



# UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Covilhã | Portugal

## Faculdade de Engenharia da Universidade da Universidade da Beira Interior

Departamento de Engenharia e Arquitectura

### **A ARQUITECTURA SOLAR PASSIVA – O sol e a terra em acção de afluência**

João Miguel da Silva Rei

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Arquitectura

Orientador: Prof. Dr. Luís Miguel Moreira Pinto

Co-orientador: Prof. Dr. José Justino Barros Gomes

Covilhã, Portugal  
Junho 2009

© Autor, 2009

# Resumo

O sol tem um “*custo*” análogo em qualquer lugar do planeta, o que nos permite satisfazer uma panóplia de necessidades diárias no habitat. No começo da última década do século XX, o Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento (PNUD), divulgou o seu primeiro relatório sobre o desenvolvimento humano no mundo, revelando as cavadas desigualdades que representam os actuais modelos de desenvolvimento e satisfação das necessidades mais básicas e as situações de riqueza e pobreza que interrogam as reais possibilidades de construir, localmente e globalmente, uma sociedade planetária mais cuidada, imparcial e justa, logo, mais sustentável.

Uma aspiração com claras reflexões políticas, económicas, ecológicas e éticas. Neste contexto, torna-se essencial a promoção de um desenvolvimento mais sustentável, pressupondo um claro esforço social e educativo que contribuam para projectar rotinas sustentavelmente eficientes de habitar o planeta.

Torna-se portanto importante a consciência do meio em que habitamos e as acções que exercemos sobre o ecossistema, sugerindo-nos a essencial dependência e união com a natureza, de forma a saber aproveitar as vantagens, aplicando os procedimentos correctos que facilitem transformações sustentáveis, nomeadamente a energia solar passiva e a evolução do conceito de arquitectura solar passiva ao longo da história, como factor determinante de uma maior sustentabilidade e gestão de recursos.

Reduzir o impacto ambiental das construções, estabelecer estratégias, reutilizar, reciclar, reduzir e consumo energético da construção e reduzir consumo energético da utilização, apreender boas práticas arquitectónicas e construtivas, os vários tipos de energia, a quantificação de custos, os tipos de captação, os processos térmicos dos edifícios (*aquecimento, ventilação e arrefecimento*) e técnicas limpas construtivas, são instrumentos essenciais ao arquitecto na arte de concepção arquitectónica.

O que se propõe como elemento de auxílio ao que pode chamar de saudável ambiente na arquitectura é a contribuição para o aumento da qualidade de vida, gerida de forma responsável e eficiente gerindo os recursos locais disponíveis.

**Palavras-chave:** (ambiente, clima, energia, homem, sustentabilidade).

# Abstract

The Sun has a similar cost anywhere in the planet, satisfying a wide number of environmental needs. At the beginning of last decade of the twentieth century the United Nations Development Program (UNDP) revealed its first report over human development, showing the deep inequalities in which the present development models are based: the scarcely fulfill of the basic needs for many, in opposition to the situations of great wealth for few, asking us about the real possibilities of how to build local and globally a more concerned, equitable and just human society, therefore a more sustainable one.

In this context an aim for political, economical, ecological and ethical reflections, shall be a prime concern for the advance of a more sustainable development, based in a clear, social and educational effort, to contribute for the planning of sustainable and efficient practices in how to use the planet.

Having in mind the human environment, our actions over the ecosystem suggest our subordination and connection to nature, in order to benefit of its advantages, applying the correct procedures to facilitate sustainable changes, such as: passive solar energy, hence the analysis of passive solar architecture through history, as a main agent for sustainability and resources management.

To reduce the environmental impact of buildings, establishing strategies such as: reutilizing, recycling, reducing energy consumption along its entire life cycle, learning the good architectural and building practices, the different types of energy and how to quantify cost, the harvesting processes, heating/cooling and ventilation of buildings, as well as clean building technologies. All this are essential tools for the architect's good practice, during the design phase.

This collection is our contribution to improve the quality of life under an efficient and responsible way to manage the available local resources concerning the practice of architecture.

**Key words:** (environment, climate, energy, man, sustainability).

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer a algumas pessoas que contribuíram para a realização desta tese:

Ao Professor Doutor Miguel Moreira Pinto, pela orientação e palavras de encorajamento, que me permitiram realizar este trabalho.

Aos diversos intervenientes no Departamento de Engenharia e Arquitectura, que me apoiaram com as suas explicações, pelo inculcaram de uma mentalidade de excelência.

Não poderia deixar uma menção especial ao Professor Doutor José Justino Barros Gomes, pelo carinho e da enorme vontade de ajudar em tudo que necessitei, disponibilidade de material fornecido para que esta dissertação fosse finalizada, sem ele, não poderia ter chegado onde cheguei, muito obrigado.

Ao meu Pai, que infelizmente já não está presente, mas digo-lhe: Pai; consegui! Serei Arquitecto como tanto gostarias!

Ao meu pai de criação, obrigado por tudo nunca me esquecerei!

Dedico esta tese a Deus, à minha Família, e a três grandes mulheres: à minha Mãe, com todo amor que ela me tem dado e dará, à Arquitectura que para mim é eminentemente uma figura feminina, e à Sandra Antunes uma pessoa muito especial.

*“A verdadeira medida de um homem não é como ele se comporta em momentos de conforto e conveniência, mas como ele se mantém em tempos de controvérsia e desafio”.*

Martin Luther King

# Índice

<b>Resumo</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
Agradecimentos .....	5
<b>Índice</b> .....	<b>6</b>
Lista de figuras.....	8
Lista de gráficos.....	14
Capítulo 1 .....	17
1.1 - Introdução.....	17
1.2 - Objectivo e metodologia.....	17
Capítulo 2 .....	23
2.1 - Enquadramento .....	23
2.2 - Considerações Preliminares.....	23
2.3 – Evolução histórica do conceito solar passivo.....	26
2.4 – Construção em vidro, técnicas e utilizações .....	45
2.5 - A Revolução Industrial.....	50
2.6 - Janela e parede e a sua relação.....	53
2.7 - A fachada independente.....	54
2.8 - A fachada como elemento mediador energético .....	64
Capítulo 3 .....	65
3.1 – A energia e o Sol .....	65
3.2 - Energia e o Homem.....	67
3.3 - Energia Solar e o Meio Ambiente.....	68
3.4 – Temperatura .....	68
3.5 - Radiação Solar .....	70
3.6 – Insolação .....	74
3.7 – Ventos.....	76
3.8 – Precipitação .....	77
3.9 – Macroclima mesoclima e Microclima .....	78
3.10 – Efeito estufa .....	79
3.11. - A Energia Solar e os Edifícios .....	81
3.12 – A trajectória solar .....	82
3.13 - A orientação solar .....	84
3.14 - O consumo de Energia em Portugal.....	88
3.15 - A eficiência energética dos edifícios em Portugal .....	91
3.16 - Directiva Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios. ....	92
3.17 - Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas) .....	93
3.18 - Regulamentos (RCCTE e RSECE).....	94
3.19 - Certificação Energética de Edifícios .....	99
3.20 - Directiva Europeia 2002/91 .....	99
3.21 - Apreciação e conclusão do capítulo 3 .....	101
Capítulo 4 .....	102
4.1 – Conceito.....	102

4.2 - Radiação Global com várias orientações - planos verticais e planos horizontais .....	103
4.3 - Plano bioclimático do clima.....	104
4.4 - Sistemas de Aquecimento Passivo .....	105
4.5 - Ganho Directo .....	106
4.6 - A Envoltente Vertical Opaca como sistema de ganho indirecto solar .....	110
4.7 - Ganho separado ou Isolado.....	115
4.8 - Sistemas de Arrefecimento Passivo .....	117
4.9 – Protecção Solar .....	118
4.10 - Ventilação natural.....	120
4.11 - Arrefecimento evaporativo .....	123
4.12 - Arrefecimento Radioactivo .....	124
4.13 - Arrefecimento através do solo .....	125
4.14 – Iluminação natural .....	126
4.15 – Breves exemplos de aplicação de técnicas solares passivas .....	127
Capítulo 5.....	132
5.1 – Breve anotação da construção tradicional Portuguesa.....	132
5.2 – Estudo de Casos.....	133
5.3 – Análise de projectos de arquitectura solar passiva em Portugal continental .....	137
Capítulo 6.....	156
1.1 - Conclusões .....	156
Glossário .....	158
Bibliografia .....	167

# Lista de figuras

Figura 1- Planisfério evidenciando as regiões terrestres e marinhas de maior produtividade da biosfera. [Fonte: Wikipédia, 2009].....	19
Figura 2– Desenho do homem primitivo protegendo-se da chuva, segundo Filarete.....	24
Figura 3– Desenho de Le Corbusier: dois destinos para a arquitetura e a sociedade moderna. Figura 7, p.30 [Fonte: <a href="http://www.vitruvius.com.br/resenhas/textos/resenha203.asp">http://www.vitruvius.com.br/resenhas/textos/resenha203.asp</a> ] .....	26
Figura 4 – Newgrange. No solstício de Inverno o sol ilumina o corredor e a câmara central. Vistas, corredor central e esquiço. [Fonte: <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Newgrange">http://pt.wikipedia.org/wiki/Newgrange</a> , 2009] .....	26
Figura 5 – Newgrange. O corredor e a câmara central. [Fonte: <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Newgrange">http://pt.wikipedia.org/wiki/Newgrange</a> , 2009] .....	27
Figura 6 – O Deus-Sol RÁ (ou Ré) é representado com a cabeça de falcão sol sendo os Faraós os seus filhos. Tem um disco solar na cabeça, rodeado pela serpente Khut. ....	28
Figura 7 – A Pirâmide de Quéops (ou Khufu) <sup>2</sup> construída para ser a tumba do Faraó Quéops da quarta dinastia, entre de 2551 a 2528 a.C.....	29
Figura 8 - Residência egípcia -pavimentos térrea e superior. [Fonte: Adaptado de Jean GALLOTI, s.d. in SCHOENAUER, 1981/1984, p. 45] .....	30
Figura 9 – Torre em Alexandria deveria estar a 1/50 da circunferência da Terra. Eratóstenes usou uma simples regra de três para calcular o perímetro da terra. Isto é $7,2 / 360 = 787 /$ [Fonte: <a href="http://www.vitruvius.com.br/resenhas/textos/resenha203.asp">http://www.vitruvius.com.br/resenhas/textos/resenha203.asp</a> ] .....	31
Figura 10 – Perspectiva da casa nº 33, Priene. [Fonte: adaptado de CHING, 1996, p. 154].....	32
Figura 11 – Planta da Cidade de Priene, [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 58] ...	33
Figura 12 – Latitudes povos e intervalos Musicais, [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 244] .....	35
Figura 13 – Tipologias diferenciadas, [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 244] .....	36
Figura 14 – Orientação dos compartimentos das habitações, [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 248].....	37
Figura 15 – Orientação e tipologia dos compartimentos das habitações [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 248].....	38
Figura 16 – Orientação de algumas Villas, [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 248].....	39

Figura 17 - Capela de Sainte-Chapelle, no coração de Paris construída em 1246 a 1248, [Fonte: Frantz Ricardo, <a href="http://tetraktys.multiply.com/photos/album/132/Paris_2_-_A_Sainte-Chapelle">http://tetraktys.multiply.com/photos/album/132/Paris_2_-_A_Sainte-Chapelle</a> ] ..	41
Figura 18 - Cidade do Céu de Acoma Pueblo - The Sky City, no Novo México, a cidade mais antiga ainda habitada dos EUA. [Fonte: <a href="http://www.rozylowicz.com/retirement/acoma/acoma.html">http://www.rozylowicz.com/retirement/acoma/acoma.html</a> , 2009] .....	43
Figura 19 - Cidade Islâmica, onde surgiram os primeiros banhos públicos. [Fonte: Schoenauer, 1984 pag 133] .....	43
Figura 20 - O Palácio de Cristal de John Paxton, Grande Exposição de Londres de 1851 demonstrando a possibilidade de realizar grandes áreas de envidraçadas cobertos (Victoria Station 2002) [Fonte: HESKETT, John. Desenho Industrial. Rio de Janeiro: José Olympio, 2006. p. 10-50].....	47
Figura 21 - Temperate Hose. A estufa é maior estrutura de ferro e vidro sobrevivente da4. ....	47
Figura 22 - O Palácio de Cristal, demolido em 1951. [Fonte: <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Pal%C3%A1cio_de_Cristal_(Porto)">http://pt.wikipedia.org/wiki/Pal%C3%A1cio_de_Cristal_(Porto)</a> ].....	48
Figura 23 – A maquina Pyrheliophero, apresentada em 1904, na Exposição de St Louis, EUA, pelo Padre Himalaya. [Fonte: JC. Santiago - O nicho de São Santiago. Rio de Janeiro: L' ABC, 2006. Capa.] .....	49
Figura 24 - Esquema do ciclo do carbono. [Fonte: <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_carbono">http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_carbono</a> ] .....	52
Figura 25 - Armazéns Carson, <sup>5</sup> Pirie, Scott de Louis Sullivan. [Fonte: Góssel e Leuthäuser, 2001, p. 34] .....	55
Figura 26 - Fábrica Fagus em Alfeld-an-der-Leine, de Walter Gropius e Adolf 1911 - 1925. A esquina do edifício, completamente envidraçada, mostrando uma leveza. [Fonte: Lupfer e Sigel, 2006, p. 19].....	56
Figura 27 – Escola de Bauhaus, em Dessávia, de Walter Gropius 1926. [Fonte: Góssel e Leuthäuser, 1996, p. 137].....	57
Figura 28 - Mies van der Rohe. Modelo do projecto do Arranha-céus de Vidro, Berlim, 1922. [Fonte: Bergdoll e Riley, 2001, p. 187] .....	58
Figura 29 - Mies van der Rohe. Apartamentos em Lake Shore Drive, Chicago, 1948 - 1951. Vista geral em direcção ao lago. [Fonte: Zimmerman, 2007, p. 66] .....	59
Figura 30 - Mies van der Rohe, Edifício Seagram, Nova Iorque, 1954-1958.[Fonte: Zimmerman, 2007, p. 72.].....	60
Figura 31 - Tadao Ando, Espaço de Meditação, UNESCO, Paris, França, 1994 - 1995. Vista exterior com o edifício da UNESCO, de Mareei Breuer, em fundo. [Fonte: Furuyama, 2007, p. 70].....	61

Figura 32 - Edifício Museu “Kunsthhaus” de Bregenz de Peter Zumthor. Vista geral (Zabalbeascoa et al 2001) [Fonte: <a href="http://farm4.static.flickr.com/3121/2498171797_e0255186ee.jpg">http://farm4.static.flickr.com/3121/2498171797_e0255186ee.jpg</a> ] .....	62
Figura 33 - Caves Dominus, em Yontville, na Califórnia, de Herzog & de Meuron. Vista geral e pormenor da entrada principal [Fonte: <a href="http://archi.climatic.free.fr/0823.html">archi.climatic.free.fr/0823.html</a> ] .....	63
Figura 34 - Ilustração da estrutura do Sol. [Fonte: <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Sol">http://pt.wikipedia.org/wiki/Sol</a> ] .....	65
Figura 35 – Temperatura do ar/sol superfície entre Junho de 2008 e Janeiro de 2009 [Fonte: INE – Instituto de Meteorologia, 2009].....	69
Figura 36 – Radiação recebida e reflectida e CO2 absorvendo e reflectindo radiação [Fonte: INE – Instituto de Meteorologia, 2009].....	71
Figura 37 – Figura representando o equilíbrio energético da Terra - Energy Equilibrium on Earth [Fonte: António Miguel de Campos, 2007] .....	71
Figura 38 - Composição da Radiação Solar, percentagens das ondas electromagnéticas dos diferentes comprimentos de onda [Fonte: Crowther, 1977].....	72
Figura 39 – Mapa de Insolação em Portugal [Fonte: Altas do Ambiente, PE - Porto Editora - Diciopédia; Enc - Encarta; PL - Plátano Editora 2008] .....	75
Figura 40 – Diagrama dos ventos na terra – [Fonte: Koenigsberger] .....	77
Figura 41 – Ganhos de calor através de parede transparente (supondo transparência 100% e protecção opaca 100%) com protecção externa. [Fonte: Frota, Anésia Barros. Manual de conforto térmico: arquitectura, urbanismo / Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer. — 5. ed. — São Paulo : Studio Nobel, 2001] .....	80
Figura 42 – Ganhos de calor através de parede transparente (supondo transparência 100% e protecção opaca 100%). com protecção externa [Fonte: Frota, Anésia Barros. Manual de conforto térmico : arquitectura, urbanismo / Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer. — 5. ed. — São Paulo : Studio Nobel, 2001] .....	80
Figura 43 – Processo da trajectória solar – diferenças de intensidade de radiação e tempo de exposição solar nas duas estações [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado] .....	82
Figura 44 – Processo de percurso solar – diferenças trajectória de verão e inverno [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado] .....	83
Figura 45 – Processo de percurso solar no inverno [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado] .....	84
Figura 46 – Processo de percurso solar no inverno [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado] .....	85

Figura 47 – Processo de percurso solar no verão [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado].....	85
Figura 48 – Processo de percurso solar no verão – [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado].....	86
Figura 49 – Imagem do percurso do sol ao longo do ano. Casa de Jacobs II [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado] .....	86
Figura 50 – Imagem de exemplo da pala Casa de Jacobs II <sup>6</sup> que produz um agradável sombreamento na estação de verão –[Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado].....	87
Figura 51 – Imagem de exemplo da pala Casa de Jacobs II que produz um agradável sombreamento na estação de verão <sup>3</sup> [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado].....	87
Figura 52 – Portugal Continental Zonas Climáticas de Inverno e de Verão [Fonte: D.R. 80/2006 p.2482] .....	97
Figura 53 – Modelo de Certificado Energético para os Edifícios [Fonte: DGE, 2007] .....	100
Figura 54 – Carta Bioclimática de Baruch Givoni. [Fonte: Applied Science Publishers, 2nd edition London, 1976] .....	105
Figura 55 - Sistema Ganho Directo [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1988] .....	107
Figura 56 - Sistema Ganho Directo – tipos de vidro [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1988] .....	107
Figura 57- Visão da sala da leitura de Biblioteca Aveiro [Fonte: Álvaro Siza, Obras e Projectos. Catálogo da exposição com o mesmo nome. Lisboa: Centro Cultural de Belém, p.151] .....	108
Figura 58 - Sistema Ganho Indirecto [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1988] .....	110
Figura 59 - Vários tipos parede de acumulação térmica [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 19].....	111
Figura 60 - Exemplo de mecanismos de captação solar [Fonte: Gonçalves, H. et. al 1997. Edifícios Solares Passivos em Portugal, INETI] .....	112
Figura 61 - Parede Trombe ventilada [Fonte: <a href="http://geocities.com/mleandror/indiceI.htm">http://geocities.com/mleandror/indiceI.htm</a> ] .....	113
Figura 62 - Vistas do edifício D. João II, parque das nações – Arqt. <sup>a</sup> Lúcia Tirone [Fonte: <a href="http://www.technal.pt/get_document.php?id=1225">http://www.technal.pt/get_document.php?id=1225</a> ] .....	113

Figura 63, 64 - A casa Schäfer Porto Santo - Parede de Trombe - Arqt.º Günter Ludwig – principal e porm. janela [Fonte: Gonçalves INETI. 1997] .....	114
Figura 65 - Esquema de funcionamento de uma Parede de Trombe ventilada no Inverno/Outono e Primavera Verão [Fonte: Gonçalves INETI. 1997] .....	114
Figura 66 - Ganho indirecto - Estufa [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1998].....	116
Figura 67 e 68 - Colector de ar no inverno exterior/interior e colector de ar no verão exterior/interior [Fonte: INETI – 1997].....	117
Figura 69 - Exemplos de sistemas de protecção solar exteriores de janelas [Fonte: Shading Systems for European climates, p. 7.].....	119
Figura 70 – Diagrama de Mollier – define a relação existente entre a temperatura do ar, a sua humidade relativa e absoluta o seu conteúdo térmico e a tensão do vapor de água (para a pressão atmosférica normal), factores que caracterizam a sensação de conforto ambiente [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1998, p.69] .....	120
Figura 71 - Ventilação Transversal, tratada e trabalhada [Fonte: INETI, 2004].....	121
Figura 72 - Pormenor de funcionamento de uma Chaminé solar. [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997].....	121
Figura 73 - Corte transversal mostrando os diversos sistemas de arrefecimento7ventilação, Casa Shaffer, Porto Santo. [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997].....	122
Figura 74 - Elementos facilitadores de ventilação (Bandeiras de ventilação) [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997].....	122
Figura 75 - Arrefecimento evaporativo <sup>9</sup> Imagem retirada e tratada [Fonte: Gonçalves, METI 1997] .....	123
Figura 76 - Arrefecimento Radioactivo [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997] .....	124
Figura 77 - Arrefecimento pelo solo (Tratada e desenhada em AutCad) [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997].....	125
Figura 78 - Casa Solar Porto Santo <sup>10</sup> – Arq. Gunther Ludewig Entrada de tubos enterrados e orifícios no interior da casa [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997] .....	126
Figura 79 - Frank Llyoyd Wright: Casa Malcolm Willey, Minneapolis, Minnesota, EUA. Vistas parciais.....	127
Figura 80 - Frank Llyoyd Wright: Casa Malcolm Willey, Minneapolis, Minnesota, EUA. Vistas. ....	128
Figura 81 - Palácio da Justiça, Chandigarh, India Le Corbusier. Vistas. [Fonte: Gardiner, Stephen- Le Corbusier, 1997].....	129

Figura 82 – Research Establishment Office Building, Garston, Grã-Bretanha. Feilden-Clegg. [Fonte: <a href="http://projects.bre.co.uk/envbuild/index.html">http://projects.bre.co.uk/envbuild/index.html</a> , 2009] .....	130
Figura 83 - Planta de Chandigarh, India Le Corbusier. Plano [Fonte: Martins Le Corbusier, Welly Boesiger, 1994] .....	131
Figura 84 – Alvenaria de pedra, casas típicas da Freguesia do Candal – Lousã. [Fonte: <a href="http://www.olhares.com">www.olhares.com</a> , 2009] .....	132
Figura 85 – Alvenaria de pedra, casas típicas do Freguesia do Piódão. [Fonte: <a href="http://www.olhares.com">www.olhares.com</a> , 2009] .....	133
Figura 86 - Casa típica da Região Centro de Portugal - Routar, Freguesia de Torredeita, Concelho e Distrito de Viseu [Fonte: arquivo pessoal] .....	134
Figura 87 - Alpendre de uma casa da Região Centro de Portugal - Tarva, Freguesia de Couto de Baixo, Concelho e Distrito de Viseu [Fonte: arquivo pessoal] .....	135
Figura 88 – Conjunto de casas na Região Sul de Portugal - Campo Maior [Fonte: arquivo pessoal] .....	136
Figura 89 - Vista do Edifício Torre Sul [Fonte: <a href="http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf">http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf</a> .....	137
Figura 90 - Edifício Torre Sul vista dos sombreamentos [Fonte: <a href="http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf">http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf</a> .....	138
Figura 91 - Edifício Torre Sul - pormenor de janela [Fonte: <a href="http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf">http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf</a> .....	139
Figura 92 - Edifício Torre Sul quarto e porta janela [Fonte: <a href="http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf">http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf</a> .....	139
Figura 93- Edifício Torre Sul – sala [Fonte: <a href="http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf">http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf</a> .....	140
Figura 94 - Vista do Edifício Solar XXI fachada sul/poente [Fonte: INETI, 2009] ....	141
Figura 95 - Vista do Edifício Solar XXI – fachada norte/poente [Fonte: INETI, 2009] .....	141
Figura 96 - Vista do Edifício Solar XXI – ganhos solares, secções, inverno/verão [Fonte: INETI, 2009] .....	142
Figura 97 - Vista do Edifício Solar XXI – Planta [Fonte: INETI, 2009] .....	143
Figura 98 - Vista do Edifício Solar XXI – estores fechados/verão [Fonte: INETI, 2009] .....	144
Figura 99 - Vista do Edifício Solar XXI – fotovoltaicos/fachada [Fonte: INETI, 2009] .....	145

Figura 100 - Vista do Edifício Solar XXI – Esquema térmico (inverno/verão) [Fonte: INETI, 2009].....	145
Figura 101 - Vista do Edifício Solar XXI – aberturas de ventilação [Fonte: INETI, 2009].....	146
Figura 102 - Vista do Edifício Solar XXI – Montagem de tubos [Fonte: INETI, 2009].....	147
Figura 103 - Vista do Edifício Solar XXI – esquema das condutas [Fonte: INETI, 2009].....	147
Figura 104 - Vista do Edifício Solar XXI – poço de admissão do ar [Fonte: INETI, 2009].....	148
Figura 105 - Vista do Edifício Solar XXI – clarabóia de ventilação [Fonte: INETI, 2009].....	149
Figura 106 - Fachada Sul das Moradias de Janas [Fonte: DGE, 2007] .....	151
Figura 107- Fachada Norte das Moradias de Janas [Fonte: DGE, 2007].....	152
Figura 108 - Pormenor da pala de sombreamento na fachada Sul. Com este tipo de solução é possível evitar a incidência da radiação solar durante o Verão [Fonte: DGE, 2007] .....	153
Figura 109 - Vãos envidraçados da sala na fachada Sul [Fonte: DGE, 2007] .....	155

## Lista de gráficos

Gráfico 1 – Consumo de Energia Final por Sector (2002) [Fonte: Dados DGE, 2005].....	88
Gráfico 2– Consumo de Electricidade Final por Sector (2002) [Fonte: Dados DGE, 2005].....	88
Gráfico 3 – Comparação entre o actual e o novo RCCTE [Fonte: Dados Fórum Energias Renováveis em Portugal – INETI, trabalhado e tratado] .....	99
Gráfico 4 – Radiação solar ao longo do ano (por orientações). [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado].....	103

## Abreviaturas e símbolos

**ADENE** - Agência para a Energia é uma instituição de tipo associativo de utilidade pública sem fins lucrativos, participada maioritariamente (69,66%) por instituições do Ministério da Economia e Inovação: Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE), Direcção Geral de Empresa (DGE) e Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI). As empresas concessionárias dos serviços públicos de fornecimento de electricidade e gás (EDP e Galp Energia) detêm 22% do capital social, sendo ainda 5.74% partilhados pelo LNEC, ISQ, FEUP, AMP, CCDRN e CBE.

**CAD** - Computer Aided Design (texto não português em itálico)

**CSA** - Coeficiente de Sobre-Amostragem

**INEGI** - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.

**INETI** - Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologias Industrial.

**RCCTE** - Sigla para o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios. Aplica-se a todos os novos edifícios, ou àqueles que sejam objecto de remodelações significativas. Exceptuam-se deste regulamento os edifícios que, pelo fim a que se destinam, terem de estar abertos para o exterior durante longos períodos.

**PROGRAMA P 3P** - Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios.

**RGEU** - Sigla para Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Estabelece as regras base para a construção de edifícios, nomeadamente as regras a ter em conta para as habitações terem condições de habitabilidade, salubridade, segurança contra o risco de incêndio e ainda de garantir condições mínimas de natureza estética.

**RSECE** - (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) - Regulamento que estabelece as regras a ter em conta no dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos de climatização em edifícios e as condições a observar de modo a que: as exigências de conforto térmico e de qualidade do ambiente impostas no interior dos edifícios possam vir a ser asseguradas em condições de eficiência energética; sejam garantidas a qualidade e a segurança das instalações; seja salvaguardado o respeito pelo meio ambiente.

**PROGRAMA E 4** - Programa E4, Eficiência Energética e Energias Endógenas.

**RCTCAD** - Programa AutoCAD como ferramenta de apoio ao projecto e concepção de edifícios bioclimáticos".

**SLR-P** - Método de cálculo baseado no método Solar Load Ratio, porém, adaptada às condições climáticas de Portugal.

$\omega$             Frequência angular

$\alpha$             Ângulo

# Capítulo 1

## 1.1 - Introdução

A presente tese surge na sequência da parte curricular do curso de mestrado integrado em arquitectura, ministrado pela Universidade da Beira Interior uma análise ao que deve ser a construção de cidades contextualizadas no seu clima, e que promovam uma melhoria das condições de conforto dos seus habitantes e uma desejável diminuição de consumos energéticos fósseis. Este tipo de arquitectura deve ser um instrumento de equilíbrio racional, na utilização de técnicas limpas e acessíveis a todos.

## 1.2 - Objectivo e metodologia

O objectivo é compreender os caminhos adequados a concretização dos princípios da energia solar passiva no conforto térmico na arquitectura. Bem como promover uma maior capacidade de desenvolvimento no presente e futuro no que respeita a esta temática solar, facilitando a compreensão do mercado.

O ser humano dispõe presentemente de técnicas e saberes que lhe permitem realizar objectivos inatingíveis há décadas atrás. Nas últimas décadas, a evolução tecnológica, em grande parte tem sido conseguida com sacrifício do meio ambiente. No entanto, o homem tem vindo a tomar consciência de que muitas das suas atitudes, têm tido graves implicações na gestão do ecossistema. Os ciclos normais das chuvas, secas, períodos de variação do clima, têm vindo a sofrer uma alteração bastante significativa, que importa reflectir as causas e efeitos.

É neste ciclo de imaturidade que humanidade vive actualmente, no entanto as últimas décadas conduziram felizmente a uma consciencialização a nível ambiental, o que originou claras mudanças de atitude.

As variações climáticas que atingem todo o planeta desde seu surgimento até os dias de hoje são acompanhadas pelo homem através de pesquisas, colectas de dados ou análises de materiais existentes no meio ambiente. Estas informações mostram um perfil das alterações que ocorrem através dos tempos, seja por efeitos da própria natureza ou pela acção do homem, influenciando directamente a sua vida.

Verificando-se o aumento da temperatura nos centros urbanos, originado pela maneira com que estes são construídos, sem um planeamento adequado, particularmente em relação ao aproveitamento dos próprios recursos naturais para proporcionar conforto térmico aos seus habitantes.

O bem-estar ambiental é um dos factores climáticos que interferem na qualidade de vida das pessoas. Actualmente, a preocupação com a melhoria do ambiente humano (medições de níveis de poluição, clima etc.), está presente em todas as grandes cidades.

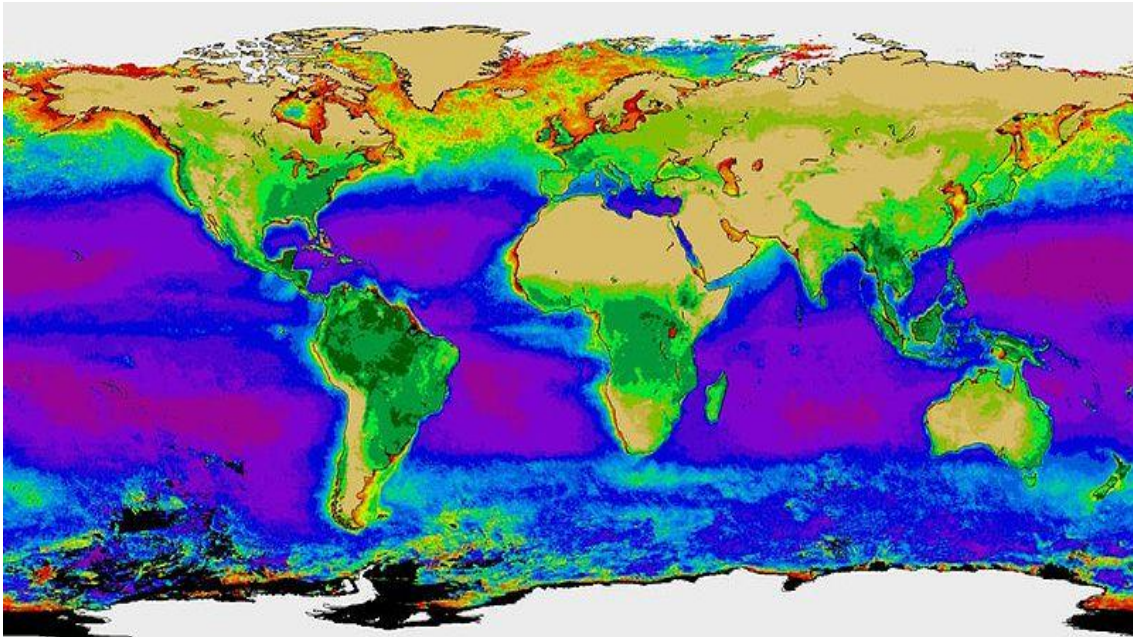
A nossa sociedade tem necessidades energéticas em inúmeras áreas, as quais se baseiam ainda no consumo de energia fóssil, com as respectivas emissões nefastas de gases com efeito de estufa.

Genericamente é nos edifícios que uma parte substancial da energia é consumida, é de todo interesse que os arquitectos tenham a preocupação de investigar alternativas viáveis aos modelos de construção actual. Manifesta-se ainda actualmente uma grande desvinculação entre a arquitectura e o clima. O projecto de arquitectura tem sido o principal responsável pela ineficiência no consumo de energia nos edifícios, a exemplo torres de escritórios. O desenvolvimento da estrutura metálica e do betão de alto rendimento, seguidos da iluminação artificial, do ar condicionado e dos elevadores, a arquitectura tem-se vindo a desonerar de dar soluções ao contexto climático, deixando esta tarefa completamente nas mãos da tecnologia.

Este dano para o utilizador final e para o País como gerador de energia para suprir estes casos é irreparável. Sabe-se, que o potencial de sustentação de energia eléctrica em construções existentes é bastante inferior ao potencial que poderia ser poupado através da introdução de novas atitudes na etapa de projecto. [ROMÉRO, M.A. "Legislação Energética em Edifícios: a Análise do Caso de Portugal". Sinopses, 1995.].

Torna-se essencial que a edificação opere numa óptica de união entre o clima e o meio ambiente envolvente.

Neste sentido tive a oportunidade durante a elaboração de ouvir alguns especialistas nacionais <sup>1</sup>que me deram um contributo enorme para desenvolver a arquitectura como um factor de inovação, que procure demonstrar quais as técnicas a empregar nas construções o seu comportamento térmico e o menor consumo de energia. A arquitectura solar passiva procura neste sentido dar uma resposta melhor mas não exclusiva, no que se pode chamar de “*uso responsável de técnicas limpas na construção*”.



**Figura 1-** Planisfério evidenciando as regiões terrestres e marinhas de maior produtividade da biosfera. [Fonte: Wikipédia, 2009]

A arquitectura solar passiva recorre a processos e conceitos elementares, que têm a ver com as orientações de exposição dos edifícios, uma das práticas para se abarcar a elevada concentração de radiação solar nas áreas urbanas, é a introdução de arborização, método tecnicamente mais natural para combater esse efeito, obtendo assim um clima com melhores condições de conforto ambiental para os seres vivos.

O conhecimento profundo das particularidades climáticas do lugar é fundamental para que se apliquem os princípios correctos na criação e concepção dos edifícios.

Desta maneira com a: *técnica-forma-concepção-relação-lugar* resume-se as preocupações da arquitectura solar passiva.

<sup>1</sup> – Jacinto Rodrigues (Professor Catedrático da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto e titular da cadeira de Ecologia Urbana) – Steve Curwell (expert for Sustainable Construction RIC5 – Salford University).

É conhecido, que o nosso País tem condições invejáveis comparativamente ao resto da Europa. Neste sentido a promoção da construção solar passiva deve apontar para medidas básicas a implementar, tais como:

*- Melhoria da concepção dos edifícios em termos de eficiência energética, pensando mais na energia solar passiva;*

*- Substituição dos consumos de energia convencional por energias limpas;*

*- Utilização de materiais de fonte renovável e adequados ao local e meio ambiente;*

Este trabalho tem como um dos seus principais objectivos a compreensão do comportamento dos edifícios em Portugal face às condições climáticas apontando o conforto térmico e a economia da energia através da optimização do ónus das soluções construtivas, desde a selecção dos materiais até às preferências arquitectónicas.

Examinar aprender e apurar quais os benefícios deste tipo de construção que evidenciem o seu crescente interesse, bem como o modelo de técnicas ou tecnologias envolventes. Procura-se também qualificar o cenário português, com o intento de perceber qual o quadro legal ou incentivos que desenvolvem este tipo de construção, quais as defesas ou obstáculos com que se deparam os diversos intervenientes desta área e quais as medidas a tomar.

Esta pesquisa permitiu realçar dois níveis de inovação mais preponderante: a inovação a nível do produto, tão essencial nesta área, e a inovação organizacional, que só agora começa a ter uma certa abundância em Portugal.

Outro dos objectivos é constatar e reflectir que tipo de concepção ao nível do projecto se tem vindo a fazer em Portugal.

O conceito solar passivo deve ser contextualizado apreendendo a sua evolução histórica. Apreender que mesmo sem o conhecimento científico durante varias gerações o homem construiu interagindo com o sol e a terra, soluções simples que ainda hoje de grande utilidade.

Incessantemente que a principal finalidade de habitar espaços, de múltiplas naturezas e graus de desenvolvimento, foi o pugnar pela melhoria da resposta possível

às instabilidades hostis do meio ambiente e a procura de protecção contra as condições climáticas adversas.

Neste sentido, e através de vários séculos de história, egípcios, gregos, persas e indianos estudaram o sol, os seus aparentes ciclos e as suas trajectórias, como forma de obter a desejada incidência dos seus raios, durante as várias estações do ano.

Os romanos, primeiro povo a consagrar juridicamente o direito ao sol, criaram práticas construtivas notáveis, ainda hoje utilizadas, nomeadamente na construção vernácula.

Ao longo dos tempos o indispensável trabalho de experimentação foi contínuo, produzindo diferentes formas construtivas, de análise dos diversos climas e condições geográficas, dando-nos actualmente condições de sustentadamente, diminuir os actuais custos de energia, cada vez mais onerosos, afectando claramente as economias mundiais.

Após a primeira crise energética na década de 70, tornou-se evidente que a dependência dos combustíveis fósseis e a rápida delapidação dos recursos naturais. A energia solar passou então a ser um dos temas obrigatórios no acto da concepção arquitectónica. O uso de termos: passivo, activo, bioclimático, ecológico, entre outros, é assim incorporado na ideia-concepção-materialização. Desde então, tem-se vindo a assistir a um profundo trabalho de investigação à volta da energia solar, numa primeira fase centrado fundamentalmente na captação activa, mais recentemente redirigido para a utilização passiva.

Reduzir o impacto ambiental das construções, estabelecer estratégias, reutilizar, reciclar, reduzir e consumo energético da construção e reduzir consumo energético da utilização, apreender boas práticas arquitectónicas e construtivas, os vários tipos de energia, a quantificação de custos, os tipos de captação, os processos térmicos dos edifícios (aquecimento, ventilação e arrefecimento) e técnicas limpas construtivas, são instrumentos essenciais ao arquitecto na arte de concepção arquitectónica.

São variados os métodos e os processos de aplicação nesta área, podem-nos auxiliar na aplicação do processo térmico no edifício; no aproveitamento da energia solar passiva, nas regras de construção dos edifícios e no seu posicionamento, técnicas que podem ser aperfeiçoadas e utilizadas devidamente moldadas ao nosso clima, o

conhecimento actual deve possibilitar a junção de todas estas valências, fazendo com que o seu procedimento possa ser encarado como um todo.

Não são muitos os casos em que estas questões de planos se integraram, a falta de um quadro legal que venha a impor equipas de projectistas com uma cultura e capacidade profissional, em saber planear encaixando esta temática infelizmente ainda é uma realidade notória nacional.

É neste sentido que surge o plano de investigação para o desenvolvimento de um novo método operacional para as operações arquitectónicas, em todas dimensões e plano de acção.

O que se propõe como elemento de auxílio ao que pode chamar de saudável ambiente na arquitectura é a contribuição para o aumento da qualidade de vida, gerida de forma responsável e eficiente gerindo os recursos locais disponíveis.

## Capítulo 2

### 2.1 - Enquadramento

Aqui enquadra-se o que foram os distintos modos de habitar ao longo dos tempos. Reflecte-se especialmente nas fachadas e coberturas, que agora se descrevem sob a expressão mais usual de “*pele exterior*”, e os divergentes sentidos que a sua materialização tem abarcado, durante as várias épocas, nas diversas adaptações aos climas, formas de habitar e sistemas construtivos.

Caracteriza-se também, abreviadamente os momentos fundamentais que ao longo do tempo caracterizaram as tipologias habitacionais em termos geográficos e os seus métodos de construção, com particular atenção à construção vernacular do nosso País.

A expressão “*arquitectura solar passiva*”, é recente, no entanto o aproveitamento do uso do sol como fonte de energia térmica é uma realidade de séculos.

Actualmente é comum saber-se que o sol tem uma influência vital em todos fenómenos climáticos existentes no nosso planeta, sendo responsável por todos ciclos de vida dos animais e das plantas.

### 2.2 - Considerações Preliminares

O homem primitivo descobre a utilização do fogo e do sol, como fontes de energia térmica indispensáveis, e conseqüentemente dá-se o começo da “*era energética*”. Mais tarde passou a utilizar-se da água de diversas formas para amenizar o calor.

A principal finalidade de habitar foi continuamente, o pugnar pela melhoria das inconstâncias adversas do meio ambiente e a protecção das condições climáticas, podemos remontar isto a vários séculos de história, egípcios, gregos, persas e indianos estudavam o sol as suas trajectórias como forma de obter a desejada incidência dos raios solares durante as várias estações do ano.



**Figura 2** – Desenho do homem primitivo protegendo-se da chuva, segundo Filarete.

[Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp156.asp>, 2009]

Os romanos foram o primeiro povo a consagrar juridicamente o direito ao sol, criaram práticas construtivas notáveis que ainda hoje se utilizam nomeadamente na construção vernácula.

As exigências de conforto e o crescimento da população e a industrialização foram responsáveis por novas técnicas de produção de energia que satisfizessem as novas necessidades.

O capitalismo trouxe uma profunda rotura com vários sistemas energéticos que a humanidade tinha conhecido até então, acaba a primazia das energias biológicas e começa a utilização massiva das energias fósseis. A industrialização foi responsável pelo notável aumento na contenda de energia que persistiu em crescer durante século XX, particularmente no sector industrial. Os motores de combustão interna desenvolveram uma crescente importância do petróleo no padrão energético dos países industrializados.

Na década de 70, surge a primeira crise energética, as energias “alternativas” caso da energia solar, emergem como assunto obrigatório na criação arquitectónica, vulgariza-se o uso de termos: passivo, activo, bioclimático, ecológico, etc., são obrigatórios na ideia-concepção-materialização. Daí para cá tem-se vindo a assistir a um profundo trabalho de investigação a volta da energia solar, primeiramente centrado fundamentalmente na captação activa, recentemente redirigido para a utilização passiva.

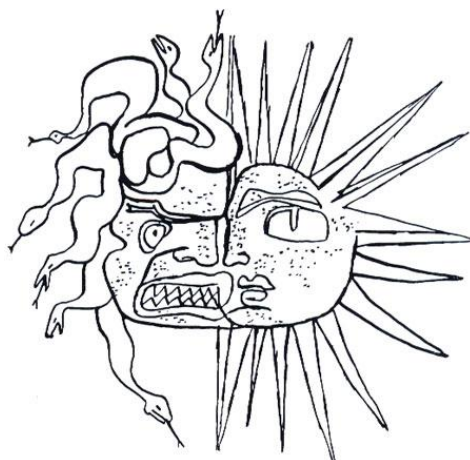
Ao longo dos tempos houve a necessidade de desenvolver-se o trabalho de experimentação das formas construtivas, das observações dos diversos climas e das condições geográficas, para que actualmente se procure sustentadamente resolver os custos actuais da energia bastante onerosos, afectando claramente as economias mundiais.

Este interesse pela eficiência energética, nos últimos anos tem sofrido um grande desenvolvimento e implementação, melhorando as condições ambientais locais e regionais, a redução dos consumos de energia global dos países e a desvinculação das curvas de crescimento do consumo global versus a curva do crescimento do PIB apontados como factores responsáveis por esse crescimento.

Além desses podemos indicar outros factores tais como a diminuição de poluentes na atmosfera reduzindo os impactos sobre o efeito estufa, a melhoria do desenvolvimento sustentado e do equilíbrio económico e a redução dos riscos globais da dependência originada no uso do petróleo.

O uso do sol e do seu percurso, quer ao longo do dia, quer ao longo do ano evoluíram desde há séculos, até aos dias de hoje. As actuais técnicas demonstram aperfeiçoamentos substanciais face as técnicas de há décadas atrás. No entanto, esta evolução apresenta cadencias diferentes de evolução dadas as diversas perspectivas ideológicas e culturais.

## 2.3 – Evolução histórica do conceito solar passivo



**Figura 3** – Desenho de Le Corbusier: dois destinos para a arquitectura e a sociedade moderna. Figura 7, p.30  
[Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/resenhas/textos/resenha203.asp>]

*“A arquitectura...deve ter tido uma origem simples no esforço primitivo da humanidade por alcançar uma protecção contra a inclemência do tempo, animais selvagens e os inimigos humanos”.* [Fletcher, Banister – A history of architecture: Architectural – Press, 1996]

A evidencia de que os conhecimentos astronómicos são muito antigos, foram-nos deixados na forma de monumentos, como o exemplo de Newgrange, foi construído em 3200 a.C., de modo que ao nascer do sol do dia mais curto do ano (solstício de inverno), um fino raio de sol ilumina por pouco tempo o piso da câmara no final de um longo corredor.



**Figura 4** – Newgrange. No solstício de Inverno o sol ilumina o corredor e a câmara central. Vistas, corredor central e esquiço. [Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Newgrange>, 2009]

Não havendo certezas, Newgrange pode ter sido usada sobretudo como tumba, dado os vestígios encontrados aquando das escavações ali efectuadas (restos humanos cremados de cinco indivíduos). O sol terá sido um importante agente nas crenças religiosas do Período Neolítico.



**Figura 5** – Newgrange. O corredor e a câmara central. [Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Newgrange>, 2009]

O alinhamento solar em Newgrange ainda actualmente é muito preciso se relacionado a outros prodígios, a exemplo as Ilhas Órcades, perto da Costa de Escócia.

O conceito da orientação solar como exemplo de utilização em obter ganhos solares no Inverno, ou de protecção de ganhos no Verão, não é novo. Os Egípcios, Gregos, Persas e Indianos serviram-se de conceitos Solares Passivos, tal como os Índios pré-colombianos da América do Norte e do Sul.



**Figura 6** – O Deus-Sol RÁ (ou Ré) é representado com a cabeça de falcão sol sendo os Faraós os seus filhos. Tem um disco solar na cabeça, rodeado pela serpente Khut.

[Fonte: <http://www.prof2000.pt/users/secjeste/MuseuSecJE/Mitosnoreinofaraos.htm>, 2009]

*“Os egípcios, tinham no sol um Deus sendo os Faraós os seus filhos. Na extremidade de cada raio de sol, os artistas plásticos egípcios representavam uma mão, pequena e delicada, acariciando a terra e todos os que a habitavam”.* [Weiner, Jonathan – O Planeta Terra. Lisboa: Gradiva – Publicações, 1987, p. 213]

Os egípcios possuíam uma doutrina dos mundos profundamente mitológica, no entanto tinham noções observação muito reais e exactas. A construção das pirâmides foi calculada achando o alinhamento a Norte, pois uma das faces deveria ficar perfeitamente virada nesta orientação.

Os Faraós recorriam à ajuda de sacerdotes para mandar os escravos alinhar escoras na direcção Norte, procurando com as guardas da “*Ursa Maior*”. Este alinhamento ora alcançado, iniciava-se o processo de construção das partes laterais da pirâmide, perpendicularmente às quais deveriam ficar os topos sul e norte.



**Figura 7** – A Pirâmide de Quéops (ou Khufu)<sup>2</sup> construída para ser a tumba do Faraó Quéops da quarta dinastia, entre de 2551 a 2528 a.C.

[Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A2mide\\_de\\_Qu%C3%A9ops](http://pt.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A2mide_de_Qu%C3%A9ops), 2009]

No entanto este conhecimento era ainda muito experimental, muito na base da percepção íntima, levou a que as pirâmides do Egito, além de conterem desvios ligeiros relativamente ao verdadeiro Norte, tenham discrepâncias de pirâmide para pirâmide à medida que foi calculado o eixo da Terra.

As tipologias das residências egípcias eram diferenciadas conforme a posição social do proprietário, levando a uma pluralidade de modelos.

Os pátios eram cobertos por tapetes ou um género de véu atado as extremidades superiores do pátio, sendo estendido ou recolhido conforme as necessidades climáticas e a diminuição da exposição solar. [SCHOENAUER, Norberg. 6.000 años de habitat. De los poblados primitivos a la vivienda urbana en las culturas de oriente y occidente. Tradução: Josefina Frontado. Barcelona: Gustavo Gili, 1984 (1981). 384 p., il. Título original: 6.000 years of housing].

<sup>2</sup> É a maior das três pirâmides de Gizé: a altura original era de 146,60 metros, mas actualmente é de 137,16 m, dada a falta de parte do seu topo e o revestimento. Estima-se ter necessitado de uma força de trabalho de cerca de 100 mil pessoas ao longo de 20 anos, estes homens eram livres.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A2mide\\_de\\_Qu%C3%A9ops](http://pt.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A2mide_de_Qu%C3%A9ops), 2009.

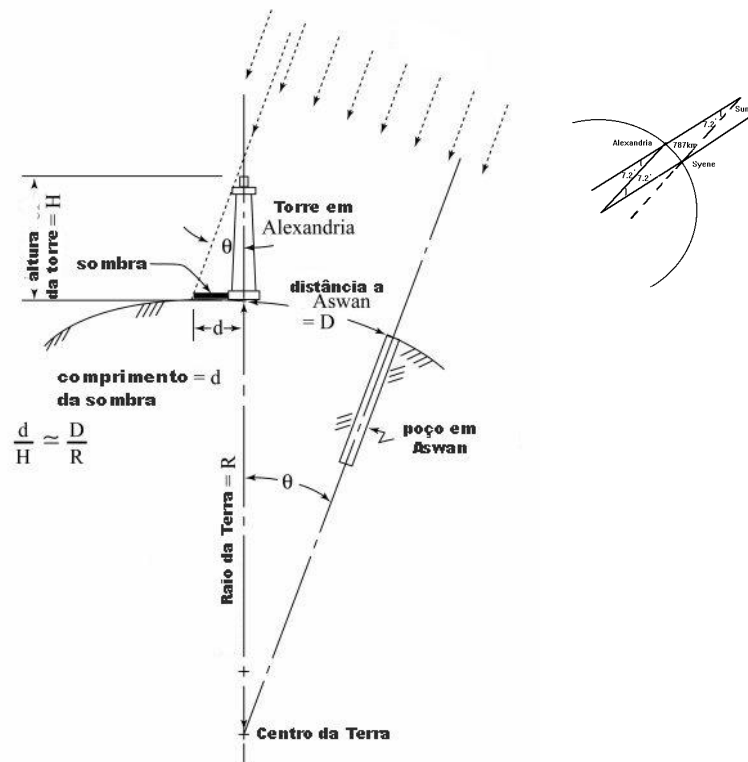


**Figura 8** - Residência egípcia -pavimentos térrea e superior. [Fonte: Adaptado de Jean GALLOTI, s.d. in SCHOENAUER, 1981/1984, p. 45]

Já com os poucos meios tecnológicos disponíveis há 2.500 anos, os antigos gregos concebiam a “*casa ideal*” como bom factor climático, quente no inverno e fresca no verão.

Os recursos combustíveis Grécia do Sec. V a.C. não abundavam os obstáculos com a carência de madeira fundamental nos estaleiros e fundições de metais, com variações climáticas que tornavam irregular o uso da energia hidráulica, com comunicações terrestres difíceis e com uma pecuária insuficiente, era muitas vezes compensada pelo número de horas de sol, constituindo uma forma de aquecimento das habitações, em detrimento da madeira que tinha um uso racionalizado no abate de árvores nomeadamente oliveiras.

Os gregos aprenderam a usufruir da energia solar estudando as trajectórias do sol que variam ao longo do ano, uma latitude de 40° Norte no solstício de verão e uma altitude de 70° ao meio-dia, enquanto no solstício de inverno é apenas de 26°.



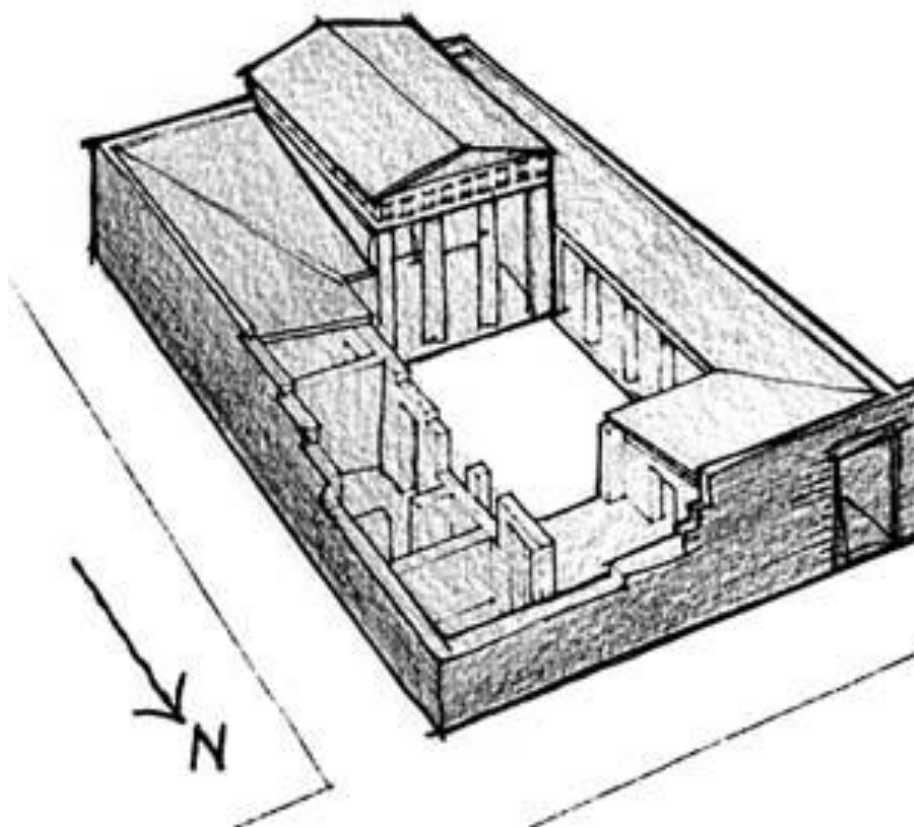
**Figura 9** – Torre em Alexandria deveria estar a 1/50 da circunferência da Terra. Eratóstenes usou uma simples regra de três para calcular o perímetro da terra. Isto é  $7,2 / 360 = 787 /$   
 [Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/resenhas/textos/resenha203.asp>]

Os gregos aprenderam a construir e perceberam que tinham de se proteger da incidência directa solar, nas fachadas a Sul, obtinham a sombra desejada tornando mais amenos os quentes verões, para isso colocaram em prática o método de triangulação de um elemento arquitectónico com uma hipotenusa de cerca de  $70^\circ$  em relação ao pavimento.

Já no inverno as construções vizinhas nas zonas das fachadas a sul tinham de respeitar um espaço livre (logradouro); este cálculo obedecia a regras tanto na sua altura como na sua largura respeitando um triângulo com uma inclinação máxima, na hipotenusa de  $26^\circ$ , desta forma alcançava-se o calor desejado dentro das habitações dada a trajectória mais baixa do sol.

Constatam-se aqui dois princípios:

- **Desenho** – conformidade da altura do elemento sombreador com a altura do edifício;
- **Relação** – conformidade entre construções adjacentes;



**Figura 10** – Perspectiva da casa nº 33, Priene. [Fonte: adaptado de CHING, 1996, p. 154]

Neste sentido, a “*casa de pátio central*” dá resposta a estes princípios, a sua disposição era constituída por uma fachada virada para a rua com a entrada principal para um pátio sem qualquer barreira física, onde se dispunham à sua volta as divisões que recebiam os raios solares, e ao mesmo tempo eram resguardadas dos ventos vindos de norte.

“*Na realidade, os gregos utilizaram em suas residências os chamados pátios peristilos (fase do Helenismo). Houveram uma grande variedade de soluções residenciais grega mas, normalmente, as moradias dos tempos mais primitivos eram baixas, usualmente de dois pavimentos com um tipo de pátio interno (o pátio peristilo) para o qual abriam-se os cômodos principais. As casas de Priene (final do séc. IV a.C.) possuíam ambientes que chegavam a alcançar 5,50 a 6m, assim o ar aquecido se instalava acima da zona de ocupação. A característica mais interessante dessas moradias é a predominância de um esquema que lembra acentuadamente o mégaron do palácio micênico. Dotadas de pátios, e havia quase sempre, na face Norte, um aposento mais largo que profundo, completamente aberto para o pátio; pois assim, haverá um grande aproveitamento da luz difusa (hemisfério norte). Essa casa foi posteriormente interligada com sua vizinha, através da criação de um pátio peristilo, de colunas mais*

*largas e altas ao Norte; um tipo denominado ródio (de Rodes) por Vitruvio e encontrado tanto em Delos como em Pompeia”.* [REIS ALVES, Luís Augusto dos. Os pátios internos em climas tropicais à luz do conforto ambiental. 2003. 182 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitectura) – Faculdade de Arquitectura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro].

Os gregos desenvolveram um urbanismo eficaz, criando um sistema ortogonal orientado nos eixos Nascente-Poente e Norte-Sul, como se pode verificar no traçado da cidade Grega de Priene, este princípio de planeamento urbano de algumas cidades gregas, foram considerados factores de distinção há altura.



**Figura 11** – Planta da Cidade de Priene, [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 58]

A abundante da Arquitectura da antiguidade, seguiu os ensinamentos de Aristóteles, e, 600 anos depois, de Vitruvio, direccionando-se para o uso do Sol e vento para combater as adversidades climáticas, não dispondo do vidro, estavam privados de um dos mais valiosos recursos disponíveis para a obtenção de ganhos solares passivos.

Roma inicia seu predomínio político-militar na bacia mediterrânea, o período de 31 a.C. a 410 d.C. marca o domínio romano o qual também dependia do trabalho de escravos. Nesta altura foi usada madeira à escala industrial, nas carências de

aquecimento, dos banhos públicos e privados, bem como a construção naval, no entanto é particularmente nas fundições de metais para a produção de armamento que os gastos são generalizados. Com isto foi desmatada a Península Ibérica, levando à deslocação de muitas fundições romanas para os países nórdicos onde a madeira ainda era abundante.

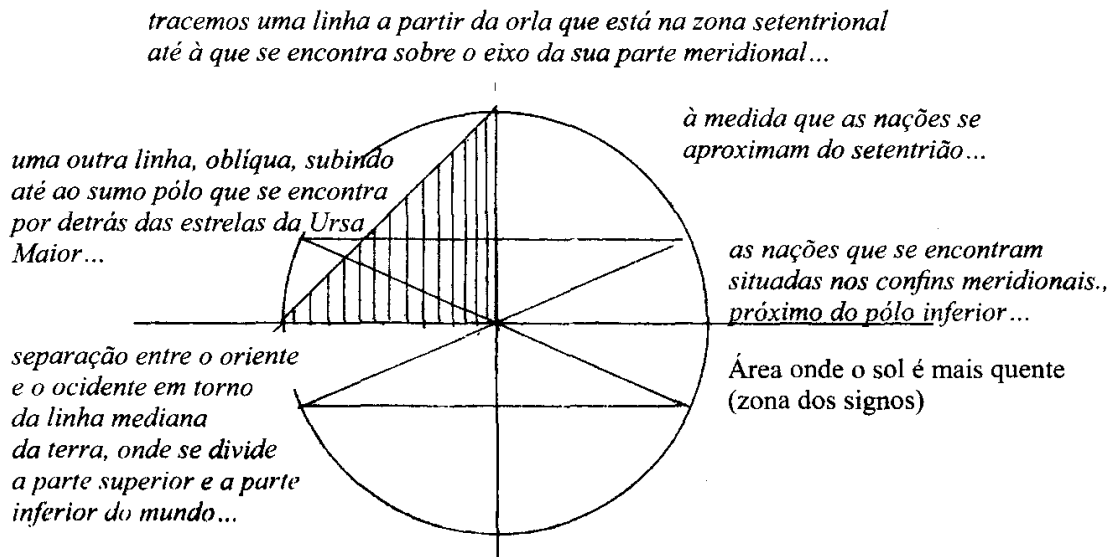
Mesmo com esta abundância, no Sec. I a.C. o império já tinha de importar madeira para fazer face aos gastos. As suas Villas de recreio, alimentavam-se de madeira para aquecimento, sendo necessário queimar em media 150 quilos de madeira por hora, ou mais de 15 mil metros cúbicos de lenha por dia.

Desta forma os recursos locais de madeira vieram rapidamente a escassear em toda a península italiana. A região de Monte Cimino, próxima de Roma, era uma zona densamente arborizada, o historiador Lívio diz-nos "*assustador e difícil de atravessar a floresta regiões da Alemanha.*"

A notável estrutura predatória do Império Romano não se sustentou, Plínio, o Velho, descreveu-nos os efeitos negativos sobre a indústria local do metal na Campânia e a escassez que os obrigou a fechar as minas de ferro de Elba. É possível pensar que esta crise poderá ter contribuído partir do Sec. I a.C. para uma conversão do Império Romano à arquitectura solar, adoptando o exemplo grego, criaram práticas construtivas notáveis que ainda hoje se utilizam nomeadamente na construção vernácula.

A arquitectura solar tornou-se rapidamente parte da vida pública, tendo sido o primeiro povo a consagrar juridicamente o direito ao sol, ou seja, o direito do vizinho da casa ao Sol e a casa própria. Desenvolveram-se então processos e adaptações aos diferentes climas do império, usando o vidro nas janelas dos recintos para aumentar o ganho do calor solar, evitando as normais perdas, e passa a ser aplicado em estufas e edifícios públicos, tais como banhos.

Vitruvio fala-nos das regras específicas para o que se podia chamar de uma boa orientação e exposição, fundamentadas na prática da arquitectura vernacular antes de Cristo.

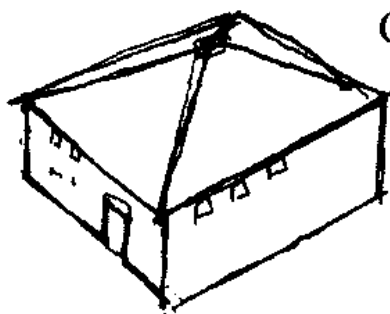


**Figura 12** – Latitudes povos e intervalos Musicais, [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 244]

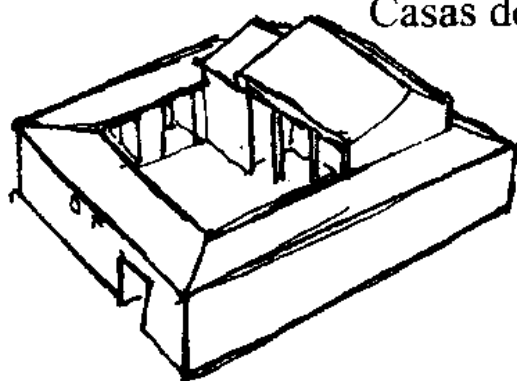
Este dedicou o capítulo VII do Livro VI à orientação solar dos edifícios, chamando-o “*Das partes do céu a que devem olhar os edifícios para o seu bom uso*” fazendo aqui referência por exemplo, a latitudes, à genera, à orientação preferencial dos banhos a Poente, por necessitarem do calor ao fim da tarde, dos quartos e bibliotecas a Nascente, e das galerias de quadros, oficinas de tapeçaria e ateliês de pintura a Norte.

O Arquitecto, Paládio Faventino deu uma ênfase enorme nos seus escritos ao factor da auto-suficiência para impedir a derrocada do Império. Além da tecnologia solar, defendia a reciclagem da água e das cores radiosas ou escuras que reflectiam ou retinham o calor.

Vitruvio, arquitecto romano do séc. I a.C., diz no seu Tratado de Arquitectura [trad. Maciel, 2006, p. 221 e 222]: “*Estes ficarão correctamente dispostos se desde o inicio se tiver presente em que zonas e em que latitudes são construídos. Parece com efeito, que convém levantar as várias tipologias de edifícios de uma maneira no Egipto, de outra na Hispânia, não do mesmo modo no Ponto, diversamente em Roma, como acontece com as diferentes propriedades das terras e das regiões, porque numa parte a Terra se encontra sob a pressão do curso do Sol, noutra se afasta dele e fica temperada no meio. Portanto, assim como a constituição do Universo em relação à Terra se baseia naturalmente na inclinação do círculo do Zodíaco e no curso do Sol com dísparas qualidades, do mesmo modo se julga deverem ser traçadas as disposições dos edifícios de acordo com as características das regiões e as variedades do céu.*”



Casas cobertas no norte



Casas de átrio aberto no sul

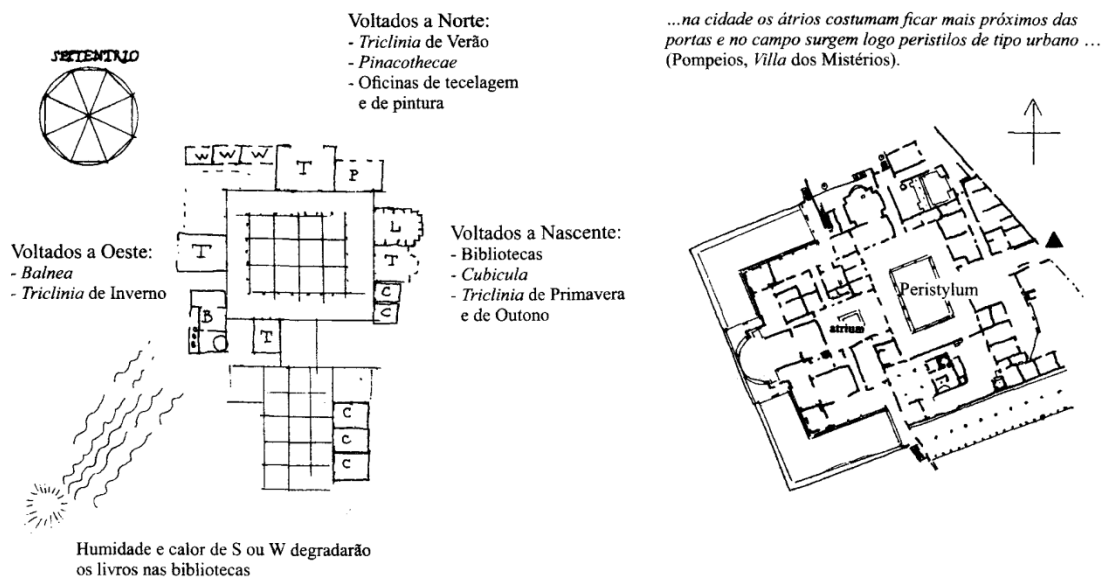
**Figura 13** – Tipologias diferenciadas, [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 244]

Vitruvio, dá as regras para que o projecto das casas seja exacto, em primeiro lugar deve-se tirar notas, do país e do clima em que são construídas. Isto deve-se a que, uma parte da terra está directamente sobre o curso do sol, outra parte está longe dele, e outra parte está num ponto intermédio. Daí que o género de casas que parece apropriado para construir no Egipto, naturalmente é diferente em outras terras com outras características. Assim, a posição do sol, em adição com a sua trajectória na terra, leva naturalmente a diferentes características, devido à inclinação do círculo do Zodíaco e à trajectória do sol, então é obvio que o projecto dos edifícios tenha de estar em conformidade com a natureza do país, assim como com a diversidade de climas.

*“Nas regiões setentrionais, pensa-se ser conveniente que os edifícios sejam construídos abobadados, resguardados ao máximo e não expostos, voltados para as partes quentes. Contrariamente, nas regiões meridionais, sob o ímpeto do Sol, porque sujeitos ao calor, os edifícios deverão ser feitos mais abertos e voltados para o setentrião (Norte) e o aquilão (Nordeste). Desde modo, o que a natureza lesa em demasia será emendado pela arte. De maneira idêntica se procederá também a uma*

aferição nas restantes regiões, de acordo com a posição do céu à inclinação do Universo." [Vitruvio – Tratado de arquitectura, trad. Maciel, 2006, p. 222]

No Norte as casas deveriam ser totalmente cobertas, protegidas o máximo possível e sem aberturas, mesmo sabendo que têm uma exposição quente. Por outro lado, para países a sul onde a radiação do sol é forte, as habitações sofrem de muito calor, o que leva a construções com aberturas e com exposição Norte/Nordeste. Assim conseguia-se, com a sua arte, emendar o que a natureza estragaria. Noutras situações seria necessário fazer algumas correcções devidas à posição do céu e os seus efeitos no clima.



**Figura 14** – Orientação dos compartimentos das habitações, [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 248]

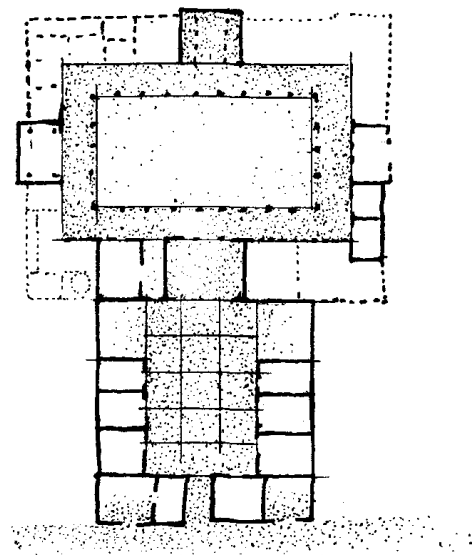
Um dos grandes avanços de Vitruvio face aos gregos é a especificação do zonamento da casa onde cada quarto deveria ser definida a sua utilização para obter maior conforto, conjuntamente com as bibliotecas deveriam ser orientados para oriente. Todas divisões das habitações deveriam seguir certos princípios. Os balneários deveriam estar voltados para o ocidente hibernal, dada a necessidade de luz matinal, uma vez que sol ao incidir com toda a sua força emitiria calor, para tornar estes mais quentes nos finais de tarde. Os triclinios (sala de jantar com leitos ao seu redor) de primavera e Outono deveriam estar direccionados para nascente.

Veja-se o que diz Vitruvio [trad. Maciel, 2006, p. 231]: "*Os Triclinios de inverno e os banhos deverão estar voltados para o Ocidente hibernal, devido ao facto de neles ser necessário a luz vespertina, além de que também o Sol, ao incidir o seu esplendor e emitindo calor, torna o sitio mais aquecido ao fim da tarde. Os cubiculos (Cubicula: cubiculos, quartos de dormir) e as bibliotecas devem estar virados a*

Oriente. Com efeito, o seu uso matutino exige luz, e também assim os livros não apodrecem nas bibliotecas. Pois, em qualquer delas que estejam voltadas para o Meio-Dia e para o Ocidente, os livros são danificados pelas traças e pela humidade, originadas e alimentadas pelos ventos húmidos que chegam, além de que, espalhando exalações humentes, corrompem os volumes com bolor. Os triclinios (sala de jantar com leitos à volta) de Primavera e de Outono devem estar direccionados para nascente; com efeito, estando eles expostos à luz na direcção dos raios solares do Sol, à medida que ele se dirige para o Ocidente torna-os temperados naquela altura em que habitualmente é necessário o seu uso. Os triclinios de Verão devem ficar voltados para Setentrião, porque esta exposição, sendo oposta ao curso do Sol, apresenta-se sempre fresca, sã e agradável, ao contrário das outras que, no solstício, se tornam ardentes devido ao calor. A mesma exposição deverão ter as pinacotecas, oficinas de tecelagem e oficinas de pintura, a fim de que as cores mantenham uma qualidade perene no suporte, mercê da constância da luz."

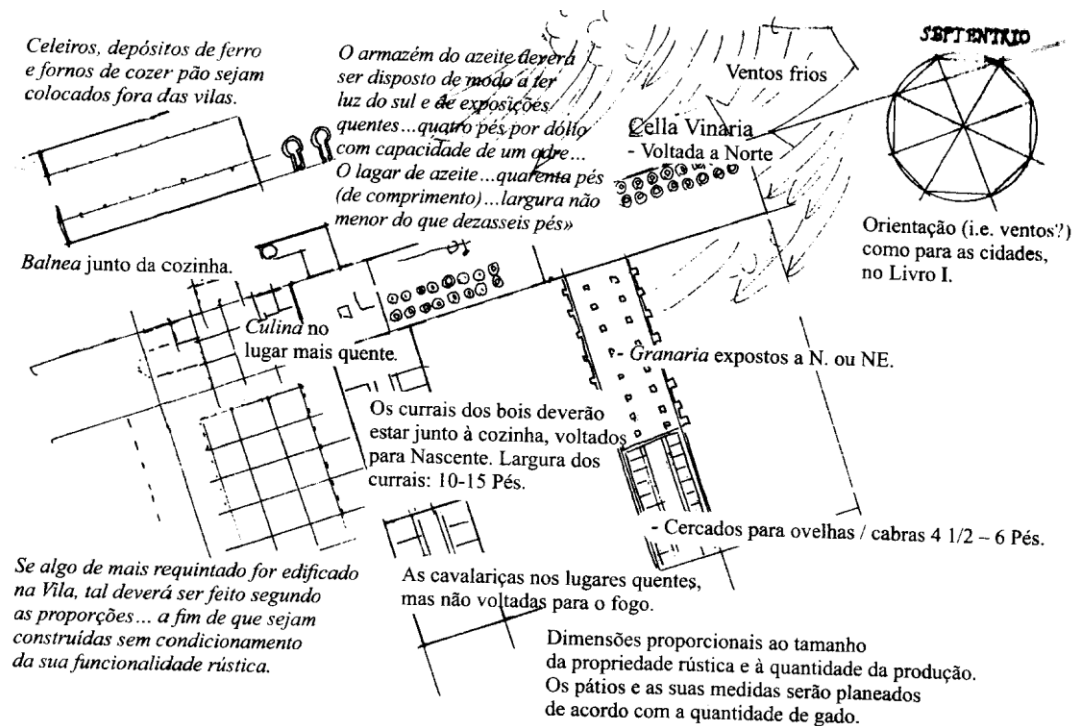
Privadas:  
 - *cubicula*  
 - *triclinia*  
 - *balnea*  
 - Etc. (serviço?)

Comuns: acessíveis,  
 mesmo sem convite:  
 - *uestibula*  
 - *cauaedia*  
 - *peristyla*  
 - etc. («*basilicae*?»)



**Figura 15** – Orientação e tipologia dos compartimentos das habitações [Fonte: Vitruvio, trad. Maciel, 2006, p. 248]

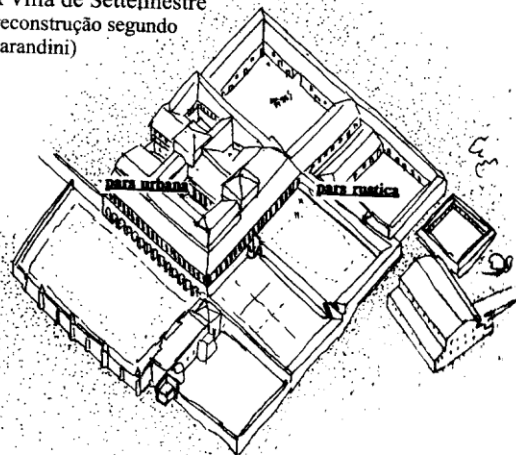
Vitruvio diz-nos ainda: "Uma vez dispostas estas orientações, de acordo com a exposição solar, então dever-se-á ter em conta como se devem construir os compartimentos próprios dos donos, de acordo com as normas para os edifícios privados, bem como os espaços comuns, destinados aos estranhos. Efectivamente, no que respeita aos que são específicos dos proprietários, não é ali permitida a entrada a todos, mas apenas aos convidados, como é o caso dos cubículos, triclinios, banhos e outros compartimentos, que têm idênticas funcionalidades" [trad. Maciel, 2006, p.232].



Boscoreale, Villa Rustica «alla Pisanella»



A Villa de Settefinestre (reconstrução segundo Carandini)



**Figura 16** – Orientação de algumas Villas, [Fonte: Vitruvius, trad. Maciel, 2006, p. 248]

Estes cuidados de orientação solar dos edifícios não se confinavam só às habitações particulares, mas aos locais de banhos públicos, ou locais de importante convivência da sociedade romana.

Os locais escolhidos para fixar as cidades, eram escolhidos segundo critérios meteorológicos, com orientações definidas, acudindo ao pormenor de distribuição das ruas, diz Vitruvius [trad. Maciel, 2006, p. 41e 48]: "No que respeita às cidades, serão estes os princípios. Em primeiro lugar, a eleição de um lugar o mais saudável possível.

*Este será alto e não nebuloso, sem geadas e voltado para um quadrante que não seja nem quente nem frio, mas temperado. Depois, evitar-se-á a vizinhança de pântanos. Com efeito, quando as brisas matutinas, ao nascer do sol, chegarem ao opido, e as neblinas nascidas se juntarem a elas, tornarão o lugar pestilento, espargindo com o seu influxo, misturadas com névoa, os miasmas envenenados dos animais palustres nos corpos dos moradores. Do mesmo modo, se as cidades se encontrarem junto ao mar e estiverem orientadas para Sul ou para Ocidente não serão saudáveis, porque, pelo Verão, o céu meridiano queima desde o nascer do Sol e arde ao meio-dia. Também o que está exposto a ocidente amorna ao nascer do Sol, aquece ao meio-dia, ferve à tarde."*

*"Circundando o recinto, seguir-se-ão as divisões das áreas dentro da muralha e as orientações das praças e das ruas. Serão, de facto, traçadas como deve ser se habilmente se afastarem das ruas os ventos que, se forem frios, prejudicam, se quentes, corrompem, se húmidos, são nocivos. Por esta razão julga-se que se deverá evitar este condicionalismo e precaver para que não se verifique o que costuma acontecer em muitas cidades, como em Mitilene, opido na ilha de Lesbos edificado de modo magnífico e elegante, mas estabelecido sem habilidade. Quando nessa cidade sopra o austro, os homens adoecem; soprando o coro, tosem; quando o setentrião, são restituídos à saúde mas não podem permanecer nas ruas nem nas praças, devido à veemência do frio."*

Sócrates já tinha descrito anteriormente o que achava ser os aspectos mais relevantes dos edifícios solares passivos, baseado em trabalhos teóricos e práticos, dos antigos “regulamentos de edifícios” anotados no Código do Imperador Justiniano no século VI que conferiam a importância adquirida acesso ao Sol:

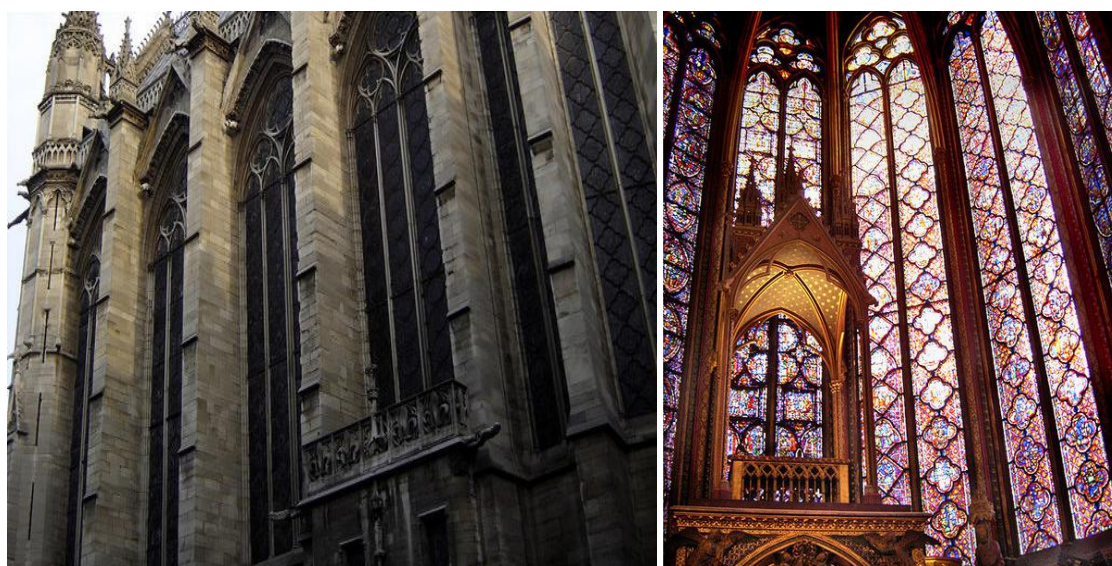
*“Se um objecto é colocado sobre a forma de esconder o sol com uma heliocaminus preciso dizer que este tema gera uma sombra quando a luz solar é uma necessidade absoluta. Essa é uma violação do direito de o sol heliocaminus”.*

Os romanos contribuíram muito, por volta do ano 100 a.C., para o desenvolvimento das indústrias do vidro. Iniciaram a produção de vidro por sopro dentro de moldes, aumentando em muito a possibilidade de fabricação em série das fábricas. Eles foram os primeiros a inventar e usar o vidro para as janelas. Juntamente com a orientação solar dos edifícios, a utilização do vidro plano e transparente como colectador solar térmico, por parte destes foi uma inovação que veio evitar as perdas de calor. Esta invenção constituiu uma inovação fundamental.

O surgimento do vidro é incerto mas importa contextualizar para um entendimento pleno deste trabalho, há registos do historiador romano Plínio que conferem esta descoberta, aos navegadores fenícios, ao acenderem fogueiras nas areias do rio Belo descobriram esta técnica por acaso. Sabemos que sírios, fenícios e babilônios já utilizavam vidro desde 7.000 a.C., mas foi no Egipto antigo, por volta do ano 1.500 a.C., que o vidro começou a propagar-se em diversas utilizações, por exemplo: adornos pessoais, jóias, recipientes cosméticos (peças encontradas, em perfeito estado de conservação, no sarcófago de Tutancamon), estes sendo uma civilização dominante, acabaram difundindo o vidro e a sua técnica de fabricação para outros povos.

A revolução na produção aconteceu em 100 a.C., quando os fenícios inventaram o tubo de sopro, permitindo a fabricação da maioria dos objectos. Na mesma época, os romanos massificaram o uso do vidro, com a produção de objectos de uso quotidiano e a sua utilização em janelas, utilizado também em estufas, aumentando consideravelmente o número de colheitas anuais, bem como a possibilidade de cultivo plantas exóticas vindas de climas diferentes e distantes.

Com o declínio do Império Romano, o vidro passou por uma fase de pouco desenvolvimento, mas voltou à evidência no começo da Idade Média, quando as igrejas católicas começaram a usar vitrais coloridos.



**Figura 17** - Capela de Sainte-Chapelle, no coração de Paris construída em 1246 a 1248, [Fonte: Frantz Ricardo, [http://tetraktys.multiply.com/photos/album/132/Paris\\_2\\_-\\_A\\_Sainte-Chapelle](http://tetraktys.multiply.com/photos/album/132/Paris_2_-_A_Sainte-Chapelle)]

Embora que não muito claramente, durante a Idade Média o aspecto da iluminação natural, principalmente nos edifícios religiosos-Catedrais Góticas, tenha sofrido algumas evoluções, a preocupação dos arquitectos em busca da luminosidade e desmaterialização das fachadas num ensaio de plenitude divina legou-nos edifícios serenos e com magníficos jogos de luz. Mas só posteriormente a este período é que as questões solares passivas voltam à ordem do dia.

As experiências de edifícios históricos são referidas por Leone Battista Alberti: *“A proveitosa prática dos anciãos deverá ser empregue nos edifícios, para que estes deixem entrar o sol de Inverno, e sombrear o de verão”* [Alberti 1452].

No entanto, seria imprudente não fazer uma breve abordagem aos Povos *“fora”* do chamado mundo ocidental.

O sudoeste do Continente Norte Americano teve algumas comunidades que desenvolveram técnicas construtivas solares altamente evoluídas para o seu tempo. Os índios Chiprewa, nas regiões árticas construíram as suas habitações diferenciando os espaços para o inverno e para o verão. Os índios Anasasi, construíram <sup>3</sup> aldeias de média dimensão posicionando estas, com uma orientação correcta com o movimento solar.

A cidade do Céu de Acoma Pueblo - The Sky City (denominação actual), no Novo México, sendo a cidade mais antiga ainda habitada dos EUA (- *de 50 acomans vivem durante o ano todo no pueblo*), é um exemplo importante de sofisticação solar. Acoma Pueblo, fundada antes do ano 900, foi edificada majestosamente sobre um planalto a 110 metros de altura, com uma área de 280 mil m<sup>2</sup>, e orientada num eixo este-oeste, para uma boa exposição solar, com as paredes das habitações construídas em adobe. Todo o conjunto está construído de forma a tirar partido da energia solar durante o Inverno e proteger as habitações durante os quentes Verões.

Com o aparecimento dos colonizadores espanhóis, as construções coloniais seguiram igualmente uma preocupação solar.

Os espanhóis que se fixaram no Sudoeste dos actuais Estados Unidos da América edificaram as habitações com uma clara influencia do local da sua proveniência, ainda hoje é possível encontrar em certas partes de Espanha.

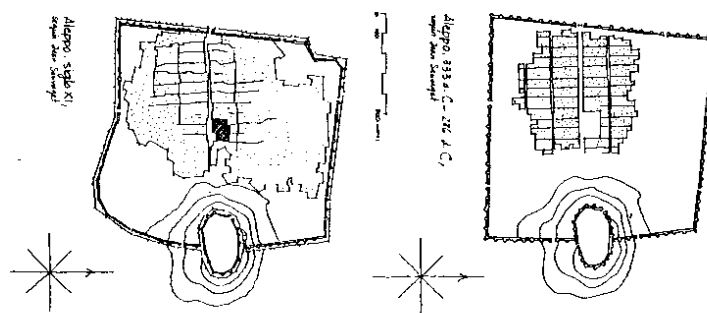
---

<sup>3</sup> - Ruínas de Mesa Verde, no Colorado e Pueblo Bonito, no Norte do Novo México.



**Figura 18** - Cidade do Céu de Acoma Acoma Pueblo - The Sky City, no Novo México, a cidade mais antiga ainda habitada dos EUA. [Fonte: <http://www.rozylowicz.com/retirement/acoma/acoma.html>, 2009]

Já civilização medieval Islâmica os espaços da cidade eram contornados por muralhas interligadas a uma mesquita, e nos espaços contornados pela muralha surgem os primeiros banhos públicos influência do trocado dos espaços da residência da Mesopotâmia, com grande privacidade voltada para o seu interior porém, em todas as suas casas procurou-se aplicar os melhores sistemas de aproveitamento de microclimas até então já conhecidos, utilizando-se de ductos (condutas) de ar que conduzem o ar vindo da área externa circulando entre os ambientes e por último saindo um vão central que representa toda a concepção do pátio. [SCHOENAUER, Norbert. 6.000 Anos de Habitat. Gustavo Gili: Barcelona, 1984].



**Figura 19** - Cidade Islâmica, onde surgiram os primeiros banhos públicos. [Fonte: Schoenauer, 1984 pag. 133]

Os primeiros túneis de ventilação térmica surgem nas habitações Islâmicas. Como descreve [Schoenauer, 1984. pág. 139]:

*“La casa urbana medieval de las ciudades islâmicas estaba diseñada para crear condiciones microclimáticas favoreables en su interior. Fuentes, cuencos y salsabils (fuentes en las cuales el agua corria sobre una superficie rugosa hasta ligar a*

*una piscina y a troves de la evaporacion, entriar y humidificar el are) asi como tambien. Arboles plantados, creaban un ambiente muy fresco en el patil contrastando con la aridez y calor de la galle. Los espacios semi-abertos tales como los linanat (porticos retanqueados com arcos que dabon al patio), balconadas y galerias estaban orientados para aprovelhar la condicones climaticas positivas”*

Em Bagdad similarmente criaram os espaços directamente relacionados com as temperaturas e as condições climáticas, nos meses de verão, principalmente ao meio dia a temperatura do ar era muito elevada, eles recorriam a um sub-piso, composto de condutas de ar, clarabóias e poços.

Os povos Indus das cidades de Jaisalmer, Jaipur, Udipur e Ahmadabad têm os seus espaços urbanos compactos, com longas ruas e seus edifícios são estreitos e verticais, colados uns aos outros porem com o pátio central em todos os prédios para receber os benefícios da radiação solar, como cita [Schoenauer, 1984, pág. 166].

*“El corazon de la casa de Ahmadabad es el patio central, el cuac tiene menor tamaño que el de sus equivalentes em Undipur, debido principalmente a motivos climáticos. De esta forma, el nível inferior de este angosto y profundo patio rara vez recibe la radiacion solar, creandose uno microclima muy agadable en estos espacios abierto donde se desarrolla la mayoria de la actividades domésticas. La planta del, nível mas bajo es abierta, con un vestibulo de entrada el patio, una galeria aberta y la escalera que da acceso a los pisos superiores”*

*“Os povos orientais nos seus espaços arquitectónicos, em particular os chineses, têm princípios comuns aos da civilização medieval, nas regiões frias como na província de Honnan, no norte da China, castigada por tempestades e ventos, encontram-se cidades escavadas sob a terra, tendo somente como espaço ao céu livre o pátio, cada um com dimensões aproximado de 24m de comprimento por 9m de largura, e profundidade em torno de 7m e 9m, capazes de comportar várias famílias” [BUSTOS ROMERO, Marta Adriana. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. 2. ed. São Paulo: ProEditores, 2000. p.128].*

A orientação, o tamanho e a forma dos pátios permitem a entrada do sol baixo do inverno; as habitações aproveitam também a inércia térmica concedida pela terra. Assim, as habitações são quentes no inverno e frescas no verão, pois além de não receberem insolação directa – devido a altura solar neste período ser superior ao do inverno, o subsolo retarda a condução do calor para o ambiente interno.

## 2.4 – Construção em vidro, técnicas e utilizações

A época de modernidade do vidro iniciou-se no século XVII, com a contribuição de vários países no progresso tecnológico, como a utilização em instrumentos ópticos, a descoberta do vidro "*float*",<sup>4</sup> técnica de produção de vidros em chapas com absoluta perfeição.

Em 1650 houve o aperfeiçoamento da rolha, aumentando o uso do vidro como recipiente para acondicionar bebidas. As estufas como é conhecido são construções que visam de acumular e reter o calor no seu interior, conservam uma temperatura superior no seu interior que à exterior, a sua principal fonte de calor é o sol, normalmente utilizada para cultivar plantas, o calor acontece principalmente por convecção retendo a energia sem troca de ar interior/exterior [<http://pt.wikipedia.org/wiki/Estufa>].

Embora que outrora se tenha utilizado o conceito de estufa, é claramente, no continente europeu, mais especificamente na Holanda e Inglaterra, a partir do século XVII, que os alpendres, pátios, jardins interiores e estufas conciliam-se numa base de entendimento do desenho e o clima bem como a sensibilidade para a melhor orientação a Sul solar, evitando o sobreaquecimento, com as inclinações orientadas e aberturas moveis nas partes altas e baixas das estufas.

No século XVIII, a utilização diversificou-se chegando a ser utilizado como espaço anexo as habitações, para salões de chá, salas de jogos e de lazer. Nesta época, os princípios termodinâmicos, intrínsecos à substituição e armazenamento de calor, tiveram um grande desenvolvimento dadas a as ferramentas ao dispor.

A moda era tal, que socialmente transformou-se praticamente no inevitável; os proprietários de quintas gozarem igualmente de uma estufa. Igualmente nesta época apareceram os instrumentos de percepção dos fenómenos envolvidos, e com os princípios termodinâmicos inerentes às trocas e armazenamento de calor envolvidos no processo.

É também durante o séc. XVIII que surgem as primeiras preocupações de isolamento das estufas, procedimento essencial principalmente durante o período nocturno, para diminuir as perdas térmicas

---

<sup>4</sup> Em 1952, foi revelada uma invenção inédita que revolucionou e petrificou a indústria. Pilkington conseguiu produzir vidro quase tão plano quanto suas placas prensadas e polidas, a uma espessura económica e em grandes quantidades, através de um processo contínuo. Por volta de 1955, tinham uma unidade de produtos em grande escala na St. Helens, produzindo vidro de aproximadamente 2,5 m de largura.

A preocupação com a ventilação começa também a surgir de forma a evitar o sobreaquecimento. Aparecem então as aberturas móveis nas partes mais altas e baixas das estufas.

Igualmente durante o séc. XVIII, as preocupações de como conseguir a melhor inclinação dos vidros segundo as diferentes latitudes dos lugares, com o objectivo de aproveitar melhor a energia solar, principalmente nos períodos mais frios, começa a tomar forma.

Finalmente a estufa passou da hortofloricultura para a habitação, primeiro como espaço anexo a esta, que servia de isolamento ao exterior, depois como espaço integrado na própria habitação como sala de jogos, leitura ou simplesmente descanso ou mesmo como salão.

No princípio do século XIX, os projectistas de estufas combinavam volume térmico, vidro duplo, orientação, sistemas de sombreamento e isolamento, as estufas de J. C. Loudon, em início de 1820, tinham todos esses elementos visíveis em projecto e os exemplos construídos até meados do século, comprovavam a capacidade de executar enormes áreas de envidraçados de cobertos elevada sofisticação, inaugurando uma era de grandes Pavilhões e Átrios envidraçados urbanos de vidros duplos e sistemas de sombreamento construídos na Europa e nos Estados Unidos [Donald Watson, Faia; “Who was the first solar architect?”; Proceedings of PLEA 98; James & James Science Publishers Ltd. Lisbon, Portugal, June 1998].



**Figura 20** - O Palácio de Cristal de John Paxton, Grande Exposição de Londres de 1851 demonstrando a possibilidade de realizar grandes áreas de envidraçados cobertos (Victoria Station 2002) [Fonte: HESKETT, John. Desenho Industrial. Rio de Janeiro: José Olympio, 2006. p. 10-50]



**Figura 21** - Temperate House. A estufa é maior estrutura de ferro e vidro sobrevivente da 4.  
[Fonte: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kew\\_gardens.temperate.house.london arp.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kew_gardens.temperate.house.london arp.jpg), 2009]

No Porto iniciou-se a construção do Palácio de Cristal, em 1860, em granito, ferro e vidro, tendo o Crystal Palace londrino por arquétipo. Com as dimensões de 150 metros de comprimento por 72 metros de largura e era dividido em três naves o autor foi de F. W. Shields, não sobreviveu e viria a ser demolido em 1951, para dar lugar ao que hoje é conhecido por Pavilhão Rosa Mota (Ex-Pavilhão dos Desportos).



**Figura 22** - O Palácio de Cristal, demolido em 1951. [Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Pal%C3%A1cio\\_de\\_Cristal\\_\(Porto\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Pal%C3%A1cio_de_Cristal_(Porto))]

Variadas foram as experiências efectuadas, com vista a uma recolha de dados e aperfeiçoando de técnicas. Os cientistas demonstraram ser possível alcançar temperaturas superiores à temperatura necessária para a ebulição da água dentro de caixas de vidro.

Horace de Saussure, naturalista e geólogo suíço, estava consciente da sua invenção, dispôs-se achar a capacidade de captação de calor através do vidro. À invenção de Horace Saussure foi dado o nome de “*caixa quente*” e consistiu na colocação de 5 caixas, de base quadrada, de vidro transparente umas dentro das outras, variando o seu tamanho. As cinco caixas foram colocadas sobre uma tábua de madeira preta.

Durante o século XIX, foram vários os cientistas que construíram “*caixas quentes*”. Em 1830, durante uma expedição ao Cabo da Boa Esperança, Sir John Herschel, construiu uma “*caixa quente*” onde cozinhou alguns alimentos, ficando por isso bastante conhecido

Os primeiros colectores solares a serem construídos, no séc. XIX, “*consistiam em depósitos metálicos pintados de preto que eram colocados ao sol e de onde se obtinha água quente principiando, assim, a compreensão científica de um fenómeno cuja utilidade técnica vinha a ser empregue há bastante tempo um dia poderia ser utilizada de alguma forma, essa consciência seria tornada realidade aquando da*

*invenção dos colectores solares e o aproveitamento da energia solar para aquecimento da água fornecendo, assim, energia às habitações”.*

[<http://www.recet.pt/pi/colectorsolar.php>]

*“O Climax, um colector solar patenteado em Baltimore na Califórnia em 1891, combinava a «caixa quente» com o depósito preto, conseguindo-se assim conservar a água quente.*

*Foram vários os inventores que após este colector tentaram registar outras patentes com algumas variações deste colector”.*

[<http://www.recet.pt/pi/colectorsolar.php>]

Em 1909, o engenheiro William J. Bailey, começa por comercializar aquele que se pode chamar o primeiro colector para aquecimento de águas; este colector ficou conhecido por “*Dia e Noite*”.



**Figura 23** – A maquina Pyrheliophero, apresentada em 1904, na Exposição de St Louis, EUA, pelo Padre Himalaya. [Fonte: JC. Santiago - O nicho de São Santiago. Rio de Janeiro: L' ABC, 2006. Capa.]

Em 1904, na Exposição de St Louis, EUA, o Padre Himalaya ganhou o Grand Prize com o seu invento Pyrheliophero, um aparelho revolucionário de utilização da energia solar, consistia, principalmente, num espelho parabólico, com uma superfície

reflectora de 80 metros quadrados, formado por 6177 pequenos espelhos que reflectiam a luz do Sol numa cápsula refractária, a qual funcionava como um cadinho, e onde se colocavam os materiais a fundir. O conjunto estava montado numa enorme armação em aço de 13 metros de altura, que acompanhava os movimentos do Sol mediante um mecanismo de relojoaria.

*“O enigma de M.A.G. Himalaya foi o facto de se ter preocupado com a energia solar e ser simultaneamente inventor de explosivos, padre e ter vivido, muitas vezes, quase à margem da Igreja, sem nunca ter abandonado as suas convicções espirituais; ter lidado com monárquicos, republicanos e anarquistas, sem contudo se ligar pessoalmente a nenhum movimento; ter viajado por longas paragens, sem sabermos as relações institucionais que estabeleceu; ter recebido glória e fama e ao mesmo tempo abandono e desprezo. O Padre Himalaya é um personagem que incomoda e fascina. É um enigma e um mito. A sua biografia, desconcertante, é cheia de complexidade, de claros-escuros difíceis de deslindar. Acrescente-se a tudo isto uma mitologia que se gerou à volta da sua singular personalidade”.* [Rodrigues, Jacinto - A Conspiração Solar do Padre Himalaya – Esboço biográfico dum português pioneiro da Ecologia.Cooperativa Árvore, em 1999].

## **2.5 - A Revolução Industrial**

Com a Iª Revolução Industrial, nasce a fase da industrialização, entre os anos de 1780 à 1860, da mecanização das oficinas e da agricultura. Assente em dois grandes pilares o carvão e o ferro, estes passam a ter um enorme peso no desenvolvimento das sociedades. Surge a máquina a vapor (mecanização) e da aplicação da força motriz do vapor à produção e conseqüentemente o aparecimento do sistema fabril: as oficinas mecanizadas transformam-se paulatinamente em fábricas dotadas máquinas de enormes dimensões, passando a substituir o esforço muscular humano ou animal.

Os transportes sofrem entretanto um grande desenvolvimento com a introdução da invenção da locomotiva a vapor (1807), e do aparecimento das grandes estradas. As comunicações são desenvolvidas com o aparecimento do telégrafo eléctrico (em 1835) e do correio postal (em 1840). Surge o início do Capitalismo Industrial.

O avanço destas tecnologias possibilitou uma melhoria das condições de vida das populações, abrindo perspectivas ao Homem, nunca anteriormente atingido, trouxe também vários inconvenientes, que mais à frente se descrevem.

O betão armado surge nos finais do século XIX, as suas técnicas de secagem são características óptimas para revestir imensas extensões, é introduzida a construção na altura, conseqüente o rápido crescimento das cidades exige uma revisão de todos modelos até aí vigentes.

A Fase do desenvolvimento industrial passou por uma 2ª Revolução Industrial, entre os anos de 1860 à 1914. Os dois grandes pilares aqui passam a ser o aço (1856) e a electricidade. Dá-se a substituição do ferro pelo aço como material industrial, e do vapor pela electricidade e derivados de petróleo, como principais fontes de energia. Surge a multiplicação da maquinaria, com o aparecimento do motor de explosão e do motor eléctrico (1873).

Nota-se então uma crescente influência da nova indústria pela ciência e pelo progresso tecnológico. Há transformações radicais nos transportes (surge o automóvel em 1880, e o avião em 1906), e o mundo fica mais pequeno. O Capitalismo Industrial cede lugar ao Capitalismo Financeiro, surgem as grandes instituições financeiras e os bancos, ao lado de uma espectacular ampliação dos mercados, e da enorme expansão das empresas.

A fase situada entre as duas Grandes Guerras Mundiais 1914 e 1945, a organização e a tecnologia direcciona-se para os fins bélicos, dado o contexto mundial. Esta fase passa por uma grande depressão económica em 1929 provocando uma crise mundial generalizada. É, sobretudo, esta fase em que as empresas atingem dimensões desmesuradas, com um campo de acção internacional e multinacional.

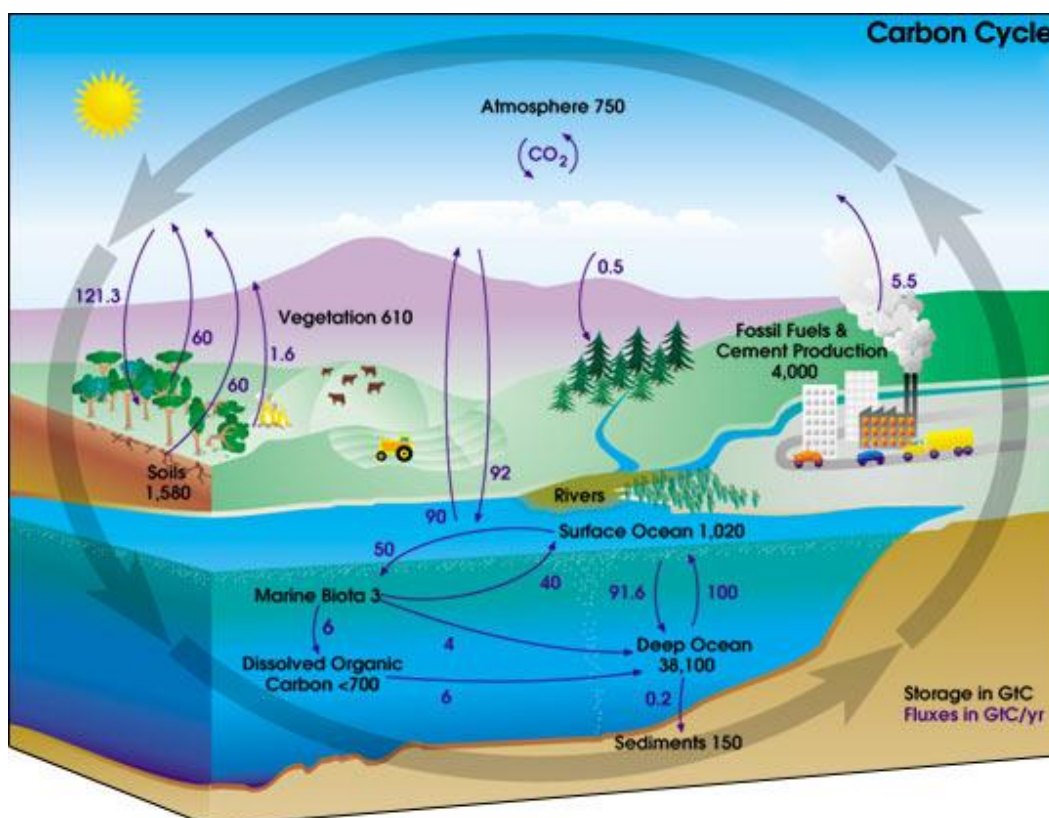
A superioridade de usos técnico-científicos e a afectação nos materiais petroquímicos, com a conseqüente intensificação dos transportes: navegação de grande porte, dos caminhos-de-ferro e das rodovias, aperfeiçoamento e generalização do automóvel e do avião, tornam as comunicações mais amplas e céleres, com o rádio e a televisão, surge uma divulgação de todos estes fenómenos.

O desenvolvimento tecnológico é admirável com graus enormes de utilização para fins comerciais com a introdução de produtos e processos mais sofisticados. Novos materiais básicos surgem (como o plástico, o alumínio e novas fibras têxteis sintéticas) e novas fontes de energia são desenvolvidas (a energia nuclear e a energia solar), no entanto o petróleo e a electricidade progridem predominando nos mercados. Emergem novas tecnologias (circuito integrado, o transístor e o silicone), em consequência provocam o aparecimento de novas maravilhas de nossa época, a televisão em cores, o

som de alta-fidelidade, o computador, a máquina de calcular electrónica, a comunicação telefónica, televisão por satélite, a popularização do automóvel. A partir de 1945 (pós-guerra) até 1980, cunha uma nítida fragmentação entre os países desenvolvidos industrializados), e os países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos.

A fase após 1980, é repleta de desafios, contrariedades, ameaças, condicionalidades, restrições e toda sorte de adversidades. Nesta fase, as sociedades lutam com escassez de recursos, a incerteza quanto ao que poderá ocorrer num futuro próximo.

O mundo poderá enfrentar crises energéticas devido à escassez de combustível. Insistimos em ter economia baseada nos combustíveis fósseis, apesar da disponibilidade de várias energias alternativas, mantendo os actuais problemas ambientais da actualidade, causados por vários anos de industrialização assentes em combustíveis que contribuem para o efeito de estufa. Svante Arrhenius, cientista sueco, no séc. XIX, deixou-nos a teoria clássica das dissoluções electrolíticas (teoria que afirma que as moléculas dos ácidos, bases e sais em solução aquosa "*desdobram-se*" em iões, podendo ter cargas eléctricas de sinais contrários), falava do aquecimento da atmosfera devido ao efeito de estufa. [[http://pt.wikipedia.org/wiki/Svante\\_Arrhenius](http://pt.wikipedia.org/wiki/Svante_Arrhenius)].



**Figura 24** - Esquema do ciclo do carbono. [Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_do\\_carbono](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_carbono)]

Actualmente sabe-se que o gás de dióxido de carbono contribui para o efeito de estufa. Apesar da tecnologia que o Homem possui, não existem certezas quanto ao valor exacto do aumento da temperatura, variando este de modelo para modelo climático. No entanto temos a certeza que não podemos continuar a agir da mesma forma, sob pena do aumento da temperatura com as consequências graves para o frágil equilíbrio ecológico do planeta.

A Revolução Industrial trouxe à concepção da construção esquecendo as condições directas ambientais exteriores, novas técnicas e materiais, como ferro, o betão e o vidro generalizando-se na arquitectura, permitiram pensar em novas formas de concepção dos edifícios, mas facilitou demasiadamente o controlo artificial das condições de conforto interiores das construções elevando os consumos eléctricos, no entanto a crise do petróleo no início da década de setenta conduziu a uma maior tomada de consciência quanto aos desperdícios de energia, particularmente nos sistemas de aquecimento e de arrefecimento até aí utilizados.

Para diminuir as perdas energéticas introduziram-se novas formas de isolamento, reduzindo as trocas de ar entre o interior e exterior, surgiram as conhecidas situações de confinamento do ar, inaceitáveis constituindo um problema de saúde pública, um dos fenómenos associados a este problema conhece-se sob a denominação inglesa de "sick building syndrome" traduzido significa "síndrome do edifício doente". [M.D. WHORTON, S.R. LARSON, N.J. GORDON, R. W. MORGAN, Investigation and work-up of sick building syndrome. J. Occup. Med. 29, nº2, pp 142-147, Fevereiro de 1987].

## **2.6 - Janela e parede e a sua relação**

Na pele exterior de um edifício um dos principais aspectos a examinar é relação entre superfície aberta e fechada. Já as arquitecturas dos primórdios sentiram necessidade de abrir vãos para iluminação, primitivamente com elementos opacos.

As fachadas ou peles exteriores podem ser consideradas um ser vivo, porque para além de proteger, estas também fazem a comunicação entre o interior e exterior.

A história das fachadas está ligada às suas aberturas, ou seja, das portas e janelas.

Louis I. Kahn, nas suas palestras de Princeton, disse:

*“É no domínio do inacreditável que se situa a maravilha do surgimento da coluna. Do muro, emergiu a coluna. O muro fez bem ao homem. Com a sua matéria e com sua força, ele o protegeu contra a destruição. Mas logo, o desejo de olhar para fora levou o homem a abrir ali um buraco, e o muro, ferido então clamou: O que é que está fazendo comigo? Eu o protegi, eu lhe dei segurança, e agora você abre um buraco em mim? O homem respondeu: Mas eu olharei lá fora! E vejo coisas lindas lá fora! E quero olhar!”*

Segundo Khan, o ritmo das aberturas é determinado pelas paredes, daí a sua ligação. O interesse na iluminação dos espaços interiores engrandeceu à medida que arquitectura se soltava gradualmente das limitações impostas pelas paredes portantes e se verificavam avanços no aperfeiçoamento da produção do vidro.

## **2.7 - A fachada independente**

No início do século XIX, a Revolução Industrial trouxe novos materiais e métodos de construção, a mecanização dos processos de fabrico e a aparição da grande indústria moderna do vidro.

Não foi apenas a evolução dos sistemas de fabrico do vidro que impulsionaram o processo de desmaterialização das fachadas e da dispersão entre parede e janela dos edifícios. Foram dados relevantes impulsos pelos construtores de estufas, como Loudon ou Paxton directamente ligados à progressiva separação entre os sistemas estruturais e as fachadas possibilitando a independência entre estrutura portante e a pele.

No séc. XIX, nos Estados Unidos, começa por serem construídos os grandes edifícios denominados de arranha-céus, constituídos por estruturas de aço, uso de estruturas metálicas nas construções vai possibilitar o surgimento de grandes vãos nas fachadas.

O principal impulso ocorreu em Chicago nos finais do séc. XIX, devido ao elevado crescimento económico e ao aumento do preço dos terrenos no centro da cidade leva ao aparecimento dos primeiros arranha-céus. As fachadas tradicionais caracterizadas pelo seu elevado peso revelam-se desadequadas para este novo tipo de construção, e também dificilmente ofereciam condições para a iluminação natural dos espaços interiores. Embora que a utilização do aço na construção tem inúmeras vantagens.

O próximo passo lógico foi então a maior utilização de ferro e vidro também nas fachadas dos edifícios de escritórios. James McLaughlin, em 1877, utilizou num armazém em Cincinnati, que se veio a tornar uma característica dos grandes edifícios comerciais em todo os Estados Unidos, fachadas com colunas de tijolos e grandes janelas. Este princípio foi também aplicado no edifício “Carson, Pirie Scott de 1899-1906 de Louis Sullivan. Neste edifício, muito transparente, Sullivan marca claramente os elementos estruturais, pilares e lajes de piso, seguindo o seu princípio de “form follows function”.



**Figura 25** - Armazéns Carson,<sup>5</sup> Pirie, Scott de Louis Sullivan. [Fonte: Góssel e Leuthàuser, 2001, p. 34]

---

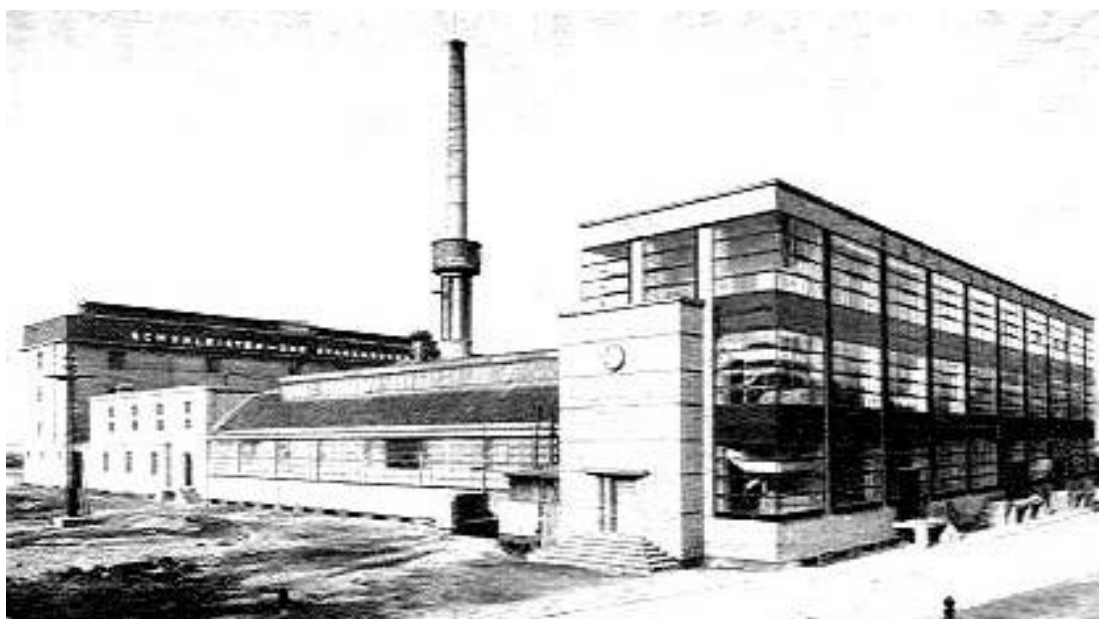
<sup>5</sup> Ornamentos ricos, fabricados com arte, concebidos por Sullivan e George Elmslie, decoravam a base deste paraíso de consumidores. Os pisos das vendas eram ligados por uma galeria de arte, café, restaurante e uma sala de estar requintadamente mobilada." (Góssel e Leuthàuser, 2001, p. 34).

Amplos vãos e a ausência de ornamentos permitiam dar um aspecto de funcionalidade e modernismo.

Os edifícios em altura de Louis H. Sullivan começaram a ser encarados de uma forma mais intensa, eram estruturados em três funções:

- 1) O rés-do-chão era ocupado por lojas e para os acessos aos pisos superiores;
- 2) Uma secção média destinada a escritórios, resultando a fachada numa grelha uniforme de janelas e colunas;
- 3) O último piso, destinado aos serviços do edifício, é realçado por um sótão, que remata todo o conjunto;

As primeiras fachadas totalmente independentes da estrutura de fachada cortina foram experimentadas em edifícios industriais, Walter Gropius em conjunto com Adolf Meyer, em 1910-1911, projectam uma nave industrial na fábrica de calçado “Fagus Works” em “Alfeld-an-der-Leine”., colocou uma fachada completamente independente da estrutura do edifício.



**Figura 26** - Fábrica Fagus em Alfeld-an-der-Leine, de Walter Gropius e Adolf Meyer 1911 - 1925. A esquina do edifício, completamente envidraçada, mostrando uma leveza. [Fonte: Lupfer e Sigel, 2006, p. 19]

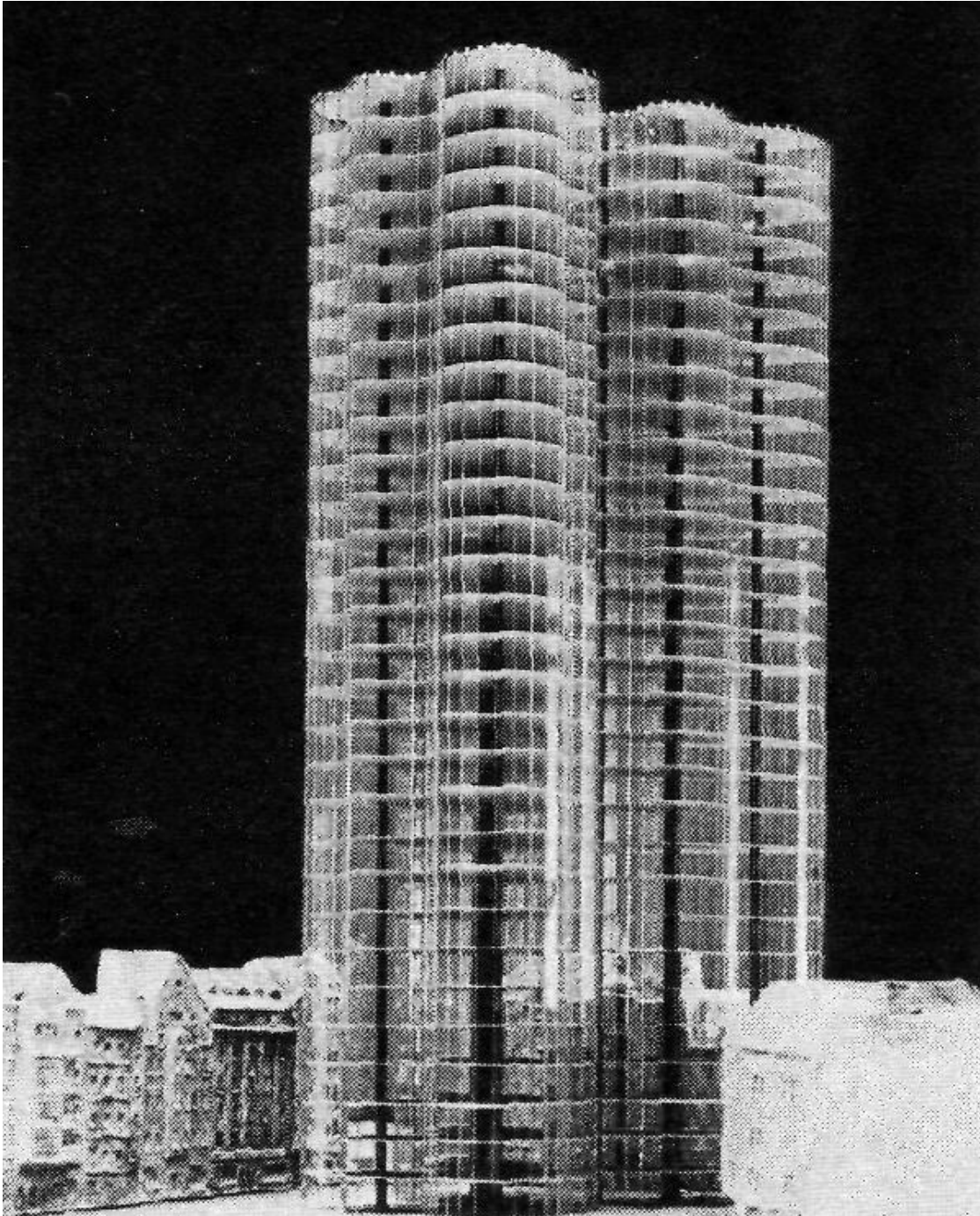
Dos edifícios industriais, a fachada independente passou para os edifícios de escritórios. O primeiro a conceber uma fachada cortina num edifício de escritórios, foi o Willis Jefferson Polk, em 1918, “Halladie Building” em São Francisco.



**Figura 27** – Escola de Bauhaus, em Dessávia, de Walter Gropius 1926. [Fonte: Gössel e Leuthäuser, 1996, p. 137]

Fundada em 1919, a Casa da Construção (Bauhaus) por Walter Gropius, em Weimar, escola de arquitectura, arte e desenho. Nelly Schwalacher diz-nos: “*A parede de janelas foi descrita por um visitante como “um gigantesco cubo de luz (...) irradiando uma luz branca, ofuscante, de todas as paredes (...), as janelas altas de vidro, revelando abertamente a leve estrutura de aço (...) delineada em toda a sua transparência pela grelha de ferro da estrutura exterior.”*”

Um dos mais ansiosos projectos de fachada em vidro foi o concebido por Mies van der Rohe, em 1922, para um terreno incógnito em Berlim, apesar de nunca ter sido construído, o projecto assentava na ideia de placas de betão projectadas a partir de colunas igualmente de betão repartidas por todo o interior do edifício, possibilitando a completa independência da fachada.



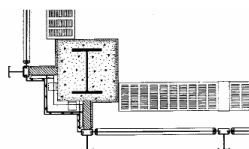
**Figura 28** - Mies van der Rohe. Modelo do projecto do Arranha-céus de Vidro, Berlim, 1922. [Fonte: Bergdoll e Riley, 2001, p. 187]

Quase só um quarto de século depois, em 1948-51, Mies van der Rohe, viu construídos os seus primeiros “arranha-céus”, com os Apartamentos em Lake Shore Drive, na cidade de Chicago, com uma escala menos destemida, ainda assim com uma fachada totalmente envidraçada. É uma das primeiras aplicações deste conceito a edifícios de habitação, no entanto a estrutura fazia parte complementar ao pano de fachada e não se podendo falar de uma “fachada cortina” em rigor.



**Figura 29** - Mies van der Rohe. Apartamentos em Lake Shore Drive, Chicago, 1948 - 1951. Vista geral em direcção ao lago. [Fonte: Zimmerman, 2007, p. 66]

Edifício Seagram, em Nova Iorque no (1954 - 1958), Mies vai empregar elementos em bronze particularmente desenhados para o edifício. A verticalidade da fachada permitiu a criação de janelas sem qualquer interrupção entre o pavimento e o tecto, sem divisões horizontais, marcando assim a verticalidade da fachada.



**Figura 30** - Mies van der Rohe, Edifício Seagram, Nova Iorque, 1954-1958. [Fonte: Zimmerman, 2007, p. 72.]

Durante os anos 70, as fachadas em vidro vão difundir-se por todo o mundo como imagem do progresso e da modernidade (Estilo Internacional), em grande parte por influência do trabalho de Mies van der Rohe.

A metade dos anos sessenta em diante, novos desenvolvimentos na construção, a introdução de sistemas mais elaborados de fixação, como a silicone estrutural, tornaram possível fechar toda a envolvente do edifício com uma pele ainda mais uniforme.

A crise energética dos anos 70 conduziu as vozes críticas, a apelar a uma maior racionalização do consumo de energia. Esta racionalização levou que algum tratamento diferenciado das fachadas variando consoante as orientações e solicitações de conforto dos ocupantes, pelo que novas interpretações do conceito de pele exterior se impôs. A separação janela / parede é repensada principalmente nos climas mais quentes. As exigências de um bom desempenho térmico e acústico impuseram que vários sistemas de janelas fossem desenvolvidos. Estas sofreram a introdução de novos materiais, que

melhoraram o seu desempenho e funcionamento: perfis, selantes, vidros com tratamentos especiais e ferragens. A madeira e o ferro cederam lugar ao PVC e alumínio.

A fachada na sua totalidade reveste-se nas últimas décadas de uma variedade de interpretações e é um elemento principal da preocupação arquitectónica: o material por si resulta como um conceito estético, também as qualidades visuais e tácteis, o efeito da cor e textura. A junção dos materiais tradicionais, aos novos produtos, dá novos contextos às peles dos edifícios. Por exemplo, Tadao Ando, em muitos dos seus projectos utiliza o betão à vista, solução, que Le Corbusier havia utilizado.



**Figura 31** - Tadao Ando, Espaço de Meditação, UNESCO, Paris, França, 1994 - 1995. Vista exterior com o edifício da UNESCO, de Mareei Breuer, em fundo. [Fonte: Furuyama, 2007, p. 70].

Por exemplo, Peter Zumthor investiga igualmente a potencialidade dos materiais nos seus projectos, no edifício museu “Kunsthhaus” de Bregenz, em que o núcleo estrutural e pavimento são realizados em betão aparente, encontra-se envolvido por uma superfície de vidro fosco. Esta pele translúcida, quase invariável, transfigura-se de acordo com a posição do espectador e de iluminação. A transição entre o edifício e a paisagem de fundo parece mesmo diluir-se, especialmente em contra-luz.



**Figura 32** - Edifício Museu “Kunsthhaus” de Bregenz de Peter Zumthor. Vista geral (Zabalbeascoa et al 2001)  
[Fonte: [http://farm4.static.flickr.com/3121/2498171797\\_e0255186ee.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3121/2498171797_e0255186ee.jpg)]

As Caves Dominus, em Yontville, na Califórnia, de Herzog & de Meuron, estes usaram uma pele exterior, extraordinariamente compacta em termos estruturais, foram utilizados gaviões cheios de pedra, alcançando um tipo de filtro da luz exterior, ao mesmo tempo que um arrefecimento natural proporcionado pela conjugação da ventilação natural com uma elevada massa térmica e sombreamento.



**Figura 33** - Caves Dominus, em Yontville, na Califórnia, de Herzog & de Meuron. Vista geral e pormenor da entrada principal [Fonte: [archi.climatic.free.fr/0823.html](http://archi.climatic.free.fr/0823.html)]

As fachadas tendo um papel mais significativo no todo actualmente são cada vez mais tratadas como algo independente do resto do edifício, quer pela translucidez e a independência que estes possibilitam quer pela inclusão de materiais.

A barreira física entre o exterior e o interior, é essencial para as normais condições de energéticos, assim, é um factor básico para o sentido de uma boa arquitectura solar passiva.

## **2.8 - A fachada como elemento mediador energético**

Além das questões estéticas, as fachadas dos edifícios devem ser programadas para que solicitações e trocas energéticas estejam equiparadas entre o exterior e interior dos edifícios, contextualizando as seguintes questões:

1 - Função: finalidade do edifício, e quais são as solicitações para um bom funcionamento.

2 - Construção: conjugação de elementos e componentes da fachada do edifício.

3 - Forma: tipo de aparência.

4 - Energia: níveis consumo energético da fachada, durante a construção, uso e demolição.

A fachada de um edifício deve funcionar como uma barreira face aos elementos climáticos exteriores diminuindo o uso de sistemas de climatização artificial, para obter o conforto térmico.

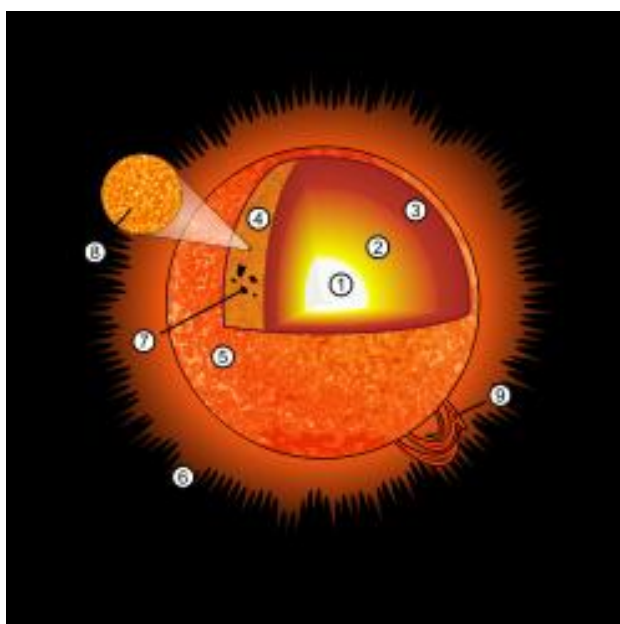
A temperatura ambiente interior, bem como a iluminação natural, resultam das trocas físicas interior/exteriores, bem como através da pele dos edifícios e cobertura.

Nas fachadas e coberturas dos edifícios, o objectivo é que os processos construtivos, os materiais utilizados, os custos quer económicos quer ambientais, assim como, os requisitos dos utentes sejam associados à estética e à leitura arquitectónica, para um bom conforto físico e psicológico dos utentes.

Os sistemas de fabrico disponíveis actualmente possibilitam hipóteses de auto-regulação, potenciam a transformação das fachadas transformando-se num conceito dinâmico onde vários factores estéticos e tecnológicos interagem passando a ser algo mais do que só simplesmente uma barreira entre o exterior e interior

## Capítulo 3

### 3.1 – A energia e o Sol



1. Núcleo
2. Zona radiativa
3. Zona convectiva
4. Fotosfera
5. Cromosfera
6. Coroa
7. Mancha solar
8. Grânulos
9. Proeminência

**Figura 34** - Ilustração da estrutura do Sol. [Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Sol>]

Segundo a publicação “*Energia Solar Passiva*” [Francisco Moitas 1985 DGE] “o sol está situado a cerca de 150 milhões de quilómetros, sendo a estrela mais próxima da terra, esta fornece-nos a quase totalidade da energia consumida.” Explicamos que a “energia solar é produzida no centro do sol por uma reacção termocuclear, de onde se liberta uma onda de calor pela fusão do hidrogénio de hélio, resultando temperaturas de vários milhões de graus centígrados no seu interior, e cerca de 5500°C à sua superfície.”

O Sol, tal como as restantes estrelas, é uma esfera de plasma que se encontra em equilíbrio hidrostático entre as duas forças principais que agem dentro dele: para fora a pressão termodinâmica, produto das altas temperaturas internas, e para dentro a força gravitacional. A estrutura solar pode ser dividida em duas grandes regiões: o Interior e a

Atmosfera, entre elas encontra-se uma fina camada, que pode ser considerada a superfície, chamada Fotosfera.

A energia irradiada pelo sol é emitida com uma intensidade de  $6600\text{W}/\text{cm}^2$  à velocidade de  $300.000\text{ km/s}$ , sob a forma de ondas electromagnéticas (fenómeno ondulatório), atingindo os limites da atmosfera terrestre 8,27 minutos mais tarde, com uma intensidade de cerca de  $1370\text{ W}/\text{m}^2$ , valor ao qual se dá o nome de constante solar.

O sol é uma pequena estrela em que todos os planetas gravitam a sua volta, dele provem a energia que permite o desenvolvimento da vida terrestre. Todas as civilizações até hoje apreciaram as suas qualidades, foi objecto de adoração por povos primitivos, este actualmente é sem qualquer dúvida a maior ferramenta para arquitectura, que tem na sua Ideia, originariamente a Luz como o primeiro material, LUZ que estabelece uma relação entre o homem e os espaços, a luz está directamente ligada ao tempo. O que seria uma arquitectura sem luz? Não mais do que uma “*não-arquitectura*”.

Ao longo da história, o homem desenvolveu diversas formas de energia segundo as suas necessidades, desde a descoberta do fogo até às actuais formas mais organizadas, cessando na energia nuclear, que nos deixa inquietados em variados sentidos.

Essa energia é produzida através de métodos diversos que, em sua maioria, na produção em alta escala, utilizam como matéria-prima recursos naturais não-renováveis, além de processos que poluem o meio ambiente.

Hoje, o estilo de vida da sociedade depende cada vez mais de energia e isso, aliado à escassez de recursos para geração dessa energia, pode resultar numa crise energética mundial, caso não sejam alterados os processos de produção dessa energia, bem como sua utilização.

É evidente que sol, sendo a nossa fonte mais rica do planeta, tem uma importância vital para a investigação. Na realidade o que se tem vindo a investigar já beneficia algumas populações em varias partes do mundo, formas de energia, tais como a eólica, marinha ou geotérmica, têm vindo a ser utilizadas ainda de forma limitada e em função das condições geográficas. Podemos então dizer que é preciso uma grande massificação destes tipos de energia limpa.

A sociedade tem-se conscientizado da necessidade de preservação do meio-ambiente e, conseqüentemente, da necessidade de reduzir o consumo de energia. Isso resulta na busca de métodos para a produção de energia eléctrica com preservação do meio-ambiente e na utilização racional da energia produzida. Dentre as medidas tomadas para alcançar esses objectivos, podemos citar a produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis, e a adequação das actividades humanas e equipamentos que utilizam energia eléctrica, tornando-os económicos e eficientes.

A geração de energia eléctrica a partir de recursos naturais renováveis tem sido alvo de intensa pesquisa nos últimos anos. A busca por processos de produção eficientes, de baixo custo e capazes de produzir energia suficiente para atender à demanda energética de pequenas e grandes comunidades resultou na implementação de alternativas geradoras de energia a partir de diversos recursos disponíveis na natureza, como a energia solar, energia eólica e outros.

### **3.2 - Energia e o Homem**

A espécie humana durante vários milénios dependeu das energias endógenas para vencer as suas necessidades de subsistência e de crescimento. O meio circundante fornecia toda a energia de que o Homem necessitava. A mecanização dos processos produtivos que originaram a revolução agrícola e industrial; as necessidades energéticas foram suprimidas sempre com o recurso, principalmente, ao carvão vegetal.

A substituição revolução industrial pela renovação tecnológica, fez com os consumos energéticos mundiais disparassem para valores nunca vistos. As energias fósseis são actualmente utilizadas em grande escala pelos países mais desenvolvidos, dada a sua imediatez e predomínio.

A energia passou a ser maioritariamente exógena, dada a sua produção em zonas muito localizadas, e o seu consumo massificado por todo planeta.

Actualmente 75% da energia mundial é consumida pelos países chamados desenvolvidos, que só têm 25% da população mundial, a exemplo os Estados unidos da América, têm um consumo de energia per capita 3 vezes superiores à média da Europa. A diminuição do consumo é constante, o reconhecimento geral de que a energia é um bem precioso surgem novas preocupações com a eficiência do seu uso da mesma, não só para diminuir impactos nocivos no ambiente, mas também por razões económicas.

A crise da energia e a ameaça de esgotamento dos recursos petrolíferos, veio estimular o esforço de investigação de processos de aproveitamento de formas de energia alternativas, e a comercialização de equipamentos capazes de transformar as necessidades de consumo de energia da humanidade.

Actualmente muitas esperanças estão colocadas em fontes de energia limpas, chamadas energias renováveis: sol, o vento, os cursos de água, as ondas, as marés, os resíduos animais e vegetais, o calor das águas subterrâneas. Uma humanidade preocupada pela degradação do meio ambiente torna estas formas de energia especialmente atraentes para os processos de conversão.

### **3.3 - Energia Solar e o Meio Ambiente**

Uma das alternativas energéticas mais promissoras é o sol, fonte de energia renovável, o aproveitamento desta energia tanto como fonte de calor quanto de luz é um dos grandes desafios do novo milénio.

A energia solar é a solução ideal para áreas afastadas e ainda não electrificadas, especialmente num país como Portugal onde se encontram bons índices de insolação em qualquer parte do território. A energia solar é abundante e permanente, renovável a cada dia, não polui e nem prejudica o ecossistema.

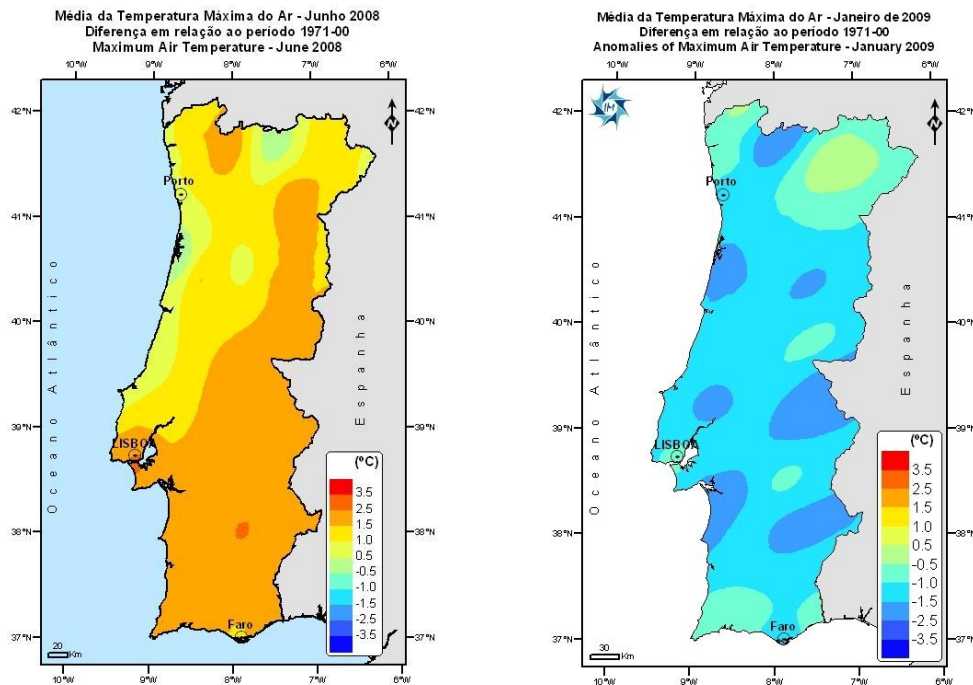
O Sol actua como um reactor à fusão, irradia, na terra, todos os dias um potencial energético grandioso e incomparável a outro sistema de energia, sendo a fonte básica e indispensável para praticamente todas as fontes energéticas utilizadas pelo homem, a Energia Solar soma pois características proveitosas a todos os níveis para o nosso sistema ambiental.

### **3.4 – Temperatura**

A temperatura é um parâmetro físico vulgarmente associado as noções de calor/frio, e as transferências de energia. Hoje em dia existem determinados parâmetros essenciais para a compreensão que influenciam o comportamento térmico dos edifícios e dos seus utilizadores, existe uma clara relação entre a envolvente e o clima.

A temperatura depende essencialmente da radiação solar, do vento, da altitude e da biotipologia do solo. O Sol aquece a atmosfera de forma indirecta visto que o solo acumula a energia solar que recebe e reenvia o calor para o espaço por radiação e convecção. A irradiação deste calor é então assegurada ou por condução, ou por

difusão, através do movimento do ar, ou seja através do vento. Durante o dia, como resultado de uma maior quantidade de radiação directa incidente, a temperatura tem propensão a subir, à noite acontece um processo inverso.



**Figura 35** – Temperatura do ar/sol superfície entre Junho de 2008 e Janeiro de 2009 [Fonte: INE – Instituto de Meteorologia, 2009]

Para estudar o comportamento térmico de uma casa, torna-se então importante conhecer os modos de transmissão de calor. Como acabámos de ver, o calor transmite-se essencialmente de três modos diferentes:

- Condução: O calor transmite-se através de continuidades materiais. Cada material tem o seu coeficiente de condução de calor que indica se o material é bom condutor térmico, ou se por outro lado é um bom isolante térmico.

- Convecção: O calor transfere-se de um meio sólido para um fluido que escoo sobre esse sólido. Se este escoamento/movimento tiver uma origem natural, devido a gradientes de temperatura (o ar frio é mais denso e desce, o quente é menos denso e sobe) a convecção chama-se natural. Se a convecção tiver origem em ventos, ou em ventoinhas diz-se que é forçada e é também mais eficiente.

- **Radiação:** Todos os corpos emitem radiação electromagnética cuja força sujeita-se da sua temperatura. Este modo não necessita de nenhum meio auxiliar para se veicular, é este o modo através do qual a energia solar alcança a terra.

Para [ROMERO 2000], *“o sol ilumina de forma desigual as várias partes da superfície da terra. Esse fato, associado aos diferentes coeficientes de absorção da radiação solar dos diferentes tipos de solos e águas da superfície da terra, ocasiona uma desigual distribuição da energia solar, cujos efeitos são o aparecimento dos movimentos de massa de ar e de águas (correntes marinhas) e as trocas de matéria e energia entre o ar, o mar e a terra. Um dos resultados desse fenómeno é que tanto a temperatura nas camadas mais próximas da superfície da terra, bem como o seu perfil numa dada região estão permanentemente mudando com o tempo”*.

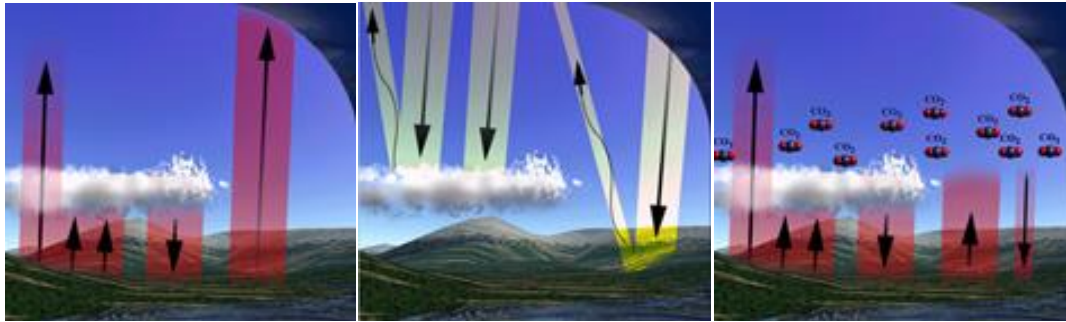
*“Verificando-se trocas de calor nas superfícies, os padrões anuais e diários da temperatura do ar também variam; por exemplo, durante a noite e durante o inverno a superfície da terra é geralmente mais fria que o ar”* [ROMERO, 2000].

A topografia de um lugar também exerce uma grande influência na temperatura do ar.

Segundo [ROMERO 2000], *“normalmente verifica-se uma diminuição de temperatura à medida que aumenta a altura, mas pode acontecer também um fenómeno inverso, isto é, a temperatura aumenta com a altura. Isto acontece porque o calor que a terra absorveu durante o dia é re-irradiado para o espaço durante a noite. O solo arrefece rapidamente e sua temperatura fica inferior à das camadas de ar adjacentes. O fluxo calórico que durante o dia dava lugar a uma corrente ascendente do ar aquecido e leve, durante a noite é inverso, formando uma corrente descendente do ar para o solo”*.

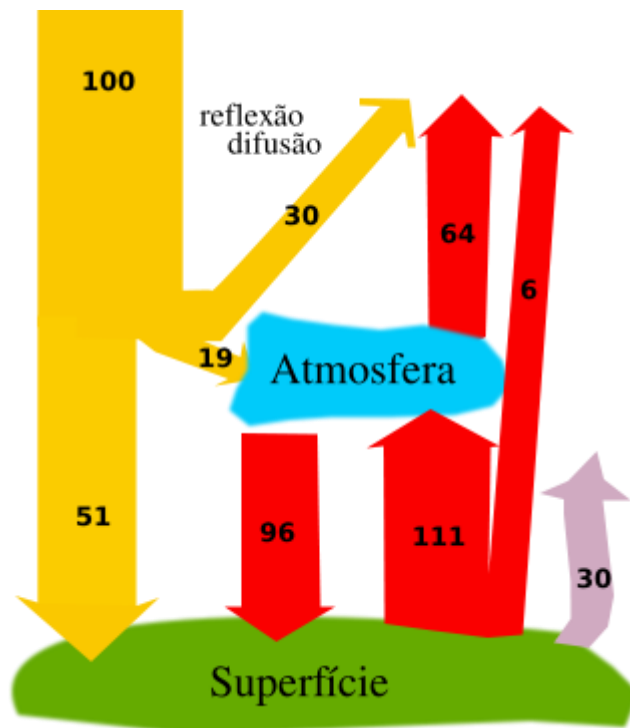
### **3.5 - Radiação Solar**

A terra recebe do sol, radiação solar directa e indirectamente. O ser humano tem sapiência da importância da sua existência, tendo apreendido quais as necessidades de radiação que deve colher. Esta é uma das funções dos edifícios, actuar como elemento estabilizador das radiações, uma vez que gozam de características defensoras (de preferência regulável) contra as mesmas, dado que o seu equipamento lho faculta, recorrendo ao emprego das fontes artificiais e complementares as prováveis carências de radiação natural.



**Figura 36** – Radiação recebida e reflectida e CO2 absorvendo e reflectindo radiação [Fonte: INE – Instituto de Meteorologia, 2009]

A energia solar recebida por qualquer superfície pode chegar até nós de três modos distintos: por radiação directa, tipo de radiação mais intensa, por radiação difusa, é a radiação disseminada em todas as direcções pelas moléculas de ar e por partículas que compõem a atmosfera, ou por radiação reflectida e difusa por outras superfícies. A percentagem de radiação que chega ao solo num dia de céu limpo é aproximadamente de 50% da emitida pelo Sol, já a percentagem de radiação difusa baixa. Ao passo que num dia nublado, a radiação difusa poderá ter variações na ordem dos 10% a 100% da radiação que alcança a terra.



**Figura 37** – Figura representando o equilíbrio energético da Terra - Energy Equilibrium on Earth [Fonte: António Miguel de Campos, 2007]

A radiação solar é a energia transmitida pelo sol (motor de todo o sistema de vida terrestre) sob a forma de ondas magnéticas [ROMERO, 2000]. Ao atravessar a atmosfera, a radiação é dispersa, devendo-se o facto em parte devido à acção da poeira e de outras moléculas na atmosfera, em parte porque é reflectida difusamente a partir da fracção inferior das nuvens [OLGAY, 1963].

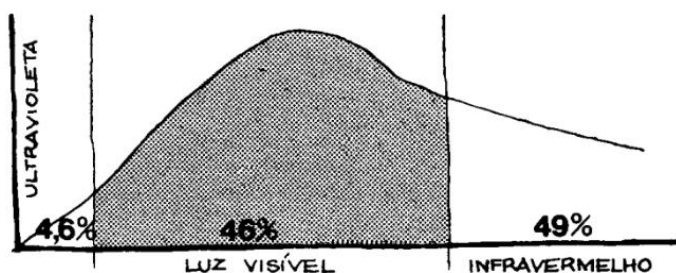
*“A diferença entre a quantidade de radiação recebida na superfície terrestre e a emitida de volta a partir da superfície da terra é a perda de calor radioactivo ou radiação terrestre”* [BARDOU, 1984].

*“Quando o céu está encoberto, a perda é mínima, devido ao fato de que as partículas de água das nuvens absorvem e reemitem a maioria da radiação vinda da terra. A radiação terrestre é, portanto, maior quando a atmosfera está clara e seca, e menor quando a quantidade de vapor d’água, poeira e, particularmente, as nuvens aumentam”* [ROMERO, 2000].

O grau de incidência de energia nas camadas superiores da atmosfera está directamente ligado ao grau de variação da excentricidade da órbita terrestre e a distância entre esta e o Sol. Segundo [BUENO 1998] a definição da constante solar é:

*“... a energia vinda do sol, por unidade de tempo, recebida em uma unidade de área de superfície perpendicular à direcção de propagação da radiação, a uma distância média entre a Terra e o Sol, fora da atmosfera”*

São múltiplos os efeitos da radiação solar existentes na atmosfera e no solo terrestre, para a circunstância cita-se a luz e as cores, a fotossíntese das plantas, a acção bactericida e germicida, a pigmentação da pele e a descoloração da matéria pela acção ultravioleta que representa 4,6% da energia solar e, ainda, o calor em que toda radiação absorvida, principalmente a infravermelha, que representa os outros 49% da energia solar.



**Figura 38** - Composição da Radiação Solar, percentagens das ondas electromagnéticas dos diferentes comprimentos de onda [Fonte: Crowther, 1977]

O espectro solar e as suas diversas partes interferem de forma distinta no organismo humano, a chamada banda visível, só pode ser detectada pelo olho humano em cerca 46% da totalidade energia solar recebida na terra no entanto todo corpo é sensível ao calor.

A forma mais elementar de se conseguir aproveitar de forma passiva a energia solar é através dos ganhos solares directos. Numa habitação com janelas orientadas a Sul, consegue um ganho solar notável no inverno, no Verão através da introdução de um elemento sombreador sobre a janela ou porta poderá obstruir o sobreaquecimento da habitação, dada a posição e trajectória do sol mais elevada.

A radiação directa tem uma preponderância decisiva na determinação das orientações dos edifícios, e um papel decisivo na definição das implantações e do zonamento e na promoção de condições para a organização do espaço público, com influência directa no bom ambiente social, e na economia energética térmica e de iluminação.

Já o controlo da radiação indirecta é de maior dificuldade, dado ser uma radiação originada em espaços construídos e dependente da cor e textura das superfícies, no entanto sugere-se um regulamento que condicione as características da forma de construir, para que venha a haver um efectivo controlo.

Nos locais em que é elevado o numero dias no ano de céu nublado a radiação difusa é um factor que se deve ter em consideração porque torna-se obrigatório estimar e prever o nível de iluminação no interior e exterior dos edifícios, constituindo um condicionamento importante no dimensionamento dos vãos envidraçados.

A radiação solar é quase sempre mais incidente e expressiva no plano horizontal do que nas restantes orientações, nos meses de inverno os valores de radiação nas fachadas a sul ultrapassam os valores do plano horizontal, desta forma deve-se aproveitar este facto utilizando os ganhos térmicos quando eles são mais necessários (inverno), virando os edifícios a sul.

As fachadas a norte dispõem de muita pouca radiação solar, naturalmente devem ser evitadas as perdas térmicas. As fachadas a nascente e poente mantêm-se invariáveis as temperaturas intermédias, no entanto elas não devem constituir problemáticas sobreaquecimento térmico nos meses de verão. As coberturas para evitar ganhos térmicos excessivos devem ser correctamente isoladas.

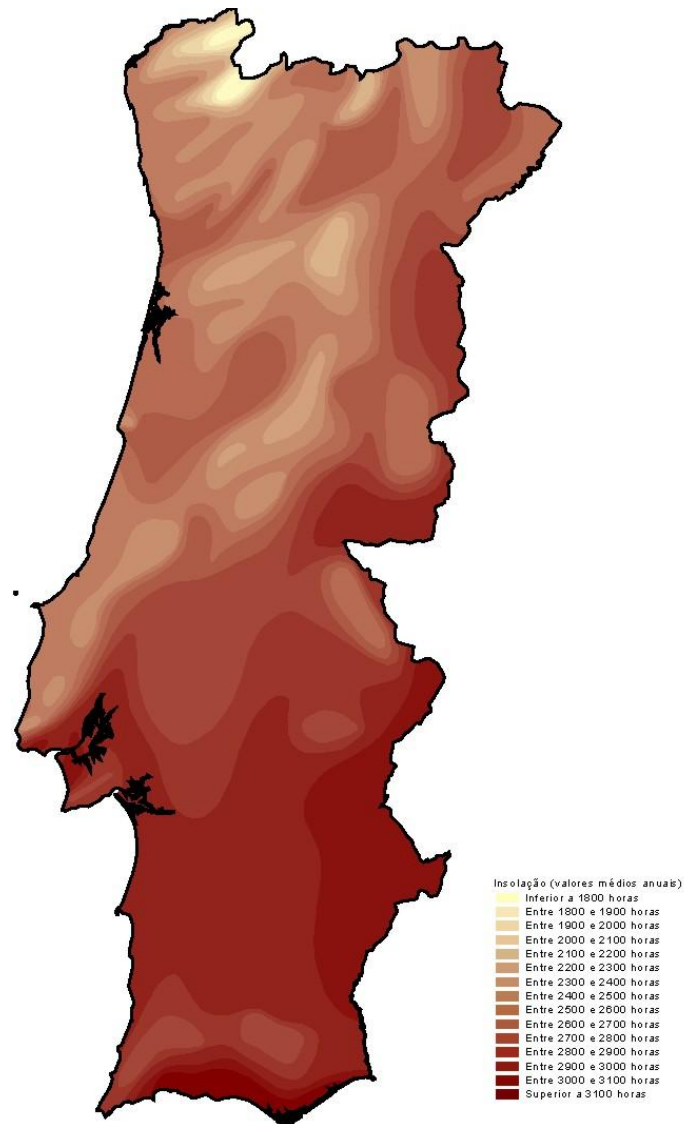
### 3.6 – Insolação

*“Insolação, na bibliografia meteorológica portuguesa, é o número de horas de sol descoberto acima do horizonte”* [Ferreira, 1948], ao passo que, na bibliografia meteorológica geral, *“insolação é a radiação solar incidente”* [World Meteorological Organization, 1966, 1983; Huschke, 1959; Lowry, 1982]. Embora o conceito de *“horas de sol descoberto acima do horizonte”* seja ligado ao brilho do sol em analogia à luz difusa do fundo celeste, mas esta analogia está mais ligada à radiação visível, do que a energia irradiada, no entanto existe uma relação inerente.

A insolação é um factor climático indispensável para o desenvolvimento de o planeamento urbanístico e para o comportamento dos ecossistemas, bem como para imensas acções humanas como os trabalhos ao ar livre, as actividades agrícolas o turismo, a ocupação dos tempos livres, etc.

Portugal tem uma boa rede de estações meteorológicas que permitem perceber os acampamentos das partes da radiação solar através de uma rede heliográfica, este instrumento meteorológico é um recurso extraordinariamente útil, dada a sua alta correlação com os outros componentes da radiação solar (radiação global, directa e difusa).

*“Quando se considera que 47% da energia solar que incide sobre a orla exterior da atmosfera atinge a superfície do Globo, avalia-se bem a potencialidade desta fonte de energia. O valor elevado desta fonte dá a medida da importância transcendente do enorme manancial de energia solar disponível na superfície do Globo, que físicos e engenheiros, num esforço comum, procuram tornar em energia utilizável, com o rendimento máximo possível. A avaliar pelas realizações actuais, o futuro se encarregará de mostrar o altíssimo valor económico que há-de resultar do aproveitamento deste manancial de energia”* [Peixoto. 1981].



**Figura 39** – Mapa de Insolação em Portugal [Fonte: Altas do Ambiente, PE - Porto Editora - Diciopédia; Enc - Encarta; PL - Plátano Editora 2008]

Recorda-se, que a insolação é o número de horas de sol descoberto sobre o horizonte, e que as nuvens absorvem, ou reflectem, elas têm um papel de redução da insolação da radiação solar incidente daí existir uma relação entre insolação com radiação solar.

A quantidade de radiação solar que atinge o solo depende também da percentagem de horas do céu “carregado” e da espessura das nuvens no céu. A nebulosidade, pode formar uma barreira que impede a penetração de parte significativa da radiação solar directa, caso seja suficientemente espessa e ocupar a maior parte do céu. Podendo mesmo vir a dificultar a dissipação na atmosfera do calor desprendido do solo à noite.

Os níveis de insolação em Portugal são muito superiores aos valores médios em toda a Europa, são muito poucos os países da Europa que têm os valores de insolação tão elevados, a excepção de algumas zonas do litoral Mediterrâneo

A insolação pode ser determinada como a quantidade de energia solar que chega, por unidade de tempo e por unidade de área, a uma superfície perpendicular aos raios solares, à distância média Terra-Sol, chama-se constante solar, e vale 1367 W/m<sup>2</sup>. Esse valor da constante solar é medido por satélites logo acima da atmosfera terrestre. Variando de acordo com o lugar, com a hora do dia e com a época do ano.

### **3.7 – Ventos**

A actividade do vento exerce pressões e sucções nas edificações, de forma múltipla, contínua ou descontinuada, causando efeitos indesejáveis nas condições ambientais dos edifícios.

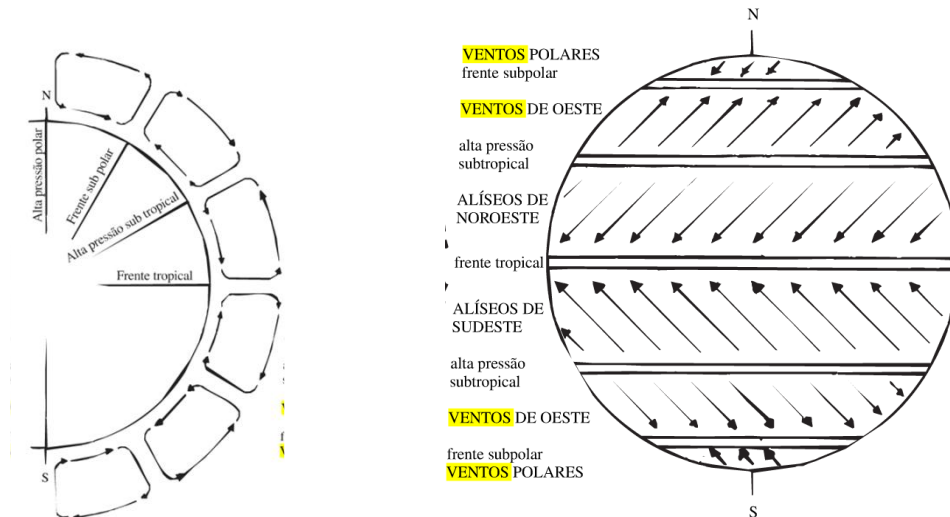
A distribuição sazonal das pressões atmosféricas é o regulador principal das direcções e características dos ventos a nível global. Entre outros factores a variação das pressões atmosféricas pode ser explicada, pelo aquecimento e arrefecimento dos solos e dos mares, pelo gradiente de temperatura no globo e pelo movimento de rotação da terra, chamando normalmente pressão atmosférica a acção exercida pela massa de ar que existe sobre as superfícies.

A variação da temperatura do ar terra desperta deslocamentos de massas de ar, assim, se a Terra não girasse sobre si própria (movimento de rotação terrestre), a circulação do ar seria inalterável e ascendente no sentido dos pólos para o Equador (correntes atmosféricas de convecção propensas a equilibrar o aquecimento diferencial nas variadas zonas.). O movimento de rotação da Terra provoca uma força desviadora dessas direcções (denominada Força de Coriolis).

*“A heterogeneidade do globo terrestre do ponto de vista da absorção local da energia solar e da diversidade nas trocas energéticas no interior das próprias correntes gasosas ou nas suas proximidades” [ROMERO, 2000].*

Existem faixas de alta e baixa pressão atmosférica sobre cada hemisfério, estas podem ser permanentes ou cíclicas. A faixa equatorial é a principal região de baixa pressão, que se mantém durante o ano inteiro. Nas latitudes tropicais de ambos os hemisférios as faixas de alta pressão deslocam-se no verão na direcção dos pólos e no

inverno para o Equador. As regiões polares consideram-se regiões de alta pressão constante, no entanto menores que as das faixas subtropicais, em consequência têm-se três faixas globais de ventos em cada hemisfério: os alíseos, os de oeste e os polares.



**Figura 40** – Diagrama dos ventos na terra – [Fonte: Koenigsberger]

Os ventos polares são formados pelas massas de ar frio nas regiões polares e árticas de alta pressão. A nível local, essas correntes de ar sofrem a influência da topografia, das diferenças de temperaturas causadas por diversos revestimentos do solo e da vegetação.

O vento é geralmente uma vantagem no Verão visto que permite arrefecer a atmosfera. Para o desenho urbano, o interesse centra-se nos ventos locais, sendo somente necessário o conhecimento do processamento dos mecanismos de vento nas camadas mais baixas da atmosfera.

No que se refere à orientação em função dos ventos dominantes favoráveis, estes, se bem aproveitados, podem dispensar até mesmo a o uso da energia operante, trazendo conforto com meios naturais, no entanto pode ser uma desvantagem no Inverno dado que é um dos factores que contribui para o arrefecimento dos edifícios por convecção. Deve-se orientar o edifício favoravelmente em relação à carga térmica recebida no período quente, no caso de latitudes maiores.

### 3.8 – Precipitação

A precipitação meteorológica é um fenómeno relacionado à queda de chuva, neve e chuva de granizo. A precipitação ocorre quando na superfície terrestre, que na sua constituição tem uma enorme variedade de gases, satura-se com vapor de água

sendo uma parte importante do ciclo hidrológico, responsável por retorno da maior parte da água doce ao planeta.

A condensação do vapor d'água, no molde de chuva, resulta, em grande parte, de massas de ar húmido em ascensão, que arrefecem rapidamente por contacto com as massas de ar mais frias.

As condições para que ocorra precipitação em forma de chuva são favorecidas as zonas urbanas devido às partículas sólidas em suspensão no ar, que contribuem para a aglutinação das partículas de água que formarão a gota de chuva.

A par com outros parâmetros climáticos, esta permite-nos caracterizar climatologicamente uma determinada zona do globo, fundamental para a arquitectura que deverá construir não se abstraindo destes dados.

### **3.9 – Macroclima mesoclima e Microclima**

As diferenças das condições climáticas podem ser originadas por vários factores, entre muitos destaca-se a topografia (face de exposição), a vegetação, e a proximidade de zonas com reservas de água (aumentam a humidade relativa, equilibrando o ambiente).

O macroclima, ou clima regional, equivale ao clima médio que ocorre num território relativamente extenso, obrigando, para uma melhor caracterização, dados meteorológicos locais; nas zonas com relevo acentuado os dados macroclimáticos possuem um valor acrescentado, inversamente, um mesmo macroclima poderá englobar áreas de planície muito extensas.

O mesoclima, ou clima local, que corresponde a uma situação particular do macroclima. Normalmente, é possível qualificar um mesoclima através dos dados de uma estação meteorológica. A superfície abrangida por um mesoclima pode ser muito oscilante mas, relaciona-se geralmente de áreas relativamente pequenas, podendo fazer alusão às condições bastante específicas do ponto de vista de exposição, por exemplo declividade ou altitude. O termo topoclima variadas vezes é usado para denominar um mesoclima onde a orografia constitui um dos critérios básicos de reconhecimento, por exemplo de um vale ou de uma encosta de montanha.

O microclima, corresponde às condições climáticas de uma superfície realmente pequena. Pode-se considerar dois tipos:

- Microclima natural - que corresponde às superfícies da ordem de 10 m a 100 m;

- Microclima das estufas - o qual se caracteriza por variáveis climáticas (temperatura, radiação) medidas por aparelhos instalados no próprio edifício. O termo genérico de bioclima é utilizado para essa escala que visa o estudo do meio natural e das técnicas de cultivo.

As condições climáticas destes três fenómenos têm uma importância vital no bom conforto térmico dos edifícios e cidades. Neste sentido é fundamental conhecer o clima de um lugar e ou região para determinar especificamente qual o tipo de construção se adapta melhor ao local. Por exemplo, num clima frio, deve-se admitir uma grande recepção solar e conter a penetração dos ventos, garantindo-se desta forma uma radiação correcta.

### **3.10 – Efeito estufa**

O efeito estufa é um processo que ocorre quando um determinado sistema aquece devido à radiação solar, o calor entra num local mas não consegue voltar a sair aquecendo assim o local em causa.

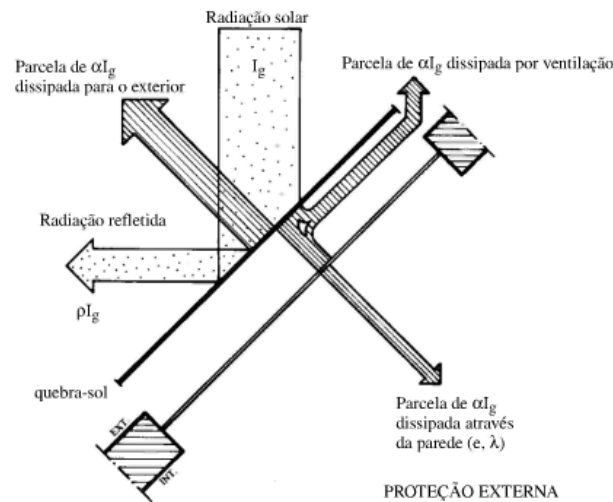
A radiação solar possui um comprimento de onda curta (cerca de  $0,3\mu\text{m}$  a  $4\mu\text{m}$ ) já a radiação emitida pelos corpos aquecidos possui um comprimento de onda longo (cerca de  $4\mu\text{m}$  a  $80\mu\text{m}$ ).

O vidro é transparente para a radiação no espectro do visível mas é opaco para radiação com comprimento de onda mais elevado. O que acontece quando os raios solares entram numa casa é que vão aquecer os objectos que depois emitem radiação no espectro do infravermelho (maior comprimento de onda) que não consegue sair, ficando assim a energia retida no interior.

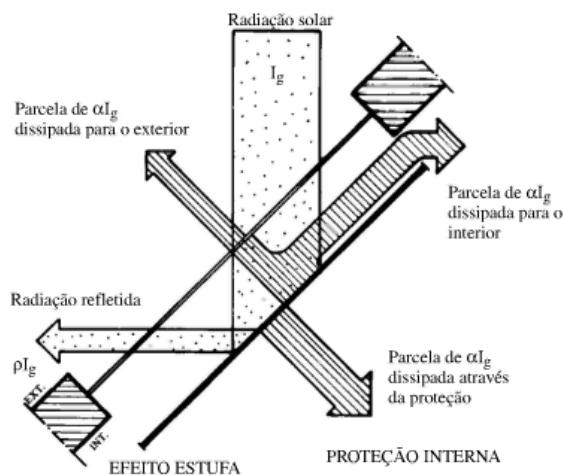
Exemplos mais usuais são as áreas envidraçadas nos edifícios e estufas, onde se deve acautelar o sombreamento e a ventilação, nas estações quentes e frias respectivamente.

A protecção solar de paredes transparentes ou translúcidas pode ser feita transversalmente de dispositivos externos e internos, sendo que, em caso de vidro duplo, por exemplo, se pode até localizar no seu interior. Por outro lado, a protecção

externa normalmente tende a ser mais eficiente, obstruindo a radiação solar antes de sua penetração por transmissibilidade. A protecção solar deve ser projectada especificamente para cada edifício, ajustada à sua localização, função e orientação, podendo haver casos em que seja necessário adoptar protecção interna.



**Figura 41** – Ganhos de calor através de parede transparente (supondo transparência 100% e protecção opaca 100%) com protecção externa. [Fonte: Frota, Anésia Barros. Manual de conforto térmico: arquitectura, urbanismo / Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer. — 5. ed. — São Paulo : Studio Nobel, 2001]



**Figura 42** – Ganhos de calor através de parede transparente (supondo transparência 100% e protecção opaca 100%). Com protecção externa [Fonte: Frota, Anésia Barros. Manual de conforto térmico: arquitectura, urbanismo / Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer. — 5. ed. — São Paulo: Studio Nobel, 2001]

### **3.11. - A Energia Solar e os Edifícios**

A temperatura do ar exterior e a radiação solar em termos de transferência de calor, são as variáveis climáticas que mais influenciam o comportamento dos edifícios. A temperatura do ar, é a variável indutora das trocas de calor através da envolvente do edifício, que determina os fluxos energéticos entre interior e o exterior, fluxos estes que ocorrem fundamentalmente no período de Inverno (perdas térmicas), enquanto no Verão o sentido do fluxo tem tendência a inverter-se (ganhos térmicos).

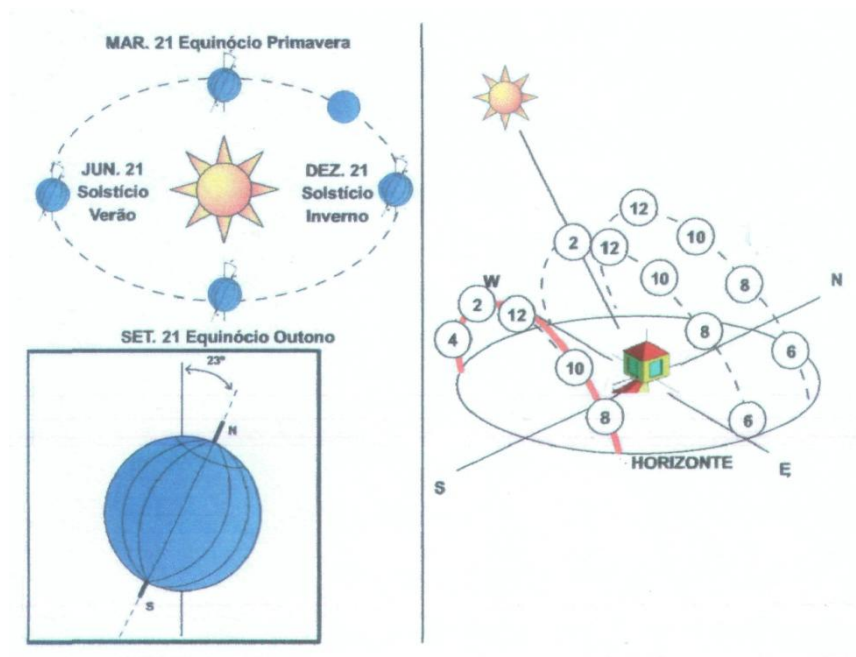
As denominadas perdas térmicas, no Inverno constituem a principal razão para a diminuição da temperatura interior nos edifícios sendo um dos principais aspectos a acautelar no projecto. Elege-se a redução das perdas pois como uma das medidas mais seguras no sentido de melhorar as condições de conforto no interior dos edifícios, a utilização de soluções de isolamento térmico nos elementos opacos (paredes, cobertura e pavimentos) como a utilização de vidros duplos nos vãos envidraçados são as medidas normalmente adoptadas.

Os ganhos térmicos por troca de calor, em que o fluxo de transferência destes têm o sentido exterior - interior, verifica-se normalmente no Verão, esta situação é algo a evitar, pois contribui para aumentar a carga térmica do edifício e conseqüentemente a sua temperatura interna.

A radiação solar é outra variável de grande importância para os edifícios, pois tem um papel fundamental no conforto térmico dos edifícios, no Inverno constitui uma fonte de calor muito importante, contribuindo para o aumento da temperatura interior, já no Verão constitui uma fonte de calor indesejada.

O sol é, uma fonte de calor que convém conhecer a sua interacção com os edifícios, (valores da radiação solar), bem como em termos da sua posição, ao longo de todo o ano, levando-nos para um conhecimento da forma projectar o edifício na perspectiva aqui utilizada.

### 3.12 – A trajetória solar



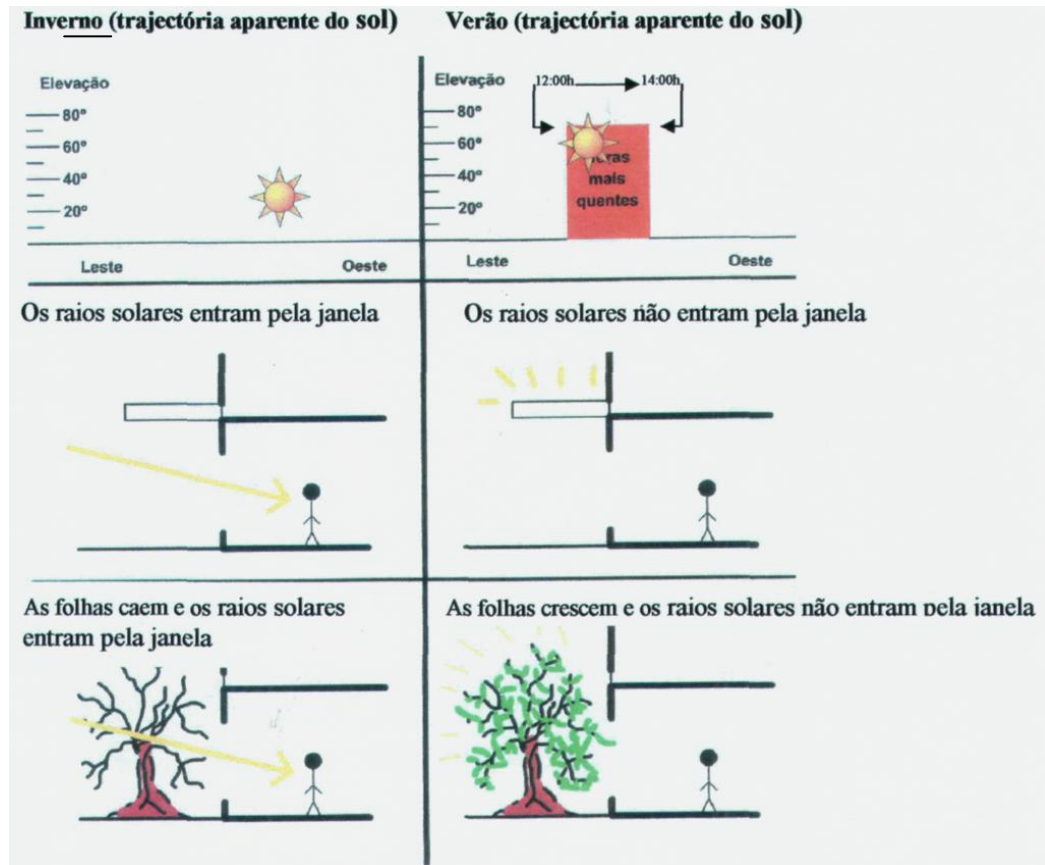
**Figura 43** – Processo da trajetória solar – diferenças de intensidade de radiação e tempo de exposição solar nas duas estações [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

O estudo do diagrama solar, existem 3 curvas com diferentes alturas que ocorrem durante o ano, mais especificamente o solstício de Verão (21 de Junho), equinócios (21 de Março e 21 de Setembro) e solstício de Inverno (21 de Dezembro). A posição do sol varia consoante a sua altura e o azimute respectivamente, naturalmente estas 3 circunstâncias dão origem a diferentes ciclos de insolação bem como a distintos ângulos de incidência solar. [Moita, Arq. Energia Solar Passiva 1985 DGE].

Portugal encontra-se entre 42 no Norte e 37 a Sul, isto leva a que cada região apresente uma insolação específica, sendo provocada pela diferença de latitude em relação ao equador. [Moita, Francisco -Energia Solar Passiva 1985 DGE].

Para saber tirar partido do sol, deve-se ter em conta as características específicas de cada região. Por exemplo no norte zona de clima frio portanto torna-se vantajoso tirar o máximo partido do sol, é comum encontrarem-se diversos edifícios com fachadas de vidro (dada a condução do calor para o seu interior), estas encontram-se orientadas a Oeste e a Este para que os raios solares incidam sobre todo o edifício e tenham bons níveis de insolação.

A 12:00h de um dia análogo, a elevação do sol na estação de Inverno encontra-se em ângulo distinto que na estação de verão, a incidência do solar nas horas mais quentes numa fachada virada a sul, apresenta a seguinte trajectória:



**Figura 44** – Processo de percurso solar – diferenças trajectória de verão e inverno [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

A protecção de uma janela da radiação solar na estação do verão, pode ser feita de modo simples e correcto, para isso basta colocar uma pala correctamente dimensionada para um sombreamento eficaz janela durante as horas de maior calor (das 12.00 às 14.00h), impedindo a entrada directa de radiação, e acautelando a entrada raios solares (trajectória mais baixa) durante o Inverno. O uso de vegetação de folha caduca circundante à edificação pode ser utilizado para minimizar os efeitos da temperatura do ambiente no interior das edificações.

A vegetação, por sua vez, humedece o ar à sua volta através da evaporação/transpiração, processo natural do seu metabolismo. A aplicação destes elementos nos projectos arquitectónicos é bastante útil em locais onde o clima é muito seco. Assim a temperatura externa que apresenta enormes variações entre o dia e a noite, é possível utilizar materiais com alta inércia térmica para acumular o calor

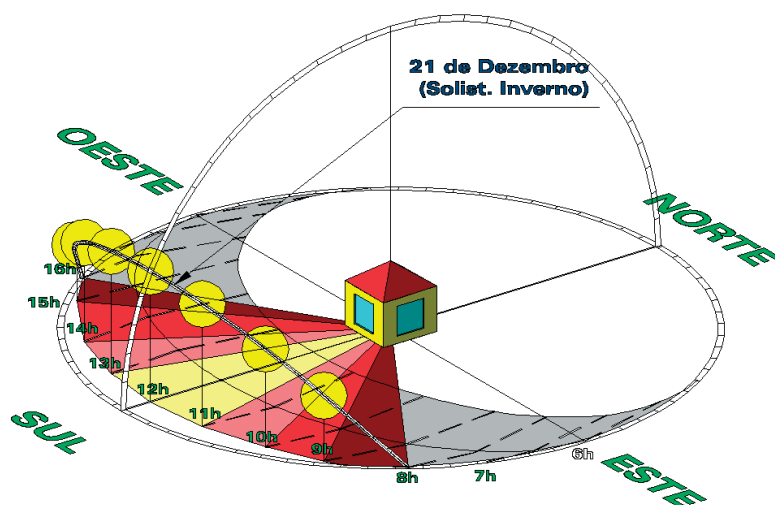
durante o dia, liberando-o durante a noite, mantendo a temperatura do ambiente interno nos níveis confortáveis.

### 3.13 - A orientação solar

É essencial para a concepção - materialização de um edifício o conhecimento das várias posições do sol, nas suas várias trajetórias diurnas e nocturnas, para que este cumpra as boas regras solares passivas.

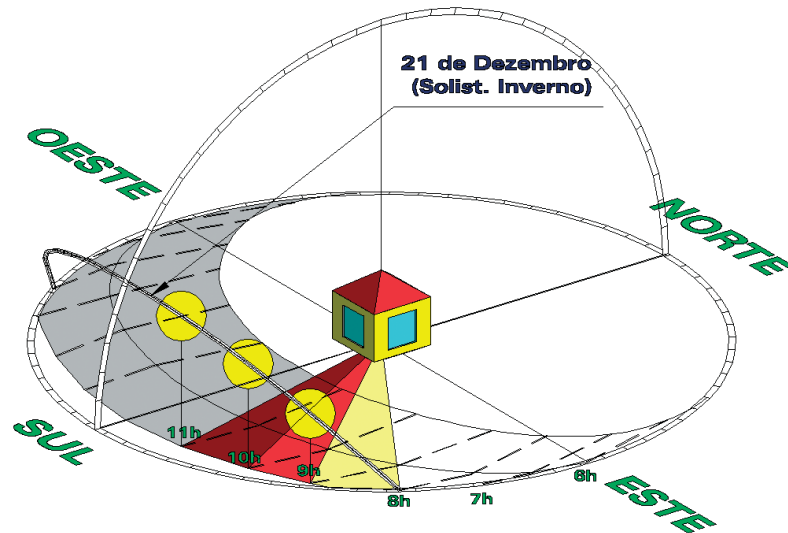
Sabe-se que, a orientação de um edifício tem na sua fachada longitudinal uma contiguidade ao eixo Este-oeste, assim no período mais quente anual a fachada do deste que está voltada para o nascente fica sujeita a uma insolação fraca da parte da manhã, e à medida que a trajetória do sol progride para o sul surgem os raios perpendicularmente à fachada sul, no entanto com o apoio de um sombreamento (pequenas palas horizontais) impede-se a entrada da maior insolação do dia. Os raios tornam-se cada vez mais oblíquos à fachada virada a poente, ao pôr-do-sol onde a insolação novamente se encontra mais fraca.

No verão, uma fachada orientada a Este, sofre níveis de insolação maiores que no Inverno, pois os dias têm um maior número de horas de sol, logicamente, há uma maior exposição da fachada ao sol até que atinja a sua altura máxima. Já época do Inverno, como os dias são mais curtos e os raios solares incidem principalmente sobre a fachada virada a sul de forma enviesada, e em toda a fachada, provocando um aquecimento sobre o edifício.



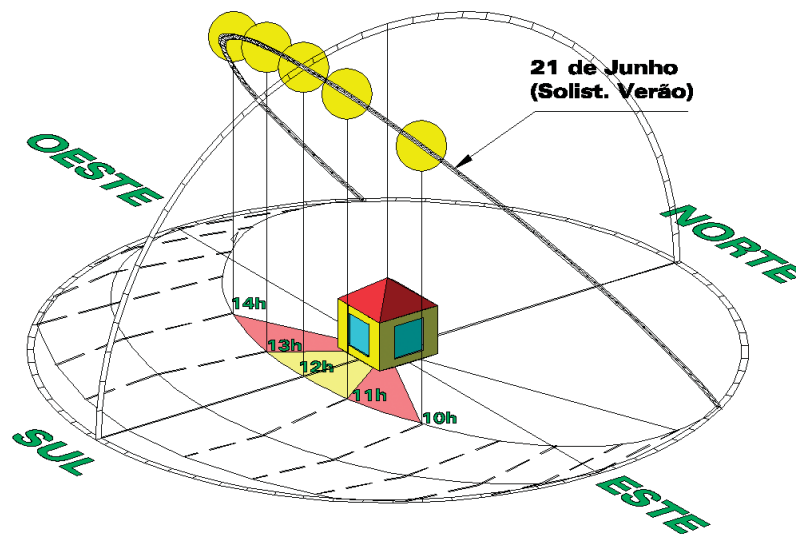
**Figura 45** – Processo de percurso solar no inverno [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

No Inverno existe a necessidade de aquecer os edifícios, uma vez que o percurso do Sol durante o período da manhã e princípio da tarde possibilita uma maior entrada de radiação aos envidraçados verticais de uma fachada de um edifício orientada a Sul.



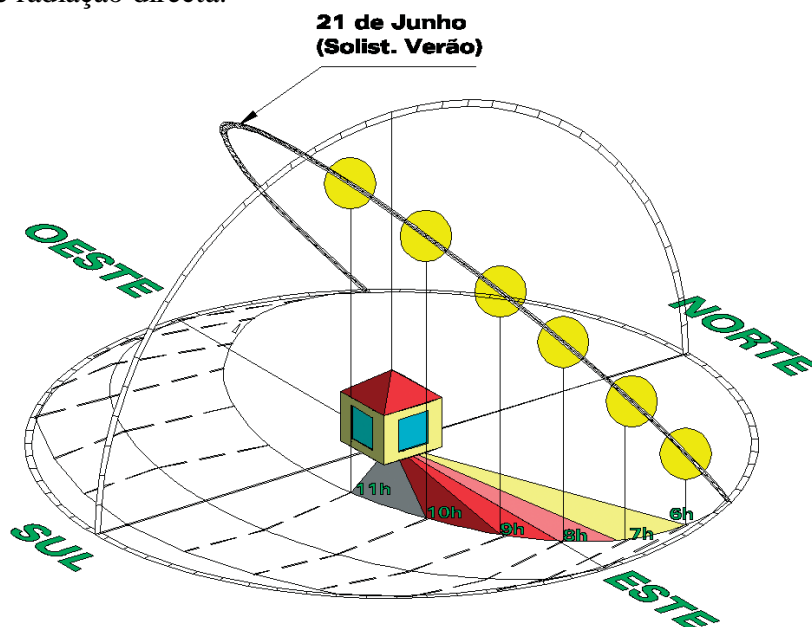
**Figura 46** – Processo de percurso solar no inverno [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

No Inverno as fachadas orientadas a Nascente recebem escassa radiação, sabendo-se que o sol nasce próximo da orientação Sudeste, este na sua trajetória incide na durante poucas horas fachada e com um pequeno ângulo de incidência no período da manhã.



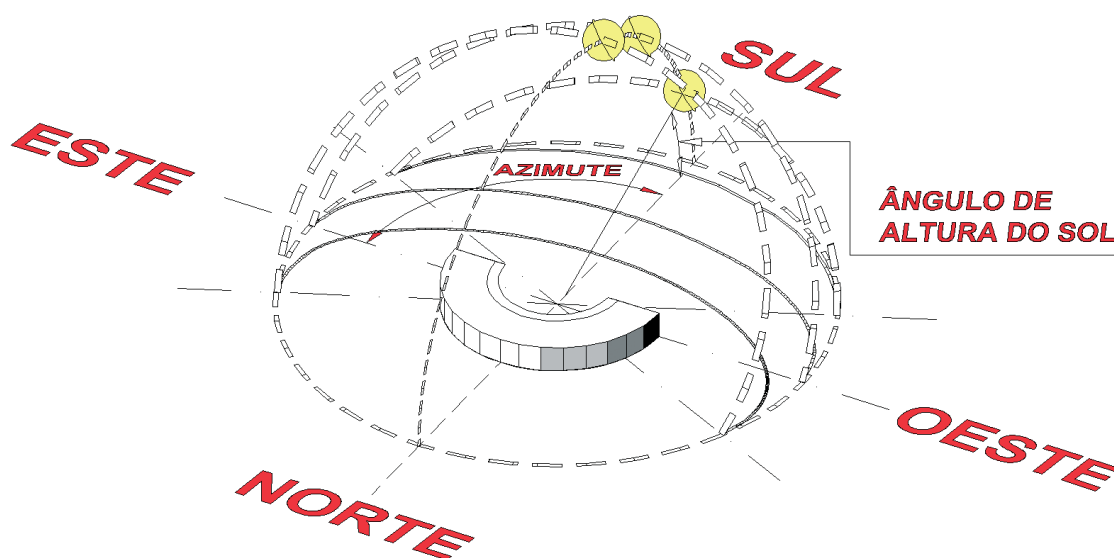
**Figura 47** – Processo de percurso solar no verão [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

O percurso do Sol no Verão é mais próximo do zénite, torna-se então necessário minimizar os ganhos solares da radiação, a sua incidência nos envidraçados verticais orientados a Sul, faz-se com grandes ângulos, o que reduz os ganhos solares, como já referenciado, a introdução para a arquitectura correctamente dimensionada pode reduzir a ocorrência de radiação directa.



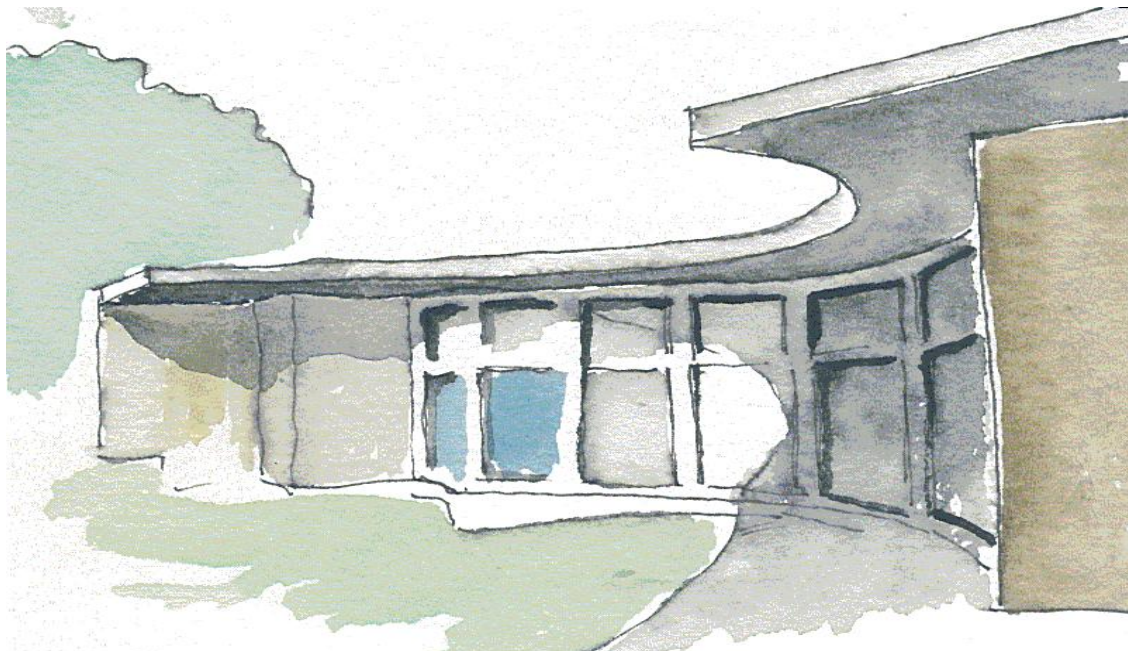
**Figura 48** – Processo de percurso solar no verão – [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

Nas fachadas direccionadas a nascente durante verão verifica-se a existência de maior incidência solar durante toda a manhã, este factor fomenta uma maior captação de energia solar que se exerce segundo ângulos próximos da perpendicular aos envidraçados verticais nesta estação, o que é inconveniente.



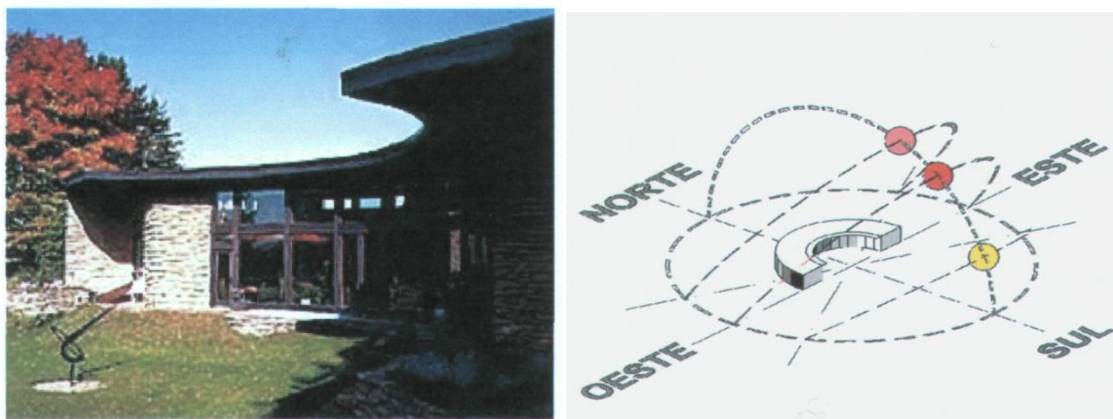
**Figura 49** – Imagem do percurso do sol ao longo do ano. Casa de Jacobs II [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

Veja-se o exemplo da segunda casa de Jacobs de Frank Loyd Wright, também conhecida como “*Solar Hemicycle*”, no Wisconsin, Estados Unidos da América, construída em 1944. Esta casa tem a forma semicircular orientada segundo um eixo Este-Oeste. A norte está protegida contra os ventos frios por taludes.



**Figura 50** – Imagem de exemplo da pala Casa de Jacobs II <sup>6</sup> que produz um agradável sombreamento na estação de verão – [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

A Fachada Sul da Casa Jacobs II - Hemiciclo Solar no Verão origina sombreamentos que reduzem a indesejada incidência de radiação solar. (Aquarela de J.M. Graça).



**Figura 51** – Imagem de exemplo da pala Casa de Jacobs II que produz um agradável sombreamento na estação de verão <sup>3</sup> [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

A posição a Sul, de todos envidraçados, faz com que os ganhos solares durante o inverno sejam positivos para o aquecimento dos seus espaços interiores.

<sup>6</sup>Casa Jacobs II, Hemiciclo Solar, A Fachada Sul no Verão produz sombreamentos que reduzem a incidência de radiação solar indesejada. (Aquarela de João Maria Graça)

No verão, como a fachada a sul possui uma pala de sombreamento fica protegida a incidência solar directa.

### 3.14 - O consumo de Energia em Portugal

Portugal produz apenas 15% da energia que consome, tornando-o num dos países com maior dependência da importação das energias fósseis.

O último Balanço Energético Nacional disponível (2002) expõe o seguinte: “o consumo de energia nos edifícios representa cerca de 27% do consumo de energia final do país (residencial com 16% e os de serviços com 11 %), com um consumo total de 3,9 Mtep (Milhões de toneladas equivalentes de petróleo) ”. Em Portugal existem cerca de 3,3 milhões de edifícios que pertencem a um grupo de actividades cuja importância económica é vital para o país, e actualmente edificações são responsáveis por cerca de 60% do consumo de electricidade a nível nacional, segundo a publicação "Eficiência Energética nos Edifícios, 2003". Nos edifícios residenciais a qualidade e conforto tem aumentado ao longo do tempo.

Consumos de Energia final por Sector

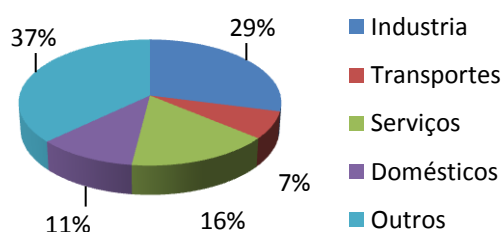


Gráfico 1 – Consumo de Energia Final por Sector (2002) [Fonte: Dados DGE, 2005]

Consumos de electricidade por Sector (2002)

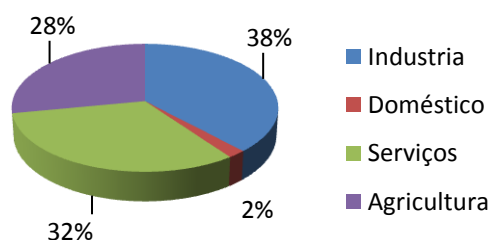


Gráfico 2 – Consumo de Electricidade Final por Sector (2002) [Fonte: Dados DGE, 2005]

O consumo de energia e o conseqüente aumento da emissão de gases, contribuem para o aquecimento global, o crescimento médio anual do consumo de energia nos edifícios de habitação, entre 1990 e 2002, foi de 3,9%, correspondendo no ano 2002 a cerca de 2,3 Mtep. [Dados: DGE, 2005] traduz-se num acréscimo de investimento em combustíveis fósseis. Com a vulgarização do progresso das condições de vida actuais, usualmente representados em melhores necessidades de conforto térmico, os valores inclinam-se a aumentar neste sentido é urgente estimular a integração dos princípios de racionalização de energia nos edifícios em construção e em reabilitação para evitar que os consumos aumentem drasticamente.

Cerca de 85% da energia consumida no nosso país é importada e de origem fóssil (petróleo, carvão e gás natural). Entre 2004 e 2005 aumentámos os nossos custos de importação de petróleo em mais de 38%. Em 2005, por cada 100 euros de importações, 38 foram para a compra de petróleo e derivados. Isto é preocupante. Em 2003 e 2004, o consumo de electricidade aumentou 6% em Portugal. Em média, na União Europeia, na altura a 25, este aumento foi de 1,7% no mesmo período.

Os edifícios residenciais são utilizados por um universo de milhões de consumidores, no consumo residencial o aspecto importante é a parcela destinada ao conforto térmico, quer para aquecimento quer para arrefecimento. Cerca de 10% a 15% são destinados ao aquecimento, existe uma clara inércia devido não só a razões comportamentais dos consumidores, como também a falta substituição dos equipamentos e progressiva recuperação dos edifícios que leve a uma adopção de padrões eficientes de consumo de energia.

Os edifícios de serviços evidenciaram maior taxa de crescimento do consumo energético entre 1990 e 2002 (8,1% de crescimento médio por ano) do que os residenciais. Como grandes utilizadores da energia eléctrica foram os principais responsáveis pelo acentuado crescimento do consumo e dessa forma, a energia do país. Como consequência, a percentagem nacional do consumo de electricidade nos edifícios de serviços passou de cerca de 19%, em 1980, para 32% em 2002. Trata-se de um sector muito heterogéneo, englobando alguns edifícios muito eficientes e outros claramente maus utilizadores da energia apresentando, portanto, um elevado potencial para melhoria. [Dados: DGE, 2005].

A publicação "Eficiência Energética nos Edifícios, 2003", diz-nos o seguinte:

- a) A energia no seu processo de conservação e utilização, contribui com cerca de 2/3 do total das emissões de GEE em Portugal,
- b) Portugal pretende em 2010 cumprir com as metas estabelecidas a partir do Protocolo de Quioto, o qual impõe um tecto nas emissões para a atmosfera de CO<sub>2</sub> e outros gases responsáveis pelo aumento do Efeito Estufa (GEE) que contribuem para o aquecimento global; especial atenção deve ser dada aos edifícios, tanto residenciais como os de serviços, pois estes foram considerados os grandes responsáveis pelo crescimento do consumo e da energia final do país.

Os estados signatários do Protocolo de Quioto sujeitaram-se a tomar as medidas necessárias para limitar a Produção de GEE (Gases de Efeito Estufa) nos seus territórios. Impõem-se então a criação de mecanismos de ação e uma clara definição de políticas de curto e médio prazo que venham abrandar as emissões de tais gases, para que os níveis de emissão sejam os de 1990, para o ciclo de cumprimento 2008-2012.

A adopção do Programa de Eficiência energética e Energias Endógenas (E4), veio garantir que Portugal contribua para eficiência energética e valorização das energias endógenas, procurando contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa, a modernização da sociedade, salvaguardando simultaneamente a qualidade de vida. [Programa E4 Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001 de 27 de Setembro], bem como os compromissos internacionais que assumiu ao assinar o Protocolo de Quioto.

A evolução de um conjunto de parâmetros fundamentais para estimar as emissões de GEE no futuro é um procedimento difícil, que nos leva aos seguintes cenários:

- a) O conhecimento dos consumos actuais nos edifícios;
- b) O conhecimento do parque existente e tendências para construção de novos edifícios e para a demolição e reabilitação dos existentes;
- c) O conhecimento da evolução dos padrões de penetração e utilização de equipamentos eléctricos e garantia de conforto no interior dos edifícios;
- d) O conhecimento do padrão de utilização de fontes de energia para aquecimento dos edifícios;
- e) O conhecimento da evolução das formas de produção de electricidade e a imposição das medidas de comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados, como objectiva para a revisão da regulamentação térmica.

Desde 1991 que está em vigor o RCCTE (Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios), regulamento visto como ponderado, de grande

impacto nos edifícios portugueses, que passaram a utilizar isolamentos térmicos e em certos casos vidros duplos, mesmo que não fazendo parte dos requisitos do referenciado regulamento.

Para complementar foi publicado um regulamento em 1998 denominado de: "Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos edifícios" (RSECE), fundamentalmente refere-se aos edifícios com sistemas de climatização, e à forma de melhorar a sua eficiência energética, estabelecendo um conjunto de regras, exigências de conforto e de qualidade do ambiente para os interiores dos edifícios, assegurando desta forma boas condições de eficiência energética.

Estes dois regulamentos: <sup>7</sup>RCCTE (Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios) e RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios) visam fazer cumprir o vertido no Programa E4 com incidência na eficiência energética dos edifícios e a sua certificação energética.

### **3.15 - A eficiência energética dos edifícios em Portugal.**

As edificações tem um peso no consumo energético global na ordem dos 28% do total da energia consumida, valor bastante inferior aos das médias dos restantes países europeus, mas tem uma forte tendência para crescer derivado aos níveis de conforto.

Encara-se então o duelo da “pegada energética” que vise uma maior eficiência das edificações, diminuindo os energéticos das mesmas, associado ao aumento dos níveis de conforto, para isso temos de melhorar os níveis de construção e isolamento, utilizando o nosso excelente clima.

As imposições Comunitárias e do protocolo, trouxeram a necessidade de em 26 de Janeiro de 2006, o conselho de Ministros rever o RCCTE, e aprovar uma nova versão para um melhor cumprimento das exigências actuais, resultantes de maiores níveis de exigências de conforto térmico, das imposições Comunitárias e do protocolo de Quioto.

---

<sup>7</sup> O Decreto-Lei de 06FEV90 constitui uma primeira base regulamentar pressuposto essencial à adopção de outras médias quanto à utilização da energia nos edifícios e corresponde ao imperativo de aproximação às políticas comunitárias neste domínio, tendo em conta as especificidades da situação no país.

O novo regulamento exige maiores graus de exigência, no isolamento térmico, no cuidado com as pontes térmicas, e incrementa em bom tempo a utilização de energias renováveis prevendo no futuro a certificação energética das edificações por técnicos com formação específica.

### **3.16 - Directiva Relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios.**

A Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, diz-nos que acudindo ao Tratado que institui a Comunidade Europeia, a proposta da Comissão, o parecer do Comité Económico e Social, o parecer do comité das regiões, pondera:

- a) O Tratado prevê que as exigências de protecção do ambiente sejam integradas na definição e execução das políticas e acções da comunidade.
- b) Maior eficiência energética, constituindo uma parte importante do pacote de políticas e medidas necessárias para o cumprimento do Protocolo de Quioto.
- c) Em 2000, o Conselho aprovou o plano de acção da comissão para a eficiência energética e pediu medidas específicas para o sector dos edifícios.
- d) O sector residencial e terciário, a maior parte do qual constituído por edifícios, absorve mais de 40% do consumo final de energia da Comunidade e encontra-se em expansão, tendência que virá a acentuar o respectivo consumo de energia, e por conseguinte as correspondentes emissões de dióxido de carbono.
- e) A Directiva 93/76/CEE do Conselho de 13 de Setembro de 1993, relativa às emissões de dióxido de carbono através do aumento da eficácia energética, impôs aos Estados-Membros a elaboração, aplicação e comunicação de programas relativos à eficiência energética dos edifícios, sendo necessário um instrumento jurídico complementar para instituir acções mais concretas com vista a materializar o grande potencial não consumido de economias de energia e reduzir as grandes diferenças entre os Estados-Membros no que respeita aos resultados neste sector.
- f) Segundo a Directiva 89/106/CEE do Conselho, de 21 de Dezembro de 1988, relativa à aproximação das disposições legislativas, administrativas e regulamentos dos Estados-Membros no que respeita aos produtos de construção impõem que a obra e as instalações sejam concebidas e realizadas de modo a que a quantidade de energia necessária à sua utilização seja baixa, tendo em conta as condições climáticas do local e dos ocupantes.
- g) As medidas destinadas a melhorar o desempenho energético nos edifícios deverão ter em conta as condições climáticas locais, bem como a melhoria do ambiente interior e a rentabilidade económica.
- h) O desempenho energético nos edifícios deve ser calculado com base numa metodologia que poderá ser diferenciada a nível regional e íntegro para além do

isolamento térmico, outros factores com influência crescente, sendo que os novos edifícios deverão cumprir com os requisitos mínimos de desempenho energético, adaptados às condições climáticas locais.

- i) Segundo à Directiva Europeia cabe aos Estados-Membros estabelecer as normas de execução, permitindo determinar o regime que melhor corresponda à sua situação específica, devendo prever a possibilidade do método de cálculo do desempenho térmico ser rapidamente adoptado, podendo os Estados-Membros procederem regularmente à revisão dos requisitos mínimos em função do progresso técnico, nomeadamente no que diz respeito às propriedades (ou qualidade) de isolamento do material de construção e da evolução em matéria de normalização.

Esta Directiva Europeia promove assim o avanço do desempenho energético dos edifícios no espaço Europeu, especificando as condições climáticas, e as exigências do clima interior e a consequente rentabilidade económica.

### **3.17 - Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas)**

Para o progresso da eficiência energética e valorização das energias endógenas, Portugal perfilhou o Programa E4 <sup>8</sup> (Eficiência Energética e Energias Endógenas), desenvolvendo o aumento da eficiência energética nos edifícios abrangendo todos os modelos de consumo como água quente, iluminação, equipamentos e electrodomésticos, a melhoria do meio envolvente tendo em conta o impacto desta nos consumos de arrefecimento, aquecimento e ventilação para assegurar o conforto ambiental, promovendo o recurso às energias endógenas (solar térmico, solar fotovoltaico e outros), desta forma vem dar a economia portuguesa maior competitividade, modernizando os modelos sociais e acautelando as futuras gerações. Contribuindo desta forma para o cabal cumprimento do Protocolo de Quioto.

O Programa do Governo, prevê no quadro das novas fisionomias das condicionantes ambientais e à luz das linhas de orientação da União Europeia, um plano que se conforma no Programa E4 dispondo-se a melhoria e modernização da competitividade da economia, intervindo largamente na política da energética, pretendendo, também, a segurança no abastecimento, e reduções substanciais nas facturas energética e a salvaguarda do ambiente.

A estratégia E4 assenta em três grandes eixos de intervenção:

---

<sup>8</sup> Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas), Promoção do aproveitamento das fontes de energia renováveis, já consolidadas do ponto de vista técnico-económico. M. Economia. (Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001 de 27 de Setembro)

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

A eficiência energética passa pela promoção das possibilidades que se consagram do lado da oferta, ao nível dos sistemas energéticos, no âmbito nacional e europeu, bem como na vantagem das referências a todos os níveis de mediação tecnológica, desde a produção/conversão até à partilha de forma integrada.

O planeamento urbanístico para uma maior eficiência dos edifícios importaria actuar numa fase anterior ao projecto impondo regras mínimas comuns de desempenho por zona de intervenção, visando a melhor integração das energias endógenas com as tecnologias de utilização racional de energia diminuindo o carácter casuístico e desarticulado.

### **3.18 - Regulamentos (RCCTE e RSECE)**

O decreto-lei 40/90 de 6 de Fevereiro, veio a introduzir o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), resolvendo de modo direccionado o carácter de evolução a nível do conforto térmico, com este panorama de inclusão justa de todas as partes ambientais e económicas, enquadrando neste regulamento, (preâmbulo do D.L. 40/90 de 06FEV90) a necessidade do seu cumprimento devendo ser aplicado em todas as zonas, independentes dos edifícios sujeitos a licenciamento, no território nacional.

Excluem-se as situações, previstas nos no 6 e 7 do seu artigo 2o, de edifícios, atendendo as suas condições de utilização e os destinos sejam permanecer frequentemente abertos ao contacto com o exterior bem como as remodelações e recuperações de edifícios em zonas históricas ou de edifícios classificados, (preâmbulo do D.L. 40/90 de 06FEV90), preenchendo um papel relevante, dado que determina

características mínimas de desempenho dos edifícios, em termos da sua envolvente e dos seus sistemas de consumo energético.

No caso Português, perfilhou-se um plano que compôs-se na segmentação dos requisitos por dois regulamentos: RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios e RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios.

O primeiro determina os princípios para a grande maioria dos edifícios em que os consumos energéticos não são significativos, mas de aplicação geral, impondo, que a envolvente dos edifícios tenha níveis mínimos de isolamento térmico nas paredes, pavimentos e coberturas, e no Verão um bom sombreamento.

O RSECE dirige-se mais aos edifícios onde existem consumos permanentes de energia de climatização, principalmente aos edifícios de serviços, visando assegurar condições de higiene (QAI) e de conforto, simular os consumos de energia nos edifícios, classificar um nível de exigência mais alto para os edifícios com > 1000 m<sup>2</sup>.

Assegurar por demonstração e por simulação detalhada o limite de consumo discriminado aquando do licenciamento, aplica-se também nos casos aos residenciais com sistemas com mais de 25Kw de potência instalada de aquecimento ou arrefecimento. Verifica-se que a dimensão dos sistemas de climatização instalados é o seu principal enfoque.

O maior grau de exigência no novo RCCTE, vertido a partir de 2005 no desempenho energético de referência para os edifícios novos e a renovar, fez-se notar face às versões anteriores que eram mais comedidas. Embora que a estrutura se mantivesse, foram no entanto apenas medidas de actualização nomeadamente:

- a) As características térmicas de referência para a envolvente;
- b) Duplicação das espessuras de isolamento (coeficientes de transmissão térmica pelo menos 40% superiores ao que era o previsto) tendo a intenção de os edifícios passarem a ter, aproximadamente, 40% de melhorias técnicas adopção de vidros duplos, pelo menos nos climas mais frios e nas orientações sem ganhos solares significativos.

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) no seu principal objectivo visa determinar requisitos de condições de conforto, bem como de necessidades de água quente, para que possam ser satisfeitos os reduzidos dispêndios de energia nos edifícios de habitação e de serviços. Também, se

refere à minimização das situações patológicas provocadas por as condensações para que os elementos construtivos dos edifícios não se degradem estabelecendo os requisitos para que a qualidade do ar interior seja assegurada.

Este afixa as condições de referência ambientais para os padrões médios prováveis de cálculo dos consumos de energia admitidos, respeitantes à temperatura ambiente.

O RCCTE recorre a uma série de valores de referência para estabelecer os requisitos de energia de conforto térmico, de qualidade do ar interior dos edifícios e de energia necessária para a produção de águas quentes sanitárias, considera que a temperatura de conforto interior dos edifícios na estação de aquecimento deverá ser de 20° C e de 25° C com 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento; já a renovação de ar deverá ser pelo menos de 0,6 renovações por hora e o consumo de referência de água quente sanitária para utilização em edifícios de habitação admite-se ser de 40l de água quente a 60° C por indivíduo/diário.

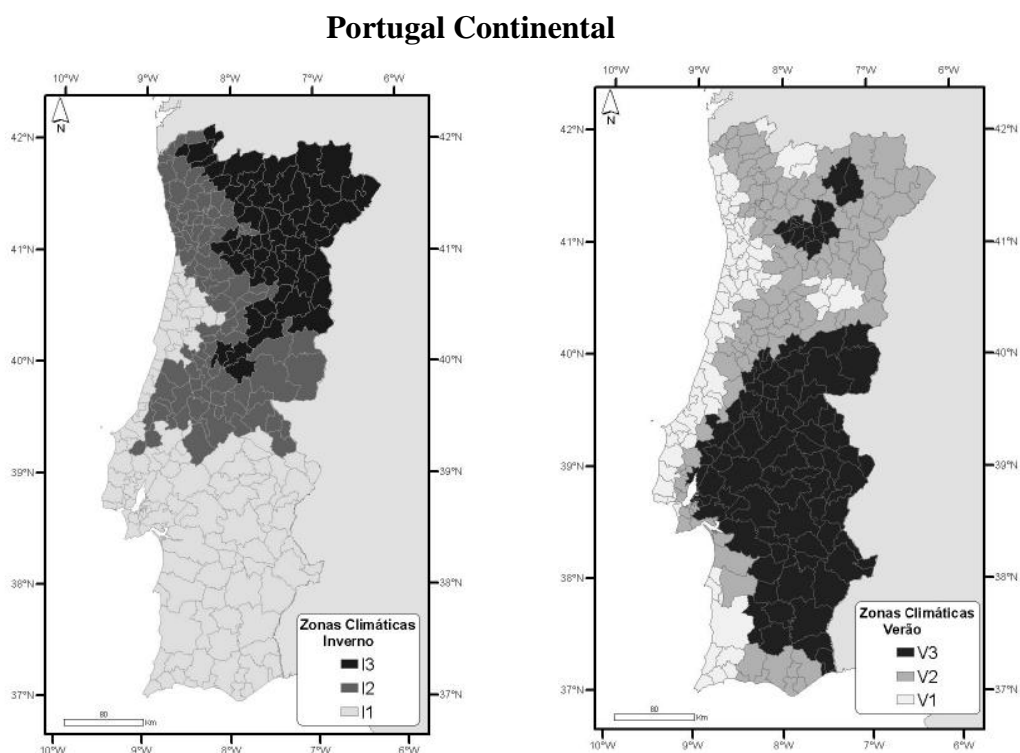
O RCCTE interpreta como estação de aquecimento, o período do ano com início no primeiro subsequente a 1 de Outubro em que a temperatura média diária é inferior a 15° C e com término no último período de 10 dias prévio a 31 de Maio em que a relatada temperatura ainda é inferior a 15° C. Para a estação de arrefecimento, congraça sempre o conjunto dos quatro meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro (Verão), em que existe grande probabilidade de ocorrência de temperaturas elevadas no exterior exigindo no interior dos edifícios um natural arrefecimento.

É determinado um conjunto variado de zonas climáticas de Inverno e de Verão, fundamentadas no número de graus-dias de aquecimento na base de 20° C, correlativo à estação de aquecimento, na sua duração, e da temperatura exterior de Verão e da média diária da amplitude térmica do mês mais quente.

Descreve-se por número de graus-dias de aquecimento na base de 20° C, a inflexibilidade de um clima durante a estação de aquecimento e é igual ao produto do módulo do somatório das diferenças registadas, e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. A temperatura exterior é aquela que não é transcendida, em média, em mais do que 2,5 % do período correlativo à estação de resfriamento.

O território Português decompõe-se em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3).

As condições de aquecimento de um edifício necessitam do dispêndio de energia, existe a necessidade de manutenção da temperatura interior de referência, ou seja, os 20° C. No entanto, esse consumo de energia não representa necessariamente o consumo real de um edifício. Isto porque em geral, os seus ocupantes não impõem permanentemente situações exactamente iguais às de referência. Mais do que um método de previsão de consumo de energia de um edifício, o valor das necessidades constitui uma forma objectiva de comparação entre edifícios do ponto de vista do comportamento térmico. Quanto maior for o valor de consumo de energia para aquecimento mais frio é um edifício, ou seja, mais energia é necessária consumir para atingir a temperatura de conforto.



**Figura 52** – Portugal Continental Zonas Climáticas de Inverno e de Verão [Fonte: D.R. 80/2006 p.2482]

As carências de aquecimento dos edifícios provêm dos valores das perdas de calor por condução através da envolvente, e resultantes da renovação de ar e dos ganhos de calor devidos à iluminação, funcionamento dos equipamentos, aos ganhos solares através dos envidraçados e há permanência dos utentes.

É importante ao projectar tendo em conta os ganhos de calor através dos envidraçados, dos elementos opacos e mesmo dos equipamentos e dos utentes, contribuindo para uma diminuição da necessidade de aquecimento dos edifícios

Para o arrefecimento dos edifícios as necessidades de energia dependem das zonas climáticas onde estes estão inseridos, para um edifício localizado numa zona V1, necessita menos energia do que um edifício localizado numa zona V3, devido ao menor rigor do clima.

O RCCTE é uma ferramenta de referência e obrigatória para os projectistas. Estabelece limites de consumo de energia para as necessidades de aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias nos edifícios.

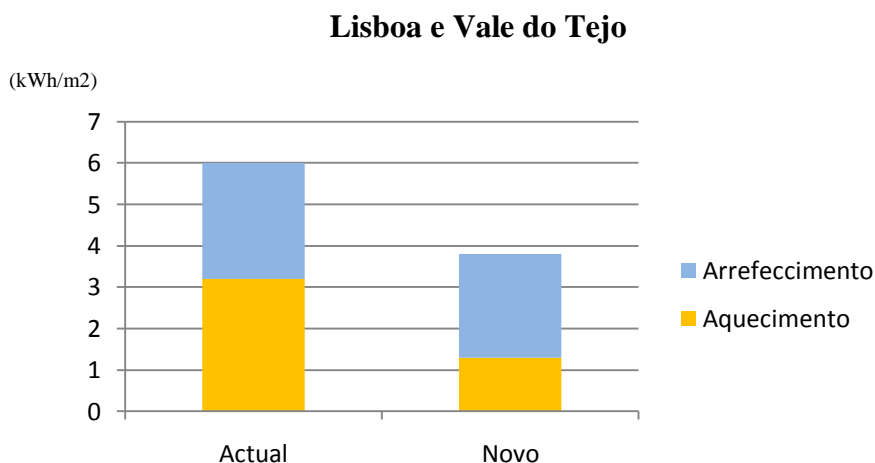
É sabido que existe uma inércia considerável no método de organização de construção, é visível que as suas acções nem sempre são coordenadas de modo a que se possam desenvolver de forma estruturada e coerente, o novo regulamento conforto térmico na construção vem evitar a permissão de erros ou desvios dificilmente serão corrigíveis durante as intervenções.

É de extrema importância a subsistência de um regulamento no quadro nacional dada a questão da elasticidade das construções ao clima. Existem admiráveis exemplos de arquitectura tradicional ou vernácula de adaptação ao clima e de preservação ambiental reconhecidas por construtores e arquitectos, e demais interessados na construção, que valorizam a arquitectura solar, no processo de desenvolvimento global.

A utilidade do emprego do regulamento na arquitectura deve ser realçada face à sua interacção com o processo de desenvolvimento energético, dado ser uma ferramenta essencial nos propósitos futuros da arquitectura, as preocupações da estética e da funcionalidade do espaço, bem como o conforto térmico.

A arquitectura do movimento moderno, particularmente na Europa, quase nunca conjugou o edifício com a sua envolvente climática, definição de um estilo internacional que reforçou a ideia de que uma formalização podia ser construída em qualquer local do planeta. A planta aberta, as janelas de grandes dimensões, o terraço jardim, e a fachada independente, são os cinco pontos importantes da teoria do chamado movimento moderno que constituíram, no plano formal, os princípios da libertação da planta e da fachada, relativamente aos aspectos estruturais, mas muitas vezes estes tipo de conceitos formais desbocaram em sequelas ao nível energético.

Podemos então dizer, os objectivos são favorecer a inovação sem colocar limites à criatividade, acautelando a relação entre a área da envolvente e o volume, uma melhor qualidade térmica, comparativamente.



**Gráfico 3** – Comparação entre o actual e o novo RCCTE [Fonte: Dados Fórum Energias Renováveis em Portugal – INETI, trabalhado e tratado]

### 3.19 - Certificação Energética de Edifícios

O RCCTE é um instrumento que visa ainda o processo de certificação energética nos edifícios, visando melhorar de forma substancial a qualidade térmica, irá exercer uma influência no mercado favorecendo uma procura de edifícios mais eficientes, com as consequências inevitáveis para o sector da construção civil.

### 3.20 - Directiva Europeia 2002/91

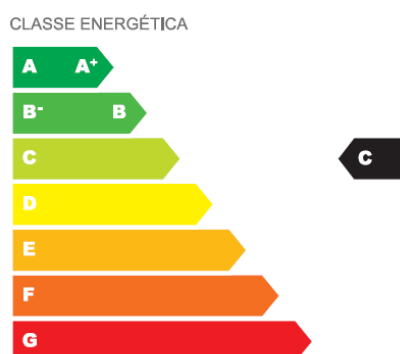
O certificado de desempenho energético de um edifício deve incluir valores de referência como valores regulamentares legais e macros comparativos, para que os consumidores possam comparar e avaliar o desempenho energético do edifício. Igualmente pode ser visivelmente referida a escala de temperaturas interiores aconselhadas e as aferidas bem como outros factores climáticos importantes. Intuito dos certificados alonga-se ao provimento de informações, devendo os Estados-Membros devem atestar que, à altura construção, da transacção ou aluguer, seja proporcionado um certificado de desempenho energético ao proprietário ou arrendatário.

A certificação energética tem como objectivo informar o utente, potencial proprietário ou locatário de um edifício, sobre as características térmicas do produto/imóvel que lhe é oferecido, as quais irão influenciar os custos de

funcionamento de sistemas para manutenção de um ambiente interior confortável, assim como informar o consumidor sobre potenciais medidas que melhorem o desempenho energético do edifício e da respectiva viabilidade económica.

A certificação energética dos edifícios será, portanto, um instrumento fundamental, quer do lado da procura de energia, quer do lado da implementação da política energética, e permitirá disponibilizar informação objectiva actualizada sobre o desempenho do parque construído. [Directiva Europeia]

Os certificados energéticos deverão adoptar um aspecto gráfico semelhante ao das etiquetas Energéticas para electrodomésticos. Por já serem familiares ao público, permitirão, uma interpretação fácil. Deverão, também indicar os valores espectáveis do consumo energético e das emissões de CO2 correspondentes. "Eficiência Energética nos Edifícios" [DGE - Direcção Geral de Energia]



**Figura 53** – Modelo de Certificado Energético para os Edifícios [Fonte: DGEG, 2007]

Para contrariar o problema dos consumos astronómicos de energia a converter o ambiente confortável, com os custos que isso tem em termos de emissões de gases com efeito de estufa, Portugal surge a certificação energética dos edifícios que obriga as novas construções a serem mais eficientes.

Os edifícios são os grandes responsáveis pela carga energética do país, exemplo são os electrodomésticos, as águas quentes sanitárias, os sistemas de aquecimento e arrefecimento e a iluminação. As medidas mais importantes para se conseguir aumentar a eficiência energética são a rotulagem sobre os consumos dos equipamentos, por exemplo a já obrigatória nos frigoríficos, contrariamente ao que acontece nos aparelhos em "stand-by", grandes consumidores, um plano para promover o uso de sistemas solares para aquecer as águas, aplicação das regras da certificação energética dos

edifícios e dos regulamentos existentes para se conseguir o conforto ambiental e, finalmente, lançamento de campanhas para promover um uso mais eficiente da energia.

### **3.21 - Apreciação e conclusão do capítulo 3**

Sendo Portugal é um dos países da Europa com maior disponibilidade de radiação solar, em termos reais e efectivos vive-se ainda uma realidade algo sombria, o sector da construção civil ainda não percebeu quais as suas vantagens, procurando os lucros imediatos e fáceis. Em termos técnicos as empresas com soluções para este tipo de problemática, só muito recentemente é que começaram a divulgar este tipo de soluções, se bem que por vezes de uma forma menos correcta. Sendo Portugal dos países com maiores níveis de exposição solar, desperdiça energias renováveis como ninguém, mantendo os elevados custos de importação de energia convencional.

# Capítulo 4

## 4.1 – Conceito

Como se sabe a Arquitectura a arquitectura solar passiva, refere-se a um modelo de arquitectura que se focaliza em aspectos de adaptação da construção ao clima local, conseguida por meios naturais, tornando um edifício confortável sem o recurso a meios mecânicos que empreguem processos consumidores de energias convencionais, distinguindo-se dois sistemas: os solares activos e os solares passivos.

- 1) Os sistemas solares activos socorrem-se a mecanismos apontados à captação solar e sua subsequente transmissão a um sistema de transformação e utilização. Os colectores solares para aquecimento de águas sanitárias são exemplo disso.
- 2) Os sistemas solares passivos empregam directamente a energia solar procurando o facto de qualquer edifício poder ser previsto, orientado, exposto ou protegido à radiação solar, dotado de inércia térmica ajustada, isolado e ventilado, para as situações de aquecimento e arrefecimento.

Há distintas formas de coordenar as técnicas solares de aquecimento e de arrefecimento, decidiu-se por agrupar as técnicas solares passivas de aquecimento em ganho directo, indirecto e separado ou isolado e as técnicas solares passivas de arrefecimento em protecção solar, ventilação natural e arrefecimento por radiação.

A intenção do uso da luz solar, implica reduções do consumo de energia para iluminação condiciona a orientação espacial do projecto arquitectónico, nas dimensões das aberturas de janelas e portas, bem como no tipo de protecção e transparência, sendo também necessário reflectir sobre as perdas de energia.

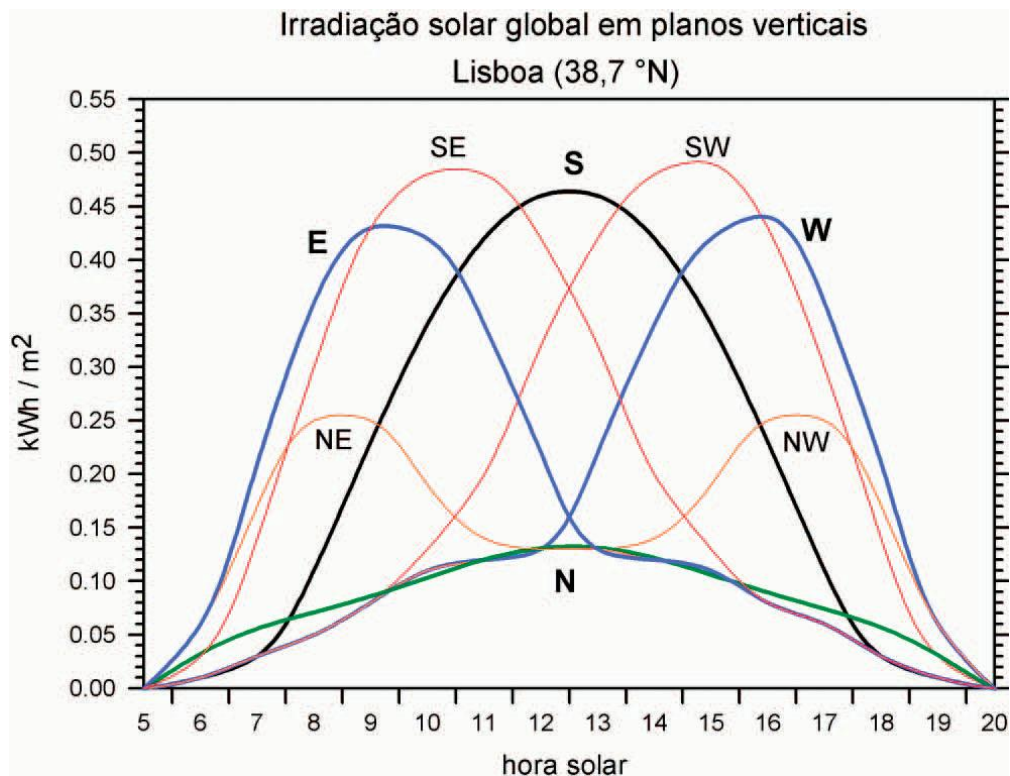
É fundamental apurar o material adequado e os tipos de isolamento, para paredes, vedações, coberturas superiores, orienta-los, tirando partido do sol, através de correntes naturais e de microclimas criados por uma vegetação apropriada e de

correção, aproveitando o calor proveniente do sol. O clima ameno, como é o português, possui condições privilegiadas para aplicação o efeito.

As carências de climatização e de iluminação carecem a uma construção eficiente e inserida no clima circundante, por exemplo, é patente em algumas casas no Alentejo, a ocorrência de estas se situarem em ruas estreitas e em banda, permitindo um melhor sombreamento, aliando as suas paredes espessas constituídas de material térmico natural serem pintadas de branco permitem uma maior inércia térmica do edifício e uma menor absorção da radiação solar. Esta forma de construir vernácula vem demonstrar um saber empírico que vem sendo utilizado pela construção popular em Portugal.

## 4.2 - Radiação Global com várias orientações - planos verticais e planos horizontais

Praticamente é sempre mais energética a incidência de radiação solar nas orientações dos planos horizontais que nas demais, no entanto os valores de radiação nas fachadas a sul nos meses de Inverno excedem os do plano horizontal, ora aproveitando estes factos deve-se orientar os edifícios a sul no inverno quando os ganhos térmicos são mais úteis.



**Gráfico 4** – Radiação solar ao longo do ano (por orientações). [Fonte: Cabral, Inês, Tese de mestrado]

A norte devem ser evitadas as perdas térmicas dado as fachadas terem baixa radiação solar. Já a nascente e poente nos meses de verão dado os valores intermédios estáveis, exista a possibilidade de problemas de sobre aquecimento. Importante também salientar o plano das coberturas, estas deverão ser devidamente dimensionadas e orientadas, com isolamento adequado acautelando os ganhos térmicos excessivos, sem esquecer a importância da escolha dos materiais construtivos que a vão constituir.

### **4.3 - Plano bioclimático do clima**

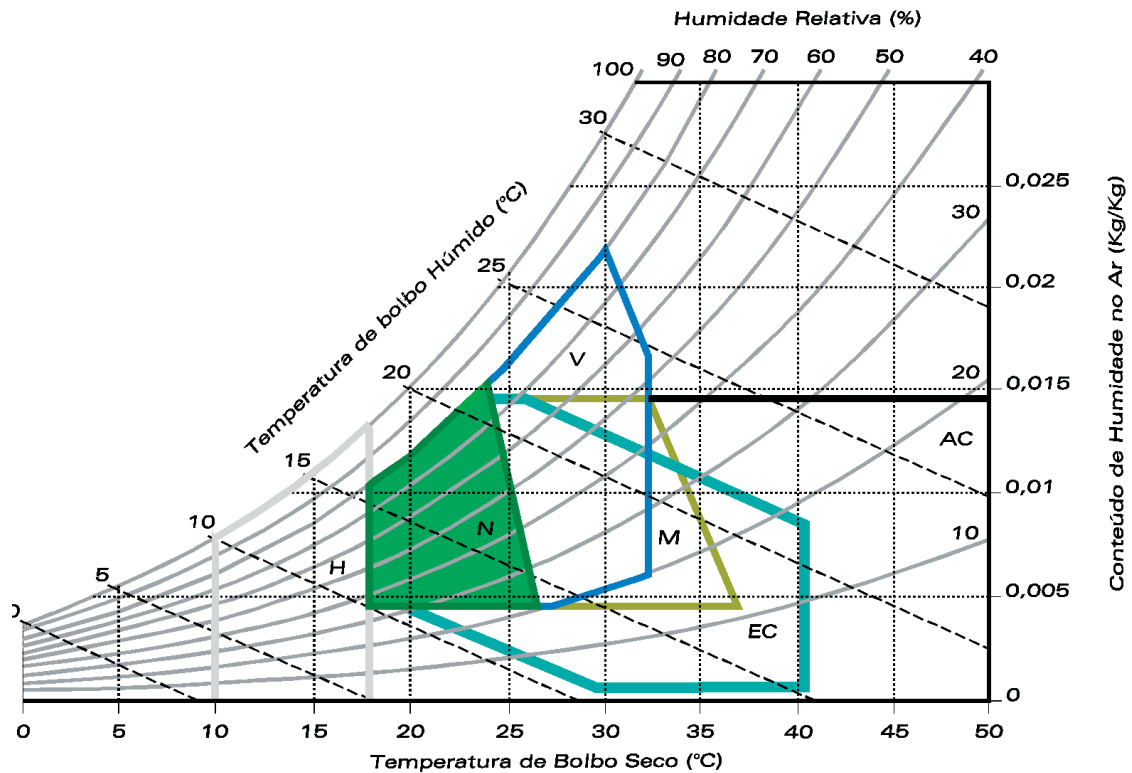
Embora que o clima tenha variações entre si, sabe-se também que há orientações que atravessam transversalmente os mesmos, que podem e devem ser equiparadas com as medidas reais referidas para o aquecimento e o arrefecimento passivo no nosso país. Essas orientações advêm do aspecto bioclimático, que é exposto.

*O conceito de “Arquitectura Solar Passiva” ou “Arquitectura Bioclimática” ou qualquer outra denominação, que ao longo das últimas décadas tem sido atribuída a determinado tipo de arquitectura, pode ser definido como uma arquitectura que, na sua concepção, aborda o clima como uma variável importante no processo projectual, relevando o sol, na sua interacção com o edifício, para um papel fundamental no mesmo. Assim, mais importante que a denominação, são os princípios, os conceitos fundamentais, um conjunto de regras simples, que mais não visam compreender quais as variáveis climáticas existentes no local, sol, vento, água, e como essas variáveis podem interagir com o edifício de forma positiva e propiciar as condições de conforto térmico adequadas a cada espaço. (...) Um dos objectivos finais das estratégias Bioclimáticas é a obtenção natural das condições de conforto dos seus utilizadores, que variam em função do clima, do edifício em termos construtivos e também do tipo de utilização, por isso é necessário que o projectista tenha uma abordagem na concepção do edifício, tendo em atenção aqueles três parâmetros. É também importante realçar que à noção de conforto térmico está associada uma boa dose de factores psicológicos e fisiológicos que variam de pessoa para pessoa e podem conduzir a diferentes sensações de conforto térmico, dadas as mesmas condições de ambiente térmico. Acresce que todo este processo é dinâmico. Efectivamente, não só o clima varia instantaneamente, como o conforto humano não é uma realidade estática, uma vez que o ser humano tem capacidade para se adaptar às variações das condições térmicas que o envolvem. [Segundo Gonçalves].*

Sabemos que não existe uma solução global, existem sim, vastíssimas soluções moldadas para um local específico, que devem sabidas do arquitecto para um bom

diagnóstico do local e consequente concepção de um projecto passivo eficaz, são exemplo, os níveis de radiação solar recebida diariamente, a demografia e o contexto.

Baruch Givoni, resume num diagrama bioclimático, o tipo de plano que deve ser empregado a nível psicrométrico e para cada tipo de clima.



**Figura 54** – Carta Bioclimática de Baruch Givoni. [Fonte: Applied Science Publishers, 2nd edition London, 1976]

A zona verde refere-se à zona de conforto humano, a área cinzenta refere-se aos climas tropicais e equatoriais onde o conforto deve ser auferido por processos naturais de ventilação.

#### 4.4 - Sistemas de Aquecimento Passivo

A arquitectura solar passiva, é um modelo de integração da construção através de meios naturais adaptados a um clima específico, para isso são necessárias; uma criteriosa escolha da implantação e orientação do edifício, adaptada da forma de concepção ao clima, selecção dos materiais a empregar, boas soluções construtivas da envolvente, distribuição do calor para o armazenamento da massa térmica,

dimensionamento adequado dos vãos envidraçados que leve à verificação da incidência de radiação solar, métodos de circulação de ar e técnicas de arrefecimento.

Os sistemas solares passivos classificam-se da seguinte forma:

Sistemas de Aquecimento Passivo:

- Ganho Directo;
- Ganho Indirecto ou desfasado – Parede de Trombe, Parede Massiva, Colunas de água;
- Ganho Isolado – Espaço Estufa ou Colector de Ar.

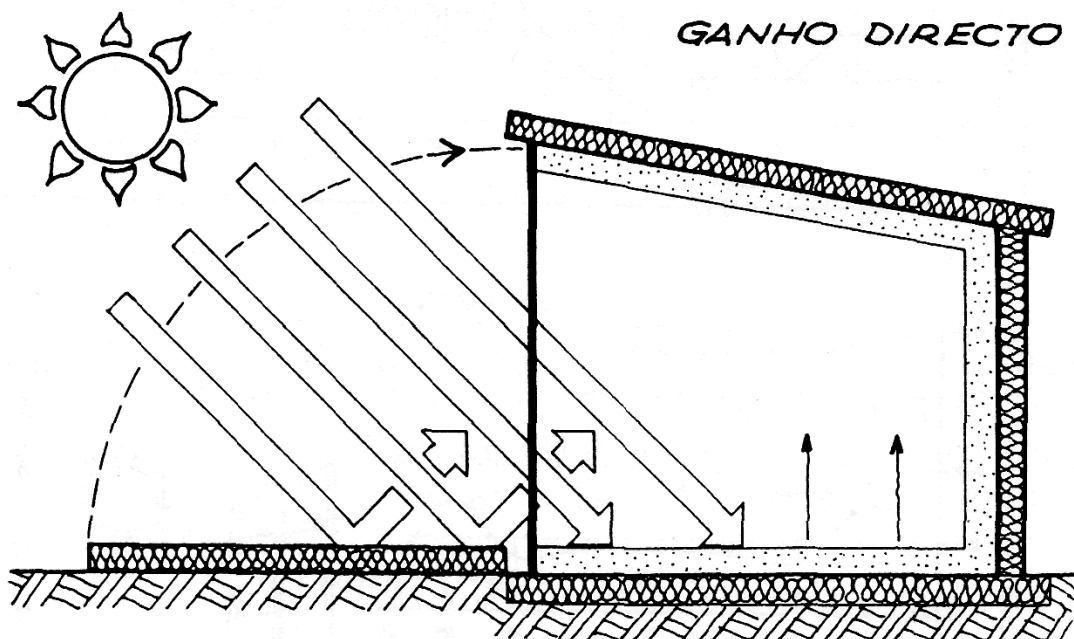
Sistemas de Arrefecimento Passivo:

- Ventilação Natural;
- Arrefecimento pelo Solo;
- Arrefecimento Evaporativo;
- Arrefecimento Radiativo.

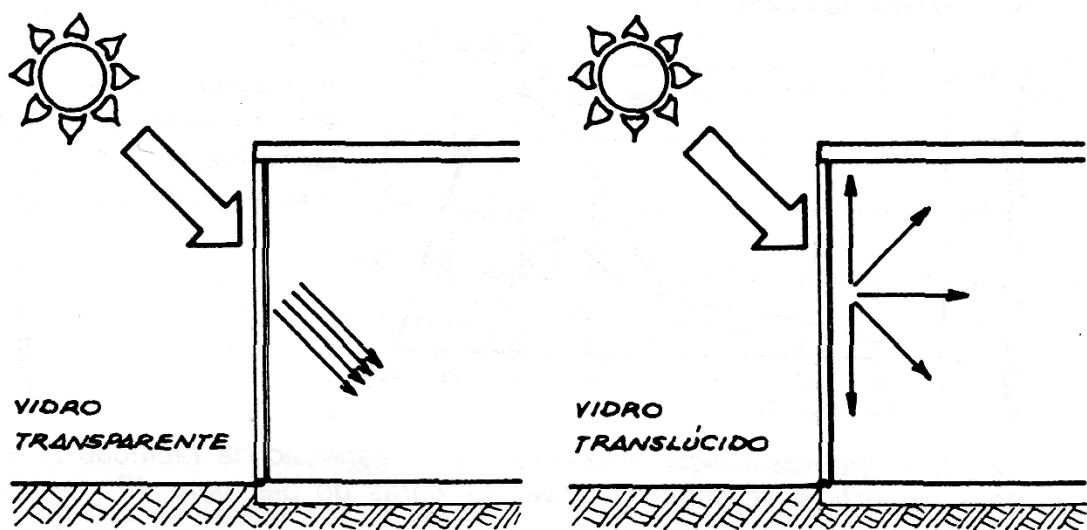
## **4.5 - Ganho Directo**

O sistema de ganho solar directo é o método mais elementar de aproveitar de forma passiva a energia solar através dos vãos envidraçados.

Relembra-se que o esquema da trajectória solar, tem diferentes trajectórias no Inverno e no Verão o que compreende a diferença de intensidade da radiação e de tempo de exposição solar nas duas estações. Num sistema de ganho directo, os ganhos são optimizados com envidraçados orientados a Sul, com afastamentos de 15° a este ou a oeste, devidamente dimensionados.



**Figura 55** - Sistema Ganho Directo [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1988]



**Figura 56** - Sistema Ganho Directo – tipos de vidro [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1988]

Nos edifícios, usualmente pretende-se a entrada de luz pelos envidraçados, evitando ou explorando o calor solar, conforme o período do ano for respectivamente mais quente ou mais frio. Actualmente existem vários tipos de vidro disponíveis para controlar as perdas ou os ganhos de calor, a exemplo vidros e películas absorventes e reflexivos, vidros duplos ou triplos com tratamento de baixa emissividade, vidros espectralmente selectivos e combinados.



**Figura 57**- Visão da sala da leitura de Biblioteca Aveiro [Fonte: Álvaro Siza, Obras e Projectos. Catálogo da exposição com o mesmo nome. Lisboa: Centro Cultural de Belém, p.151]

Poder-se-á também alcançar ganhos solares através de aberturas zenitais, vulgarmente chamados lanternins e as clarabóias, sendo aberturas verticais ou com uma certa inclinação nas coberturas, permitem uma radiação solar directa em paredes que estejam orientadas a Norte.

As clarabóias são aberturas horizontais nas coberturas, estando mais direccionadas para a iluminação natural do que para a captação da radiação solar, desde que ajudadas com um elemento sombreador que permita controlar os elevados ganhos de calor principalmente na estação de Verão, podem ser soluções utilizadas como solução auxiliar.

A envolvente interior (paredes, lajes de tecto e pavimentos) como armazenamento de calor deve também ser factor de cuidados, com a introdução de materiais compactos com grande capacidade de absorção e poder de armazenamento de massa térmica, conjugado com cores adequadas ao tipo de clima.

A quantidade de reflexões é maior no interior dos espaços dos edifícios antes da radiação solar ser absorvida, se as cores das superfícies interiores forem claras o calor e a luz são repartidos invariavelmente e transversalmente. No entanto, deverão ser tidas em conta as perdas que se verificam pelos vãos envidraçados.

No entanto para tirar partido total de um eficiente ganho directo, deve ser prevista a utilização de dispositivos de sombreamento para prevenir os

sobreaquecimentos, principalmente durante o Verão; aplicação de isolamento térmico, nos elementos opacos (isolamento exterior ou interior das fachadas); e nos não opacos (estores ou portadas interiores ou exteriores) evitando perdas de calor principalmente durante a noite e no Inverno.

Como todos sistemas, o sistema de ganho directo tem vantagens e desvantagens que deverão ser equacionadas, focamos algumas desvantagens por nos parecer ser mais úteis para o trabalho:

As grandes superfícies de envidraçado desencadeiam falta de privacidade e iluminação exagerada;

- A radiação solar directa pode provocar degradação e descoloração dos materiais no interior;

- A radiação directa pode favorecer disparidades na temperatura radiante, estimulando desconforto durante o período de maior incidência do Sol (justamente no Inverno quando os ganhos são essenciais, particularmente nas fachadas orientadas a Sul);

- A propensão para se fechar os sistemas de oclusão pode coibir os ganhos nos períodos de Inverno subsistindo o risco do sistema não se tornar realmente efectivo ainda que esteja bem dimensionado;

- É ainda necessário prever a quantidade de massa de armazenamento térmico do edifício para evitar sobreaquecimentos que provoquem desconforto. A oscilação máxima de temperaturas não deverá ultrapassar os 6°C;

- Excessivas áreas de captação levam a um aumento do custo do sistema, pelos mecanismos de isolamento térmico imprescindíveis aos envidraçados durante a noite, pelos envidraçados e pela massa térmica adicional;

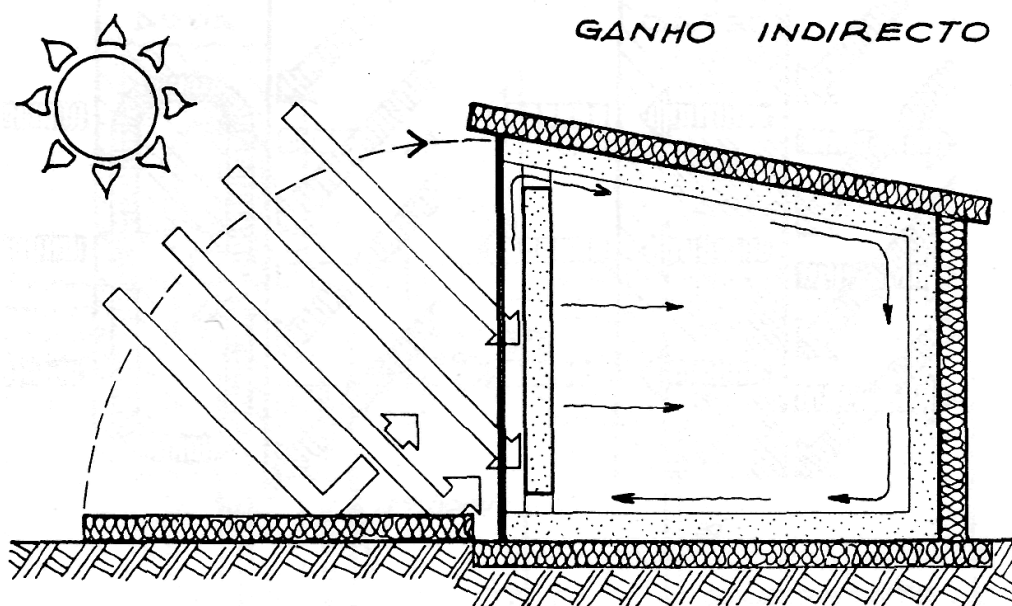
- A necessidade de abranger percentagens grandes de aquecimento do edifício, com a introdução de grandes quantidades de massa térmica, leva a um peso maior do edifício, maior oneroso.

## 4.6 - A Envolvente Vertical Opaca como sistema de ganho indirecto solar

Qualquer parede exterior opaca pode ser um sistema de ganho solar indirecto (excepto as que não recebem radiação solar directa).

Os sistemas de ganho solar indirecto, que se baseiam na recolha da energia produzida pela radiação solar na massa edificada ou numa massa de ar contida, são sistemas muito interessantes por se adequarem particularmente ao nosso clima no geral.

*“A arquitectura solar passiva tem utilizado esta potencialidade da envolvente vertical opaca para desenvolver, sistemas de ganho indirecto de massa térmica, paredes de Trombe-Michel e paredes de recolha energética numa massa de água.”*  
[The Energie Research Group<sup>12</sup>, School of Architecture. University College Dublin, "Energie in Architecture-The European Passive Solar Handbook", Batsford United, Londres, 1994].



**Figura 58** - Sistema Ganho Indirecto [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1988]

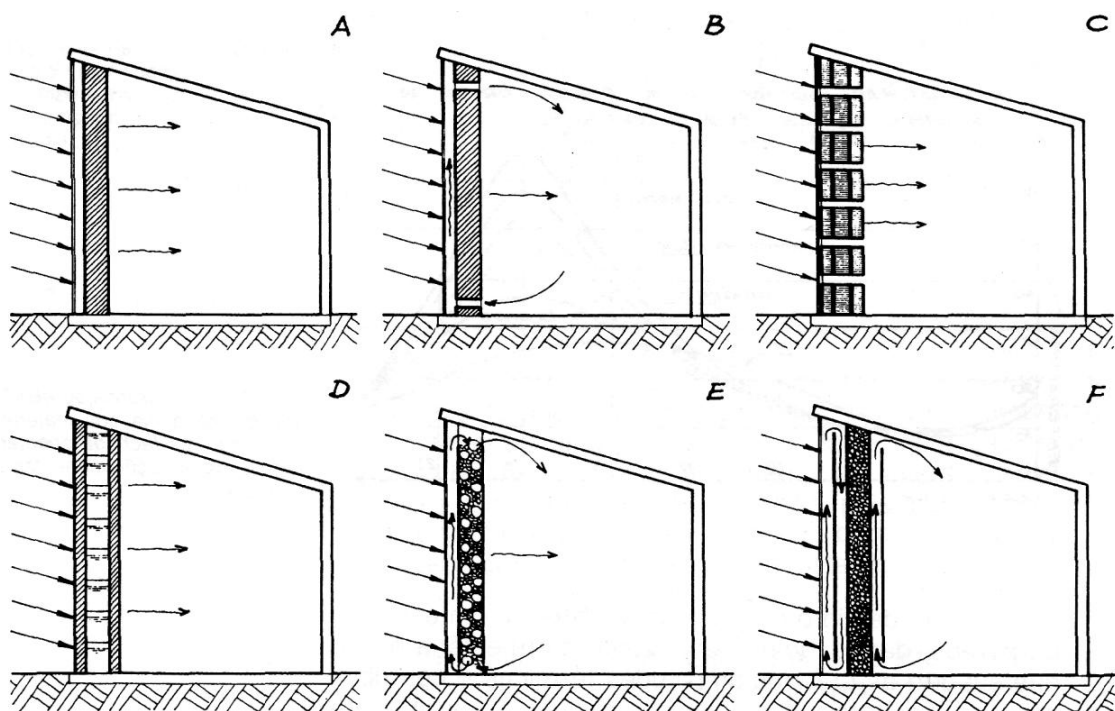
Nos sistemas de ganho indirecto a massa térmica dos sistemas é intercalada entre a superfície de ganho e os espaços a aquecer. A massa térmica absorve a energia solar nela incidente sendo depois diferida para o espaço.

Existem três sistemas base de ganho indirecto, são: as paredes acumuladoras (paredes de Trombe), as paredes e coberturas de água e o ganho separado. “A diferença

principal entre os três sistemas é a localização da massa térmica, no primeiro caso situa-se na superfície lateral, no segundo caso situa-se na cobertura e no último caso encontra-se por baixo do espaço a climatizar” [Serra e Coch 1995].

Nestes sistemas de ganho indirecto na superfície lateral, verifica-se um desfasamento da onda de calor transmitida para o espaço e o ciclo da radiação solar. Os espaços onde estes sistemas se encontram integrados apresentam temperaturas mais elevadas nos finais do dia e inícios das noites. Existem diversos sistemas de ganho indirecto, mencionam-se os modelos mais usuais deste sistema de parede de acumulação térmica (paredes solares):

- a) Parede acumuladora Irradiante ou massa térmica;
- b) Parede com ventilação (trombe);
- c) Parede de água;
- d) Parede Combinada -água e alvenaria;
- e) Enrocamento e contentores (garrafas de água);
- f) Enrocamento e sistema de ventilação dupla independente.

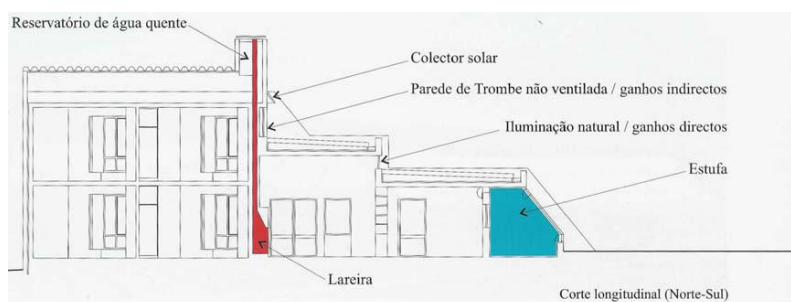


**Figura 59** - Vários tipos parede de acumulação térmica [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1988]

O exemplo mais comum do sistema de ganho indirecto é com toda a certeza o da parede de Trombe, esta denominação advém do nome de Félix Trombe, principal impulsionador deste sistema, a sua constituição faz-se através de uma massa térmica

que não convivente de forma directa com o exterior dada a existência de uma caixa-de-ar. Deve ser orientada a sul e com um cromatismo escuro para o aumento da radiação solar incidente.

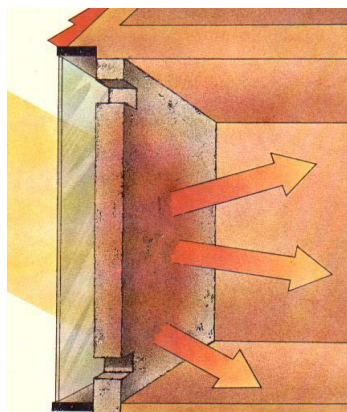
A parede de armazenamento térmico sem aberturas é vulgarmente apelidada parede acumuladora Irradiante ou parede Trombe não ventilada, tem um rendimento inferior ao da parede Trombe ventilada, porque a temperatura do ar entre o vidro e a parede (caixa de ar) embora mais elevada, a distribuição é menos constante. A opção de colocar aberturas ou não depende essencialmente dos períodos durante os quais se necessita do calor.



**Figura 60** - Exemplo de mecanismos de captação solar [Fonte: Gonçalves, H. et. al 1997. Edifícios Solares Passivos em Portugal, INETI]

Sabemos que, a radiação solar possui um comprimento de onda curto, contrariamente à radiação emitida pelos corpos aquecidos, que possui um comprimento de onda extenso. Assim, o ar que se encontra entre o vidro e a massa térmica é aquecido por a radiação emitida que não atravessa o vidro.

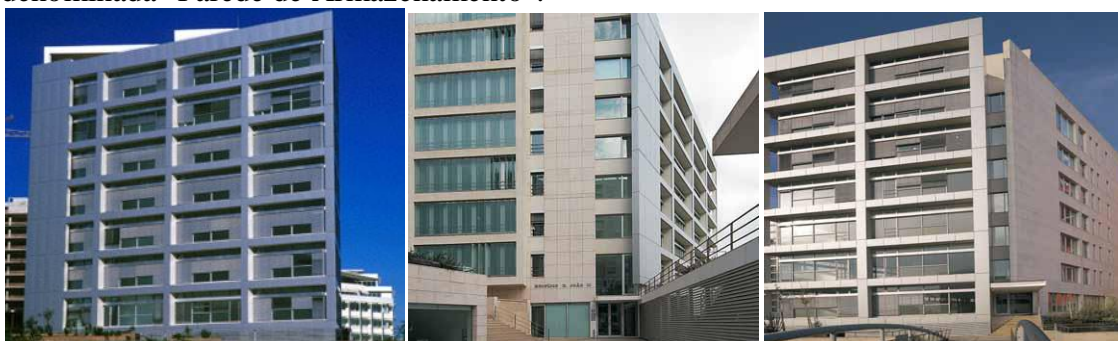
A parede de Trombe pode conter aberturas na parte superior e na parte inferior, para permitir que o ar circule, por convecção, entre o espaço fronteira existente entre o vidro, a parede, e o espaço a aquecer. Este ar quente entre o vidro, ascende, penetrando no interior dos edifícios através da abertura superior. A troca do mesmo, efectua-se de forma inversa através da abertura inferior. Estas aberturas podem e devem ser controladas no que se refere ao seu fechamento ou abertura, conforme as solicitações do sistema, permitindo um correcto nível de temperatura nos espaços adjacentes às paredes.



**Figura 61** - Parede Trombe ventilada [Fonte: <http://geocities.com/mleandror/indice1.htm>]

Existe ainda a possibilidade de uma parede de Trombe, conter aberturas para o exterior, possibilitando-se de uma forma facilitada a renovação do ar entre o vidro e a massa térmica.

O tipo de material utilizado e as espessuras normalmente determinam a capacidade das paredes para armazenar e distribuir calor aos espaços interiores, estas geralmente são compostas por materiais densos como: a pedra, o betão, a terra compactada, o tijolo ou outro material com boa capacidade de armazenamento térmico, devendo ser, nos casos habitacionais, calculados para que o calor por elas acumulado durante o dia seja correctamente libertado durante a noite. Estas espessuras no entanto têm variações em função das propriedades do material e do desfasamento pretendido. Esta estratégia permite "armazenar" energia que estará disponível no período nocturno, estabilizando assim as temperaturas nesse espaço. Neste caso, estamos perante a denominada "Parede de Armazenamento".



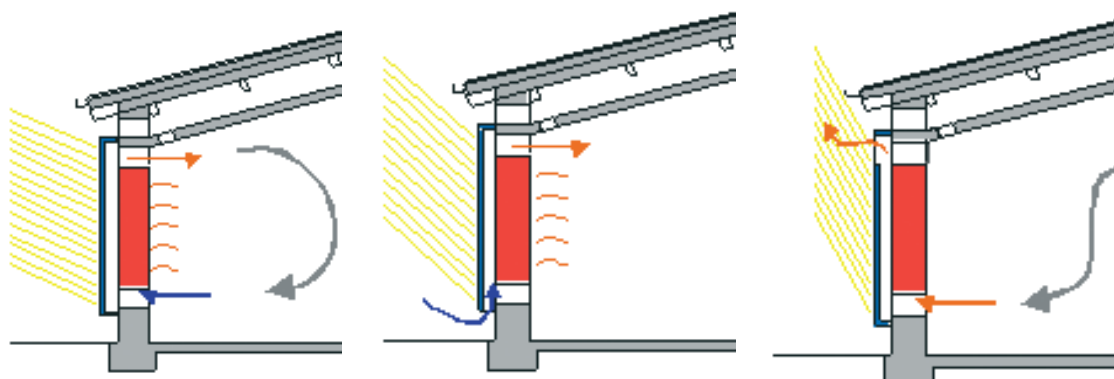
**Figura 62** - Vistas do edifício D. João II, parque das nações – Arqt.<sup>a</sup> Lúvia Tirone [Fonte: [http://www.technal.pt/get\\_document.php?id=1225](http://www.technal.pt/get_document.php?id=1225)]

A concepção arquitectónica do Edifício D. João II, situado no Parque das Nações, destaca a qualidade do seu espaço interior, com uma configuração de dois triângulos interceptados em dois vértices, na construção deste edifício foram aplicadas

as melhores tecnologias para garantir o conforto térmico durante todo o ano e reduzir ao mínimo os consumos de energia, consequência, foi uma total integração do edifício na sua envolvente, respeitando as características espaciais desta e, através da mesma, proporcionar aos seus utilizadores o máximo conforto e bem-estar.



**Figura 63, 64** - A casa Schäfer Porto Santo - Paredes de Trombe - Arqt.º Günter Ludwig – principal e porm. janela [Fonte: Gonçalves INETI. 1997]



**Figura 65** - Esquema de funcionamento de uma Paredes de Trombe ventilada no Inverno/Outono e Primavera Verão [Fonte: Gonçalves INETI. 1997]

A casa Schäfer do Arquitecto Günter Ludwig, no Porto Santo, é um modelo que recorre a materiais tradicionais e implementa tecnologias passivas de ganho directo e indirecto de uma forma perfeitamente integrada a nível arquitectónico e paisagístico, a sua envolvente vertical opaca é constituída por alvenaria de pedra à vista, conjugada com os sistemas de ganho indirecto da fachada Sul.

Outro exemplo dos sistemas de ganho indirecto são as paredes e as colunas de água, este sistema no lado interior dos envidraçados, onde se pode encontrar uma massa de água para armazenamento que deverá ser contida em receptáculos estancados de pigmentação escura devidamente seleccionada de forma a vir absorver o máximo de radiação solar. O calor resultante da incidência da radiação solar será transmitido por

radiação e convecção para o espaço que se pretende aquecer. Nestes sistemas além de água pode utilizar-se outro líquido bem como diferentes tipos de reservatórios.

A sua aptidão de armazenamento calorífica é dez vezes superior à verificada nas paredes de alvenaria de tijolo cerâmico furado e cinco vezes superior à do betão, devido à sua retenção de calor específico. Sendo necessário só cerca de 1/5 da massa de água para acondicionar a mesma quantidade relativamente ao betão [Mitjá 1986].

A grande condutibilidade das paredes de Trombe de água, distinguem-se pela forma como o calor é transmitido das restantes. As paredes Trombe “convencionais”, permitem uma transmissão de calor desfasada em termos de captação, as paredes de água facilitam que a transferência de calor se verifique de uma forma mais diligente, o que solicita uma verificação adicional na partição deste no interior dos compartimentos, pela espessura e dimensão dos depósitos de água.

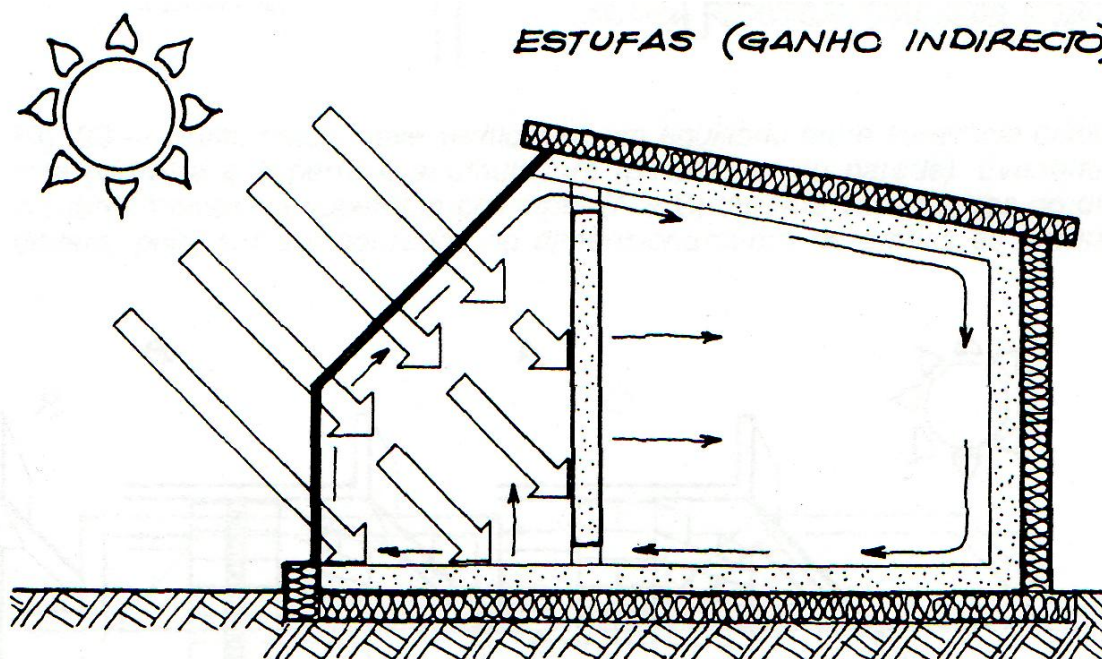
Nos climas frios para acautelar que a água congele, deverão ser acrescentadas agentes anticongelantes para evitar a corrupção dos depósitos. Os sistemas de paredes de água apresentam a desvantagem do possível derrame da água e também do ruído causado por esta ao dilatar nos depósitos.

As coberturas de água são outro tipo de sistema de ganho indirecto. Neste caso, uma massa de água é colocada sobre uma laje de cobertura dos edifícios.

A água é normalmente retida em recipientes sendo a parte interior da cobertura correntemente executada em material que facilite levemente a condução do calor, como por exemplo, uma chapa metálica com tratamento anti-humidade. Este tipo de cobertura dispõe ainda de um sistema móvel que no Inverno deverá ser utilizado durante a noite para evitar as perdas de calor e no Verão para impedir o sobreaquecimento indesejado.

#### **4.7 - Ganho separado ou Isolado**

Nos sistemas de ganho separado ou efeito de estufa, a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia colhida, geralmente não se encontram e nas áreas ocupadas dos edifícios, pelo que funcionam autonomamente ao mesmo. Os espaços estufa são exemplos deste sistema, e utilizam a combinação dos efeitos de ganhos directos e indirectos. A energia solar é transmitida ao espaço confinante à estufa por condução através da parede de armazenamento que os separa e ainda por convecção, no caso de existirem aberturas que possibilitem a circulação de ar.



**Figura 66** - Ganho indirecto - Estufa [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1998]

*A estufa não só proporciona o ganho de energia proveniente da radiação solar directa, como também, sobretudo nos dias de céu encoberto, possibilita ganhos consideráveis provenientes da radiação difusa.*

*Nos dias frios e de fraca insolação, ou durante a noite, a estufa exerce, em relação ao compartimento contíguo, a função de zona térmica intermediária (zona tampão), contribuindo assim para a redução das suas perdas energéticas. A fim de se reduzirem as perdas da estufa directamente para o exterior, devem considerar--se mecanismos móveis de isolamento nocturno.*

*O calor captado no espaço da estufa (ganho directo) pode ser transmitido directamente por circulação de ar ao interior do compartimento (ou compartimentos) ou pode ser retido pela massa acumuladora para posterior aquecimento por radiação (ganho indirecto). [Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1998].*

O sistema de colectar a ar é criado por uma superfície de vidro e uma outra que sem qualquer capacidade de armazenamento térmico absorve o mesmo. Trabalham em sistema de termosifão e possibilitam ventilar os espaços interiores confinantes durante a totalidade do ano.



**Figura 67 e 68** - Colector de ar no inverno exterior/interior e colector de ar no verão exterior/interior [Fonte: INETI – 1997]

Este sistema permite insuflar o ar aquecido exterior, no interior do edifício na estação de Inverno, possibilitando que toda a radiação absorvida seja transmitida directamente ao ar de insuflação. No verão o sistema permite a extracção do ar interior, para o exterior sempre que houver necessidade. É um sistema com algumas desvantagens uma vez que necessita de concepções cuidadas e sabias por parte do arquitecto para não encarecer demais a construção.

Para evitar as situações de sobreaquecimento devem ser instalados sistemas de controlo de entrada e saída de ar no interior dos edifícios.

As combinações de vários sistemas solares passivos, em muitas situações são benéficas para os edifícios, normalmente denominadas de sistemas mistos.

#### **4.8 - Sistemas de Arrefecimento Passivo**

Nos sistemas de arrefecimento passivo devemos ter em ponderação as soluções usadas no aquecimento solar passivo, pois existem determinados princípios que são comuns a ambos, nomeadamente as orientações, tipos de isolamento térmico ou a massa térmica.

A adopção de soluções, que conduzam à prevenção e atenuação de ganhos de calor e de estratégias que dêem origem a processos de dissipação de calor, traduzir-se-á numa redução das necessidades de arrefecimento e na melhoria das condições de conforto térmico. A precaução ou protecção de ganhos de calor poderá ser abrangida a todos os modelos de edifícios transversalmente as escolhas arquitectónicas; a verificação solar e sombreamento da superfície do edifício; o isolamento térmico e acabamentos da envolvente e os ganhos internos.

A diminuição dos ganhos de calor provém da massa térmica dos edifícios ou da aptidão que um edifício tem, na sua estrutura de recolher calor, dando origem a um decréscimo dos valores de pique das cargas de arrefecimento e um desfasamento entre as temperaturas exteriores e interiores.

Á aplicação de estratégias que visem a dissipação de calor a que se atribui geralmente a designação arrefecimento passivo ou natural, depende da existência de ambientes favoráveis que trabalhem como poços de calor e de diferenças de temperaturas que facultem a origem de processos de deslocação significativos.

Este sistema está dividido em várias partes aos como por exemplo:

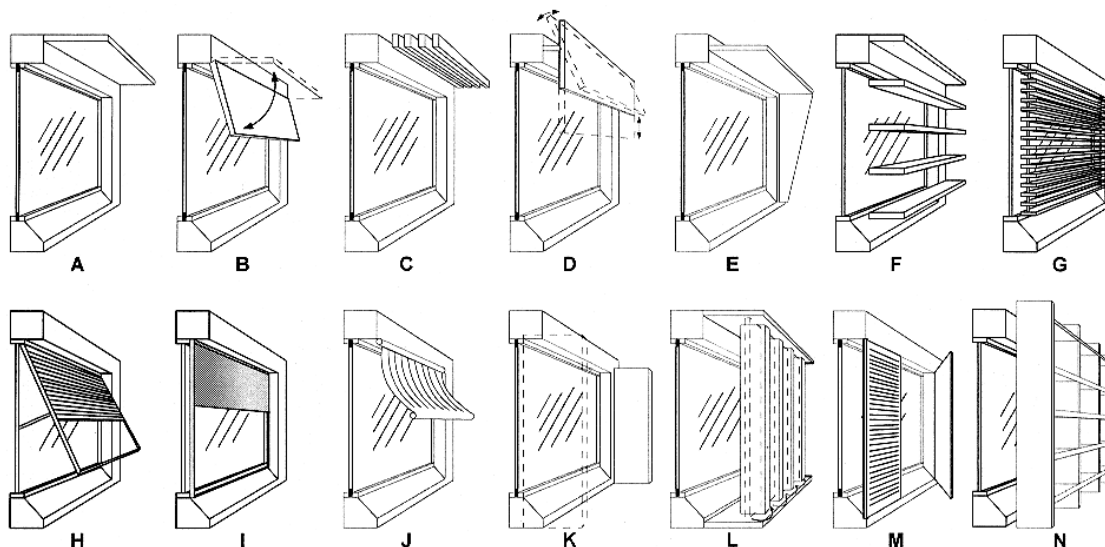
- Protecção solar;
- Ventilação natural;
- Arrefecimento Evaporativo;
- Arrefecimento Radioactivo;
- Arrefecimento pelo Solo.
- Iluminação natural

#### **4.9 – Protecção Solar**

Nos períodos quentes a protecção da radiação solar directa, constitui um factor básico para um bom comportamento térmico dos edifícios.

Nos alçados as questões concepção, de orientação dos vãos e posicionamento, acompanhado do tipo de envidraçado, são fundamentais no balanço energético dos edifícios. Acrescentando, que devem ser introduzidos elementos de sombreamento fixos e ou móveis que se mostram bastante positivos para o conforto térmico.

Os sistemas fixos são menos versáteis do que os móveis e devem ser concebidos para os períodos quentes e frios tirando partido da radiação solar.



**Figura 69** - Exemplos de sistemas de protecção solar exteriores de janelas [Fonte: Shading Systems for European climates, p. 7.]

Os sistemas de sombreamento móveis possuem duas formas de serem introduzidos; no exterior ou no interior dos edifícios. Para além da sua função de protecção da radiação solar, funcionam também como elementos de isolamento térmico, correspondente à caixa-de-ar formada entre estes e o envidraçado. Existe também a possibilidade de utilizar os dois tipos, como por exemplo portadas e cortinas de lamelas podem otimizar o isolamento térmico.

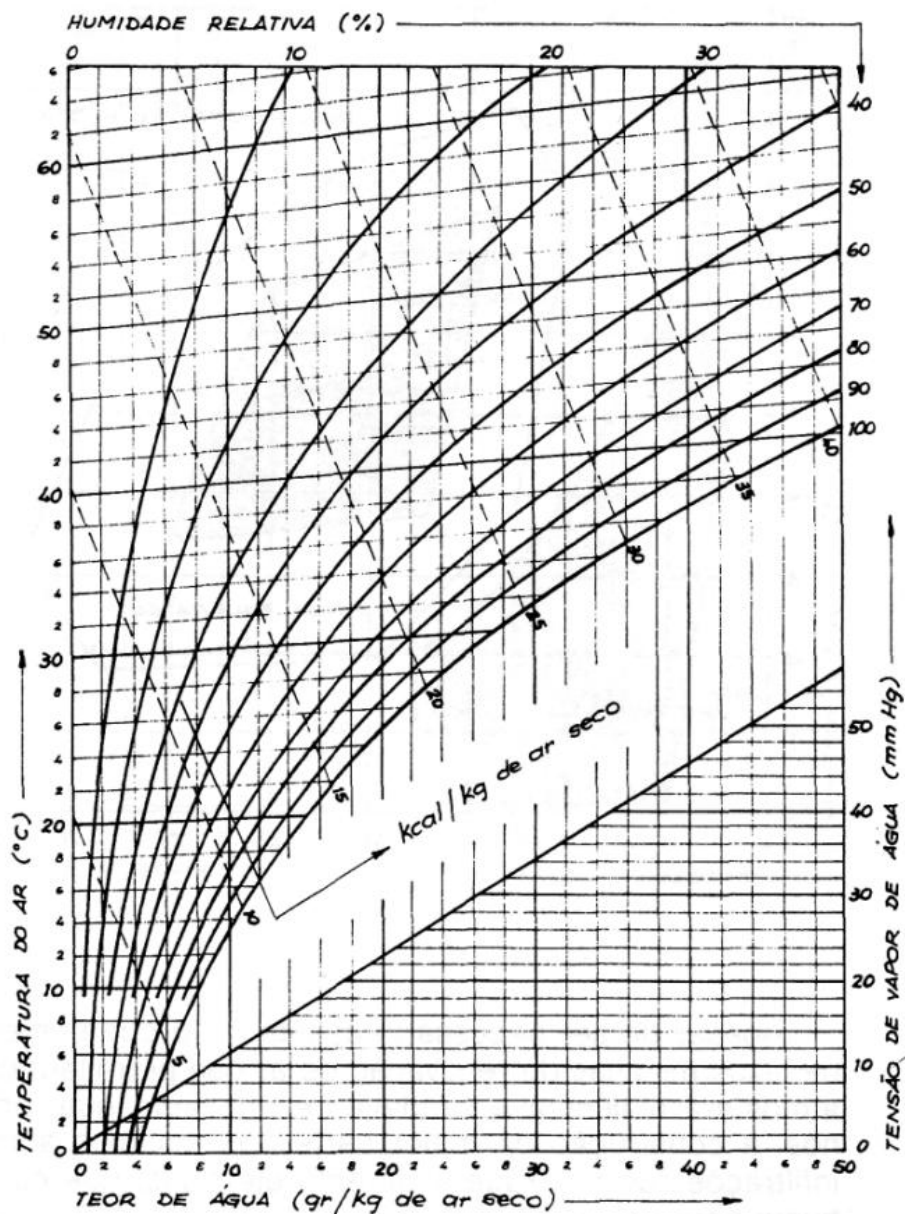
Os sistemas de sombreamento possuem uma função de controlo dessa iluminação.

O sombreamento dos edifícios, para além de se conseguir a partir dos elementos arquitectónicos, pode ser feito também através da vegetação para sombreamento. As árvores propiciam a sombra desejada e protecção da radiação solar directa. Se for usada uma árvore de folha caduca, durante o período de Inverno é possível tirar partido da radiação solar directa para o aquecimento. A localização da vegetação não deve ser usada na orientação a sul.

As construções vizinhas devem ser consideradas para o contexto da radiação solar, sendo nestas zonas urbanas que a arquitectura se depara com as maiores condicionantes e desafios.

## 4.10 - Ventilação natural

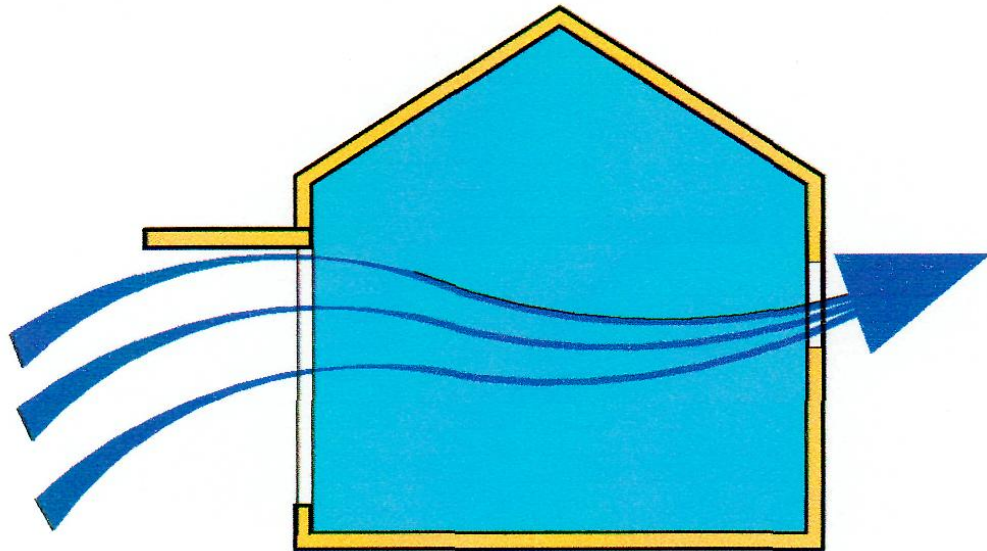
O conforto fisiológico de um edifício depende de um conjunto de vários factores, como a temperatura do ar, a sua humidade relativa, a temperatura das paredes circundantes (radiação de contorno) e a velocidade do ar, que, relacionados entre si, nos transmitem a sensação de um ambiente mais ou menos confortável. [Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1998]



**Figura 70** – Diagrama de Mollier – define a relação existente entre a temperatura do ar, a sua humidade relativa e absoluta o seu conteúdo térmico e a tensão do vapor de água (para a pressão atmosférica normal), factores que caracterizam a sensação de conforto ambiente [Fonte: Moita, Francisco – Energia Solar passiva – DGE – 1998, p.69]

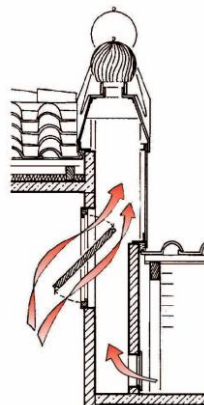
Na ventilação natural, a movimentação de ar contribui para a diminuição da temperatura interior e ainda para a transferência do calor sensível depositado na massa

térmica. Tendo igualmente implicações em termos de conforto térmico ao provocar perdas de calor por convecção e evaporação nos ocupantes. Cada aposento num edifício no espaço de hora a hora, deve substituir pelo menos 1/3 do seu volume de ar.



**Figura 71** - Ventilação Transversal, tratada e trabalhada [Fonte: INETI, 2004]

A ventilação dos edifícios nem tem uma forma única, a ventilação cruzada é exemplo da que pode possibilitar o movimento do ar no interior dos edifícios, através da colocação de aberturas em fachadas opostas, este tipo de ventilação mostra-se particularmente eficaz para os períodos da noite durante as épocas quentes, em resultado da diminuição da temperatura do ar exterior, para um país como Portugal constitui pois uma boa forma de ventilação.

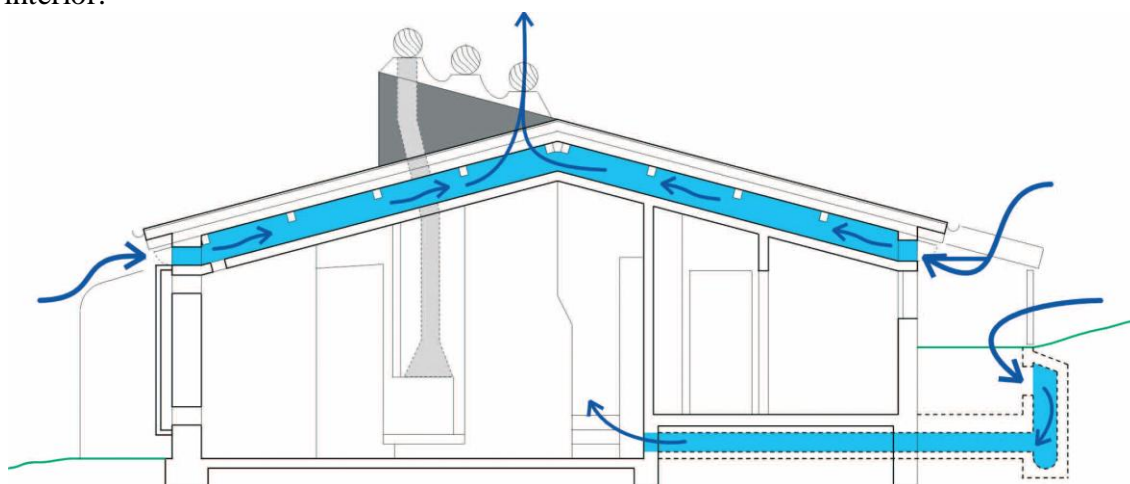


**Figura 72** - Pormenor de funcionamento de uma Chaminé solar. [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997]

A chaminé permite extrair o ar quente dos espaços ocupados e esta deve ascender a um plano superior ao da cobertura, no entanto este método só funciona se

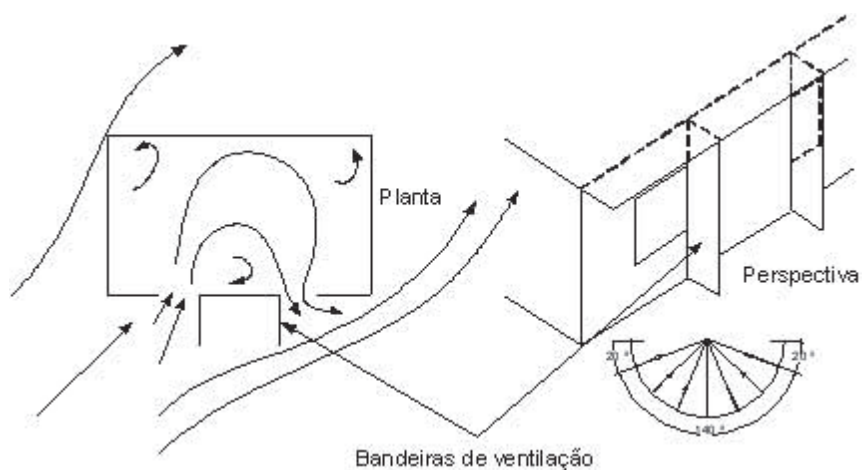
existirem diferenças de temperatura, a não acontecer existe a necessidade de criar uma “câmara solar” entre o tecto e a cobertura.

Esta câmara solar constitui-se por um sistema no sótão das coberturas que tem um captador de cor escura, apoiado por um vidro. O ar dentro desta câmara é aquecido originando um efeito de sucção nas aberturas inferiores permitindo a extracção do ar interior.



**Figura 73** - Corte transversal mostrando os diversos sistemas de arrefecimento7ventilação, Casa Shaffer, Porto Santo. [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997]

A ventilação natural é impulsionada pelas diferenças de tensão de um lado e outro das janelas, portas, chaminés e frinchas, originadas na acção directa do vento sobre as edificações e nas diferenças de temperatura (massas volúmicas).



**Figura 74** - Elementos facilitadores de ventilação (Bandeiras de ventilação) [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997]

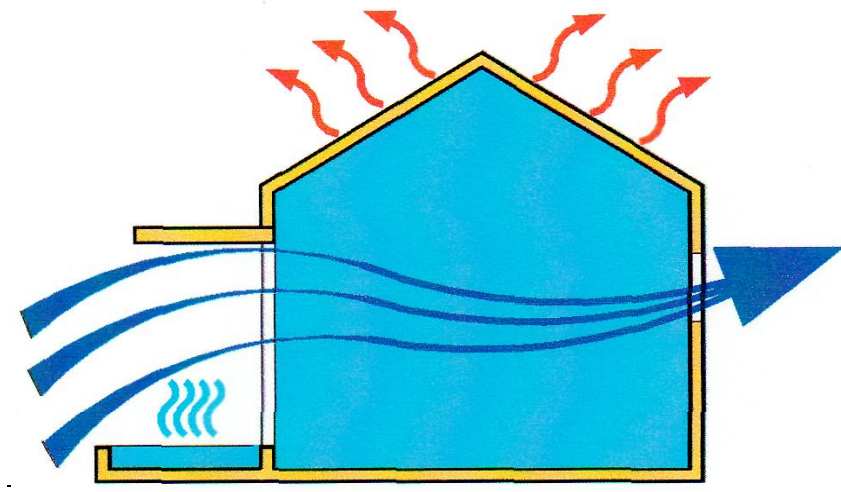
As aberturas, de forma a conciliar as estratégias de aquecimento e de arrefecimento, deverão ser colocadas no quadrante sul e em locais opostos de forma a

permitir a ventilação transversal. Existe ainda a possibilidade de recorrer elementos arquitectónicos - bandeiras de ventilação

#### 4.11 - Arrefecimento evaporativo

*O método apoia-se na redução de temperatura articulada à transformação da fase da água do estado líquido para estado de vapor, quando este decréscimo é auxiliado de um aumento do conteúdo do vapor de água chama-se um arrefecimento evaporativo directo. Podemos então dizer que o ar exterior é arrefecido por evaporação da água, antes de penetrar no edifício. [Gonçalves, INETI, 1997]*

A água, na sua mudança de líquido para vapor, necessita de absorver calor sensível, dando proveniência a um decréscimo da temperatura (do termómetro seco). Este arrefecimento pode ser directo, verificando-se um acréscimo do conteúdo do vapor de água, assim o ar exterior é arrefecido por evaporação da água, antes de entrar no edifício. Caso a evaporação se der num elemento do edifício (ex: parede), provoca uma diminuição da temperatura da superfície da mesma e do ar adjacente, sem que se verifique um aumento da humidade do ar, o que poderemos chamar de um fenómeno de arrefecimento evaporativo indirecto. As técnicas passivas directas abarcam o recurso à vegetação para impulsionar, a evapotranspiração, por exemplo são o caso das fontes, piscinas e dos falsos lagos.



**Figura 75** - Arrefecimento evaporativo<sup>9</sup> Imagem retirada e tratada [Fonte: Gonçalves, METI 1997]

<sup>9</sup> Esta estratégia baseia-se na diminuição de temperatura associada à mudança de fase da água do estado líquido ao estado de vapor. Quando o decréscimo é acompanhado de um aumento do conteúdo do vapor de água, trata-se de um arrefecimento evaporativo directo. Neste caso, o ar exterior é arrefecido por evaporação da água, antes de entrar no edifício.

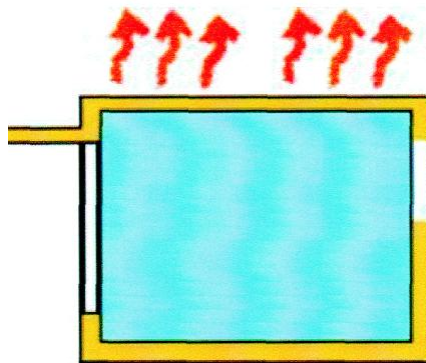
Subsiste ainda um outro processo de arrefecimento evaporativo directo que se baseia na injeção de água sob a configuração de pingas para que o ar exterior seja arrefecido antes de penetrar no edifício.

Quando se desenvolve o arrefecimento através da evaporação nas superfícies exteriores expostas à radiação solar e ao ar quente do interior, pode-se então afirmar que estamos na presença de um arrefecimento evaporativo indirecto, assim denominado por ajudar a uma quebra da temperatura do ar interior sem o aumento do conteúdo de vapor de água.

#### 4.12 - Arrefecimento Radioactivo

*A emissão de radiação por parte dos elementos da envolvente exterior de um edifício poderá ser aplicada no arrefecimento do mesmo. As perdas por radiação ocorrem durante os períodos diurnos e nocturnos, tratando-se pois de um processo contínuo. É, no entanto, durante o período nocturno que os seus efeitos se fazem sentir, em virtude da ausência de radiação solar directa. [Gonçalves, INETI, 1997]*

Entre dois corpos existe sempre uma troca de calor por radiação, ela é feita a partir da transferência de calor do corpo mais quente para o frio, este fenómeno pode adaptar-se ao arrefecimento dos edifícios.



**Figura 76** - Arrefecimento Radioactivo [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997]

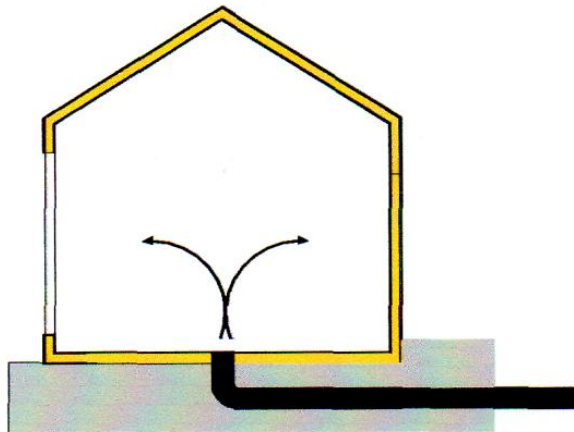
Pode-se criar condições para arrefecer um edifício através da utilização da cobertura como elemento térmico, com um material pesado ou água. As perdas de radiação são um processo contínuo, ocorrem durante o dia e noite. Mas o arrefecimento nocturno por radiação é especialmente útil uma vez que existem diferenças

significativas de temperatura entre os dia e noite. Em dias com pouca nebulosidade este método é bastante eficaz.

As coberturas horizontais são elementos excepcionais relativamente ao arrefecimento radioactivo, mas a estes elementos da envolvente é usualmente apenso isolamento térmico para minorar as perdas (Inverno) e ganhos de calor (Verão), contribuindo para uma redução do potencial de arrefecimento radioactivo nocturno. Este conceito possibilita otimizar as perdas por radiação baseado na colocação um isolamento deslocável que só é colocado durante o período diurno de modo a minimizar os ganhos de calor provenientes da radiação solar. Esta prática só viável em edifícios de um só piso.

#### 4.13 - Arrefecimento através do solo

O solo quase sempre oferece temperaturas menores às existentes no interior de um edifício consequentemente poderá, nos períodos de Verão, interceder como uma boa fonte de dissipação de calor, esta pode surgir por processos directos ou indirectos. A acontecer por contacto directo com o solo o arrefecimento dá-se no perímetro da extensão da própria envolvente do edifício (paredes, pavimento e eventualmente cobertura).

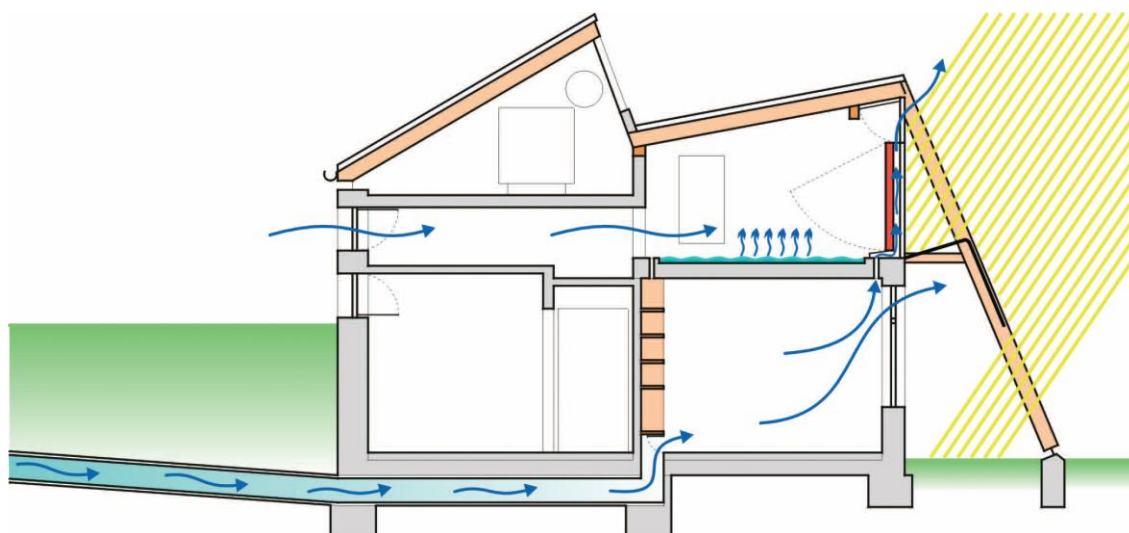


**Figura 77** - Arrefecimento pelo solo (Tratada e desenhada em AutCad) [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997]

O arrefecimento pode ser conseguido através da circulação ar em condutas subterrâneas colocadas entre 1 a 3 m de profundidade, penetrando através de poços de ar e circulando nesta sofre um arrefecimento até à penetração no interior dos edifícios, este processo pode ser controlado pelos utentes através de sistemas de segurança. O desempenho destes sistemas depende das dimensões das condutas, da profundidade a

que são colocadas ou seja da temperatura a que se encontra o solo, velocidade a que circula no seu interior e ainda das propriedades térmicas das condutas.

Este processo é particularmente eficiente em regiões de clima temperado como o Português.



**Figura 78** - Casa Solar Porto Santo<sup>10</sup> – Arq. Gunther Ludwig Entrada de tubos enterrados e orifícios no interior da casa [Fonte: Gonçalves, INETI, 1997]

#### 4.14 – Iluminação natural

A utilização da iluminação natural para iluminar os ambientes internos de um edifício efectua-se, especialmente, através das aberturas nos vãos, portas, janelas, cobertura, clarabóias, surgindo de forma directa (incidência) ou indirecta (reflexão e/ou dispersão).

A luz natural goza de qualidade superior à luz artificial e, pela variação ao longo das horas e dias, possibilita também ao corpo humano ter um referencial do espaço-tempo imprescindível à sua sobrevivência. A utilização ajustada deste recurso nos edifícios contribui para uma diminuição do uso de energia eléctrica.

<sup>10</sup> O solo, no Verão, apresenta temperaturas inferiores á temperatura exterior, constitui-se como uma importante fonte fria e poderá, no período de Verão, intervir como uma fonte de dissipação de calor, dissipação esta que pode ocorrer por processos directos ou indirectos.

É necessário, porém, que o projecto de um edifício acautele graus apropriados de iluminação, sem permitir ganhos térmicos excessivos para o interior. Para isso, devem ser apreciadas as condições climáticas da região, pois o nível de insolação varia com a latitude e a estação do ano, uso e função a que se destina.

Para residências em geral, uma orientação coerente facilita o aproveitamento da insolação, garantindo iluminação suficiente no ambiente interno, para a realização das funções genéricas. É simples conseguir uma boa iluminação natural, utilizando recursos arquitectónicos adequados as coberturas com aberturas zenitais, aberturas verticais correctamente posicionadas para aproveitar a luz natural, aumento da reflexão da luminosidade através da escolha de cores claras nas paredes e tectos; elementos internos transparentes, como por exemplo paredes executadas em tijolos de vidro.

#### 4.15 – Breves exemplos de aplicação de técnicas solares passivas

A preocupação principal ao conceber um edifício é a sua orientação no terreno, os espaços voltados a sul naturalmente possibilitam uma boa insolação e conseqüentemente óptimos ganhos solares. A casa Malcolm Willey, em Minneapolis, de Frank Lloyd Wright, e a sua fachada virada a Sul aproveitando a energia solar, com uma correcta distribuição dos espaços interiores ao longo de um eixo Este – Oeste é um dos exemplos.

Esta situa-se na cidade de Minnesota no Minneapolis a Nordeste dos Estados Unidos da América, com um clima de extremos. No Inverno as temperaturas são negativas (média diária em Janeiro é de  $-11,25^{\circ}$  C), no Verão as temperaturas são bastante altas (média diária em Julho é de  $23,10^{\circ}$  C), é uma zona bastante chuvosa, e habitualmente neva nos períodos de inverno.



**Figura 79** - Frank Lloyd Wright: Casa Malcolm Willey, Minneapolis, Minnesota, EUA. Vistas parciais.

[Fonte: <http://www.dgunning.org/architecture/Minn/willey.htm>]



**Figura 80** - Frank Lloyd Wright: Casa Malcolm Willey, Minneapolis, Minnesota, EUA. Vistas.

[Fonte: <http://www.dgunning.org/architecture/Minn/willey.htm>]

Frank Lloyd Wright projectou esta moradia considerado para que tivesse uma orientação segundo um eixo Este - Oeste. As divisões principais abrem-se a Sul, possibilitando um bom aproveitamento do Sol, as zonas de circulação localizam-se a Norte.

É possível ver a distribuição dos espaços segundo um eixo Este - Oeste, o que possibilita os ganhos solares durante o Inverno. Disseminando as proporções da moradia para que ela recebesse o Sol de Inverno, a extensão das fachadas Este e Oeste foram intencionalmente reduzidas, beneficia a redução dos ganhos solares inconvenientes no Verão quando o Sol nasce mais a Nordeste e se põe mais a Noroeste.

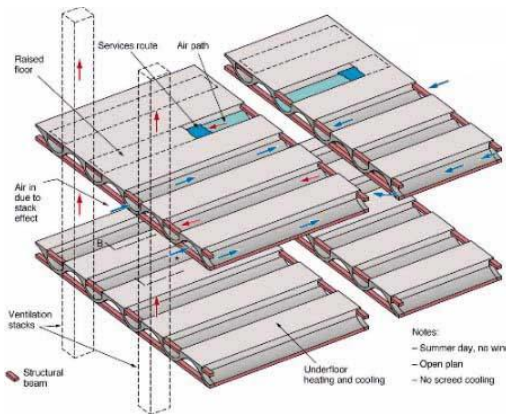
Para acautelar ganhos solares indesejáveis, os sistemas de sombreamento são uma peça essencial durante os períodos mais quentes, configuram-se na forma vertical ou horizontal, podendo também ser mistos.

Le Corbusier projectou o Palácio da Justiça em Chandigarh, em que jogou com a profundidade das zonas de sombreamento e com as aberturas da fechada.



**Figura 81** - Palácio da Justiça, Chandigarh, Índia Le Corbusier. Vistas. [Fonte: Gardiner, Stephen- Le Corbusier, 1997]

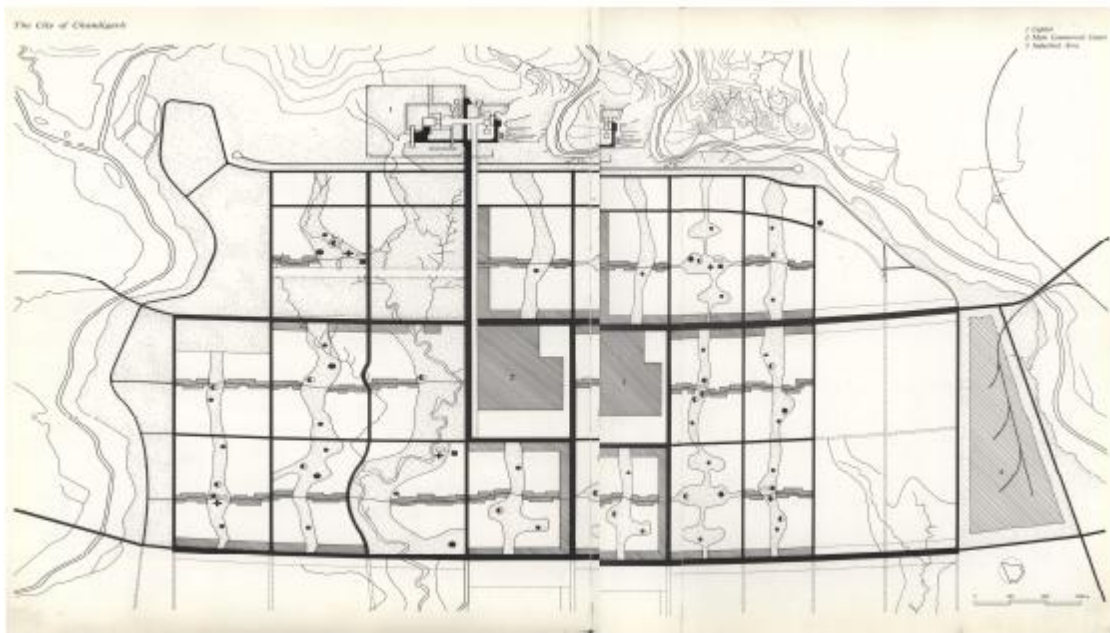
Em climas quentes e secos, como o do Noroeste da Índia a evaporação da água pode reduzir abundantemente a temperatura do ar interior.



**Figura 82** – Research Establishment Office Building, Garston, Grã-Bretanha. Feilden-Clegg. [Fonte: <http://projects.bre.co.uk/envbuild/index.html>, 2009]

O edifício Research Establishment Office Building, utiliza diversas soluções solares passivas, no entanto salienta-se entre elas o sistema de arrefecimento dos espaços interiores, através de 5 chaminés de ventilação situadas na fachada sul do edifício.

Este edifício, situa-se em Garston, a noroeste da Gã-Bretanha, tem um clima temperado, o autor Feilden-Clegg, projectou todo o edifício considerando que este fosse um modelo solar passivo, não suportado em sistemas de ar condicionado grandes consumidores de energia. Esta poupança é feita através de um melhor uso de iluminação natural e utilizando o edifício a ventilação natural para combater as temperaturas moderadas.



**Figura 83** - Planta de Chandigarh, India Le Corbusier. Plano [Fonte: Martins Le Corbusier, Welly Boesiger, 1994]

O planeamento urbano existe quase sempre a junção de três factores entre outros:

- A topografia;
- A radiação solar;
- Ventos;

Estes factores quando se cruzam geram situações de microclima local, daí o estudo da localização de espaços em função deste. A implantação de conjuntos de edifícios pode aumentar o conforto e mesmo alterar as realidades locais, o projecto de Le Corbusier, para Chandigarh, na Índia, é uma resposta clara ao tipo de clima já referenciado.

Os arruamentos principais são orientados para receber os chamados ventos predominantes, enquanto o sistema intermédio linear, permite a circulação de ar de uma forma regrada e aprazível para os seus habitantes.

## Capítulo 5

### 5.1 – Breve anotação da construção tradicional Portuguesa

A arquitectura tradicional nunca teve uma estruturação urbanística ou um estudo preliminar, no entanto sempre foi uma Arquitectura altamente eficaz, particularmente do ponto de vista da adaptação ao clima em que se insere. A sua evolução ao longo dos séculos, terá principiado por uma planta circular com telhado cónico, verdadeiramente primitiva cuja actividade pastorícia influenciou a sua estrutura. Alternou para uma planta quadrada ou rectangular, com uma estrutura de cobertura em madeira isolada a telha do tipo “canudo”, foi através destes morosos processos e tentativas que, com grandes restrições de meios e materiais se organizou. Convém fazer uma breve alusão às tradições construtivas portuguesas no campo de acção da envolvente vertical opaca das edificações, retirando daí os devidos exemplos.



**Figura 84** – Alvenaria de pedra, casas típicas da Freguesia do Candal – Lousã. [Fonte: [www.olhares.com](http://www.olhares.com), 2009]

Sendo a construção tradicional em Portugal de aspecto mediterrâneo, esta usa as potencialidades da inércia térmica das envolventes opacas, adequadas ao clima específico, e exprimindo-se nas compactas paredes exteriores.

No nosso país, as técnicas de maior representação são: a construção em alvenaria de pedra ou a construção em terra compactada ou com ligantes.



**Figura 85** – Alvenaria de pedra, casas típicas do Freguesia do Piódão. [Fonte: [www.olhares.com](http://www.olhares.com), 2009]

## 5.2 – Estudo de Casos

A Arquitectura solar passiva não é um conceito recente. A arquitectura vernácula é exemplo disso, baseada numa construção em materiais locais, satisfazia as restrições do clima local.

Os nossos antepassados serviram-se de conhecimentos empíricos para tornar este tipo de habitações mais acolhedoras do ponto de vista térmico. De seguida vamos procurar classificar e identificar as técnicas de arrefecimento e aquecimento passivo habituais em duas construções distintas e destinadas há habitação.

Este tipo de arquitectura verifica aspectos diversos, nomeadamente a topografia, a orientação solar, os materiais locais, a massa térmica, e a vegetação, os exemplos de

arquitectura popular, no Norte, Centro e Sul são muito divergentes no que se refere à forma, ao clima e a paisagem.

Na região centro as casas características eram construídas em pedra e ou granito, material abundante nesta região; devido às suas características e à espessura da pedra possibilitava um bom isolamento térmico; as casas por norma eram erigidas com 2 pisos, sendo o piso térreo usado, normalmente, guarda dos animais. O calor libertado por estes, ajudava a aquecer o piso superior, no Inverno. (Moutinho, Mário)



**Figura 86** - Casa típica da Região Centro de Portugal - Routar, Freguesia de Torredeita, Concelho e Distrito de Viseu [Fonte: arquivo pessoal]

A análise das principais características de construções antigas, de várias regiões de Portugal, demonstra que o empirismo concebeu efeitos muito eficazes, que, sistematizados, actualmente integram os conceitos da "Arquitectura Solar Passiva".

As exigências de conforto e dos materiais e técnicas construtivas actualmente são muito diferentes, no entanto a arquitectura popular portuguesa, bem como toda a arquitectura vernácula, proporciona são exemplos de integração da arquitectura ao

clima, construídos baseados nos conhecimentos vulgares, solidificados ao longo de anos pelos construtores, mostram continuamente importantes traços de adaptação ao clima.

Podemos verificar através da imagem a acessibilidade através de escadas de pedra onde existe um patamar resguardado por um alpendre, protegendo a entrada da casa no Verão da intemperança.



**Figura 87** - Alpendre de uma casa da Região Centro de Portugal - Tarva, Freguesia de Couto de Baixo, Concelho e Distrito de Viseu [Fonte: arquivo pessoal]

Na região Centro as casas eram construídas em granito ou xisto e muitas não dispunham de chaminé para que o calor expelido pela lareira fosse todo ele aproveitado para aquecimento. Apresentavam janelas em consola ou varandas envidraçadas para um maior aquecimento e aproveitamento da luz natural, pois muitas vezes era o único tipo de iluminação existente.



**Figura 88** – Conjunto de casas na Região Sul de Portugal - Campo Maior [Fonte: arquivo pessoal]

Na região Sul as casas no geral são caiadas de branco para usufruir de uma boa reflectividade da cor, dada a menor absorção e a constituição das paredes espessas e em material pedra e terra barrenta, para reduzir a condução de calor tanto do interior para o exterior como do exterior para o interior. As janelas são pequenas e quase sempre recuadas em relação às paredes de forma a estarem sombreadas no Verão.

## 5.3 – Análise de projectos de arquitectura solar passiva em Portugal continental

### TORRE SUL

O edifício, denominado por Torre Sul, situa-se no Parque das Nações em Lisboa, desenvolvido pela Arquitecta Livia Tirone. Trata-se de um edifício de apartamentos com 12 pisos em forma de L, constituído por 55 apartamentos de 21 tipologias distintas. Os corredores situam-se na zona norte com vãos exíguos. Os apartamentos repartem-se pela zona sul do edifício, beneficiando assim desta orientação.



**Figura 89** - Vista do Edifício Torre Sul [Fonte: [http://www.p3e-portugal.com/\\_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf](http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf)]



**Figura 90** - Edifício Torre Sul vista dos sombreamentos [Fonte: [http://www.p3eportugal.com/\\_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf](http://www.p3eportugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf)]

O edifício mostra um conjunto de sistemas que visam maximizar a captação solar através de grandes vãos orientados a sul. Em algumas tipologias estes vãos oferecem um pé direito duplo auxiliando os grandes ganhos solares. Verifica-se também a existência de pequenas paredes de armazenamento térmico, localizadas na parte inferior dos vãos. A existência de estores de lâminas exteriores reguláveis, permite um excelente controlo da incidência solar. Os vãos envidraçados de abertura regulável permitem uma ventilação natural cruzada, processo que permite um controle da temperatura interior do apartamento, quer no verão, quer no inverno.

O edifício é isolado pelo exterior com 6cm de poliestireno expandido (Sistema Dryvit) nas paredes que são de alvenaria simples de 22 e 35 cm de alvenaria de tijolo, sendo as lajes maciças e isoladas pelo exterior, com 8 cm sobre laje de betão com 24 cm. Esta solução evita pois a existência de pontes térmicas no edifício.



**Figura 91** - Edifício Torre Sul - pormenor de janela [Fonte: [http://www.p3e-portugal.com/\\_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf](http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf)]



**Figura 92** - Edifício Torre Sul quarto e porta janela [Fonte: [http://www.p3e-portugal.com/\\_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf](http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf)]

As lajes de pavimento dos apartamentos são maciças, bem como as paredes de separação entre fogos. Os vidros são duplos incolores. A verificação regulamentar (RCCTE) foi efectuada para todos os apartamentos, sendo que todos verificam os requisitos De igual forma, o RSECE também é verificado por força da existência de um sistema de aquecimento central de água.



**Figura 93-** Edifício Torre Sul – sala [Fonte: [http://www.p3e-portugal.com/\\_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf](http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf)]

Em resultado da boa prestação térmica do edifício, o sistema de aquecimento central existente foi pouco utilizado, de acordo com os relatos dos seus ocupantes. Estes também manifestaram a sua plena satisfação em termos de conforto térmico, quer no inverno, quer no verão.

## EDIFÍCIO SOLAR XXI, INETI

O Edifício Solar XXI é da autoria dos arquitectos Pedro Cabrito e Isabel Diniz, localizado no Lumiar, em Lisboa. Este foi construído em 2004/2005, e inaugurado no “Campus” do INETI, em Lisboa, em Janeiro de 2006.



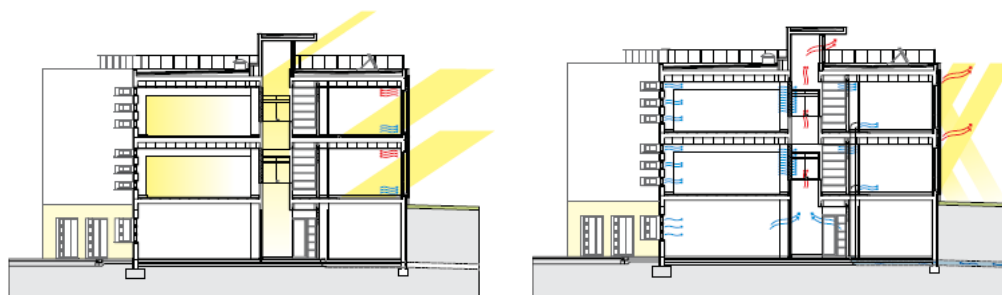
**Figura 94** - Vista do Edifício Solar XXI fachada sul/poente [Fonte: INETI, 2009]

Não sendo um edifício em que só são utilizadas essas técnicas. Veja-se o caso, por exemplo, do uso dos painéis fotovoltaicos, no entanto a energia solar passiva foi a opção de fundo, na sua vertente térmica (solar activo e passivo) e eléctrica (solar fotovoltaico).



**Figura 95** - Vista do Edifício Solar XXI – fachada norte/poente [Fonte: INETI, 2009]

O edifício foi delineado por uma criação rigorosa de inclusão de soluções passivas de desempenho térmico, pretendendo reduzir as consequentes necessidades de utilização dos sistemas mecânicos de aquecimento e arrefecimento, sem uma diminuição efectiva dos níveis aceitáveis de conforto ambiental tanto no Inverno, como no Verão.



**Figura 96** - Vista do Edifício Solar XXI – ganhos solares, secções, inverno/verão [Fonte: INETI, 2009]

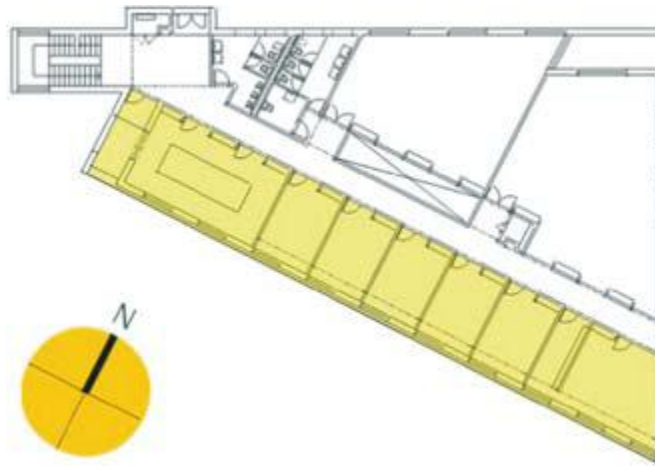
A metodologia seguida para a concepção do edifício é a mais correcta: a concepção arquitectónica onde todas técnicas e sistemas energéticos são devidamente concebidos desde o início e não renegados para uma posterior adaptação ao edifício.

Veja-se o que diz o arquitecto Pedro Cabrita, um dos responsáveis pelo projecto de arquitectura [Edifício Solar XXI, p. 2]: *"A metodologia de desenho procurou, assim, conciliar a complexidade técnica de cada sistema proposto com necessidades específicas na orientação de fachadas e dimensionamento de vãos, sem perder a ideia de projecto de arquitectura, isto é, sem esquecer que o desenho de um edifício é sempre um acto criativo que propõe espaços, formas e materiais, numa interacção com o utilizador que ultrapassa a mera expressão básica de usos e funções. Desde os primeiros esboços, tornou-se claro que o conceito arquitectónico do Edifício Solar XXI deveria investigar uma síntese onde os sistemas propostos funcionassem como instrumentos na definição da lógica formal do todo, ao contrário de uma simples construção com sistemas adicionados na fase final do processo."*

*"Por outro lado, tentou-se que os sistemas solares utilizados não se assumissem formalmente como elementos adicionados à arquitectura, mas que fossem, eles próprios, geradores do conceito formal do edifício, resultando numa lógica de conjunto e não como uma perturbação adicionada. Pensamos ser esta uma das dificuldades maiores da integração das denominadas Tecnologias Solares Passivas, na medida em que existe claramente o "preconceito", entre a classe dos profissionais do projecto, de*

*que o solar passivo interfere negativamente com a liberdade de criação formal da solução arquitectónica”.*

O RCCTE (Decreto - Lei nº 80/2006, p. 2479) diz-nos que a zona de Lisboa classifica-se em I1 (climática de Inverno) e V2 (climática de Verão). Esta classificação diz-nos que os Invernos são pouco severos, e os Verões são temperados. Os níveis de insolação para a zona de Lisboa dispõem de uma grande quantidade de horas de Sol anualmente, na ordem das 2.600 a 2.700 horas.



**Figura 97** - Vista do Edifício Solar XXI – Planta [Fonte: INETI, 2009]

A descrição do edifício segundo o autor: *“Este edifício agrega funções de serviços e de laboratório e tem uma área total de 1500 m<sup>2</sup>, dividida em 3 pisos, um dos quais enterrado na parte sul. Apresenta uma distribuição dos espaços interiores, nos quais as salas de ocupação permanente se colocaram na parte orientada ma sul, de forma a tirar partido dos sistemas de aquecimento e arrefecimento directo colocados nesses espaços. As zonas norte do edifício são ocupadas por espaços laboratoriais e salas de reunião, cuja ocupação é de carácter menos permanente. Na zona central do edifício encontra-se um corredor de separação, no qual foi introduzida uma clarabóia de iluminação comum aos três pisos. De referir que quer os espaços a norte quer a sul comunicam com este zona central, através de aberturas translúcidas e reguláveis, localizadas nas bandeiras das portas. A existência destas aberturas possibilita gerir a transferência de calor, por convecção natural da zona sul, mais quente no Inverno para a zona norte”.*

O edifício foi implantado com uma fachada orientada a Sul, onde se situam os maiores vãos, sendo de menor dimensão nas outras fachadas, assim potenciar os ganhos solares no Inverno e minimizá-los durante o Verão



**Figura 98** - Vista do Edifício Solar XXI – estores fechados/verão [Fonte: INETI, 2009]

Os vãos a Sul são protegidos com estores de lâminas reguláveis exteriores, harmonizando a entrada da radiação solar e da luz à medida dos diversos utilizadores dos espaços interiores, correspondendo às condições ambientais presentes. Os estores exteriores possibilitam melhor cumprimento, acautelando os ganhos de calor incómodos na estação Verão.

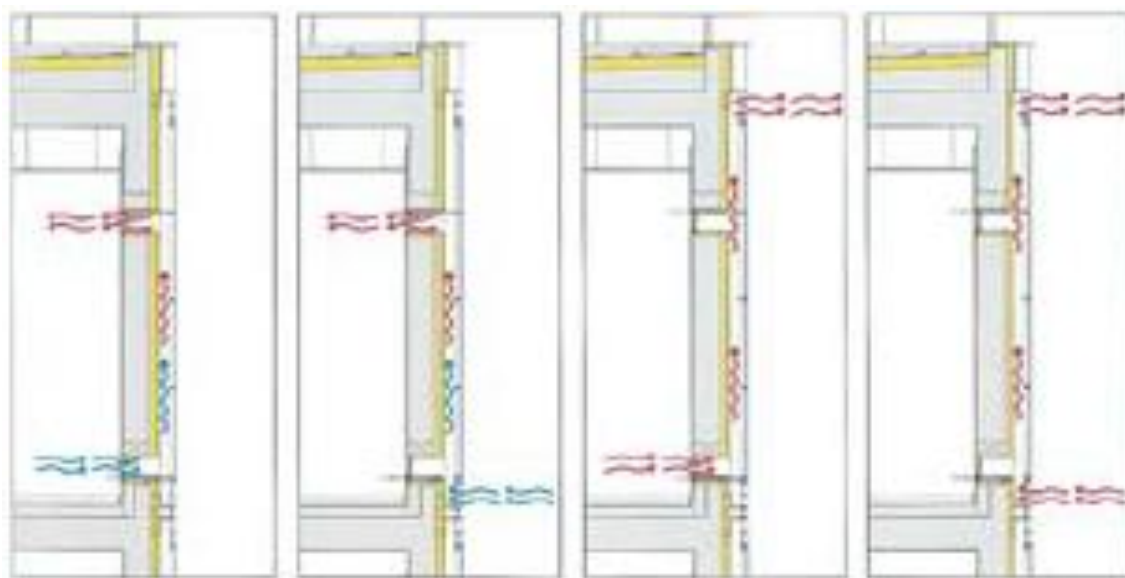
Na fachada Sul foram introduzidos painéis fotovoltaicos cuja função é o fornecimento directo de energia eléctrica ao edifício existindo também a possibilidade de serem utilizados como sistema de aquecimento e arrefecimento.

O calor absorvido pelos painéis fotovoltaicos é recuperado sendo usado para o aquecimento do edifício. Tal técnica pela sua forma de funcionamento assemelha-se a uma parede de Trombe.



**Figura 99** - Vista do Edifício Solar XXI – fotovoltaicos/fachada [Fonte: INETI, 2009]

O calor aquece a caixa-de-ar existente entre os painéis fotovoltaicos e a parede exterior do edifício permitindo que correntes de convecção surjam. A parede de separação possui orifícios na base e no topo possibilitando a circulação do ar e o aquecimento dos espaços interiores.



**Figura 100** - Vista do Edifício Solar XXI – Esquema térmico (inverno/verão) [Fonte: INETI, 2009]



**Figura 101** - Vista do Edifício Solar XXI – aberturas de ventilação [Fonte: INETI, 2009]

Enquanto no Inverno o sistema permite o aquecimento, no Verão o efeito de chaminé que é possível obter ajuda à extracção do ar que entra pelas condutas enterradas.







**Figura 104** - Vista do Edifício Solar XXI – poço de admissão do ar [Fonte: INETI, 2009]

É possível igualmente arrefecer o edifício a partir da ventilação natural que é conseguida devido à orientação que os vãos possuem (Norte - Sul e Este -Oeste).

A circulação do ar no interior do edifício é feita através de bandeiras superiores de lâminas reguláveis em todas as portas e vãos interiores. Por outro lado, as zonas de circulação e comunicação centrais permitem igualmente que o ar quente possa subir, pelo efeito de chaminé, devido à existência de aberturas reguláveis na clarabóia.

Ao nível da iluminação natural o edifício apresenta um bom desempenho. Todas as salas orientadas a Sul têm grandes áreas de envidraçado e correspondente contacto visual entre o interior e exterior. A Norte para além da iluminação obtida pelos vãos das janelas, as salas possuem portas com bandeiras que permitem difundir a iluminação a partir dos espaços centrais de comunicação e circulação do edifício, que como já mencionado, são iluminados zenitalmente.

Em termos construtivos o edifício possui uma estrutura em betão armado, sendo as paredes exteriores de alvenaria de tijolo com 220 mm de espessura, isoladas pelo exterior com 6 cm de poliestireno expandido extrudido. A laje de cobertura é maciça, isolada também pelo exterior. Esta solução de isolamento apresenta a vantagem de evitar as indesejáveis pontes térmicas.

Tal como acontece com quase todos os exemplos apresentados neste trabalho o Edifício Solar XXI possuem também uma orientação Este - Oeste, apesar de neste caso a

sua planta não ter uma forma rectangular. No entanto, o princípio mantém-se: conseguir tirar o melhor partido da orientação solar. Ao contrário do exemplo do Instituto das Comunicações no Porto que tinha os seus corredores a Norte, o Edifício Solar XXI possui os seus espaços de comunicação ao centro, sem no entanto ter sido descuidada a iluminação natural, que neste caso é feita zenitalmente. A Norte, como é uma orientação pouco apelativa em termos energéticos, os autores do projecto optaram por colocar espaços de menor ocupação temporal.

Um dos factores mais interessantes deste projecto é a integração de painéis fotovoltaicos na fachada Sul. Elementos técnicos não têm que estar necessariamente escondidos, podendo-se tirar partido das suas potencialidades integrando-os na arquitectura.

Geralmente este tipo de sistema é renegado para um segundo plano constituindo muitas vezes uma solução colocada *a posteriori* e não estudada logo na concepção do edifício. Mais uma vez se reforça a ideia que um projecto de arquitectura deve logo a partir da sua concepção integrar as soluções energéticas que um edifício venha a possuir. Não se pode relegar para o final, após a conclusão do projecto de arquitectura, a integração dessas soluções. Técnicos de todas as áreas devem trabalhar em conjunto para a procura da melhor solução que visa um objectivo em comum: o conforto térmico dos utentes com o menor dispêndio de energia possível.



**Figura 105** - Vista do Edifício Solar XXI – clarabóia de ventilação [Fonte: INETI, 2009]

A iluminação natural neste projecto revela-se de grande importância. As salas de maior ocupação têm boas condições de captação da luz natural. Os espaços interiores não foram igualmente esquecidos. Iluminação zenital, utilização de cores claras e soluções que permitem a luz chegar até esses espaços fazem com que os utentes desfrutem da luz natural em praticamente todo o edifício.

Não são só as técnicas de aquecimento e o correcto uso da iluminação natural que fazem deste edifício um bom exemplo. As soluções criadas para o arrefecimento são igualmente interessantes. Desde a ventilação cruzada, possível pela abertura dos vãos a Norte e a Sul, o efeito de chaminé obtido pelo espaço de comunicação vertical central e o arrefecimento pelo solo contribuem todos para que o sobreaquecimento seja evitado. Não esquecer igualmente que os vãos a Sul, apesar de nessa fachada não existir nenhum elemento arquitectónico de sombreamento, podem ser protegidos pelos estores de lâminas reguláveis exteriores controlando, assim, os utentes tanto a radiação solar como a iluminação natural.

O edifício agora analisado representa um bom exemplo da conjugação das soluções arquitectónicas com a aplicação, quer das técnicas solares passivas, quer das solares activas. A preocupação de projectar desde logo do início tendo em atenção a aplicação dessas técnicas contribui para o sucesso do projecto.

Um dos objectivos principais do projecto é tentar atingir uma síntese final que evidencie que o aproveitamento consciente da energia solar é compatível com o rigor formal de um edifício de arquitectura contemporânea.

## MORADIAS DE JANAS

As moradias são de aspecto diferente do exemplo anterior. Neste caso o projecto em pesquisa foi produzido com uma única preocupação de aplicação somente das técnicas solares passivas.

As Moradias de Janas localizam-se no Concelho de Sintra numa zona de pouca densidade populacional (rural), e são constituídas por um conjunto de três moradias unifamiliares geminadas, a sua finalização data do ano de 2003. Os autores do projecto são os arquitectos Filipa Mourão e João Santa Rita.

Segundo o RCCTE [Decreto - Lei nº 80/2006, p. 2481] o Concelho de Sintra situa-se na zona climática de Inverno I1 e na zona climática de Verão V1. É, pois, uma zona onde a agreste no Inverno, já no Verão é uma zona amena.

As moradias estão implantadas num terreno com inclinação Sul o que facilitou a aplicação das técnicas solares passivas.



**Figura 106** - Fachada Sul das Moradias de Janas [Fonte: DGE, 2007]



**Figura 107-** Fachada Norte das Moradias de Janas [Fonte: DGE, 2007]

A planta do conjunto é rectangular e tem uma orientação Este – Oeste, compostas de dois pisos, localizam-se no piso 0 praticamente todos os espaços da casa. O piso 1 é entregue a um mezanino, acedido da zona da sala, tendo esta na sua maioria uma área de duplo pé direito. Os quartos e a sala estão orientados a Sul enquanto a zona de entrada, a cozinha e instalações sanitárias localizam-se a Norte.

Na fachada Norte existem poucos vãos, pois estes estão inseridos praticamente todos a Sul, as fachadas Este e Oeste, são completamente cegas

O plano usado neste conjunto de moradias, passa principalmente pela grande captação da radiação solar a Sul durante o Inverno, sendo possível obter grandes ganhos através dos envidraçados bem como pela inércia térmica forte que os elementos construtivos utilizados possibilitam.

Sendo essencial acautelar os ganhos de calor indesejados no Verão, as moradias possuem elementos de sombreamento estruturais (palas), portadas interiores e a faculdade de aplicação de toldos de lona nos vãos da sala na zona do pé direito duplo. Para se obter o controlo da temperatura interior durante o Verão é possível aproveitar a

ventilação cruzada devido à disposição dos espaços interiores e dos vãos colocados a Norte e a Sul.



**Figura 108** - Pormenor da pala de sombreamento na fachada Sul. Com este tipo de solução é possível evitar a incidência da radiação solar durante o Verão [Fonte: DGE, 2007]

Em termos construtivos as Moradias de Janas possuem uma estrutura de pilares, vigas e lajes de betão armado. A laje do pavimento está construída sobre uma caixa-de-ar ventilada e isolada inferiormente com poliestireno expandido extrudido. A laje de

cobertura é igualmente isolada com poliestireno expandido extrudido pelo exterior e com 8 cm de espessura.

As paredes exteriores são em alvenaria de tijolo simples com 220 mm de espessura. As paredes interiores de separação das moradias são maciças, o que possibilita o isolamento acústico e incrementa a inércia térmica dos edifícios, enquanto as restantes paredes são de tijolo cerâmico furado. Todo o conjunto das moradias é isolado exteriormente com 6 cm de poliestireno expandido extrudido.

Os vãos envidraçados são de vidro duplo incolores com caixilharia em madeira.

Segundo [Hélder Gonçalves e Carlos Nascimento 2005, p. 19] *“as moradias de Janas possuem um comportamento térmico excelente, tendo os seus utentes manifestado a sua satisfação ao longo de todo o ano. Os sistemas de aquecimento e arrefecimento solares passivos utilizados parecem satisfazer por completo as necessidades de conforto térmico das habitações”*.

Pelas informações retiradas sobre as Moradias de Janas pode-se concluir que estas espelham uma exacta utilização das técnicas solares passivas. Sendo possível conseguir-se tendo em conta diversos factores, tais como: noção do clima da região, a orientações correctas do edifício em termos solares, boa disposição dos espaços interiores e dos vãos nas fachadas, a utilização de sistemas de aquecimento e arrefecimento solares passivos, e, uma escolha adequada dos materiais de construção que contribui para o conforto térmico desejado restringindo o uso da energia ao mínimo. Os factores indicados foram tidos em conta e pensados deste o início do projecto, gozando este de uma grande regalia, nem sempre possível, a não existência de restrições locais que coibissem o tirar partido da incidência solar, ainda aliado a uma orientação fantástica.



**Figura 109** - Vãos envidraçados da sala na fachada Sul [Fonte: DGE, 2007]

# Capítulo 6

## 1.1 - Conclusões

A percepção do comportamento dos edifícios face às condições climáticas visando o conforto térmico e a economia de energia, foi um o principal objectivo deste trabalho.

Para atingir esse objectivo contextualizou-se historicamente a evolução do conceito solar passivo, todos os elementos climáticos, físicos, e térmicos. O edifício ainda é o resguardo do homem moderno face à variabilidade e rigor climatológico. Importa caracterizar o nível dos edifícios em geral, responsáveis dos enormes consumos energéticos, a solução para abrandar estes consumos, que teria de passar redireccionar o consumo energético para energia solar ou renovável, em parte desenvolvida, evidenciando-se a promoção de energias renováveis.

A arquitectura solar passiva, tem de ser impulsionada pela inovação, podendo concluir-se que se trata de um sector estratégico para o país. O desenvolvimento sustentável está inerentemente amarrado ao conceito de inovação, inovando os processos e propondo soluções revolucionárias. A maior inovação de todas será a contribuição na organização e estruturação de todo o sector da construção e pela revolução das mentalidades de forma geral, desde o promotor ao consumidor.

A Arquitectura solar passiva, pelo facto de apresentar uma construção com soluções específicas a cada situação, é um desafio à criatividade e à diversidade, o crescimento da população e o conseqüente aumento das exigências de conforto, são um desafio ao avanço desta área em termos culturais e organizacionais, associando a isto uma consciência ambiental da sociedade. Actualmente muitas tecnologias ambientais já se tornam economicamente viáveis, mesmo representando um investimento adicional, em contrapartida têm um baixo custo operacional.

Reduzir o impacto ambiental das construções, estabelecer estratégias, reutilizar, reciclar, reduzir e consumo energético da construção e reduzir consumo energético da utilização, apreender boas práticas arquitectónicas e construtivas, os vários tipos de energia, a quantificação de custos, os tipos de captação, os processos térmicos dos edifícios (*aquecimento, ventilação e arrefecimento*) e técnicas limpas construtivas, são instrumentos essenciais ao arquitecto na arte de concepção arquitectónica.

A multidisciplinaridade no seio da arquitectura solar passiva, envolve equipas de arquitectos e engenheiros de distintas formações, dado que está associada aos sistemas de ciência e inovação, que só podem ser obtidos através da cooperação de diversos sectores do conhecimento.

O que se propõe como elemento de auxílio ao que pode chamar de saudável ambiente na arquitectura é a contribuição para o aumento da qualidade de vida, gerida de forma responsável e eficiente gerindo os recursos locais disponíveis.

A arquitectura deverá ser essencial, e tem na sua Ideia, originariamente a Luz como o primeiro material, LUZ que estabelece uma relação entre o homem e os espaços, a luz está directamente ligada ao tempo. O que seria uma arquitectura sem luz? Não mais do que uma “não-arquitectura”.

Le Corbusier diz-nos *“a ordenação e a hierarquia dos fins... os elementos arquitecturais são a luz e a sombra, a parede e o espaço; resultam de dentro para fora, um edifício é como uma bolha de sabão. Esta bolha é perfeita e harmoniosa se o sopro for bem distribuído, bem regulado do interior. O exterior é o resultado do interior”*.

E assim, deverá haver objectos arquitectónicos, que possamos considerar lugares de bem, onde o nosso corpo é o utensílio mais precioso, que nos leve a conhece-lo e a honra-lo.

Se um músico compõe uma música, ela não é exclusivamente pertença deste, uma vez que a essência do ambiente musical baseia-se no compasso três por quatro. Ora, a música pertence de igual forma ao músico como o oxigénio pertence aquele que o descobriu. E a profissão de arquitecto, também deve descobrir compor essências, esse deve ser o nosso principal acto de edificar.

## Glossário

**Amplitude Térmica** - Diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima em um intervalo de 1 dia ou 24 horas.

**Aproveitamento Solar Passivo** - Aproveitamento da energia para aquecimento de edifícios ou prédios, através de concepções e estratégias construtivas.

**Ar Condicionado** - Expressão utilizada largamente sistemas de arrefecimento

**Arquitetura Bioclimática** - Tipo de arquitectura que dá especial atenção aos aspectos de adaptação da construção ao clima do lugar onde se situa, conseguida essa adaptação por meios naturais. Esta adaptação da estrutura do edifício ao clima, vai permitir fazer um arrefecimento e aquecimento passivo, isto é, sem recorrer a meios mecânicos, que precisam de energia para funcionar.

**Arrefecimento Evaporativo** - A água, na sua mudança de líquido para vapor, necessita de absorver calor sensível, dando origem a uma diminuição da temperatura (do termómetro seco). Este arrefecimento pode ser directo, se verificar um aumento do conteúdo do vapor de água. Neste caso, o ar exterior é arrefecido por evaporação da água, antes de entrar no edifício. Se a evaporação tiver lugar num elemento do edifício (parede, por ex.), provocando uma diminuição da temperatura da superfície desse elemento e do ar adjacente, sem que se verifique um aumento da humidade do ar, estamos perante um arrefecimento evaporativo indirecto.

**Arrefecimento Passivo** - Efeito de arrefecimento natural dos edifícios, obtido através de soluções de construção que optimizam os efeitos climáticos e as suas variações, ou que aproveitam simples fenómenos físicos. Alguns exemplos são a protecção da radiação solar, a ventilação, as correntes de ar, os sistemas de evaporação que usam água, entre outros.

**Arrefecimento Radiativo** - As perdas de calor por radiação ocorrem durante os períodos diurnos e nocturnos - tratando-se, portanto, de um processo contínuo. É, durante o período nocturno, que os seus efeitos se fazem sentir, em virtude da ausência da radiação solar directa. A emissão de calor pela envolvente do edifício poderá ser utilizada como arrefecimento passivo.

**Arrefecimento pelo Solo** - Forma de arrefecimento passiva, pois promove trocas de ar com o solo que está mais fresco que o ar no Verão, e mais quente no Inverno. No entanto este tipo de aproveitamento deve ser realizado com base num estudo do local, pois as características do solo irão determinar a sua aplicabilidade.

**Arrefecimento por Ventilação** - Processo de ventilação aproveitando a redução da temperatura exterior do ar durante a noite.

**Arrefecimento Radiativo** - Os materiais emitem calor sob a forma de radiação electromagnética, cujo comprimento de onda depende da temperatura a que se encontram. Este é um processo contínuo, que está sempre a ocorrer. No entanto, é durante a noite que este se faz sentir, devido à ausência de radiação solar, promovendo-se as trocas entre os materiais e o ar exterior, que está mais frio.

**Avaliação Dinâmica** - Avaliação de modelos utilizando programas de simulação computacional.

**Avaliação Pós-Ocupação (APO)** - Do inglês, Post-Occupancy Evaluation (POE) - avaliação retrospectiva (no sentido de repensar o projecto após sua utilização) de ambientes construídos ou naturais. Adoptada para diagnosticar e recomendar, segundo uma visão sistémica e re-alimentadora, modificações e reformas no ambiente objecto da avaliação e para aprofundar o conhecimento sobre este ambiente, tendo-se em vista futuros projectos similares. É aplicada através de multi-métodos e técnicas e leva em conta o ponto de vista dos especialistas/avaliadores e dos usuários dos ambientes dos ambientes, leigos ou não.

**Azimute [°]** - Ângulo entre o Sul e o ponto no horizonte directamente abaixo do sol. Isto é: a amplitude do arco de círculo do horizonte compreendido entre o ponto cardeal sul e a intersecção do semicírculo vertical do astro com o plano do horizonte.

**Conforto Térmico** - Sensação de bem-estar relativamente à temperatura ambiente. Depende de um equilíbrio a atingir entre o calor produzido pelo corpo e as perdas de calor do corpo para o meio ambiente. Não existe nenhuma regra rígida que nos indique quais as melhores condições para o conforto de todas as pessoas. O conforto de um indivíduo é afectado mediante vários factores: saúde, idade, actividade, roupas, sexo, etc.

**Conservação de Energia** - Conservação de energia ou Energy Conservation, é a terminologia utilizada internacionalmente para designar o uso racional e eficiente da energia.

**Consumo** - Quantidade de energia eléctrica utilizada em um determinado intervalo de tempo. A unidade padrão no Sistema Internacional de consumo é o quilowatt-hora (kWh) e seus múltiplos.

**Consumo Desagregado** - Consumo desagregado ou consumo desagregado por usos finais é a parcela do consumo total utilizada em um determinado uso final, como por exemplo, a iluminação artificial, equipamentos de escritórios, elevadores, etc.

**Consumo Interno bruto (CIB)** - Quantidade de energia primária necessária a uma entidade geográfica para cobrir a procura interna de energia.

**Demanda** - É a potência solicitada pelo consumidor, medida por um aparelho integrador durante qualquer intervalo de 15 minutos.

**Dióxido de Carbono** - gás incolor produzido quando se queima qualquer material contendo carbono na presença de oxigénio. Actualmente, os níveis de dióxido de carbono na atmosfera estão a subir, apesar de ser removido pelas plantas e dissolvido nos oceanos. Símbolo químico CO<sub>2</sub>.

**Dispositivos Sombreadores** - Materiais móveis ou amovíveis, que reduzem a incidência de radiação directa na casa, através das janelas. Podem ser palas horizontais (para janelas orientadas a Sul) ou verticais (para janelas orientadas a Este e Oeste), no caso de não serem móveis, estores (exteriores de preferência), persianas, etc.

**Edifício Verde** - Edifício que proporciona o desempenho especificado ao mesmo tempo que minimiza a perturbação e contribui para a melhoria do ecossistema, local,

regional e global, durante e depois da sua construção e da vida útil que lhe foi estabelecida.

**Efeito de Estufa** - Efeito criado pela atmosfera terrestre e certos gases como o CO<sub>2</sub>, que deixam passar para a Terra a radiação proveniente do sol, mas que retêm a radiação depois de reflectida na terra, retendo assim o calor, como numa estufa. O efeito de estufa é útil, necessário à vida pois mantém calor na Terra, mas a alteração no equilíbrio da atmosfera, devido à excessiva emissão de gases, está a influenciar este processo de uma forma nociva, fazendo com que fique mais calor retido, aumentando a temperatura da atmosfera, podendo conduzir a alterações climáticas.

**Eficiência** - Razão entre a energia produzida e a energia consumida ou recebida.

**Energia** - É a capacidade de produzir um efeito, e pode ser de forma transitória ou permanente. As formas permanentes incluem: energia interna, potencial, cinética, química e nuclear. A energia transitória pode ser por exemplo o calor, trabalho, energia mecânica, etc.

**Energia Primária** - Energia disponível, tal como se encontra na natureza e que ainda não sofreu nenhum tipo de transformação.

**Energias Endógenas** - As fontes renováveis de energia, como a energia eólica (vento), a energia hídrica (rios e ribeiros), a energia das marés (mar), a energia solar e a energia da matéria vegetal (biomassa), são aquelas que estão constantemente a ser repostas e que não se gastam com a sua utilização. Representam uma alternativa em relação aos combustíveis fósseis, designadamente a electricidade, o carvão, o petróleo e o gás natural, razão pela qual também são conhecidas por energias alternativas.

**Energia Renovável** - Fonte de energia ilimitada, uma vez que a sua utilização "hoje" não implica diminuição da sua disponibilidade "amanhã", ex. Solar, Eólica.

**Energia Solar** - Energia renovável proveniente dos raios solares que pode ser, utilizada com (activo) ou sem (passivo) recurso a equipamentos. Recorrendo a equipamentos ela pode ser convertida em electricidade (fotovoltaica e térmica) ou em calor (térmica).

**Estufa Solar** (Jardim de Inverno Doméstico) - Sistema de aquecimento passivo, que actua como um espaço tampão, reduzindo consideravelmente as perdas de calor da casa para o exterior, contribuindo também para aquecer a casa pela transmissão do calor nela

armazenado. No verão este elemento tem que ser inativado, de forma a não provocar um aquecimento adicional da casa nesta estação.

**Equipamentos electromecânicos** - Bombas, exaustores, aquecedores eléctricos, escadas rolantes e elevadores.

**Etiqueta de Eficiência Energética** - Ficha que reúne as características técnicas de cada aparelho, tais como a eficiência no consumo de energia e no consumo de água (para as máquinas de lavar), e os níveis de ruído produzidos pelo funcionamento do equipamento. Esta etiqueta é obrigatória para os equipamentos de frio (refrigeradores e arcas), máquinas de lavar e/ou secar roupa, máquinas de lavar loiça, fornos eléctricos, lâmpadas e aparelhos de ar condicionado.

**Etiqueta Ecológica Europeia** - Se o aparelho corresponde a certos critérios ecológicos em relação ao seu consumo de energia, mas também relativamente ao impacto dos seus componentes (fluidos de refrigeração e espumas, por exemplo) no ambiente, ele pode ser contemplado com a etiqueta ecológica europeia.

Fonte de Energia - Tudo aquilo que permite produzir directamente energia útil, por transformação ou por conversão. Também são utilizados para definir fontes de energia, os seguintes verbetes: energia, formas de energia e agentes energéticos.

**Formas de Energia** - As formas ou fontes de energia definidas pela Conferência Mundial de Energia, são as seguintes: Energia de combustíveis líquidos, Energia de combustíveis gasosos, Energia hidráulica, Energia de fissão nuclear, Energia eléctrica, Energia solar, Energia de biomassa, Energia eólica, Energia dos oceanos e marés, Energia geotérmica.

**Fontes Convencionais** - Energia de combustíveis sólidos, Energia de combustíveis líquidos, energia de combustíveis gasosos, Energia hidráulica, Energia de fissão nuclear.

**Fontes alternativas** - Energia solar fotovoltaica, a Energia solar térmica, Energia eólica, Energia dos oceanos ou marés, Energia geotérmica.

**Free-Floating** - Regime flutuante de temperaturas internas, sujeitas a variações decorrentes das flutuações da temperatura externa.

**Iluminação Artificial** - É a iluminação produzida directa ou indirectamente por incandescência ou luminescência.

**Iluminação Natural** - É a iluminação produzida directa ou indirectamente pelo sol.

**Inércia Térmica** - A inércia térmica de um edifício é a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura de seu interior devido à sua capacidade de acumular calor nos seus elementos de construção. A velocidade de absorção e a quantidade de calor absorvido determinam a inércia térmica de um edifício.

**Intensidade Energética** - É a taxa de consumo energético para um dado indicador económico, ou a razão entre o Consumo Interno Bruto - CIB e o Produto Interno Bruto - PIB.

**Insolação** - Energia solar recebida num determinado local durante um certo período de tempo. Pode ser expressa em horas solares por dia [hsol/dia] ou watts por metro quadrado por hora [W/m<sup>2</sup>.h].

**Isolamento Térmico** - Material com a capacidade de reduzir, de forma acentuada, as trocas de calor entre o exterior e o interior de um edifício. Este deve ser aplicado pelo exterior da habitação, se esta for de parede simples, ou no meio da parede, se esta for dupla.

**Inversão Térmica** - Fenómeno que ocorre no inverno, quando a chegada brusca de uma massa de ar quente sobre o ar mais frio da estação, acarreta uma espécie de colchão de ar, que retém os poluentes a baixa altura e impede que eles se dissipem.

**Latitude [°]:** - distância em graus de um lugar ao equador.

**Macroclima** - Condições climáticas regionais.

**Mesoclima** - Características do macroclima alteradas por características geográficas, topográficas ou do uso do solo.

**Microclima** - Ainda no âmbito do mesoclima, é possível existirem condições climáticas mais específicas que passam a ser denominadas microclimas. Como por exemplo, o clima próximo a uma zona altamente adensada, a um corredor de edificações como é o caso das grandes avenidas, ou a uma área verde.

**Norma** - Texto aprovado por Comité Representativo, junto a uma Associação de Normas Técnicas.

**Oferta de energia** - Quantidade de energia primária e secundária disponível para satisfazer as necessidades energéticas de um país, tanto nos processos de transformação, como no consumo final.

**Parede de Trombe** - Paredes com grande inércia térmica, que são usadas para "guardar" o calor quando a parede é atingida pela radiação solar. Esta energia acumulada é depois radiada directamente para o interior do edifício a partir da outra face da parede. É possível arejar este espaço através de duas aberturas.

**Ponte Térmica** - Se o isolamento numa casa não for colocado correctamente e de forma contínua a envolver toda a estrutura da casa, criam-se zonas de transição (pontes térmicas), onde vão ocorrer trocas de ar com o exterior, que por sua vez dão origem a condensações, promovendo o aparecimento de bolores.

**Potência** - É a potência nominal de entrada de um equipamento de utilização. Sua unidade é o W (Watt) ou o kW (kilo-Watt).

**Potência instalada** - É a soma das potências de todos os equipamentos de utilização de um dado circuito ou da somatória de diversos circuitos.

**Produto Interno Bruto (PIB)** - Produção final dentro da fronteira de um país de todos os bens e serviços produzidos pelos nacionais e pelos estrangeiros. **PROPRIEDADES TERMO-FÍSICAS** - Propriedades específicas dos materiais, tais como: condutibilidade térmica, densidade, calor específico, coeficiente de absorção, emissividade.

**Radiação** - Energia sob forma de ondas ou partículas electromagnéticas.

**Radiação directa** - Luz solar recebida directamente do sol através de um raio solar.

**Radiação Global** - Radiação solar total que atinge uma superfície sendo igual a soma da radiação directa, da radiação difusa e da radiação reflectida.

**Radiação reflectida** - Parcela da luz solar proveniente da reflexão dos objectos circundantes com edifícios, solo, etc.

**Reflexão** - Retorno da radiação por uma superfície, sem modificação na frequência dos componentes monocromáticos (componentes com um determinado comprimento de onda) que constituem a radiação.

**Regime de Utilização** - Período no qual um ou mais equipamentos estão em funcionamento. O termo também se aplica ao período de utilização de um dado edifício por seus usuários.

**Regulamento Energético** - Ou legislação energética são mecanismos legais em forma de Decretos-Lei voltados à eficiência energética nos edifícios.

**Rendimento** - Em sistemas capazes de fornecer trabalho, o rendimento é a razão entre o trabalho fornecido pelo sistema e a energia fornecida a ele. Termo muito utilizado em sistemas de iluminação artificial na relação lm/Watt.

**Retrofit** - Palavra da língua inglesa significando readaptar ou readaptação. Termo muito utilizado no jargão energético para identificar medidas de reforma nas instalações de um edifício em uso.

**Set Point** - Valor da temperatura de bulbo seco fornecido a um programa de simulação ou a um programa de automação predial, para que a mesma seja mantida pelos equipamentos de condicionamento ambiental.

**Simuladores Energéticos** - Programas de simulação termo-energéticas.

**Solar Térmico** - Sistemas que utilizam a radiação solar principalmente para o aquecimento de águas, podendo também produzir-se vapor e electricidade a partir destes sistemas.

**Tecnologias Activas** - São sistemas complementares às tecnologias passivas que consomem energia para o seu funcionamento. Como exemplo cita-se a iluminação artificial, o resfriamento artificial do ar ou a ventilação artificial.

**Tecnologias Passivas** - São elementos que constituem o edifício e podem contribuir para o seu desempenho térmico e lumínico, sem, entretanto consumir energia eléctrica

ou equivalente. Como exemplos de tecnologias passivas citam-se as envoltentes opacas os envidraçados, a ventilação natural a inércia térmica, o amortecimento térmico, entre outros.

**Varição Paramétricas** - Entende-se por variações paramétricas, as alterações no caso base, de acordo com as decisões de modificações tomadas pela equipa de pesquisa, tendo em vista as possibilidades de melhorias existentes no edifício.

**Vidro Duplo** - Sistema constituído por dois vidros, que devem ter um espaço preenchido com ar entre eles. Este espaçamento entre os vidros permite diminuir a quantidade de calor que atravessa o vidro quer para o interior quer para o exterior da casa, diminuindo os ganhos de calor pelas janelas no Verão, e as perdas no Inverno. A colocação de certos gases, em vez do ar que respiramos, entre os vidros pode reduzir ainda mais as já inferiores trocas de calor pelos vidros.

**WWR** - Do Ingles "window wall ratio". Este coeficiente mede a relação entre as áreas de envoltentes translúcidas e envoltentes opacas.

**Zona de Conforto** - Ponto em que o homem despende a menor quantidade de energia, para se adaptar ao seu ambiente.

**Zénite** - Ponto da esfera terrestre que, relativamente, a cada lugar da Terra, é encontrado pela vertical levantada desse lugar (ponto mais elevado).

## Bibliografia

ADENE/DGE/INETI. (2001) Agua Quente Solar para Portugal.

A GREEN VITRUVIUS, (2001) Comissão Comunidades Europeias, edição portuguesa, - ", Lisboa.

ALCOFORADO, Maria João, "Imagens climáticas da Região de Lisboa", CEG Universidade de Lisboa]

AMARAL, Francisco Keil do [et ai.] - Arquitectura Popular em Portugal. 3a Edição. Lisboa: Centro Editor Livreiro da Ordem dos Arquitectos, 2004. 2 vol.

ARCHITECTURES SOLAIRES EN EUROPE - conceptions, performances, usages. Brussels ; Luxembourg, 1991.

ARQUITECTURA CONTEMPORÂNEA PORTUGUESA XXI. Parede: Unicre - Instituição Financeira de Crédito, S.A.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. - Daylighting in Architecture, A European Reference Book. Hong Kong: James & James (Science Publishers) Ltd, 1993.

BARTELMUS, P. (1994), Environmental Growth and Development, Routledge, London.

BASCHEK, Bodo; UNSÖLD, Albrecht - The New Cosmos. 5a ed. New York: Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York, 2001.

BEATLEY, T. (2000), Green Urbanism, Learning from European Cities, Island Press, Washington.

BENÉVOLO, Leonardo - Historia da Arquitectura Moderna. 3a ed. São Paulo: Editora Perspectiva SA, 2001.

BERGDOLL, Barry; RILEY, Terence; - Mies in Berlin. New York: The Museum of Modern Art, 2001.

BOESIGER, W.; GIRSBERGER, H. - Le Corbusier 1910-65. 7a ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA, 2001.

BRAZ, Renato; GAMA, Pedro; LANHAM, Ana - Arquitectura Bioclimática, Perspectivas de Inovação e Futuro. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2004.

BROGUEIRA, Pedro; Deus, Jorge Dias de; NORONHA, Ana; PENA, Teresa;

PIMENTA, Mário -Introdução à Física. Amadora: McGraw-Hill, 2000.

BROWN, G. Z.; DEKAY, Mark - Sol, Vento & Luz, Estratégias para o Projecto de Arquitectura. 2a ed. São Paulo: Bookman Companhia Editora, 2001.

CABRITO, Pedro; GONÇALVES, Hélder; OLIVEIRA, Marta; PATRÍCIO, Anita - Edifícios Solares Passivos em Portugal. Lisboa: INETI, 1997.

CALLEJA, Rafael Hierro - Granada y Alhambra. Madrid: Ediciones Miguel Sánchez, 2004.

CARVALHO, Licínio - Edificações III. Portimão: ISMAT, 2006. Física das Construções. Portimão: ISMAT, 2004.

CAMELO, Susana, (1995) Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios em Portugal no período de Verão. IST.

CHING, Francis D. K. -Arquitectura, Forma, Espacio y Orden. 12a ed. México: Ediciones G. Gili, SA de CV, 2000.

CONCEPTIONS, PERFORMANCES, USAGES. Brussels [etc]: Architectures Solaires en Europe, 1991.

CUITO, Aurora - Eduardo Souto de Moura. Barcelona: Loft Publications, 2004.

COLARES Pereira, M. (1998). "Energias Renováveis, a Opção Inadiável", SPES - Sociedade Portuguesa de Energia Solar.

DAYLIGHTING IN BUILDING. Dublin: A Thermie Programme Action, the European Commission, Directorate-General for Energy, 1994.

DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA, (2005), "Balanço Energético 1999 e2002", Fevereiro.

DOAK, J. (2000), Consensus-building for environmental sustainability, in Integrating Environment + Economy, Routledge, New York.

DOVERS, S.; Norton, T. (1994), Population, Environment and Sustainability: Reconstructing the Debate in Sustainable Development, Vol.2.

EDIFÍCIO SOLAR XXI. UM EDIFÍCIO ENERGICAMENTE EFICIENTE EM PORTUGAL. Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P. Departamento de Energias Renováveis.

ENERGY EFFICIENT LIGHTING IN BUILDINGS. Watford: A Thermie Programme Action, For the Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy, 1993.

ENERGY EFFICIENT LIGHTING IN HOSPITALS AND CLINICS. Paris: A Thermie Programme Action, For the Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy, 1993.

ENERGY EFFICIENT LIGHTING IN OFFICES. Watford: Thermie Programme Action, For the Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy.

ENERGY EFFICIENT LIGHTING IN OFFICE BUILDINGS. Paris: A Thermie Programme Action, For the Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy, 1993.

ENERGY EFFICIENT LIGHTING IN SCHOOLS. Watford: A Thermie Programme Action, For the Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy, 1993.

ESPOSITO, António; LEONI, Giovanni - Eduardo Souto de Moura. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA, 2003.

FEIO, António - Arquitectura Bioclimática. Porto: Escola Superior de Estudos Industriais e de Gestão, 2006.

FÓRUM, ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PORTUGAL, RELATÓRIO SÍNTESE. Amadora: EDENE / INETI, 2001.

FOSTER, J. (1994), The Vulnerable Planet: A short Economic History of The Environment, Monthly Review Press, New York.

FRAMPTON, Kenneth -Álvaro Siza, Obra Completa. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA, 1999. \_\_Historia Critica da Arquitectura Moderna. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

FURUYAMA, Masao - Tadao Ando. Lisboa: Taschen, 2007.

GALHANO, Fernando; OLIVEIRA, Ernesto Veiga de - Arquitectura Tradicional Portuguesa. 5a ed. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 2003.

GARDENR, J. (1989), Decision Making for Sustainable Development, Selected Approaches to Environmental Assessment and Management, in Environmental Impact Assessment Review, Vol.9.

GERTHSEN, C; KNESER; VOGEL, H. - Física. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.

GONÇALVES, Hélder; NASCIMENTO, Carlos - Prémio DGE 2003, Eficiência Energética em Edifícios. Amadora: DGGE / IP-3E, 2005.

GONÇALVES, Hélder, (1986), Comportamento de Sistemas Solares Passivos em Edifícios, Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, FEUP.

GONÇALVES, Hélder e Maria da Graça , (2004), Conceitos bioclimáticos. Edição INETI.

GONÇALVES, Hélder, (2004). "Ambiente Construído, Clima Urbano e Utilização Racional de Energia nos edifícios da cidade de Lisboa", INETI.

GONÇALVES, Hélder, (2005), Edifício Solar XXI Campus do INETI, Lumiar, INETI. Dezembro.

GONÇALVES, Hélder. (1997), Edifícios Solares Passivos INETI.

GOMES, Ruy José - Condicionamentos climáticos da envolvente dos edifícios para habitação. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1962.

GOULDING, John R.; LEWIS, J. Owen - Bioclimatic Architecture. Dublin: Lior E.E.I.G., 1997.

GONZÁLEZ. F. Janvier Neila (Arquitectura Bioclimática), en un entorno sostenible-munilla-Lería.

GÖSSEL, Peter; LEUTHÄUSER, Gabriele - Arquitectura no Século XX. Lisboa: Taschen, 2001.

GRAÇA, João Mariz, (1999), "Desenvolvimento de um Sistema Pericial para o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios". Tese de Mestrado em Construção, IST. Lisboa.

GRAÇA, João Mariz da, Arq. - Método de avaliação, Parte II - Ordem dos Arquitectos.

JACOBS, M. (1991), The green Economy, Environment, Sustainable Development and the Politics of the Future, Pluto Press, UK.

JODIDIO, Philip-Architecture Now!. Colonia: Taschen, 2001.

\_\_Architecture Now! Vol. 2. Colónia: Taschen, 2003.

LAMBERT, Phyllis - Mies in America. New York: Harry N. Abrams, Inc., Publishers, 2001.

LELÉ, S. (1991), Sustainable Development: A critical Review, in World Development, Vol. 19. UK.

LUPFER, Gilbert; SIGEL, Paul; - Walter Gropius. Lisboa: Taschen, 2006.

MAHLER, Jane Gaston; UPJOHN, Everard M.; WINGERT, Paul S - História Mundial da Arte, Vol. 2. 7a ed. Lisboa: Livraria Bertrand, 1965.

MASCARENHAS, Jorge - Sistemas de Construção, Vol. 2. Lisboa: Livros Horizonte, 2004.

MARTIN, A. (2000), Consensus-building for environmental sustainability, in Integrating Environment + Economy, Routledge, New York.

MARTINE, Alier, J. (1999), The Socio-ecological Embeddedness of Economic Activity: The Emergence of a Transdisciplinary Field, in Sustainability and the Social Sciences, Zed Books, New York.

MENDONÇA, Paulo Jorge Figueira de Almeida Urbano - Habitar sob uma Segunda Pele, Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados. Guimarães: Universidade do Minho, 2005. Tese de doutoramento.

MILLING, Jo, (2000), Strategic environmental assessment and local land-use planning, in Integrating Environment + Economy, Routledge, New York.

MOITA, Francisco . Energia Solar Passiva, Vol. 1 -2, Edição da Imprensa Nacional-Casa da Moeda-DGE.

MOUTINHO, Mário C.(1985) Arquitectura Popular Portuguesa 2<sup>a</sup> ed. Lisboa: Estampa, Nascimento 2006).

MÚLLER, Dominique Gauzin -Arquitectura Ecológica. Barcelona: Editorial Gustavo

NATURAL AND LOW ENERGY COOLING IN BUILDINGS. Píkermi: A Thermie Programme Action, For the Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy, 1994.

NIU, W.; Lu, J.; Khan, A. (1993), Spatial Systems Approach to Sustainable Development: A Conceptual Framework, in Journal Environmental Management, Vol. 17.

NOGUEIRA, T; Pinho, P.(1996), Desenvolvimento Ambientalmente Sustentável, Perspectivas Teóricas sobre a Contribuição do Planeamento Territorial e da Avaliação Ambiental, Universidade de Aveiro, Aveiro.

OLGAYAY, V. and A. Olgyay (1963). Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton, Princeton University Press.

OLGYAY, Victor-Arquitectura y Clima. 3a ed. Barcelona: Editorial Gustavo GILI, SA, 2004.

PAEHLKE, R. (1999), Towards Defining, Measuring and Achieving Sustainability: Tools and Strategies for Environmental Valuation, in Sustainability and the Social Sciences, Zed Books, New York.

PIEDADE, Canha da, (1996) " Conservação de energia em edifícios, in "Térmica de edifícios", ISQ.

PERFIL CLIMÁTICO - PORTUGAL CONTINENTAL. Lisboa: Instituto de Meteorologia, 2005.

PFEIFFER, Bruce Brooks - Frank Lloyd Wright. Lisboa: Taschen, 1991. Frank Lloyd Wright. Lisboa: Taschen, 2006

PRINCÍPIOS E PRÁTICAS DE PROJECTO PARA UMA ARQUITECTURA SUSTENTÁVEL. Portugal: Ordem dos Arquitectos, 2001.

RCCTE - Regulamento da Características do Conforto térmico do Edifícios D.L. 40/90 de 06FEV.

RCCTE (2005) -"Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios".

RSECE. (1998) "Regulamento dos Sistemas Energéticos para Climatização de Edifícios", publicado no decreto-lei D.L. 119/98.

SANOFF, H. (2000), Community Participation Methods in Design and Planning, John Wiley & Sons, Inc. New York.

SIMÕES, Fausto, Arq. - Método de concepção, Parte I - Ordem dos Arquitectos.  
"SLRP- (1994) Programa de Análise Energética de Edifícios com Sistemas Solares Passivo" INETI.

SERRA, Rafael -Arquitectura y Climas. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA, 1999.

SHORTEN, J. (1993), Environmentalism and Sustainable Development, in Contemporary Planning Practice, School of Planning Studies, University of Reading.

TRANSPARENT INSULATION TECHNOLOGY. Oxfordshire: A Thermie Programme Action, For the Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy, 1993.

VITRÚVIO - Tratado de Arquitectura. Trad. de M. Justino Maciel. Lisboa: IST Press, 2006.

WEINER, Jonathan - O Planeta Terra. Lisboa: Gradiva - Publicações, 1987.

WESTON, Richard - Plans, Sections and Elevations, Key Buildings of the Twentieth Century. London: Laurence King Publishing Ltd, 2004.

ZIMMERMAN, Claire- Mies Van der Rohe. Lisboa: Taschen, 2007.

## Referências bibliográficas

ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA- Perspectiva de Inovação e Futuro (Seminário de Inovação) Instituto Superior Técnico.

CABRAL, Maria Inês, Arq. Tese de Mestrado 1999 na Universidade do Arizona, Tucson com "Reabilitação Sustentável de Arquitectura Vernácula para Turismo Ecológico.

CAMELO Susana., Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios em Portugal no período de Verão. Tese de Mestrado, IST.

CCE - (1993) Centro para a Conservação da Energia. "A Gestão da Energia e o Regulamento para a Gestão da Energia". Direcção Geral de Energia.

CCE - (2000) Centro para a Conservação da Energia. "Energia e Ambiente nas Cidades, uma Estratégia Global para a Expo 98". Direcção Geral de Energia.

DIRECÇÃO GERAL DE INERGIA, CCE (2000) - Centro para a Conservação da Energia. "Energia e Ambiente nas Cidades, uma Estratégia Global para a Expo 98".

DIRECÇÃO GERAL DE INERGIA, CCE - "Prémios 2003: Eficiência Energética em Edifícios".

GERTIL, (2002) Faculdade de Arquitectura, "Atlas de Timor Leste", Ed. Ledil, Lisboa,

GONÇALVES, Hélder, (2002) outros, "Fórum das Energias Renováveis em Portugal", Lisboa, ADENE/INETI.

GRAÇA, João Maria, "Consumo Energético O", Arquitectura e Vida nº 35, Fev 2003, pp 30-33

YEANG, (2000), Ken, Arquitectura ecológica: teoria y práctica, Quaderns 225/2000 - "Las escalas de la Sustentabilidade", Collegio d'Arquitects de Catalunya.

MALDONADO, Eduardo. A. E. O. Fernandes, H. Gonçalves. (1987), "Casa Termicamente Optimizada: A Living Laboratory in Oporto. Building Research and Practice. Vol. 15, number 4, July/August.

MOURÃO, Joana Fazenda; BRANCO, João Pedro, (2005 ("Sustentabilidade Ambiental d Habitação e Áreas Residenciais", Lisboa: Ed LNEC.

NEVES, José Manuel das, (2004) Anuário Arquitectura, edições Caleidoscópico.

NOGUEIRA, T. Pinho, P.(1996), "Desenvolvimento Ambientalmente Sustentável Perspectivas Teóricas sobre a Contribuição do Planeamento Territorial e da Avaliação Ambiental", Universidade de Aveiro, Aveiro

PIEIDADE, A. Canha da, Rodrigues, A. Moret, Roriz, A. Luís, (2003) "Climatização e Edifícios: envolvente e comportamento térmico. (28 edição), Edições Orion, Amadora.

PIEIDADE, A. Canha da, (1988) "Principies of Natural Cooling and Solar Control, Kefalonia ISPRA courses.

ROGERS, Richard. (2001) "Cidade para o pequeno Planeta". Barcelona: Ed. Gustavo GJLI.

ROMERO, M. (1988) "Princípios bioclimáticos para o Desenho Urbano". Projecto Editore Associados, São Paulo.

### **Artigos de publicação em série e periódicos**

ARQUITECTURA IBÉRICA - SUSTENTABILIDADE. Casal de Cambra: Caleidoscópio Edição e Artes Gráficas, SA, nº 15. 2006.

2G - REVISTA INTERNACIONAL DE ARQUITECTURA. ARQUITECTURA PORTUGUESA, UNA NUEVA GENERACIÓN. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA, nº 20. 2001.

### **Decretos-lei**

DECRETO-LEI nº 78/2006 D.R. I Série-A. (4 Abr. 2006). DECRETO-LEI nº 80/2006.

D.R. I Série-A. (4 Abr. 2006). PORTARIA nº 461/2007 D.R. II Série (5 Jun. 2007).

### **Referências electrónicas**

ADENE -AGÊNCIA PARA A ENERGIA. <http://www.adene.pt/ADENE/>. Acedido em: 10/05/2009.

ALMA VERDE: <http://www.almaverde.com/index.php>. acedido em 22/03/2009.

CLIMATE ACTION NETWORK, <http://www.climatenetwork.org/>. Acedido em 20/12/2008.

DGE. [http://www.p3e-portugal.com/\\_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf](http://www.p3e-portugal.com/_ficheiros/4/1/EdResidenciais.pdf). Acedido em 20/02/2009.

INETI - INSTITUTO NACIONAL ENGENHARIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, I.P. <http://www.ineti.pt/>. Acedido em 10/01/2009.

INSTITUTO DE METEOROLOGIA, <http://www.meteo.pt/pt/previsao/inicial.jsp>. Acedido em IPSE. <http://kahl.net/ipse/#How%20To>. Acedido em 02/05/2009.

LICÍNIO CARVALHO, RCCTE - DL 80/2006. <http://modulo5rccte.com.sapo.pt/>. Acedido em 02/01/2009.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA,  
<http://wmo.meteo.pt/jsp/wmo.jsp>. Acedido em 28/03/2009.

UCD - ENERGY RESEARCH GROUP, <http://erg.ucd.ie/>. Acedido em: 02/12/2008.

[www.wikipedia.org/wiki/Sol](http://www.wikipedia.org/wiki/Sol). Acedido em: 14/06/2009.

[www.energiasrenovaveis.com](http://www.energiasrenovaveis.com). Acedido em: 14/06/2009.