente de transmissão térmica e atraso térmico inferiores aos limites máximos recomendados na norma brasileira.

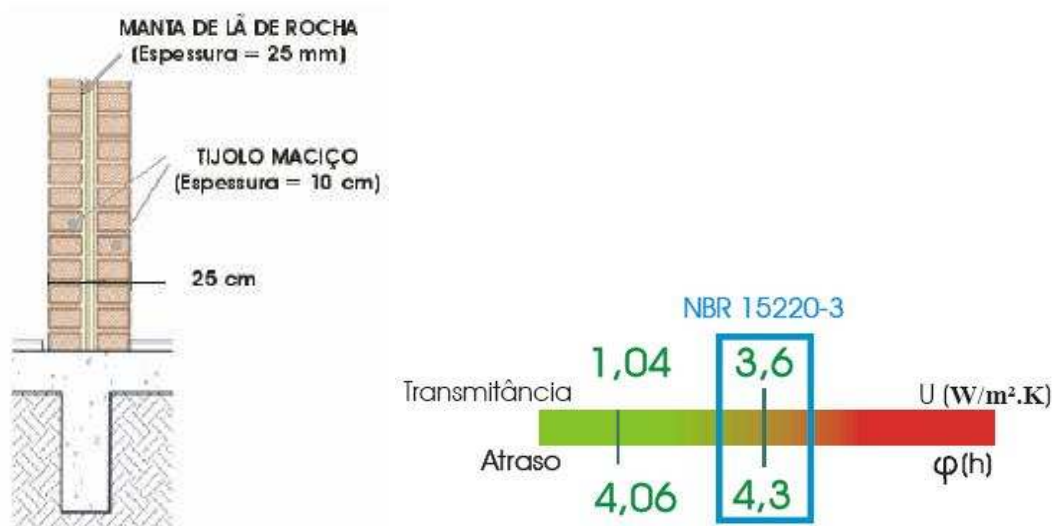


Figura 4.40: Características da parede utilizada no modelo 5: esquema representativo e valores de transmissão e atraso térmico [85].

- **MODELO 6** - Pode ser descrito pela junção dos modelos 3, 4 e 5, ou seja a edificação apresenta as características do modelo 3, acrescida das soluções de cobertura isolada e paredes duplas isoladas.
- **MODELO 7** – Nesta simulação o modelo 3 foi alterado através da incorporação de protecções solares em todas as aberturas existentes. Adoptaram-se protecções horizontais em bambu com cobertura vegetal e persianas de enrolar. As palas horizontais foram dimensionadas através de diagramas solares de modo a impedir entrada de luz solar no Verão, permitindo a sua passagem no Inverno. Estabeleceu-se que as persianas se manteriam recolhidas durante o Inverno, enquanto que no Verão seriam descidas quando ocorresse desconforto térmico ou fosse necessário preservar o calor interior.



Figura 4.41: Protecções solares adoptadas no modelo 7 [85].

- MODELO 8** – Neste caso procurou-se demonstrar a eficiência da utilização de vidros duplos, tendo-se efectuado apenas esta modificação em relação ao modelo 3. Adoptaram-se caixilharias compostas por 2 lâminas de vidro com espessura de 3mm, separadas por uma câmara de ar entremédia com 12mm de espessura. Esta nova solução permitiu obter um factor solar de 0,75 em vez do valor de 0,85 conseguido com vidro simples.

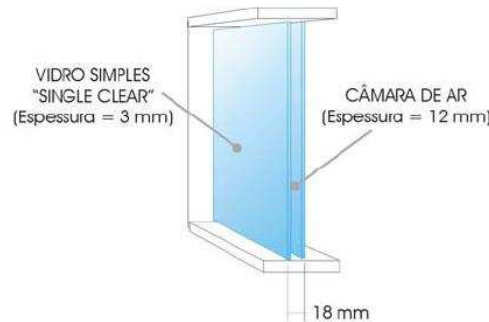


Figura 4.42: Representação esquemática da solução de vidro duplo adoptada no modelo 8 [85].

- MODELO 9** – Baseada no modelo 3, esta simulação consistiu em utilizar apenas soluções passivas de climatização. Ao invés do que ocorria no caso 3 em que se recorria a equipamentos eléctricos de climatização, neste modelo apenas se utilizou ventilação natural diurna e adução de ar nocturno exterior. Nas outras simulações o sistema de ventilação natural dos quartos consistiu apenas na abertura de janelas; aqui consideraram-se aparelhos mecânicos que permitem a introdução de ar nocturno exterior como forma de arrefecimento, quando a temperatura interior atingisse os 24°C. Os aparelhos utilizados apresentavam uma potência de 100W e um caudal de admissão de ar na ordem dos 375m<sup>3</sup>/h.

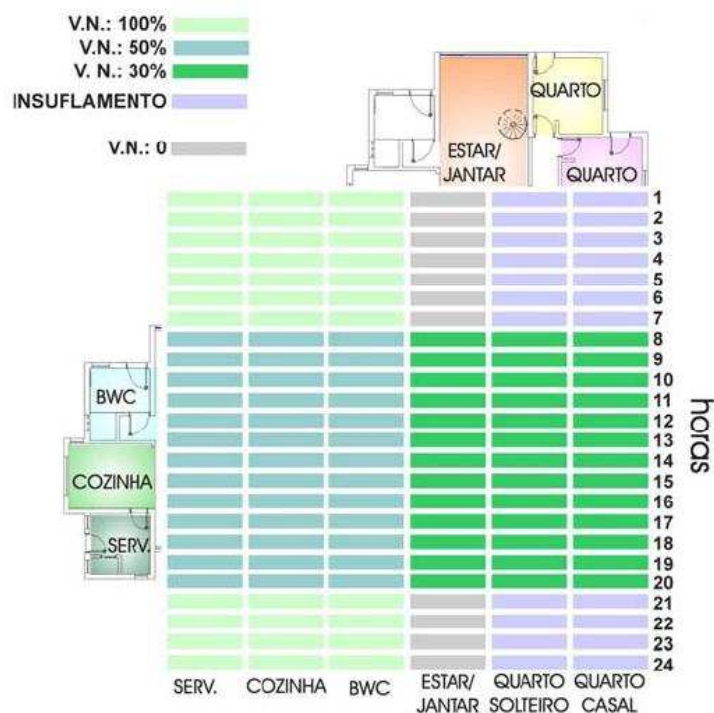


Figura 4.43: Períodos de aplicação das soluções passivas de climatização [85].

A figura anterior pretende esclarecer o funcionamento do sistema adoptado, sendo que cada coluna corresponde a um ambiente interior distinto e as percentagens de ventilação natural apresentadas referem-se às taxas de renovação de ar consideradas para o caso base. Assim, 100% de ventilação natural significa que se atingiu a taxa de renovação de ar do caso base; 50% que se obteve metade da taxa de renovação considerada e assim sucessivamente. Encontram-se ainda indicados os períodos em que recorreu à adução de ar exterior. Nos ambientes de menor permanência e durante as horas em que não existia ocupação, admitiu-se que a taxa de renovação poderia ser inferior à do caso base, razão pela qual se utilizaram as percentagens de 30% e 50%.

- **MODELO 10** – Por último, este modelo foi a representação virtual da Casa Eficiente com todas as características que apresentava após a construção. Assim, o caso 10 é uma aglomeração dos modelos 6,7,8 e 9 num único modelo, adicionado das características específicas da cobertura da edificação existente. Tal como no projecto real, esta simulação reúne várias estratégias que actuam em simultâneo, como é o caso de:

- Equipamentos energeticamente eficientes;
- Hábitos correctos de utilização;
- Aplicação de isolamento térmico em paredes duplas e cobertura;
- Utilização de protecções solares em todas as aberturas;
- Utilização de vidros duplos;
- Sistema de climatização passivo.

As características adicionais da cobertura consideradas foram o telhado-jardim sobre o quarto de solteiro e o WC, a cobertura em telha metálica com isolamento de lã de rocha na zona central e a cobertura em telha cerâmica com isolamento de lã de rocha sobre o quarto de casal e a cozinha. As propriedades térmicas de cada uma destas soluções são as seguintes:

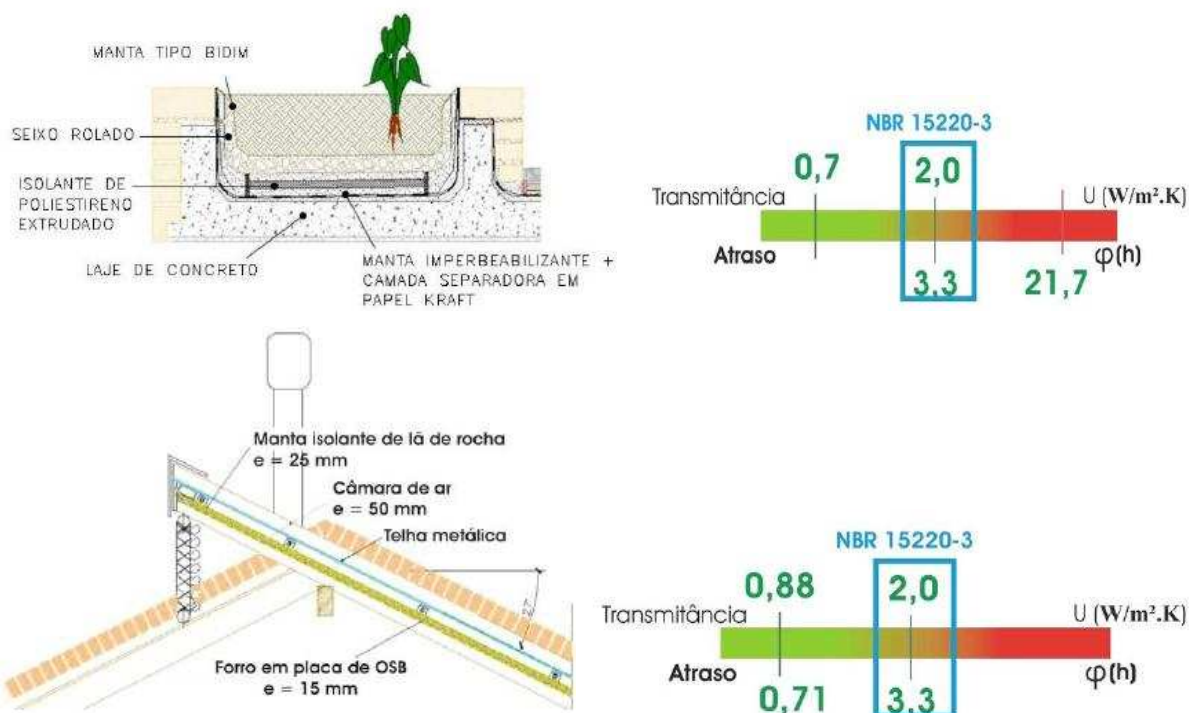


Figura 4.44: Esquemas e propriedades térmicas das coberturas do modelo 10 e da Casa Eficiente: telhado-jardim (em cima) e cobertura em telha metálica com isolamento de lã de rocha [85].

## 4.1.4.1. Resultados da Avaliação Energética

De seguida apresentam-se os registos recolhidos em cada ensaio, bem como comparações entre os vários casos e o caso base, no que respeita o consumo de energia eléctrica. Os parâmetros utilizados nestas comparações foram os consumos mensais e as utilizações finais da energia consumida durante o período de um ano. O estudo efectuou uma análise pormenorizada de cada modelo no que respeita os parâmetros referidos, apresentando-se no entanto apenas um resumo dos mesmos, de modo a não tornar esta análise demasiado extensa. Excepcionalmente para o modelo 10, representativo da Casa Eficiente, será apresentada uma análise mais detalhada incorporando também dados de desempenho térmico.

No que respeita o consumo de energia eléctrica anual, verificou-se que cada estratégia adoptada individualmente permitiu poupanças na ordem dos 30%, em média. No caso 10 em que se conjugaram várias soluções em simultâneo, a redução no consumo energético foi de 64%.

| Alternativas simuladas                                        | Consumo | Redução no consumo em relação ao Caso Base |     |
|---------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------|-----|
|                                                               | kWh     | kWh                                        | %   |
| MODELO 1 - Caso Base                                          | 10392   | -                                          | -   |
| MODELO 2 - MODELO 1 + Equipamentos Eficientes                 | 7921    | 2471                                       | 24% |
| MODELO 3 - MODELO 2 + Família Eficiente                       | 7507    | 2886                                       | 28% |
| MODELO 4 - MODELO 3 + Cobertura com isolamento                | 7245    | 3147                                       | 30% |
| MODELO 5 - MODELO 3 + Parede dupla com isolamento             | 7427    | 2965                                       | 29% |
| MODELO 6 - MODELO 3 + Parede dupla e cobertura com isolamento | 7115    | 3277                                       | 32% |
| MODELO 7 - MODELO 3 + Proteção solar nas aberturas            | 7339    | 3053                                       | 29% |
| MODELO 8 - MODELO 3 + Vidros duplos                           | 7510    | 2882                                       | 28% |
| MODELO 9 - MODELO 3 + Condicionamento alternativo (híbrido)   | 3751    | 6641                                       | 64% |
| MODELO 10 - MODELOS 6 + 7 + 8 + 9 (Casa Eficiente)            | 3751    | 6641                                       | 64% |

Figura 4.45: Consumo de energia eléctrica anual dos diferentes modelos ensaiados e comparação com o caso base [85].

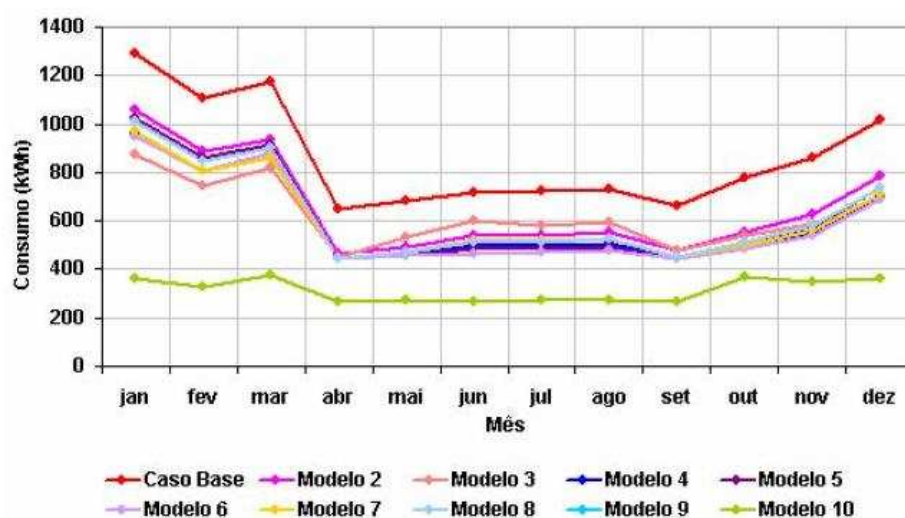


Figura 4.46: Consumo mensal de energia eléctrica de cada modelo ensaiado [85].

Analisando o gráfico presente na figura anterior, verifica-se que os maiores consumos ocorrem nos meses de Verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), notando-se uma redução nos meses de Abril a Setembro (meses mais frios). Denotar a elevada redução do consumo nos meses de Verão para o modelo 10, quando comparado com o caso base, que pode ser da ordem dos 70%. Outro aspecto importante do modelo 10 prende-se com o facto do consumo mensal ser praticamente constante ao longo de todo o ano.

Relativamente ao tipo de utilização final da energia, verifica-se uma notável diminuição dos gastos em iluminação artificial, de 76% no modelo 2 e de 89% para os restantes. No que respeita os equipamentos, os modelos 9 e 10 apresentam um consumo superior aos restantes devido à utilização dos aparelhos mecânicos de adução de ar exterior. No entanto, este consumo acrescido é compensado através da poupança em aquecimento e arrefecimento, uma vez que são realizados de forma passiva.

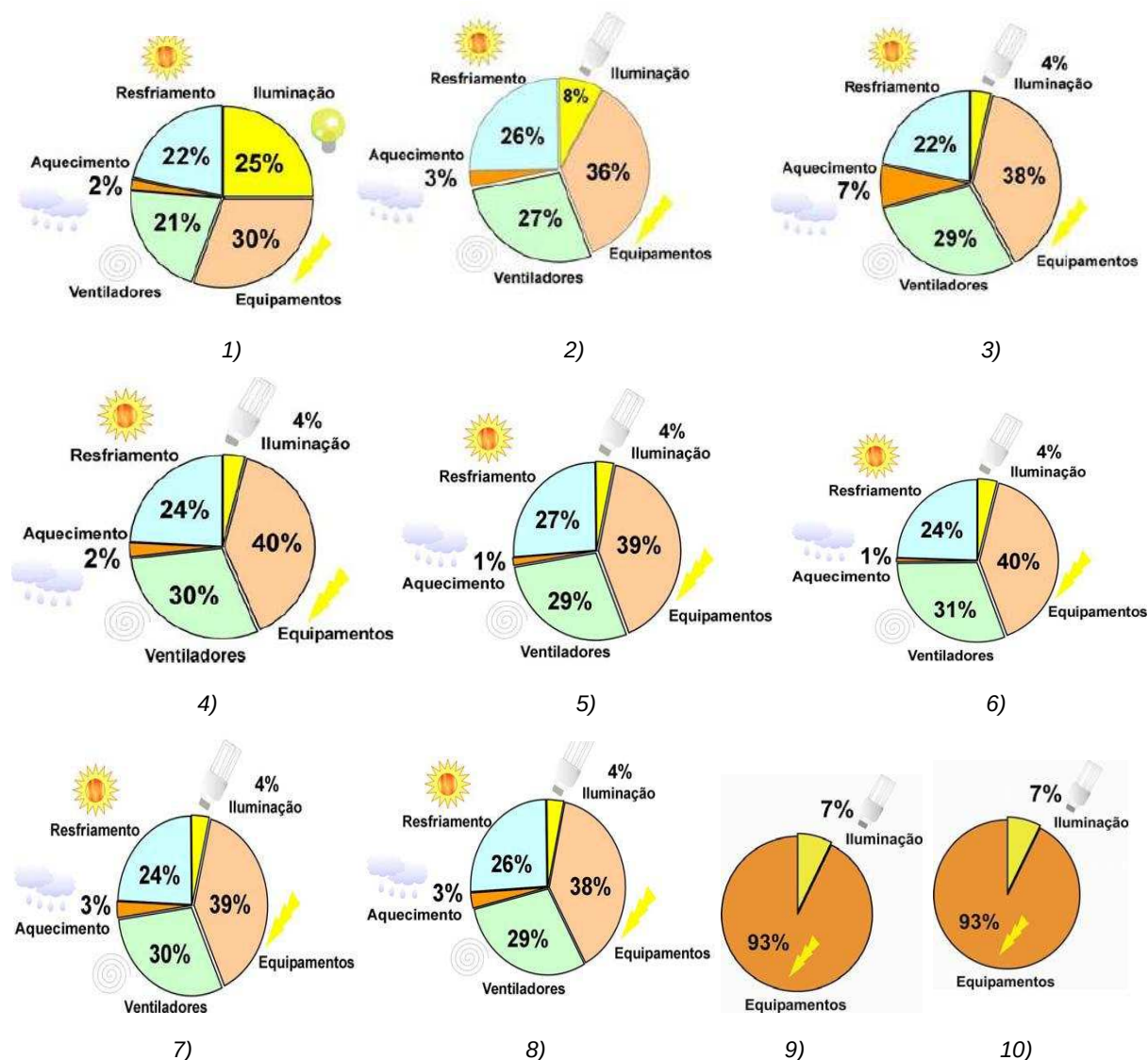


Figura 4.47: Utilização final da energia eléctrica anual para cada modelo ensaiado. Estes gráficos traduzem a forma como foi consumida a energia total correspondente a cada modelo, demonstrada na figura 4.45. Isto é, a percentagem refere-se à energia gasta nesse caso: por exemplo, o facto de no caso 2 os equipamentos terem 36% de consumo e no caso 1 apenas 30%, não significa que houve maior gasto em 2, uma vez que esse valor representa 36% de um total de energia inferior ao do caso 1 [85].

Apresenta-se de seguida a utilização final de energia de um modo quantitativo e mais propício à realização de comparações:

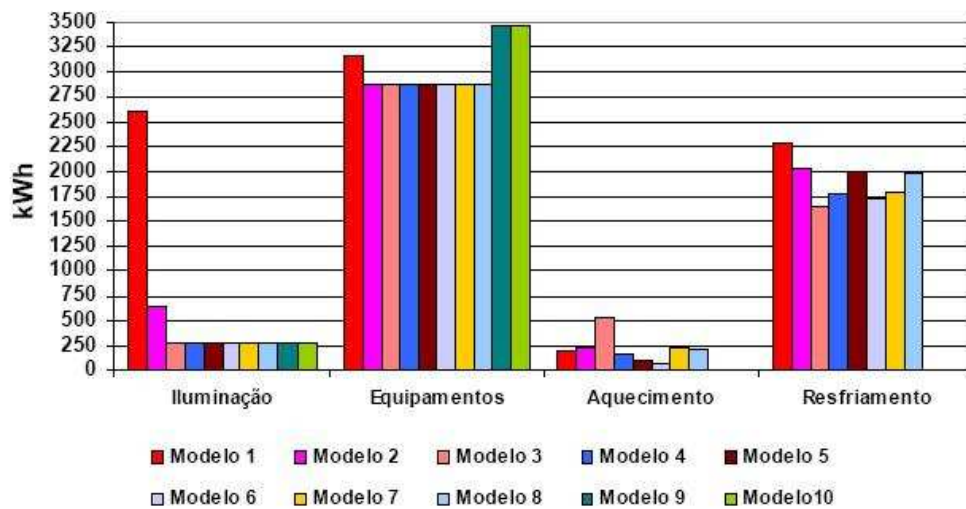


Figura 4.48: Consumo de energia eléctrica por tipo de utilização, para cada modelo analisado [85].

Por último apresenta-se de forma mais pormenorizada os dados resultantes da comparação do modelo 10 com o caso base, visto este modelo representar a Casa Eficiente, permitindo obter uma estimativa do comportamento do edifício real. Relativamente ao consumo anual de energia eléctrica verificou-se um decréscimo de 64% em relação ao caso base, passando de um valor de 10392 kWh para 3751 kWh.

| Meses do Ano  |           | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Totais |
|---------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Consumo (kWh) | Caso Base | 1294 | 1103 | 1174 | 651  | 683  | 715  | 723  | 733  | 660  | 776  | 859  | 1021 | 10392  |
|               | Modelo 10 | 359  | 330  | 376  | 264  | 273  | 264  | 273  | 273  | 264  | 367  | 347  | 359  | 3751   |
| Economia      | kWh       | -935 | -774 | -799 | -387 | -410 | -451 | -450 | -460 | -395 | -409 | -512 | -662 | -6641  |
|               | %         | -72  | -70  | -68  | -59  | -60  | -63  | -62  | -63  | -60  | -53  | -60  | -65  | -64    |

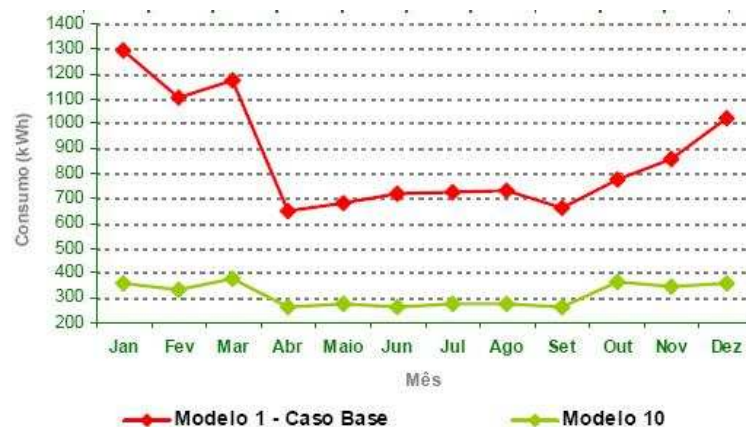


Figura 4.49: Comparação do consumo de energia eléctrica entre o modelo 10 e o caso base (gráfico e tabela) [85].

Um pormenor importante no que respeita às estratégias utilizadas na Casa Eficiente, é o facto de não permitirem apenas uma redução do consumo energético e consequente redução dos gastos mensais, mas também garantirem um melhor desempenho térmico da edificação. Esta melhoria no comportamento térmico reflecte-se num maior nível de conforto térmico para os ocupantes. Assim, o modelo 10 foi objecto de um estudo de desempenho térmico cujo objectivo era demonstrar as vantagens conseguidas nesta área, através do uso conjugado de todas as estratégias adoptadas.

Através de uma análise do fluxo de calor transmitido através da cobertura, para os diferentes compartimentos sujeitos a temperaturas internas extremas, torna-se evidente a eficácia de estratégias como utilização de inércia térmica, isolamento térmico e do telhado-jardim. Nesta avaliação considerou-se que no modelo base o sistema de climatização artificial apenas estaria ligado na sala e que no modelo 10 os aparelhos de adução de ar exterior estariam desligados, de modo a que o comportamento térmico se processasse sem a interferência de sistemas de climatização. Na situação de Verão (temperatura interna máxima), verificou-se que no caso 10 os fluxos de calor para todos os ambientes sofreram diminuições consideráveis, demonstrando a eficiência da inércia térmica e isolamento. Nos ambientes cuja cobertura era em telhado-jardim verificou-se uma inversão do fluxo de calor, o que significa uma perda de calor nos compartimentos ao invés do ganho observado no caso base.

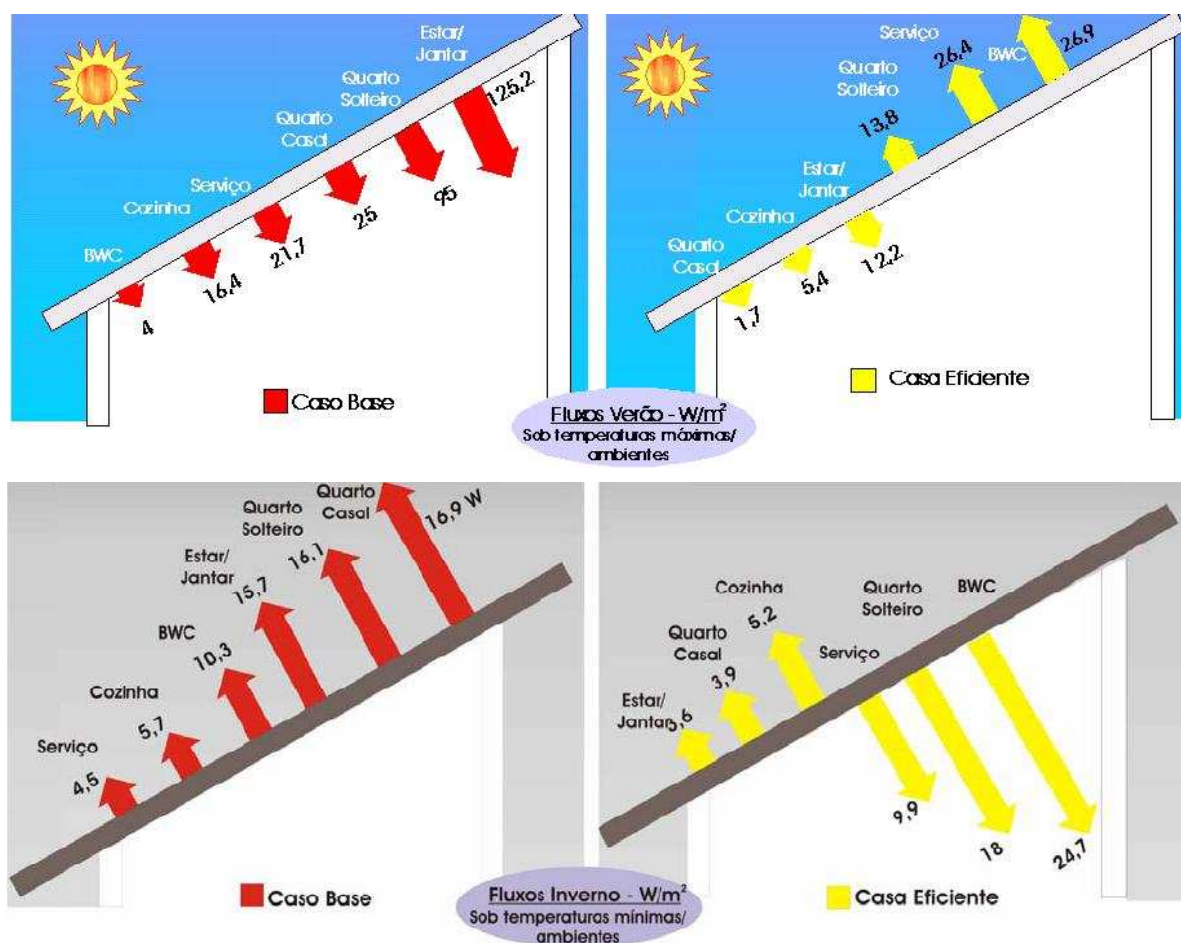


Figura 4.50: Fluxo de calor através da cobertura para diferentes ambientes, no modelo base e no modelo 10. Em cima: situação de Verão, em baixo: situação de Inverno. Os valores apresentados são em  $W/m^2$  [85].

Na situação de Inverno (temperaturas interiores mínimas), o modelo 10 apresentou reduções notáveis nas perdas caloríficas através da cobertura. No quarto de casal verificou-se uma diminuição de fluxo de calor na ordem dos 13% e na sala de estar a redução foi de 12%, demonstrando mais uma vez as vantagens do isolamento térmico. Nos compartimentos com cobertura em telhado-jardim, novamente se constatou o potencial desta solução que permitiu obter ganhos caloríficos ao invés de perdas, como ocorria no caso base.

Nas mesmas condições de Verão anteriores (temperatura interna máxima), analisou-se um outro elemento construtivo de grande relevância: as paredes exteriores. Nesta análise evidenciou-se a acção do aumento da inércia térmica no modelo 10, resultando em menor intensidade dos fluxos que atravessam a parede. A única excepção verificou-se no quarto de solteiro onde ocorreu um incremento do fluxo de calor de 39%, quando comparado com o caso base. Na sala de estar a temperatura máxima ocorreu por volta das 15h, observando-se que a essa hora no modelo base já ocorriam perdas de calor para o exterior, devido à inexistência de isolamento e reduzida massa térmica. No modelo 10 a elevada massa térmica das paredes conjugada com a aplicação de isolamento térmico, permite que durante as horas mais quentes a parede vá absorvendo calor progressivamente. O que acontece é que a parede apenas começará a dissipar o calor acumulado posteriormente, conferindo ao ambiente interior uma temperatura confortável durante o período nocturno em que a temperatura exterior é mais baixa.

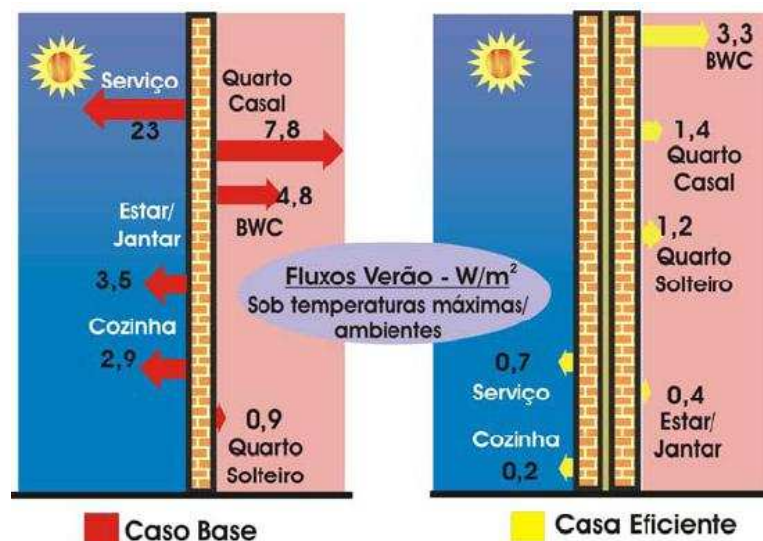


Figura 4.51: Fluxo de calor através da parede para diferentes ambientes interiores, no modelo 10 e no caso base. Os valores apresentados são para a situação de Verão e encontram-se expressos em  $W/m^2$  [85].

O último elemento analisado é um dos principais responsáveis pelos comportamento térmico das edificações, uma vez que contribui tanto para elevados ganhos térmicos, como para perdas. A avaliação das áreas envidraçadas permitiu constatar os benefícios da utilização de vidros duplos, responsáveis por reduções notáveis nos fluxos de calor que as atravessavam. O quarto de solteiro foi o exemplo mais acentuado, verificando uma redução de fluxo na ordem dos 64%.



Figura 4.52: Fluxo de calor através de elementos envidraçados para diferentes ambientes interiores, no modelo 10 e no caso base. Os valores apresentados são para a situação de Verão e encontram-se expressos em  $W/m^2$  [85].

Por último, o adequado desempenho térmico do modelo 10 foi constatado através da comparação entre somatórios de graus.h de ambientes interiores e exteriores. O somatório de graus.h traduz a quantidade de graus necessária para que as temperaturas de determinado ambiente, igualem uma dada temperatura base. Na situação de Verão, este somatório representa a quantidade de graus em excesso em relação à temperatura base de referência (graus.h para arrefecimento). Já no Inverno o valor representa os graus necessários para que se atinja a temperatura base (graus.h para aquecimento). No caso em estudo as temperaturas de referência foram  $24^{\circ}C$  para o Verão e  $18^{\circ}C$  para o Inverno, segundo a zona de conforto de Givoni para Florianópolis.

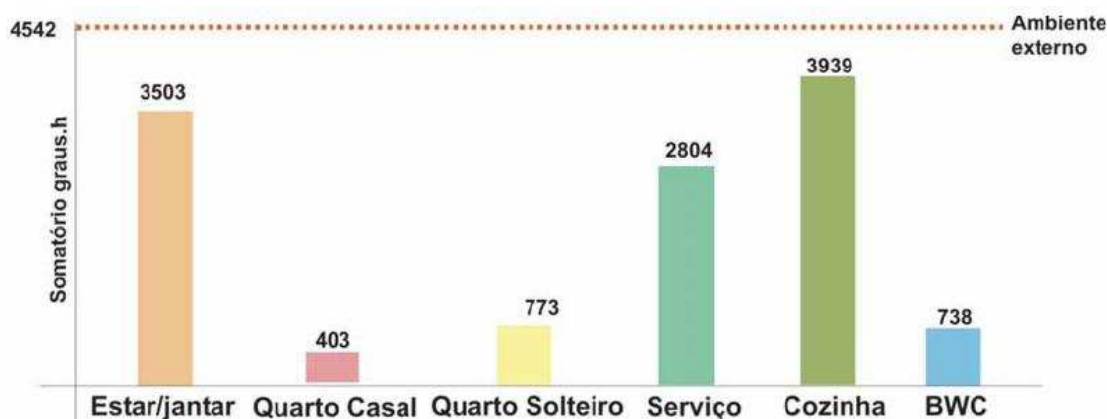


Figura 4.53: Somatório de graus.h necessários para arrefecimento, situação de Verão [85].

Observando a figura anterior observa-se que os ambientes interiores apresentam somatórios consideravelmente inferiores ao do ambiente externo. Isto significa que os espaços interiores apresentaram temperaturas inferiores às exteriores e mais próximas da temperatura de conforto recomendada. Este resultado demonstra a eficiência dos sistemas passivos de climatização, associados a hábitos correctos de utilização e equipamentos energeticamente eficientes. Foi possível efectuar uma gestão adequada dos ganhos térmicos através das estratégias implementadas, que resultou em reduções dos somatórios de graus.h de até 91% (quarto de casal), quando comparados com o somatório exterior.

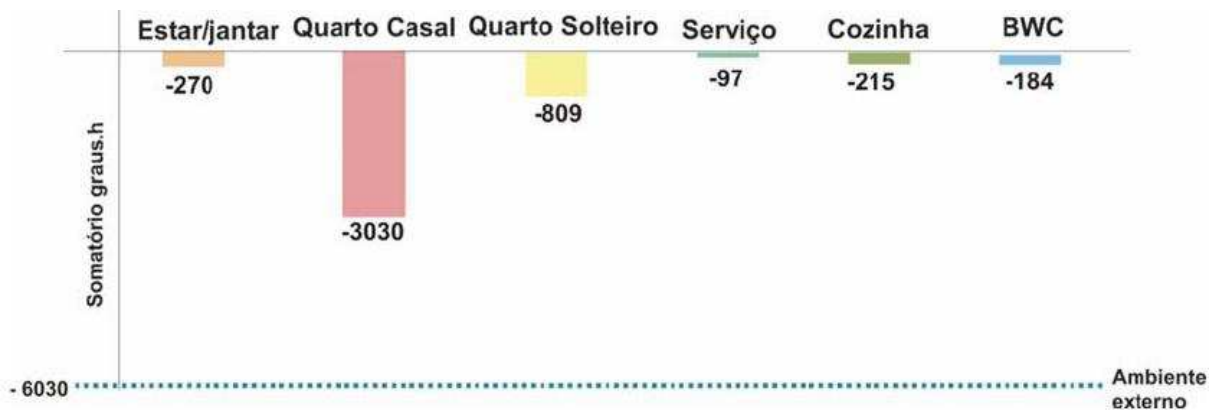


Figura 4.54: Somatório de graus.h necessários para aquecimento [85].

Analisando o caso de Inverno verifica-se novamente que os somatórios interiores são muitíssimo inferiores ao do ambiente externo, chegando a ultrapassar a barreira dos 100%. A temperatura dos ambientes internos manteve-se novamente próxima da temperatura de conforto, reflectindo a capacidade da edificação reter o calor produzido e acumulado no seu interior. Para este facto contribuíram factores como a maximização de ganhos solares, utilização de inércia térmica e isolamento e o recurso a vidros duplos.

Em suma, a análise realizada através do programa EnergyPlus revelou-se extremamente proveitosa, demonstrando as potencialidades de diferentes estratégias e técnicas construtivas sustentáveis. Foi possível efectuar um estudo individual de cada solução, avaliando o seu impacto no desempenho do edifício, bem como combinar várias tecnologias para melhor entender o seu funcionamento conjunto. Independentemente da estratégia incorporada, verificou-se que todas elas se demonstraram proveitosas, não só do ponto de vista de eficiência energética mas também no que respeita o comportamento térmico do edifício. Concluiu-se ainda que um edifício energeticamente eficiente e sustentável, que integre várias soluções em simultâneo é não só uma possibilidade viável mas também extremamente apelativa do ponto de vista económico e ambiental. Denotar que foi possível obter reduções de 64% no consumo anual de energia eléctrica, isto sem considerar os sistemas de aproveitamento solar activo que proporcionariam ainda maior poupança financeira e rendimento económico.

# 5

## CONCLUSÕES

### 5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projecto teve como objectivo a elaboração de um documento de carácter informativo no âmbito da simbiose entre sustentabilidade e Engenharia Civil. Desta forma pretendeu-se criar um guia de referência acessível a todos, que transmitisse conhecimentos base nesta matéria com o fim de serem aplicados em obras futuras ou simplesmente para satisfazer a curiosidade pessoal do leitor. Para tal, procurou-se apresentar as técnicas construtivas ambientalmente adequadas de uma forma simples e clara, apesar da enorme componente científica inerente a cada uma. O tema do trabalho apresenta infinitas possibilidades no que respeita a sua execução devido às inúmeras técnicas de construção sustentável existentes, quer sejam inovadoras ou mais datadas. Assim, optou-se por abordar as estratégias consideradas mais relevantes no panorama actual e que permitem obter benefícios consideráveis. Todas as soluções mencionadas apresentam elevados graus de complexidade, podendo por si só ser objecto de uma dissertação individual, pelo que a sua exposição não foi totalmente extensiva. No entanto, tornou-se possível apresentar num mesmo documento, de uma forma detalhada e completa, informações relativas a várias estratégias construtivas.

De seguida apresentam-se as considerações e conclusões obtidas durante a realização da pesquisa efectuada, nomeadamente no que respeita algumas medidas a incorporar no sistema construtivo português para melhorar a integração destas técnicas.

### 5.2. CONCLUSÕES GERAIS

Observou-se que a humanidade se encontra extremamente dependente de fontes energéticas não renováveis, que além de se encontrarem numa situação precária são ainda extremamente poluentes. As edificações foram identificadas como um dos grandes responsáveis pelo consumo energético e emissões de CO<sub>2</sub> a nível mundial. Assim, surgiu a necessidade de adoptar uma nova visão do desenvolvimento humano, que incorporasse a preservação e integração do meio ambiente nesse processo. Várias organizações mundiais, entre elas a UE, mobilizaram-se num esforço conjunto para modificar a realidade existente através da imposição de protocolos de medidas “verdes”. No âmbito deste movimento, o governo Português adoptou uma nova política energética fomentando a utilização energias renováveis e técnicas energeticamente eficientes na construção. A recente regulamentação relativa à Certificação Energética de Edifícios impõe que as novas construções integrem estas tecnologias e estratégias, permitindo antever um futuro promissor para todas.

Anteriormente apresentaram-se as diversas estratégias e soluções de forma pormenorizada referindo as características, possibilidades de utilização e vantagens. Para concluir, apresenta-se de seguida algumas propostas e considerações a adoptar quer em projectos que pretendam introduzir estas técnicas, quer no panorama geral da construção nacional.

#### 5.2.1. APROVEITAMENTO SOLAR

- O Sol apresenta-se como a principal fonte de energia renovável a ser utilizada na construção. Portugal apresenta um elevado número de horas de insolação anual que devem ser aproveitadas de forma activa e passiva, através da utilização das estratégias abordadas anteriormente.
- De forma a maximizar a eficiência de todas as estratégias que utilizam a radiação solar, deve ser realizado um estudo do comportamento solar para a localização do edifício. A análise de diagramas solares permite definir a exposição solar de cada orientação, devendo o edifício ser orientado de acordo com as necessidades.
- A orientação solar óptima para Portugal é Sul, uma vez que é a que apresenta maior exposição solar anual. Assim, na fase de projecto de uma determinada obra a orientação de cada fachada deve ser cuidadosamente estudada, de modo a adequar os ganhos solares ao tipo de compartimento e sua utilização.
- Aconselha-se que os compartimentos principais apresentem os envidraçados com a referida orientação óptima, enquanto que os compartimentos de serviço devem ser orientados a Norte.
- As instalações de sistemas de aproveitamento solar devem visar sempre a máxima integração ao edifício, funcionando de uma forma dinâmica e fluída com o mesmo ao invés de surgirem como um elemento estranho. Para tal, a opção de utilizar estas tecnologias deve ser tomada na fase de projecto, permitindo que os sistemas se adequem da melhor forma à envolvente do edifício.
- Nos casos em que os sistemas não são instalados de raiz, devem ser previstas infraestruturas adequadas para que se possam realizar instalações futuras, tais como ductos para a passagem de tubos ou zonas propícias à colocação dos equipamentos.
- Uma vez que a maior parte dos gastos energéticos de uma edificação está relacionada com a climatização, deve ser dada especial importância ao aproveitamento solar passivo. Este tipo de aproveitamento consiste num conjunto de técnicas utilizadas em simultâneo de forma a permitir o aquecimento ou arrefecimento de espaços. As estratégias utilizadas são inércia térmica, protecções solares, ventilação natural e orientação solar adequada. A orientação solar e o posicionamento cuidadoso dos compartimentos e áreas envidraçadas já foi anteriormente referido neste capítulo;

##### 5.2.1.1. Aproveitamento Solar Fotovoltaico

- Os equipamentos de sistemas fotovoltaicos devem ser sempre instalados segundo a orientação Sul de modo a maximizar a sua eficiência e rendimento. Os projectistas que procurem esta solução devem assegurar que tanto o equipamento como os instaladores, são certificados;
- Nas instalações deve sempre procurar-se a multifuncionalidade da solução adoptada. Além da função base de conversão de energia solar em energia eléctrica, os equipamentos podem ser utilizados para outros fins. Climatização, insonorização ou sombreamento são algumas das utilizações alternativas.
- A tecnologia fotovoltaica representa actualmente um investimento considerável cuja tendência é diminuir progressivamente com o passar dos anos. No entanto a sua utilização em edificações tem sido notável e crescente nos recentes anos, demonstrando o seu potencial na área da microgeração que se revela vantajosa para o produtor (em termos monetários) e para o ambiente

(energia limpa). Esta tecnologia apenas deve ser aplicada em sistemas ligados à rede eléctrica, uma vez que em sistemas isolados os custos são demasiado elevados e o rendimento deficiente.

#### 5.2.1.2. Aproveitamento Solar Térmico

- Os sistemas solares térmicos devem ser adoptados sempre que possível, uma vez que apresentam elevada eficiência e o seu custo não é demasiado elevado. No caso de edifícios multifamiliares, deve ser previsto o tipo de instalação conjunta na fase de projecto e dotar a obra de características adequadas.
- Como nos sistemas fotovoltaicos, os sistemas solares térmicos devem ser instalados segundo orientação Sul de modo a maximizar a sua eficiência e rendimento. Também neste caso se deve privilegiar equipamentos e instaladores certificados. Neste campo o INETI apresenta já cursos de instaladores e um laboratório responsável pela certificação de colectores solares.
- Apesar dos sistemas solares térmicos não apresentarem as mesmas capacidades de integração e multifuncionalidade dos sistemas fotovoltaicos, deve-se sempre procurar maximizar esta vertente.

#### 5.2.2. ÁGUA – OS DIFERENTES ASPECTOS

##### 5.2.2.1. Gestão da Água

- A incorporação de medidas de adequada gestão de água tornou-se crucial, uma vez que este recurso é escasso e imprescindível à vida.
- A simples escolha de equipamentos de baixo consumo de água por parte do projectista, aliada a correctos hábitos de consumo por parte dos ocupantes, permitem poupanças significativas.

##### 5.2.2.2. Aproveitamento de Águas Pluviais

- Estratégias de aproveitamento de água da chuva devem ser utilizadas em moradias unifamiliares, visto que em edifícios multifamiliares a estratégia não se revela eficiente.
- Ao recorrer a esta técnica devem ser previstas as infraestruturas necessárias à instalação de todos os componentes do sistema, bem como a sua fácil acessibilidade para processos de manutenção e limpeza.
- No dimensionamento de um sistema deste tipo deve ser dada especial atenção à escolha do tanque de armazenamento uma vez que é o principal responsável pelo custo total.
- Na elaboração do projecto não se deve prever o consumo da água armazenada devido a questões de higiene e saúde, devendo-se apenas projectar sistemas para utilização em irrigação ou equipamentos.
- A escolha de incorporar esta estratégia é apenas viável em fase de projecto, pois os custos e inconvenientes resultantes das alterações à edificação já construída não compensam os benefícios passíveis de se obter.

##### 5.2.2.3. Reutilização de Águas Cinzas

- A reutilização de águas cinzas apresenta-se como uma alternativa interessante, podendo ser incorporada em qualquer tipo de edifício, unifamiliar ou multifamiliar.
- O projecto deve contemplar as alterações necessárias ao sistema hidráulico, introduzindo derivações das tubagens de chuveiros e lavatórios que permitam o transporte dessas águas para as fases de tratamento.
- Devem ser previstos espaços facilmente acessíveis para a colocação das câmaras de tratamento.
- A utilização desta técnica pode originar reduções no consumo de água de até 150l/dia;

- Como nos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, a escolha de incorporar esta estratégia é apenas viável em fase de projecto, pois os custos e inconvenientes resultantes das alterações à edificação já construída não compensam os benefícios passíveis de se obter.

#### 5.2.3. VENTILAÇÃO NATURAL

- No que respeita os sistemas de ventilação, devem ser sempre adoptadas soluções de ventilação natural recorrendo-se a equipamentos apenas em caso de back-up.
- Para se obter uma renovação horária adequada deve recorrer-se a sistemas de ventilação cruzada através do vento, que serão complementados pelo efeito chaminé.
- No projecto de um sistema de ventilação deve-se proceder a um estudo do comportamento dos ventos do local, por forma a determinar as direcções predominantes e velocidades. Partindo desta informação deve ser efectuada uma avaliação da distribuição de pressões nas fachadas do edifício quando sujeito às brisas dominantes.
- O dimensionamento e posicionamento das aberturas, deve considerar as informações prévias e evitar ocorrência de correntes de ar e ruídos bem como a introdução de ar poluído para o interior do edifício;
- O espaço circundante à edificação deverá ser estudado pois pode influenciar o comportamento dos ventos, podendo ser aproveitado de forma positiva ao canalizar brisas ou ao agir como protecção contra ventos indesejados.

#### 5.2.4. PROTECÇÕES SOLARES

- O espaço envolvente é de grande importância para o projecto de protecções solares uma vez que combinado com o diagrama solar, permite aproveitar o sombreamento de elementos pré-existent;
- As protecções solares actuam como um gestor dos ganhos solares, sendo parte fundamental do do sistema de climatização em casos de arrefecimento. As protecções fixas devem ser dimensionadas recorrendo ao referido diagrama solar, maximizando a incidência de radiação solar no Inverno e impedindo-a no Verão.
- Esta estratégia deve ser considerada em todos os projectos podendo adoptar diversas formas, de entre as quais os estores e persianas são as mais aconselhadas devido ao seu carácter regulável.

#### 5.2.5. INÉRCIA TÉRMICA

- A inércia térmica apresenta enorme potencial para a construção nacional devido ao clima mediterrânico caracterizado por elevadas amplitudes térmicas.
- Um ponto crucial desta estratégia é a sua necessidade de ser conjugada com a aplicação de isolamento térmico de forma contínua e pelo exterior do componente.
- Outro aspecto que os projectistas devem ter em consideração é o facto de existirem vários elementos construtivos que podem ser alvo desta estratégia, não estando esta vinculada às paredes.
- Os materiais escolhidos para os diferentes elementos construtivos devem apresentar massa térmica adequada.
- Deve ainda ser estudada a localização de mobiliário e revestimentos isolantes, de modo a não estarem em contacto com os elementos de elevada massa térmica o que poderia reduzir a sua eficiência.

- O recurso à solução de telhado-jardim demonstrou ser vantajosa em diversas frentes. Permite integrar a natureza no edifício promovendo o aspecto estético ao mesmo tempo que actua como um óptimo isolante térmico da cobertura, chegando mesmo a inverter fluxos de calor verificados em coberturas tradicionais.
- Esta estratégia apresenta ainda a vantagem de actuar como bacia de retenção para as águas pluviais. No seu dimensionamento devem ser utilizadas espécies de plantas existentes no ecossistema local e devem ser previstas as cargas acrescidas resultantes das camadas de terra e das próprias plantas.

#### 5.2.6. EDIFÍCIOS EFICIENTES

- Se a escolha dos equipamentos eléctricos estiver dependente do projectista, este deve optar por soluções de elevada eficiência energética e reduzido consumo de água. Esta escolha pode reflectir poupanças energéticas na ordem dos 30% quando comparada com a opção tradicional.
- A análise de um protótipo de edifício eficiente revelou as vantagens da utilização destas estratégias. A contribuição média para a poupança energética anual proporcionada por cada uma rondou os 30%. Verificou-se ainda que a solução ideal é a utilização conjunta de várias estratégias que se complementam entre si, como na Casa Eficiente, proporcionando reduções no consumo energético de 64%. Apesar deste projecto se localizar no Brasil, os resultados obtidos fornecem dados úteis e plausíveis da eficiência destas soluções, uma vez que podem ser adaptadas para diferentes condições climáticas, como por exemplo, Portugal.
- A aplicação das estratégias referidas em edificações permite uma redução na factura energética mensal e um aumento do desempenho térmico da mesma, como se observou no estudo da Casa Eficiente. Além destes aspectos, contribuem ainda para a preservação do planeta diminuindo as emissões de gases de efeito de estufa.

#### 5.2.7. EQUIPA PROFISSIONAL

- As equipas de projectistas/engenheiros devem ser multidisciplinares, apresentando na sua constituição elementos responsáveis por diferentes áreas. Assim, torna-se possível incorporar várias estratégias numa mesma obra de forma a existir uma complementaridade e harmonia entre elas.
- Os projectistas devem optar por materiais reciclados e que apresentem um reduzido impacte ambiental. Materiais existentes no local do edifício ou nas proximidades, apresentam menores custos de transporte devendo ser privilegiados em relação aos restantes.
- Por último, aponta-se o facto da utilização do edifício ser um factor de extrema importância no seu desempenho energético e térmico. Por muitas técnicas inovadoras e soluções que se adoptem numa edificação, o uso incorrecto por parte dos ocupantes poderá tornar essas estratégias obsoletas ou mesmo negativas para o comportamento do edifício.
- Propõe-se desta forma que os responsáveis pelo projecto promovam acções de formação aos ocupantes, de modo a transmitir as noções básicas de utilização. Esta formação poderia ser realizada através de reuniões ou pela simples distribuição de panfletos informativos.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Sattler, Miguel Aloysio. "O NORIE e sua linha de pesquisas em edificações e comunidades sustentáveis". In *"Habitações de baixo custo mais sustentáveis: a Casa Alvorada e o centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis"*. HABITARE, Porto Alegre, 2007.
- [2] [http://www.antac.org.br/seminario/lamberts\\_sbpc6.pdf](http://www.antac.org.br/seminario/lamberts_sbpc6.pdf), 25 de Fevereiro, 2008.
- [3] Geet, Otto Van. *"Energy Efficient Building Design Renewable Energy for NREL"*. 13 de Novembro de 2006. [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov).
- [4] Alexandre, José Luís. *"Hidrogénio: o Novo Vector Energético"*. Seminário: Fontes de Energia Renováveis: Contributos para a Redução da Dependência do Petróleo, UCP, Porto, 25 de Maio de 2005.
- [5] Oliveira, Armando C. *"Perspectivas para a Energia Solar: Passiva, Térmica e Fotovoltaica"*, ESB, Porto, 25 de Maio de 2005.
- [6] International Panel on Climate Change, *"Climate Change 2007: Synthesis Report"*. 2007. <http://www.ipcc.ch>. 28 de Fevereiro, 2008.
- [7] <http://www.globalwarmingart.com>. 28 de Fevereiro, 2008
- [8] <http://eltecno.blogia.com/upload/>. 2 de Março, 2008
- [9] Sattler, Miguel Aloysio. "Princípios Norteadores das actividades desenvolvidas pela LECS". In *"Habitações de baixo custo mais sustentáveis: a Casa Alvorada e o centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis"*. HABITARE, Porto Alegre, 2007.
- [10] <http://www.fia.com.br>. 5 de Março, 2008.
- [11] Ministério da Economia. *"EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ENERGIAS ENDÓGENAS"*. Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001. 27 de Setembro de 2001, Lisboa.
- [12] Presidência do Conselho de Ministros. *"Resolução do Conselho de ministros nº 63/2003"*. 28 de Abril de 2003, Lisboa.
- [13] <http://www.adene.pt/ADENE.Portal>. 8 de Março, 2008.
- [14] Comissão Europeia. *"IP/08/80: Promover o crescimento e o emprego satisfazendo os nossos compromissos no domínio das alterações climáticas"*. 23 de Janeiro de 2008, Bruxelas.
- [15] <http://www.aguaquentesolar.com>. 10 de Março, 2008.
- [16] <http://i.n.com.com/i/ne/p/2007>. 14 de Março, 2008.
- [17] [www.energyanddevelopment-2007.net](http://www.energyanddevelopment-2007.net). 14 de Março, 2008.
- [18] Pereira, M., Carvalho, M. *"Relatório do grupo de trabalho Energia Solar Térmica do FORUM"*. [http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/17/FORUM\\_GT\\_Solar\\_Termico\\_Activo.pdf](http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/17/FORUM_GT_Solar_Termico_Activo.pdf). 16 de Março, 2008.
- [19] Gonçalves, H., Graça, J. *"Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal"*. INETI, Novembro de 2004, DGGE/IP-3E, Lisboa.
- [20] Lamberts, R., Ghisi, E., Abreu, A., Carlo, J., Batista, J. *"Desempenho Térmico em Edificações"*. LABEE, Florianópolis, Maio de 2006.

- [21] <http://www.yourhome.gov.au/technical>. 22 de Março, 2008
- [22] Lamberts, R., Dutra, L., Pereira, F. “*Eficiência Energética na Arquitectura*”. PW Editores, São Paulo, 1997.
- [23] Vallêra, A. “*Energia Solar Fotovoltaica*”. [http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/29\\_1-2/vol29\\_1\\_2\\_Art06.pdf](http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/29_1-2/vol29_1_2_Art06.pdf). 27 de Março, 2008.
- [24] Joyce, A. “*Sistemas Fotovoltaicos*”. <http://www.eq.uc.pt/inovar/fotovoltaicos.pdf>. 28 de Março, 2008.
- [25] [http://www.ecogen-sa.com/ECOGEN/Documentacao/FicheirosPDF/06-Solar\\_Fotovoltaico.pdf](http://www.ecogen-sa.com/ECOGEN/Documentacao/FicheirosPDF/06-Solar_Fotovoltaico.pdf). 28 de Março, 2008.
- [26] Ferreira, V. “*Promoção da Energia Solar Fotovoltaica em Meio Urbano*”. Apresentação Projecto PURE, IST, Lisboa.
- [27] Ferreira, V. “*Planificação dos Conteúdos Técnicos para as Áreas Expositivas*”. Apresentação Projecto PURE, 29 de Julho de 2007, IST, Lisboa.
- [28] <http://www.sentec.pt>. 5 de Abril, 2008.
- [29] <http://www.atersa.com>. 5 de Abril, 2008.
- [30] <http://www.pure-eie.com>. 8 de Abril, 2008
- [31] ROBOTIKER. “El papel de la energia solar fotovoltaica en nuestras ciudades”. Conferência Tecnália-energia, 12 de Dezembro de 2007, Bilbao, Espanha.
- [32] Siarq. “Integración de la energia solar fotovoltaica en entornos urbanos. Conferência Tecnália-energia, 12 de Dezembro de 2007, Bilbao, Espanha.
- [33] <http://www.ws-energia.com/residencial/>. 11 de Abril, 2008.
- [34] [http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID\\_conteudo=41&ID\\_area=8&ID\\_sub\\_area=26](http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=41&ID_area=8&ID_sub_area=26). 13 de Abril, 2008.
- [35] <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/NotTecnicas/ENERSOLMUNDO/Image29.gif>. 13 de Abril, 2008.
- [36] <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2005/GCBA/803/es/0013.htm>. 14 de Abril, 2008.
- [37] <http://www.solaria-solar.com/images/captador-termico1.JPG>. 14 de Abril, 2007.
- [38] <http://vidaguas.com/images/tubos%20de%20vacuo%20vidaguas.GIF>. 14 de Abril, 2008.
- [39] Programa AQSpP. “*Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico*”. Abril de 2004. <http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/9/domestico.pdf>. 14 de Abril, 2008.
- [40] Horta, P. “*Colectores Solares Térmicos*”. <http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/guia6.pdf>. 16 de Abril, 2008.
- [41] Carvalho, M. “*LisboaéNova*”. [http://lisboaenova.org/paginaimagesstories/Formacao20065\\_sessao\\_19\\_outmaria\\_joao\\_carvalho\\_Lisboa\\_e-Nova\\_MJCarvalho.pdf](http://lisboaenova.org/paginaimagesstories/Formacao20065_sessao_19_outmaria_joao_carvalho_Lisboa_e-Nova_MJCarvalho.pdf). 18 de Abril, 2008.
- [42] Programa AQSpP. “*FORUM Energias Renováveis em Portugal – Relatório Síntese*”. Novembro de 2001. [http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/16/FORUM\\_Relatorio-Sintese.pdf](http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/16/FORUM_Relatorio-Sintese.pdf). 19 de Abril, 2008.

- [43] Ribeiro, M. “Aquecimento de Águas Quentes Sanitárias (AQS) com colectores solares térmicos”. 3 de Maio de 2007. [http://www.edvenergia.pt/xFiles/scContentDeployer\\_pt/docs/articleFile12.pdf](http://www.edvenergia.pt/xFiles/scContentDeployer_pt/docs/articleFile12.pdf). 19 de Abril, 2008.
- [44] Costa, J. “Energia Solar na Hotelaria”. Janeiro de 2004. <http://www.Aguaquentesolar.com/noticias/eventos/e5/JCCosta.pdf>. 19 de Abril, 2008.
- [45] Bernardo, J. “O Programa Água Quente Solar para Portugal”. 9 de Março de 2004. <http://www.aguaquentesolar.com/noticiaseventos/e6/JoaoBernardo.pdf>. 20 de Abril, 2008.
- [46] Programa AQSpP. “Água Quente Solar para Portugal”. Novembro de 2001. [http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/15/Brochura\\_AQS.pdf](http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/15/Brochura_AQS.pdf). 21 de Abril, 2008.
- [47] <http://soltermico.pt/>. 21 de Abril, 2008.
- [48] [http://www.carbonforce.net/public/index.php?option=com\\_content&task=view&id=90&Itemid=52&lang=pt](http://www.carbonforce.net/public/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=52&lang=pt). 22 de Abril, 2008.
- [49] <http://www.energaia.pt/poupe/agua.php>. 22 de Abril, 2008.
- [50] [http://lisboaenova.org/pagina/images/stories/Workshops/2007/Desafios%20sector%20Construcao/MCollaresPereira\\_AguaQuenteSolarCidades.pdf](http://lisboaenova.org/pagina/images/stories/Workshops/2007/Desafios%20sector%20Construcao/MCollaresPereira_AguaQuenteSolarCidades.pdf). 22 de Abril, 2008.
- [51] [http://www.ecopower.pt/Produtos\\_solar\\_termica.html](http://www.ecopower.pt/Produtos_solar_termica.html). 23 de Abril, 2008.
- [52] [www.construcaosustentavel.pt](http://www.construcaosustentavel.pt). 23 de Abril, 2008.
- [53] Neves, M. “Algumas Sugestões Relativas à Gestão de Água na Região do Porto”. [http://paginas.fe.up.pt/~mjneves/publicacoes\\_files/PortoCidadeRegiao\\_comres\\_-MarioNeves.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~mjneves/publicacoes_files/PortoCidadeRegiao_comres_-MarioNeves.pdf). 23 de Abril, 2008.
- [54] Environment Agency UK. “Conserving Water in Buildings”. Novembro de 2007. [http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/geho1107bnjree\\_1934318.pdf](http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/geho1107bnjree_1934318.pdf). 24 de Abril, 2008.
- [55] Pereira, S., Coelho, C., Silva-Afonso, A. “O Sistema de Rega da Casa do Futuro da Universidade de Aveiro: Pesquisa de Soluções Inovadoras”. [http://www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/artigo%20Pereira\\_Coelho\\_Silva%20Afonso.doc](http://www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/artigo%20Pereira_Coelho_Silva%20Afonso.doc). 26 de Abril, 2008.
- [56] [http://www.clemson.edu/.../cfl\\_rain\\_harv\\_images.html](http://www.clemson.edu/.../cfl_rain_harv_images.html). 28 de Abril, 2008.
- [57] <http://www.elanotec.com>. 30 de Abril, 2008.
- [58] <http://en.wikipedia.org/wiki/Composting>. 30 de Abril, 2008.
- [59] [http://www.ephc.gov.au/ephc/water\\_recycling.html](http://www.ephc.gov.au/ephc/water_recycling.html). 30 de Abril, 2008.
- [60] <http://www.quercus-construcaosustentavel.com/other.php?main=11&sub=24>. 30 de Abril, 2008.
- [61] LNEC. “Ventilação Natural de Edifícios”. In “Patologia e Reabilitação de Edifícios – Dcoumentação de Apoio”. FEUP, Porto.
- [62] [https://www.fe.up.pt/si/conteudos\\_geral.conteudos\\_ver?pct\\_pag\\_id=1639&pct\\_parametros=p\\_ano\\_lectivo=2006/2007-y-p\\_cad\\_codigo=EC5181-y-p\\_periodo=2S](https://www.fe.up.pt/si/conteudos_geral.conteudos_ver?pct_pag_id=1639&pct_parametros=p_ano_lectivo=2006/2007-y-p_cad_codigo=EC5181-y-p_periodo=2S). 2 de Maio, 2008.
- [63] [http://www.nordesteural.com.br/obj/351\\_W350Q60I2SASRFHFVRLRRLCTCRCB.jpg](http://www.nordesteural.com.br/obj/351_W350Q60I2SASRFHFVRLRRLCTCRCB.jpg). 3 de Maio, 2008.

- [64] IPQ. “Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural”. In “Norma Portuguesa NP 1037-1/2002”. 2002, Lisboa.
- [65] <http://ep.natural-works.com/>. 6 de Maio, 2008.
- [66] [www.pt.coltgroup.com/](http://www.pt.coltgroup.com/). 6 de Maio, 2008.
- [67] <http://www.schueco.pt>. 8 de Maio, 2008.
- [68] [http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/mce00010\\_Tipologias\\_e\\_materiais\\_nas\\_caixilharias.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/mce00010_Tipologias_e_materiais_nas_caixilharias.pdf). 8 de Maio, 2008.
- [69] <http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia54.asp>. 9 de Maio, 2008.
- [70] Papst, A. “Uso de Inércia Térmica no Clima Subtropical – Estudo de Caso em Florianópolis – SC”. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre Em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 1999.
- [71] Anes, A. “A Influência da Massa e da Exposição Solar no Comportamento Térmico dos Edifícios”. <http://www.deetc.isel.ipl.pt/JETC05/CCTE02/papers/finais/civil/110.pdf>. 10 de Maio, 2008.
- [72] <http://www.aspencore.org/sitepages/pid67.php>. 10 de Maio, 2008.
- [73] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/5/5d/Trombe\\_wall\\_4.jpg/500px-Trombe\\_wall\\_4.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/5/5d/Trombe_wall_4.jpg/500px-Trombe_wall_4.jpg). 11 de Maio, 2008.
- [74] <http://www.cgd.pt/blog/energia.jpg>. 13 de Maio, 2008.
- [75] <http://www.peabody.org.uk/pages/GetPage.aspx?id=179>. 14 de Maio, 2008.
- [76] [http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2007-1/sustentabilidade/hh.htm](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2007-1/sustentabilidade/hh.htm). 14 de Maio, 2008.
- [77] [http://www.agirazul.com.br/fsm4/\\_fsm/00000190.htm](http://www.agirazul.com.br/fsm4/_fsm/00000190.htm). 15 de Maio, 2008.
- [78] Vieira, M. Fotografias obtidas durante a visita à Ecoovila de Porto Alegre. Fevereiro de 2008, Porto Alegre.
- [79] Gonçalves, H., Cabrito, P. “Edifício Solar XXI: Um Edifício Energeticamente Eficiente em Portugal”. <http://www.ordemengenheiros.pt/Portals/0/Ing93-CE-SolarXXI2.pdf>. 15 de Maio, 2008.
- [80] <http://www.ineti.pt/download.aspx?id=7797DB40A99490D924835E30481203D8>. 16 de Maio, 2008.
- [81] <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home>. 17 de Maio, 2008.
- [82] <http://portugalbrasil.autonomia.g12.br/blog/wp-content/uploads/2007/06/florianopolis1.jpg>. 17 de Maio, 2008.
- [83] Vieira, M. Dados recolhidos durante o intercâmbio realizado na UFSC. 2007, Florianópolis.
- [84] Vieira, M. Fotografias obtidas durante o período de pesquisa na Casa Eficiente. 2007, Florianópolis.
- [85] Lamberts, R., Batista, J., Westphal, F. “Simulação Térmica e Energética da Casa Eficiente”. LABEE, Outubro de 2006, Florianópolis.





# 7

## ANEXOS

### 7.1. A INFLUÊNCIA DO CONSUMO DE ÁGUA NO DESEMPENHO DE COLECTORES SOLARES

Para uma melhor percepção do valor da energia fornecida pelos colectores solares propõem-se três cenários, utilizando sempre um mesmo sistema monobloco de boa qualidade com 150 litros de armazenamento e 2 m<sup>2</sup> de área de captação. Os gráficos 1 a 3 ilustram os três cenários e apresentam a distribuição da energia média mensal necessária para a produção de um determinado volume de AQS e a respectiva contribuição dos colectores solares. A diferença entre ambas constitui a energia não fornecida pelos colectores solares e que terá que ser fornecida pelo apoio (sistema convencional de aquecimento).

Os mesmos gráficos mostram que, nos meses de Verão, com o aumento da temperatura da água da rede, a energia necessária para aquecer o mesmo volume de água é inferior quando comparada com os meses mais frios. Fixando o valor 100 kWh de energia necessária como ponto visual de referência nos três gráficos que ilustram os cenários descritos, é fácil observar as variações referidas.

#### Cenário 1

Se o consumo de AQS for o previsto no dimensionamento do sistema, os colectores solares proporcionarão a energia suficiente para suprir cerca de 75% das necessidades e funcionarão a

um rendimento adequado. No exemplo que se apresenta no Gráfico 1, realizado para um consumo médio diário de 150 litros de AQS, a energia necessária é de 1 805 kWh/ano e a contribuição dos colectores solares 1427 kWh. A energia de apoio anual será cerca de 378 kWh.

#### Cenário 2

Se o consumo for inferior ao previsto, a contribuição dos colectores solares será inferior, mas com maior impacto na contabilização total. No exemplo, ilustrado no Gráfico 2, para um consumo diário de AQS de 100 litros, a energia necessária seria de 1 204 kWh/ano, enquanto que os colectores contribuiriam com cerca de 1 062 kWh, o que representaria 88% das necessidades. Nesta situação, as temperaturas de funcionamento seriam mais elevadas e o rendimento dos colectores seria mais baixo. A contribuição da energia de apoio convencional passaria a 142 kWh/ano.

### Cenário 3

Finalmente, se o consumo for superior ao previsto, os colectores solares proporcionarão mais energia, embora a sua contribuição no total seja menor. No mesmo exemplo, ilustrado no Gráfico 3, para um consumo de 200 litros por dia, a energia necessária seria de 2 408 kWh/ano, os colectores solares contribuiriam com 1 680 kWh, o que representaria cerca de 70% de satisfação das necessidades pelo sistema solar. As temperaturas de funcionamento seriam mais baixas e o rendimento dos colectores aumentaria. A energia de apoio também teria um acréscimo significativo passando a situar-se a volta de 728 kWh/ano.

Em jeito de conclusão pode-se afirmar que, o colector solar é normalmente dimensionado para satisfazer cerca de 60 a 80% das necessidades de água quente no período de um ano. Os hábitos de consumo têm influência directa nos benefícios que se podem retirar da utilização destes equipamentos.

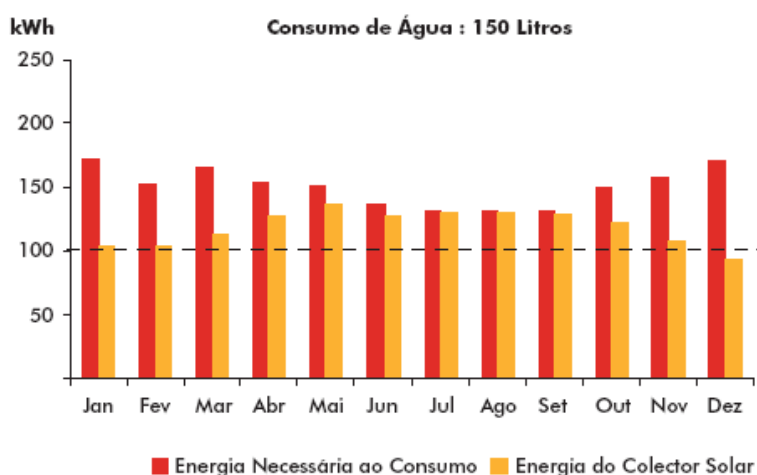


Gráfico 1

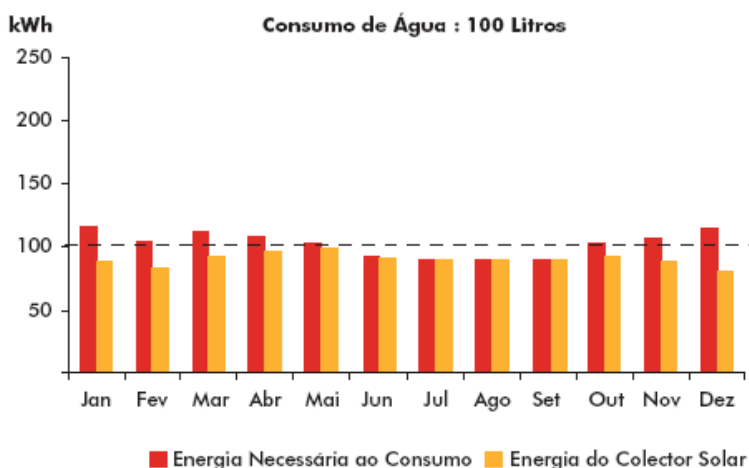


Gráfico 2

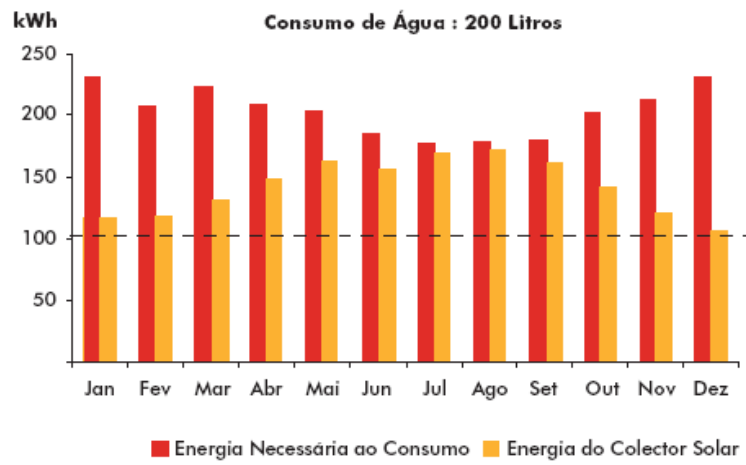


Gráfico 3