

# DESENHAR A VERDE

Um estudo comparativo entre a arquitectura sustentável high-tech e low-tech



Eduardo José Marques Almeida

Dissertação de Mestrado

Departamento de Arquitectura - FCTUC

Sob orientação do Prof. Doutor Gonçalo Byrne

Julho 2012

# DESENHAR A VERDE

**Um estudo comparativo entre a arquitectura sustentável high-tech e low-tech**



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Byrne pelo interesse e disponibilidade demonstrado ao longo da realização desta dissertação.

À minha família, principalmente aos meus pais e irmão por todo o apoio, ajuda e carinho ao longo da minha vida e por nunca terem desistido de mim.

À Mary por toda a paciência e apoio que me deu nos últimos anos.

Aos colegas do darq, que me acompanharam ao longo do meu percurso acadêmico, por toda a ajuda e companhia nas situações mais stressantes.

Aos fantasmas e amigos por todo o companheirismo e amizade.



## **Resumo**

Torna-se cada vez mais evidente e urgente uma consciência global da necessidade de proteger o ambiente e minimizar o impacto negativo da actividade humana. A arquitectura tem um papel preponderante neste desafio uma vez que a construção, a utilização e demolição de edifícios envolvem um elevado uso de materiais, energia e produção de resíduos.

O objetivo principal deste estudo é analisar não só a questão da sustentabilidade em edifícios, mas também comparar duas formas distintas de Arquitectura Sustentável, a High-tech e Low-tech, resultantes de dois diferentes contextos históricos, referindo não só as suas características formais, mas também a sua forma de pensar e filosofia. Através desta comparação, pretende-se perceber como se pode projectar de forma sustentável, como se caracterizam na prática os conceitos e mecanismos das diferentes abordagens, de forma a melhor compreender os seus resultados.



## **Abstract**

The global awareness of the necessity to protect the environment and minimize the negative effects of human activities to the Planet is growing ever more urgent and obvious.

Since building, using and demolishing buildings involves high energy and material consumption and waste production, architecture has a major role in facing this challenge before us.

This paper focuses on analyzing not only the issue of sustainability in buildings, but also on the comparison between two distinct styles of sustainable architecture, the high-tech and low-tech. The two are a result of different historic contexts, not only in respect to their formal characteristics, but also the underlying philosophy and reasoning. Through this comparison one can try to understand how to design in a sustainable way and also how are the concepts and mechanisms of these different approaches practically defined in a way that will allow us a better understanding of its results.



# Índice

Introdução .....	11
I – Enquadramento.....	17
II – Arquitectura Sustentável .....	27
2.1 - Eficiência Energética e Energias Renováveis.....	33
2.1.1 - Desenho Solar Passivo .....	37
2.1.2 – Sistemas Activos .....	59
2.2 Eficiência dos materiais e recursos.....	67
III – Da teoria à prática / divergências .....	87
3.1 – Low-Tech.....	103
Arcosanti .....	107
Rural Studio.....	111
Nader Khalili.....	113
3.2 High-Tech.....	115
Norman Foster – Commerzbank, Frankfurt.....	119
Eden Project.....	123
3.3 Posições Intermédias.....	127
2012 Architecten .....	127
Casa em Arruda dos Vinhos – Plano B.....	131
BedZed .....	135
Conclusão .....	139
Bibliografia .....	143



## Introdução

Actualmente, os efeitos das alterações climáticas estão a tornar-se cada vez mais evidentes e é inegável o crescente efeito destrutivo do Homem sobre o nosso planeta. Torna-se cada vez mais urgente uma consciência global da necessidade de proteger o ambiente. O papel da arquitectura neste âmbito é de extrema importância, já que esta tem o potencial de minimizar o impacto ambiental do edificado, provocar alterações na utilização de transportes urbanos e até ser uma influência social positiva.

Ao analisar a prática de princípios sustentáveis na arquitectura observa-se uma divisão entre dois grandes grupos que, apesar de partilharem objectivos, apresentam abordagens radicalmente diferentes, se não opostas. Este conflito centra-se no papel das novas tecnologias no processo de um projecto sustentável. Muitos arquitectos procuram nos desenvolvimentos tecnológicos a solução primordial para a resolução do problema ambiental, não se desligando de uma expressão visual High-Tech, de grandes vãos envidraçados e dramáticas estruturas metálicas, recorrendo a dispositivos sofisticados de elevada eficiência energética. A arquitectura Low-tech critica esta sobrevalorização da tecnologia, optando sempre que possível por técnicas simples ou mesmo vernáculas, adaptadas ao clima e cultura local, pela integração de materiais naturais e locais, procurando uma harmonia com o ambiente natural.

O objectivo principal deste estudo consiste, não só em determinar no que consiste e como se projecta de forma sustentável, mas principalmente analisar e comparar duas formas distintas de arquitectura sustentável, a High-tech e Low-tech. Pretende-se, através dessa comparação, perceber como se pode desenhar de forma sustentável e como se traduzem na prática os conceitos e mecanismos das diferentes abordagens, de forma a melhor compreender os entraves que a sua aplicação à prática acarreta.

A análise parte do enquadramento histórico de cada uma dessas vertentes, com o intuito de compreender o que caracteriza cada uma delas, não só as técnicas e tecnologias associadas ou as suas características formais mas também os seus conceitos e filosofias, os processos que as motivam e, através da análise de exemplos e do percurso de alguns arquitectos, respostas específicas para diferentes problemas, situações e programas. Procura-se assim, perceber os



pontos em que diferem e em que se aproximam, de forma a melhor compreender as controvérsias da arquitectura sustentável.

O crescente interesse geral sobre esta matéria gerou uma enorme quantidade de informação: publicações, artigos, conferências, seminários, entrevistas, campanhas publicitárias e até legislação. Existe também, no entanto, uma grande quantidade de desinformação, de projectos falsamente rotulados como sustentáveis e de empresas que usam o termo como estratégia de marketing.

Até ao momento, não encontrei nenhuma obra que tratasse a arquitectura sustentável a partir de um estudo comparativo entre as práticas de arquitectura low-tech e high-tech. No entanto há bastante informação disponível que se concentra geralmente numa das correntes ou que aborda o tema de forma geral e teórica, por vezes sob a forma de manual, descrevendo um conjunto de técnicas, considerações e processos a ter em conta ao longo de cada fase do ciclo de vida do edifício. Para além disso há já um grande número de arquitectos que adoptaram princípios sustentáveis na sua arquitectura assim como uma quantidade razoável de obras de qualidade arquitectónica que são bons exemplos da aplicação desses princípios.

No entanto, dificilmente se encontra informação precisa e objectiva sobre o impacto ambiental ou o desempenho energético de obras específicas, reconhecidas como sustentáveis, existindo apenas uma descrição de certas características, técnicas ou dispositivos presentes. Como “sustentável” acabou por se tornar um termo banalizado e por ser tão frequentemente utilizado de forma incorrecta, torna-se necessária uma atitude de desconfiança e de investigação.

Enquanto prática em constante evolução e cada vez mais urgente e indispensável à arquitectura, torna-se importante uma análise às várias formas de pensar a sustentabilidade. Sendo uma área com diversas correntes de opinião contraditórias e numa fase ainda relativamente embrionária, considero necessário analisar a eficácia, coerência e fragilidades das várias abordagens, de modo a perceber de que forma esta poderá evoluir no futuro.

Um objectivo secundário será perceber em que sentido está a evoluir a Arquitectura Sustentável, na medida em que cada vez mais se nota uma tendência, em ambas as correntes, de se aproximarem. Assim, torna-se importante explorar abordagens que, não se enquadrando plenamente em nenhuma das



duas analisadas, apresentam características de ambas ou se encontram numa posição intermédia, de compromisso. Estas, localizando-se algures entre os dois polos opostos, constituem um campo de experimentação no qual surgem novas aproximações, meios e objectivos.

Desta forma, o trabalho divide-se em três fases, procurando numa primeira fase fazer um enquadramento dos principais problemas ambientais e esclarecer o conceito de desenvolvimento sustentável. Numa segunda fase aborda-se o tema da arquitectura sustentável procurando esclarecer outros conceitos relacionados como pegada ambiental, eficiência energética e energia incorporada. Pretende-se também abordar os principais factores a ter em conta num processo de um projecto sustentável.

A comparação high-tech/low-tech surge numa terceira fase e parte de uma contextualização histórica e da fundamentação dos conceitos envolvidos em cada uma das correntes, para uma análise dos casos de estudo que exemplifiquem os métodos e considerações principais de um projecto de arquitectura sustentável. Essa análise concentrar-se-á principalmente nos factores ou elementos sustentáveis que motivam a solução de um ponto de vista arquitectónico. Partindo também da análise de casos de estudo, pretende-se explorar a área de experimentação intermédia às duas vertentes principais.



## I – Enquadramento

Desde a revolução industrial e até fins da década de sessenta do século XX, a humanidade pouco se preocupou com o seu impacto no ambiente, pensava-se e agia-se como se os recursos naturais fossem inesgotáveis, e como se os resíduos libertados, quer para a atmosfera, para o solo e para o sistema hídrico, não causassem qualquer dano.

Nos últimos quarenta anos do século XX, a população mundial duplicou (3.000 milhões em 1960 para 6.000 milhões em 1999), atingindo actualmente os 7.000 milhões (2011) e estima-se que em 2050 a população mundial atinja os 9.200 milhões.<sup>1</sup> De mão dada com esta evolução demográfica, está obviamente o crescimento da urbanização. Isto implica um crescimento exponencial na procura e necessidade de mais energia, recursos naturais, água potável, alimentação. Estes factores exercem uma enorme pressão no meio ambiente, visto consumirem recursos e aumentarem os resíduos.

O homem continua a exercer o seu domínio sobre a natureza, a destruir ecossistemas, a esgotar recursos, a poluir o solo, os rios e a atmosfera. Em breve, o aquecimento global, o excessivo crescimento populacional, a poluição, a fome e a falta de água tornar-se-ão graves ameaças à nossa sobrevivência.

O conceito de desenvolvimento sustentável foi definido em 1987 no relatório “Our Common Future” também conhecido por Relatório Brundtland como “(...)o desenvolvimento que encontra as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de encontrarem as suas próprias necessidades.”<sup>2</sup> No entanto, as preocupações ambientais surgiram muito antes, assim como conceitos semelhantes que precedem o de sustentabilidade e no qual ele se baseia. Na década de sessenta haviam já surgido as primeiras comunidades sustentáveis, as ecovilas que ainda hoje são óptimos exemplos de um estilo de vida sustentável, conjugando a dimensão ecológica com a social, cultural e espiritual.

No início da década de setenta, o Clube de Roma num relatório elaborado por uma equipa do MIT intitulado “Os Limites do Crescimento”, alertaram para problemas essenciais relacionados com o crescimento populacional e a crescente pressão nos recursos naturais e energéticos, e com o aumento da poluição.

---

<sup>1</sup> Worldmeters – World Population [Em linha]. [Consult. Julho 2012]. Disponível na internet: <http://www.worldometers.info/world-population>

<sup>2</sup> World Commission on Environment and Development (U.N.) – Our Common Future. [Em Linha]. 1987 [Consult. Julho 2012]. Disponível na internet: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

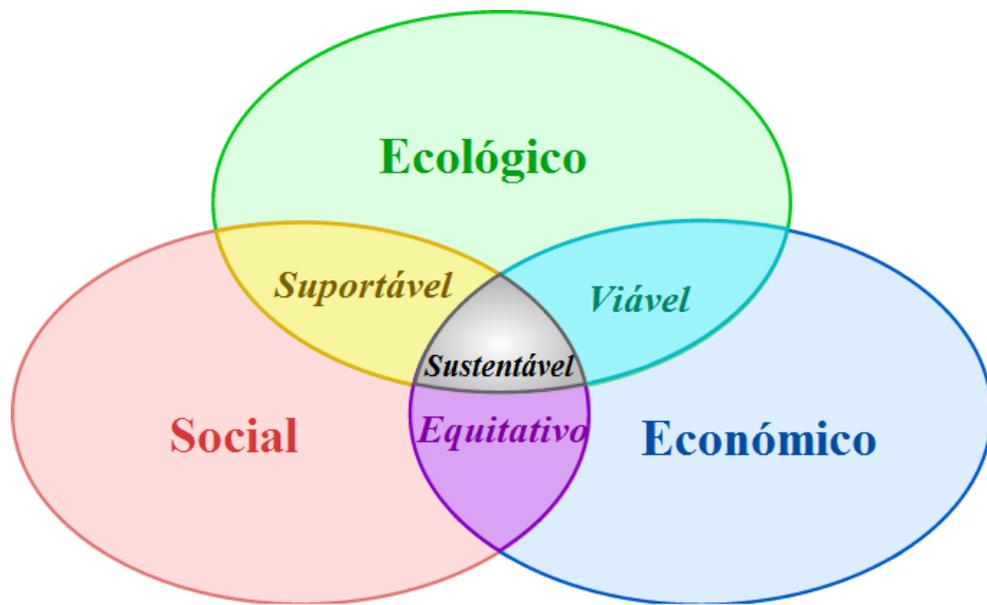


Fig. 1 - Três Pilares da Sustentabilidade

Pouco depois surge o conceito de ecodesenvolvimento, por Maurice Strong e Ignacy Sachs, durante a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Estocolmo, 1972), a qual deu origem ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA. Este termo propôs pela primeira vez um equilíbrio ou compromisso entre um tão desejado crescimento económico e um respeito pelos ecossistemas naturais.<sup>3</sup>

Desde então o conceito desenvolvimento sustentável foi discutido e abordado sucessivamente, numa tentativa de melhor o definir e por em prática: em 1991, no Programa das Nações Unidas para o Ambiente e pelo Fundo Mundial para a Natureza; em 1992 com a Cimeira da Terra, realizada no Rio de Janeiro; em 1994 no ICLEI (International Council for Local Environment Initiatives).

Em 2002 com a Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada em Joanesburgo surge a definição de desenvolvimento sustentável baseada na integração de três áreas chave: desenvolvimento económico, desenvolvimento social e protecção ambiental. Que viriam a formar a base deste conceito enquanto “três pilares interdependentes e mutuamente sustentadores”<sup>4</sup>

O aquecimento global é actualmente uma das questões centrais no discurso da sustentabilidade, na medida em que as alterações climáticas têm consequências futuras, potencialmente desastrosas a nível global. Estas alterações têm origem no aumento do efeito de estufa, por alterações no ciclo de carbono.

A expressão ‘efeito de estufa’ foi referido pela primeira vez por Svante Arrhenius (1859 - 1927), cientista sueco, e galardoada com o Prémio Nobel da Química em 1903, que estudou as mudanças climáticas da Terra, ao longo do tempo geológico, prevendo que a queima de combustíveis fósseis, como o petróleo, aumentaria a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera e levaria ao aumento das temperaturas globais<sup>5</sup>.

O Efeito Estufa é o processo existente no planeta Terra e desempenhado por certos gases existentes na atmosfera, que permite manter a sua temperatura média 30º mais quente do que se não existisse atmosfera. Há muitos gases que

---

<sup>3</sup> LAYRARGUES, Philippe P. - Do Ecodesenvolvimento ao Desenvolvimento Sustentável: Evolução de um Conceito. [Em Linha]. [Consult. Maio 2012] disponível na internet: [http://material.nerea-investiga.org/publicacoes/user\\_35/FICH\\_PT\\_32.pdf](http://material.nerea-investiga.org/publicacoes/user_35/FICH_PT_32.pdf)

<sup>4</sup> World Summit Outcome Document [Em linha]. 2005 [Consult. Maio 2012] disponível na internet: <http://www.who.int/hiv/universalaccess2010/worldsummit.pdf>

<sup>5</sup> Svante Arrhenius. In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2012. [Consult. Maio 2012]. Disponível na internet: [http://www.infopedia.pt/\\$svante-arrhenius](http://www.infopedia.pt/$svante-arrhenius)

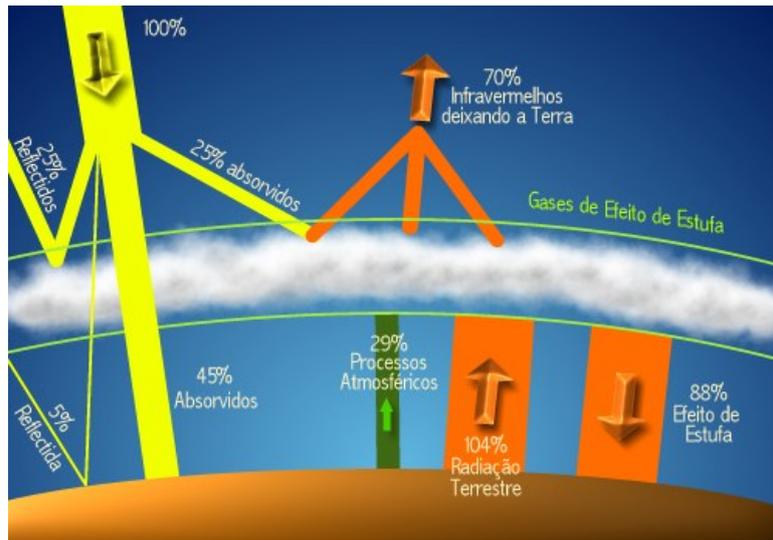


Fig. 2 - Efeito de Estufa

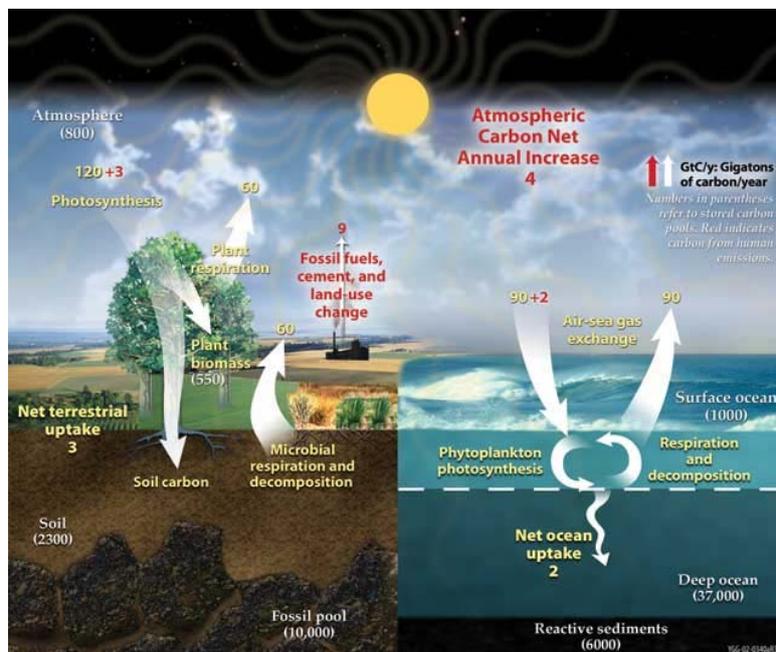


Fig. 3 - Ciclo do Carbono

contribuem para o efeito de estufa, sendo que os mais importantes são o vapor de água e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

De toda a energia solar que atinge a terra, cerca de 50 % é absorvida pelo Planeta, os outros 50 % são irradiados para a atmosfera por reflexão, na forma de radiação infravermelha, uma grande parte desta radiação é devolvida para a superfície terrestre em consequência da acção reflectora dos chamados "Gases de Efeito Estufa", em sucessão tal que no final apenas pouco mais de 10% desta radiação se perde para o espaço.<sup>6</sup> Daqui se conclui que, o efeito de estufa natural é, não só benéfico, mas até essencial para a existência de vida no planeta Terra.

Nos últimos 120 anos com o aumento da população humana e consequentemente com o aumento da poluição atmosférica, a queima de combustíveis fósseis; carvão e petróleo, e a diminuição das florestas, devido ao abate descontrolado de árvores, tem provocado o aumento de CO<sub>2</sub>, na atmosfera e consequentemente a provocar uma alteração climática consubstanciada no aumento médio da temperatura da superfície terrestre, a que se chama aquecimento global.

As maiores consequências do aquecimento global que estão previstas no decorrer do presente século são a subida do nível do mar, a redução das chuvas, o aumento da desertificação e a generalização de uma crise de fome no mundo; a destruição de espécies animais e plantas, que vivem em estuários, deltas e zonas baixas da costa.

Sabendo-se que o dióxido de carbono é o principal responsável pelo aquecimento global, reduzir a sua emissão pode ajudar a resolver o problema. Na sua maior parte, o dióxido de carbono lançado na atmosfera resulta da utilização de combustíveis fósseis para produzir electricidade, a circulação automóvel, indústria e uso doméstico. A redução do consumo de combustíveis fósseis constitui uma solução possível.

Para travar o aquecimento global, é necessário analisar o "ciclo do carbono". O carbono é a espinha dorsal da vida na Terra. Somos feitos de carbono, comemos carbono, as nossas casas, os nossos meios de transporte e tudo o que nos rodeia são compostos por carbono. O ser humano precisa de carbono, no entanto esta

---

<sup>6</sup> NASA, Earth Observatory [Em linha]. [Consult. Maio 2012] Disponível na internet: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming>

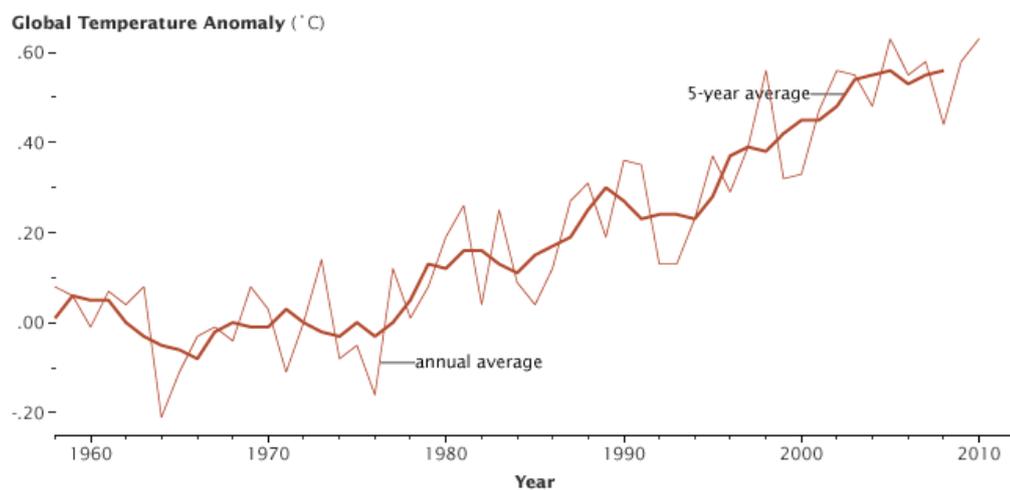


Fig. 4 - Variação da temperatura global

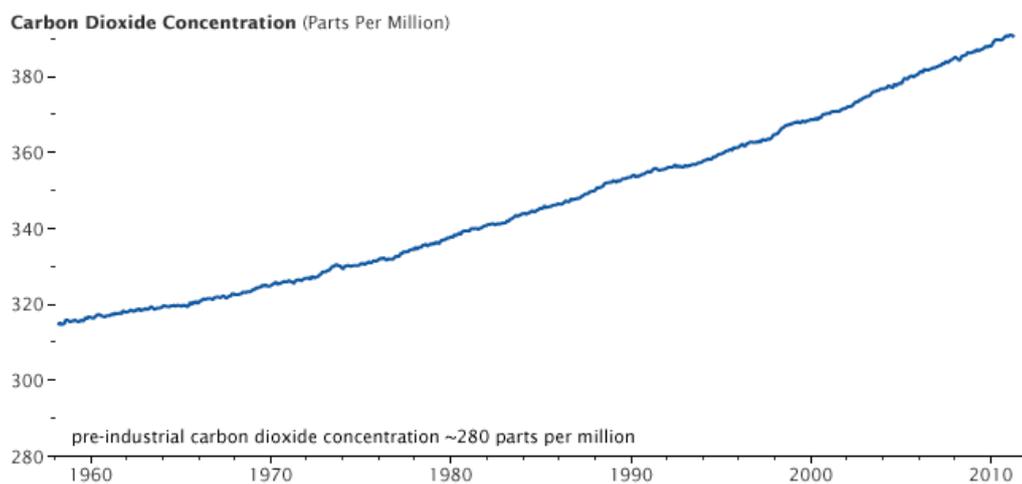


Fig. 5 - Variação da concentração atmosférica de dióxido de carbono

necessidade está entrelaçada com um dos mais graves problemas da actualidade, a mudança climática global.

O carbono flui entre os três reservatórios (atmosférico, terrestre e oceânico) Existem dois ciclos do carbono, o lento ou geológico, cuja renovação ocorre a uma escala de milhões de anos, é o que esteve na origem da formação do sistema solar e da terra.

O ciclo rápido ou biológico (sem intervenção humana), cuja renovação ocorre a cada 20 anos, e tem como base de funcionamento a absorção de CO<sub>2</sub> da atmosfera através da fotossíntese das plantas e árvores e a libertação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera através da respiração de animais e plantas, e da decomposição orgânica.

Existe um ciclo biológico mais longo, que ocorre quando a fotossíntese é superior à respiração retirando CO<sub>2</sub> da atmosfera e lentamente a matéria orgânica forma depósitos sedimentares, que na ausência de oxigénio e ao fim de milhões de anos se transformam em combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural).

A produção e libertação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, resultante essencialmente da queima de combustíveis fósseis, quer nas centrais termoeléctricas para produção de energia eléctrica, meios de transporte e na indústria, provocam desequilíbrio no ciclo do carbono. Como se pode ver na imagem o ciclo natural não consegue absorver toda esta libertação extra de CO<sub>2</sub>, pelo que anualmente são acrescentadas cerca de 4 Gt. de carbono à atmosfera.

Estas alterações ao ciclo do carbono, têm impacto negativo em todos os reservatórios; excesso de carbono na atmosfera aquece o planeta e incrementa o crescimento das plantas, o excesso de carbono nos oceanos torna a água mais ácida, pondo em risco toda a vida marinha.

O aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, provocado pelo homem, aumentou a temperatura média do planeta 0.8° centígrados, desde 1880.

Este aumento médio da temperatura, não é o correspondente ao aquecimento que ocorreria com base no aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, porque os Oceanos, absorvem muita dessa temperatura, e simultaneamente também absorvem cerca de 30% do excesso de CO<sub>2</sub>, produzido pelo homem.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> NASA, Earth Observatory [Em linha]. [Consult. Maio 2012] Disponível na internet: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle>



Em 1997 em Quioto foi constituído um protocolo que é um dos instrumentos jurídicos internacionais mais importantes na luta contra as alterações climáticas, integrando compromissos assumidos pelos países industrializados de reduzirem as suas emissões de gases de efeito de estufa. As emissões totais dos países desenvolvidos devem ser reduzidas em, pelo menos, 5% em relação aos níveis de 1990, durante o período 2008-2012.<sup>8</sup>

Apesar destes esforços as emissões continuam a aumentar todos os anos, sendo os principais responsáveis os Estados Unidos que não ratificaram o protocolo de Quioto e a China que por ser um país em desenvolvimento não teve qualquer meta imposta, tendo construído recentemente um grande número de centrais termoeléctricas a carvão, e aumentado as suas emissões para quase o triplo de 1990, sendo agora o principal responsável com cerca de 24% das emissões globais<sup>9</sup>. Assim, e apesar de alguns países europeus terem demonstrado métodos e políticas relativamente eficazes, numa crescente consciência do que precisa de ser alterado, a situação global continua a piorar, e ainda há uma grande quantidade de actos ignorantes e irresponsáveis que continuam a atacar o nosso planeta. É portanto urgente, não só uma consciencialização do problema, como uma mudança global de atitude.

---

<sup>8</sup> Sitio Web Oficial da União Europeia [Em Linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível na Internet: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/tackling\\_climate\\_change/128060\\_pt.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_pt.htm)

<sup>9</sup> Estimativa da UN para o ano 2009 [Em Linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível na Internet: <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/SeriesDetail.aspx?srid=749&crd=>



## II – Arquitectura Sustentável

A construção do edificado e a sua utilização, são grandes consumidores de recursos naturais e energia e têm um impacto ambiental muito significativo. Apesar de se ter vindo a procurar minimizar este impacto, ainda pouco foi feito de relevante, continuando a ser um sector com grande potencialidade para reduzir de forma muito significativa as emissões globais de gases de efeito de estufa. Desta forma a arquitectura é uma importante ferramenta para um desenvolvimento sustentável, devendo ser um dos principais alvos da reforma ecológica. A generalização de princípios sustentáveis na arquitectura pode ter um impacto positivo de muitas formas, não só na redução das emissões de CO<sub>2</sub> e na utilização de recursos directa e indirectamente ligadas ao projecto em si, mas também na mediatização desses princípios sustentáveis, na divulgação de uma consciência ecológica na sociedade e até na promoção de desenvolvimento de inovações tecnológicas e técnicas construtivas sustentáveis.

“As questões ambientais afectam a arquitectura a todos os níveis. Os edifícios consomem metade da energia utilizada no mundo desenvolvido, enquanto outro quarto é usado nos transportes. Os arquitectos não podem resolver todos os problemas ecológicos do mundo, mas podemos projectar edifícios para consumirem uma fracção de níveis de energia actuais e podemos influenciar os padrões de transporte através de planeamento urbano. A localização e a função de um edifício, a sua flexibilidade e longevidade, a sua orientação, a sua forma e estrutura; os seus sistemas de aquecimento e ventilação, e os materiais utilizados, todos têm impacto sobre a quantidade de energia usada para o construir, utilizar e manter, e nas viagens de e para ele”<sup>10</sup>

Apesar de se encontrarem já no vocabulário corrente da arquitectura termos como sustentável, bioclimático, e arquitectura ecológica ou verde, estes nem sempre são utilizados de forma correcta e com plena compreensão do seu significado, correndo o risco de os tornar em meros rótulos sem conteúdo. Embora

---

<sup>10</sup> FOSTER, Norman - Architecture and Sustainability [Em Linha] 2003 [Consult. em Maio 2012] Disponível na internet: <http://www.fosterandpartners.com> - “Environmental issues affect architecture at every level. Buildings consume half the energy used in the developed world, while another quarter is used for transport. Architects cannot solve all the world’s ecological problems, but we can design buildings to run at a fraction of current energy levels and we can influence transport patterns through urban planning. The location and function of a building; its flexibility and life-span; its orientation, its form and structure; its heating and ventilation systems, and the materials used, all impact upon the amount of energy used to build, run and maintain it, and to travel to and from it.”



semelhantes, o termo sustentável apresenta um âmbito mais abrangente, aliando preocupações ecológicas a uma integração sociocultural e a considerações económicas, e não se limitando a procurar maximizar a eficiência energética, e o desempenho térmico, mas propondo “(...) a criação e operação de um ambiente construído saudável, baseado na eficiência de recursos e num design ecológico.” Esta definição foi apresentada pelo Conselho Internacional da Construção (CIB) em 1994 que articulou também os seguintes princípios para uma construção sustentável: reduzir o consumo de recursos; reutilizar recursos; utilizar recursos recicláveis; proteger a natureza; eliminar tóxicos; aplicar análise do ciclo de vida em termos económicos; ênfase na qualidade.<sup>11</sup>

Não é fácil definir arquitectura sustentável, não se pode considerar um movimento, nem um estilo, nem uma moda, é no fundo, o reconhecer de um novo conjunto de problemas, associados ao acto de projectar e construir que até aqui não havíamos reconhecido. É uma tentativa de revisão da própria disciplina de forma a integrar as preocupações actuais com as consequências das actividades humanas sobre o ambiente. Por isso considero interessante a integração da sustentabilidade na arquitectura como um novo pilar da tríade vitruviana (utilitas, firmitas e venustas), como proposto na seguinte definição:

“À tríade vitruviana que integra a comodidade, a solidez e a “beleza” postulamos a adição de um quarto ideal: restitutas ou restituição, restauração, restabelecimentos: segundo o qual o acto de edificar valoriza o meio ambiente, local e global, num sentido ecológico e não só visual.”<sup>12</sup>

O mais interessante nesta integração é o entendimento da sustentabilidade como parte integrante do processo arquitectónico, não sendo algo que possa ser adicionado *à posteriori*. Mas algo que “pesa” nas várias fases de cada projecto e que, tendo uma importância fundamental, não obscura os outros pilares da tríade. Deste modo, pode-se depreender que a qualidade de um projecto de arquitectura estará também dependente da sua capacidade para responder as questões ambientais. Por outro lado, levanta também a questão da sustentabilidade de um edifício que, respondendo exemplarmente às questões ambientais, não o faz satisfatoriamente em relação a um dos outros pilares.

---

<sup>11</sup> Kibert, Charles J. – Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery

<sup>12</sup> A Green Vitruvius Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura Sustentavel. prefácio



A questão ambiental mais vulgarmente associada à sustentabilidade é a mitigação do aquecimento global talvez por ser mais recente e com consequências globais com mais implicações a medio e longo prazo. Esta, não sendo a única, toma geralmente um papel central no discurso da sustentabilidade. No entanto muitas vezes não se assume uma perspectiva de toda a vida do edifício, considerando apenas a eficiência energética na utilização do edifício, ou seja, as emissões de gases de efeito de estufa relacionados com a produção da energia eléctrica utilizada, e com a combustão de combustíveis fósseis (p.e. utilização doméstica de gás natural). Apesar de esta fase ser talvez a mais importante, na qual acontecem geralmente a maior parte das emissões, é fundamental ter uma perspectiva que englobe todas as fases do ciclo de vida do edifício. Ou seja, a construção, a operação e manutenção, possibilidade de sucessivas reabilitações, e a sua eventual demolição ou desconstrução. Para além disso, e sempre com uma perspectiva de ciclo de vida, há outras questões que entram no âmbito da sustentabilidade.

A poluição, a conservação de recursos, a biodiversidade e ecossistemas locais são outras preocupações ambientais importantes que por vezes são negligenciadas. Para além das preocupações ambientais é necessário considerar também a integração do projecto no contexto social e cultural e factores económicos como eficiência de custos e retorno de investimento (economia de ciclo de vida). Outras questões geralmente abordadas são também o conforto (acústico, visual e térmico) e saúde dos ocupantes, e a longevidade do edifício.



## 2.1 - Eficiência Energética e Energias Renováveis

A eficiência energética consiste na minimização das necessidades energéticas de um edifício, mantendo ou melhorando o nível de conforto dos ocupantes. O seu objectivo principal é a mitigação do aquecimento global, reduzindo as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), relacionadas com a produção de energia eléctrica ou com a utilização directa de combustíveis fósseis no edifício. Ou seja, partindo do princípio que a energia utilizada é gerada, na sua maioria, a partir de combustíveis fósseis, e que nos edifícios actuais a sua utilização é ineficiente, desenvolvem-se estratégias de racionalização da energia operativa, que permitam sem um grande investimento adicional inicial reduzir drasticamente o consumo energético de um edifício.

O desempenho energético tem um carácter técnico e é mensurável, não está necessariamente ligada ao consumo real, pois esse pode variar de acordo com o utilizador. Pode ser expresso numa medida absoluta do consumo (ex. kWh/m<sup>2</sup>) reflectindo um valor real de consumo, ou pode ser calculado de acordo com a capacidade do edificio de responder a uma utilização padrão, sendo expresso numa medida relativa a um valor de referência (rácio ou percentagem) de acordo com a tipologia e função.

No entanto, essa energia não corresponde obrigatoriamente a um determinado valor de emissões, ou impacto ambiental, para isso é necessário considerar a fonte de energia.

A electricidade em si não é uma fonte primária de energia, mas sim um meio de transporte de energia, as emissões variam com o distribuidor, com as tecnologias de geração, a sua eficiência e com as perdas na transmissão. Por exemplo, em Portugal em 2011 (segundo a EDP), as emissões de GEE relacionados com a geração de electricidade, variaram entre 283 g/kWh (Abril) e 525 g/kWh (Setembro), com mais de metade da energia de fonte renovável (64% em 2011).<sup>13</sup>

Essas tecnologias ou fontes de energia dividem-se geralmente em dois grupos. As convencionais ou não renováveis, que geram a electricidade em centrais termo-electricas a partir de combustíveis fósseis (derivados de petróleo, carvão, gás natural) ou a partir da fissão nuclear do urânio; caracterizam-se pela utilização de recursos finitos, pela emissão de resíduos poluentes e de gases de efeito de estufa

---

<sup>13</sup>[Em Linha] [Consult. Maio 2012]. Disponível em: [www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/energiasrenovaveis](http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/energiasrenovaveis)



(à excepção da nuclear) e por perigos acentuados à saúde humana. As renováveis caracterizam-se por utilizarem recursos abundantes que sejam repostos naturalmente; como a energia solar, eólica (vento), hídrica (água), das ondas, das marés, biomassa (lenha, resíduos florestais, biogás) e geotérmica. Estas são mais seguras, têm um impacto ambiental mais reduzido, as emissões de GEE e poluentes durante a operação e manutenção são diminutas e decorrem quase exclusivamente na sua construção (excepto geotérmica).

As energias renováveis, principalmente a solar e a eólica têm a grande desvantagem de terem uma produção irregular, dependente das condições climáticas. Esse facto obriga à existência de fontes complementares (não renováveis) ou mecanismos de armazenamento de energia (geralmente demasiado caros ou ineficientes) como por exemplo a bombagem de água nas barragens<sup>14</sup> ou centrais solares térmicas com armazenamento em sais a alta temperatura<sup>15</sup>.

A uma menor escala, de integração nos edifícios, as tecnologias renováveis mais utilizadas são os painéis solares térmicos e sistemas de biomassa para climatização e águas quentes sanitárias ou painéis fotovoltaicos e pequenos geradores eólicos, em sistemas de microgeração eléctrica em que o excedente é vendido à rede.

No entanto, a energia mais utilizada por todos os edifícios é a energia solar, obtida directamente a partir dos vãos envidraçados, sob a forma de ganhos solares térmicos (nem sempre desejados) e iluminação natural. O conjunto de técnicas utilizadas para melhor aproveitar essa energia com o mínimo de interferência dos utentes, designa-se geralmente por desenho solar passivo. Os sistemas baseados em tecnologias mais complexas ou de operação automatizada designam-se por activos.

---

<sup>14</sup> [Em Linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível na Internet: [http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros\\_produtores/complementariedade\\_hidroeolica\\_he.php](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/complementariedade_hidroeolica_he.php)

<sup>15</sup> [Em Linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível na Internet: <http://www.torresolenergy.com>

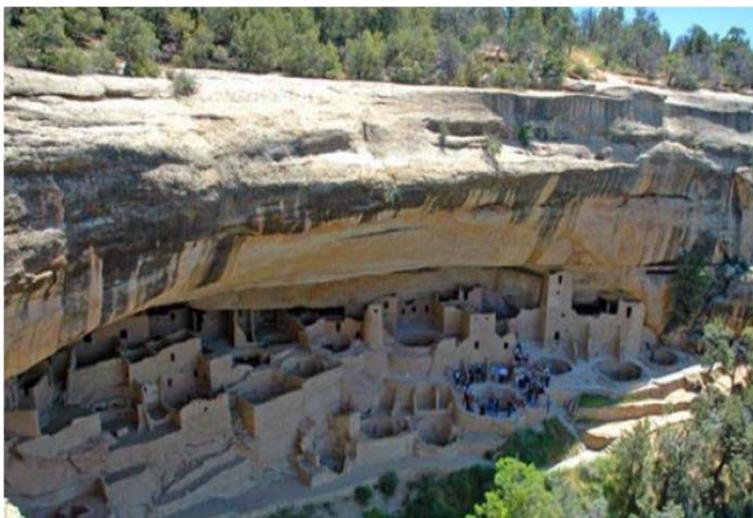
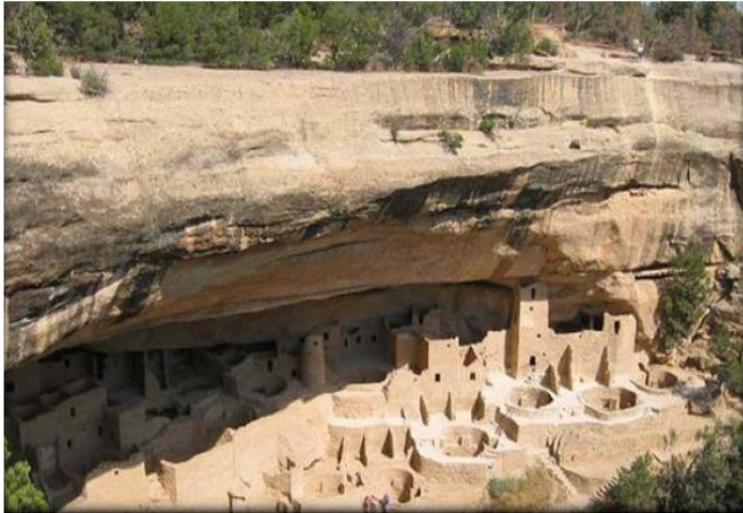


Fig. 6 - Cliff Palace, Parque Nacional de Mesa Verde, Estados Unidos, Colorado, cerca 1200 d.C.

### 2.1.1 - Desenho Solar Passivo

O uso passivo de energia prende-se com a capacidade de um edifício de captar (aberturas), armazenar (massa térmica) e conservar (isolamento) os ganhos solares e também, quando estes não são desejados, de se proteger (sombreamento), e de os dissipar (ventilação). Pretende-se, através do desenho, rentabilizar a energia directa solar, do vento ou da água; protegendo os ocupantes e favorecendo o conforto térmico e visual.

As linhas directrizes de um desenho passivo estão patentes nos princípios da arquitectura bioclimática que propõe um desenho dos edifícios tendo em consideração a envolvência climatérica, e as características ambientais do local em que se insere (sol, chuva, vento, vegetação). Grande parte das técnicas usadas é baseada na arquitectura vernacular, ou pelo menos numa revisão dessas técnicas ou princípios.

O desenho foca-se principalmente em três áreas, aquecimento, arrefecimento e iluminação. No entanto a importância de cada uma delas pode variar, não só com a latitude, o clima e microclima, mas também com a função do edifício (e de cada um dos espaços). Assim as considerações iniciais passam por avaliar as condições climatéricas locais, o percurso do sol, os ventos predominantes, e as necessidades dos utilizadores a nível de conforto, de acordo com a função do edifício e com os períodos de utilização.

#### **Orientação e Implantação**

A forma e a orientação de um edifício são preponderantes para a eficácia de um desenho solar passivo, e a sua correcta concepção poderá diminuir o consumo energético de um edifício entre 30 a 40%<sup>16</sup>. Há diversos factores a considerar na implantação de um edifício: o envolvente construído, topografia, vegetação e paisagem, o clima e ventos predominantes, entre outros.

A forma como um edifício deve, sempre que possível, orientar-se em relação ao percurso do sol, e como a sua forma responde às condições climatéricas, não é apenas uma resposta às recentes preocupações ambientais. Já no século V a.C., o filósofo grego Sócrates propunha esse tipo de considerações na construção.

---

<sup>16</sup> A Green Vitruvius: Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura Sustentável. Lisboa: Ordem dos arquitectos, 2001 p.60



“Se as casas estão orientadas a sul, durante o Inverno, o sol bate-lhes nos pórticos e, no Verão, dá-nos sombra ao passar sobre as nossas cabeças e sobre os telhados. Assim, se considerarmos esta a melhor disposição, devem construir-se as partes mais altas viradas para sul, para não tapar o sol durante o Inverno, e as partes mais baixas devem orientar-se a norte, para ficarem abrigadas dos ventos frios. Ou seja, a casa mais agradável e a melhor seria provavelmente aquela em que o dono pudesse recolher-se com gosto em qualquer das estações do ano e na qual os seus bens pudessem estar mais protegidos”<sup>17</sup>

Assim, as aberturas envidraçadas a sul devem ser privilegiadas (no hemisfério norte) devido à variação do ângulo de incidência do sol ao longo do ano. Ou seja, as superfícies numa fachada sul recebem mais radiação solar durante o inverno e menos no verão, para além disso é fácil evitar a radiação directa no verão com recurso a elementos como palas, ou com avanço da cobertura. As superfícies a nascente e poente, pelo contrário, recebem mais radiação no verão e menos no inverno. Essa radiação é mais difícil de sombrear por ter um baixo ângulo de incidência, podendo provocar sobreaquecimento.

Consequentemente é também privilegiada uma implantação sobre o eixo este-oeste, de forma a maximizar a fachada sul. A organização dos espaços deverá contemplar as necessidades de aquecimento, iluminação e ventilação dos mesmos, de acordo com as diferentes funções. Os espaços que requerem maiores ganhos de calor deverão estar orientados ao sul verdadeiro (com desvio até 15°), protegidos do norte por espaços tampão que não requerem aquecimento.<sup>18</sup>

Apesar das complexidades inerentes ao processo de desenho, para manutenção da temperatura interior interessam formas simples e compactas, reduzindo as superfícies exteriores e as conseqüentes perdas de calor. Da mesma maneira, as formas agrupadas são mais eficientes, por terem menos paredes em contacto com o exterior. Por exemplo, no caso da construção residencial, para a mesma área, os apartamentos são os que utilizam menos energia, seguidos das casas em banda, depois as geminadas, e por fim as moradias que são as menos eficientes.<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> XENOFONTE – Memoráveis. Livro III Cap.VIII. Tradução Ana Elias Pinheiro. Coimbra: Centro de Estudos Clássicos e Humanísticos da Universidade de Coimbra, 2009

<sup>18</sup> A Green Vitruvius, op. cit. p.60

<sup>19</sup> Barton, H., Davies, G. e Guise, R. – Sustainable Settlements – A Guide for Planners Designers and Developers, Luton, Local Government Management Board 1995



## Massa Térmica

A utilização de massa térmica útil no edifício constitui uma escolha inicial que caracterizará a solução construtiva utilizada. Um edifício pode-se definir de acordo com a sua inércia térmica como “leve” ou “pesado”.<sup>20</sup>

A reduzida inércia térmica de um edifício (“leve”) permite que, por acção de uma fonte de calor, um espaço seja aquecido rapidamente. No entanto ao ser retirada essa fonte, arrefece também rapidamente, uma vez que os materiais utilizados não retêm esse calor. Os edifícios com pouca inercia térmica são construídos de materiais leves, por exemplo estrutura de madeira ou metálica e painéis leves de revestimento como gesso cartonado. Este tipo de construção proporciona uma rápida resposta térmica, no entanto, origina grandes oscilações de temperatura e amplitudes térmicas. Desta forma há uma grande necessidade de controlar perdas de calor por ventilação e pontes térmicas, e um cuidado dimensionamento de vãos de modo a evitar sobreaquecimento. Este tipo de sistema coaduna-se mais com um tipo de uso sazonal ou intermitente.<sup>21</sup>

Num edifício de elevada inércia térmica (“pesado”) a massa dos elementos actua como um reservatório de calor, provocando um atraso entre o fornecimento de calor e o aumento da temperatura do espaço interior, limitando as oscilações de temperatura diárias. Estes edifícios são construídos geralmente com materiais pesados como o betão, alvenarias ou terra. Estas estruturas são as mais apropriadas para utilizar a energia solar, acumulando os ganhos solares durante o dia e libertando-os durante a noite. No entanto, para a massa térmica ser eficaz não deve ser isolada termicamente do ar interior, e deve ser dispersa pelas superfícies disponíveis, na medida em que o aumento de espessura não é muito eficaz.<sup>22</sup>

Ambas as escolhas têm as suas vantagens, embora a elevada massa térmica permita uma melhor captação dos ganhos solares, as soluções de baixa inercia térmica têm um maior potencial de optimização, economia e flexibilidade.

---

<sup>20</sup> MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Sustentabilidade ambiental da habitação. p.94

<sup>21</sup> *Ibidem*

<sup>22</sup> *Ibidem*



## Isolamento

A constituição do invólucro de um edifício é fundamental para o seu desempenho já que constitui a separação entre o interior e exterior. O comportamento térmico desejável será aquele que permita conservar a temperatura interior, minimizando as indesejáveis transferências térmicas com o exterior. Esse desempenho depende não só da quantidade e da qualidade do material de isolamento mas também da técnica e qualidade da aplicação, da correcção de pontes térmicas, e numa pormenorização que evite problemas de ventilação, condensações e infiltrações incontroladas.

As necessidades de desempenho térmico do invólucro variam com a localização e clima, e reflectem-se nos elementos transparentes e opacos do edifício, que devem ser seleccionados e dimensionados de acordo com o desempenho requerido.

Na constituição dos elementos opacos, a posição ocupada pelo isolamento, constitui uma decisão relacionada com a inércia térmica, que é influenciada por padrões de ocupação e pelo tempo de resposta do sistema de aquecimento que se pretende.

Ao posicionar o isolamento na face interior da parede, separa-se a massa térmica do espaço interior, não se tirando partido da mesma. Desta forma, obtém-se uma baixa inercia térmica que se não for o pretendido, se terá de compensar com massa térmica útil noutros elementos do espaço, Para além disso, surgem problemas de detalhe relacionados com as pontes térmicas e condensações.<sup>23</sup>

O isolamento pelo exterior permite tirar partido da totalidade da massa térmica da parede, obtendo-se as características de um edifício “pesado” descritas anteriormente. Este sistema reduz substancialmente os problemas com as pontes térmicas, no entanto, sujeita as camadas de acabamento exteriores a grandes flutuações de temperatura e consequentes movimentos e esforços térmicos, que poderão levar a uma degradação do material.<sup>24</sup>

A colocação do isolamento na caixa de ar de uma parede dupla, preenchendo-a total ou parcialmente, tem sido um procedimento muito utilizado em algumas partes da Europa (nomeadamente Portugal). Este sistema disponibiliza parte da

---

<sup>23</sup> A Green Vitruvius, op. cit., p.65

<sup>24</sup> *Ibidem*



massa térmica da parede e reduz consideravelmente o risco de condensações no interior do edifício.<sup>25</sup>

Apesar do sistema de paredes duplas com o isolamento na caixa de ar ser o mais utilizado (em Portugal) o sistema de isolamento pelo exterior começa-se a generalizar em construções mais recentes pela facilidade de resolver pontes térmicas e pela menor espessura da parede exterior. O isolamento pelo interior é mais utilizado em reabilitações, ou noutras situações em que interessa manter o material construtivo à vista nas fachadas (por exemplo: pedra, betão, tijolo burro).

Os elementos envidraçados do invólucro, apesar de permitirem os ganhos solares, constituem um ponto crítico no isolamento do espaço interior. O desenho dos envidraçados resulta de um equilíbrio das necessidades respectivas de aquecimento, arrefecimento e iluminação natural. É necessário satisfazer necessidades que por vezes estão em conflito, como por exemplo: permitir o aquecimento controlando o encandeamento, fornecer luz natural sem causar sobreaquecimento, ou garantir vistas para o envolvente sem comprometer a privacidade e a segurança.<sup>26</sup>

Actualmente existem bastantes desenvolvimentos tecnológicos disponíveis que permitem aumentar consideravelmente o desempenho térmico destes elementos em relação ao vidro simples, como por exemplo vidros duplos e triplos, filtros solares, revestimentos baixo-emissivos e preenchimento de árgon na caixa de ar.

Para além do vidro em si, os caixilhos e vedantes são também importantes nas características térmicas do vão, havendo também nesta área diversas tecnologias disponíveis, assim como estratégias de desenho relativas aos vários materiais possíveis, que permitem aumentar o desempenho térmico do caixilho, e diminuir os ganhos e perdas por infiltração.

Nos países com invernos mais rigorosos começa a generalizar-se um tipo de construção super-isolada. Estas construções são geralmente num tipo de construção leve, com estrutura em madeira e caracterizam-se por elevados níveis de isolamento e uma construção cuidadosa, nomeadamente em relação as pontes térmicas.

O sistema alemão Passivhaus baseia-se neste princípio de super-isolamento, com o objectivo de atingir uma elevada eficiência energética a nível da climatização.

---

<sup>25</sup> *Ibidem*

<sup>26</sup> *Ibidem*, p. 68

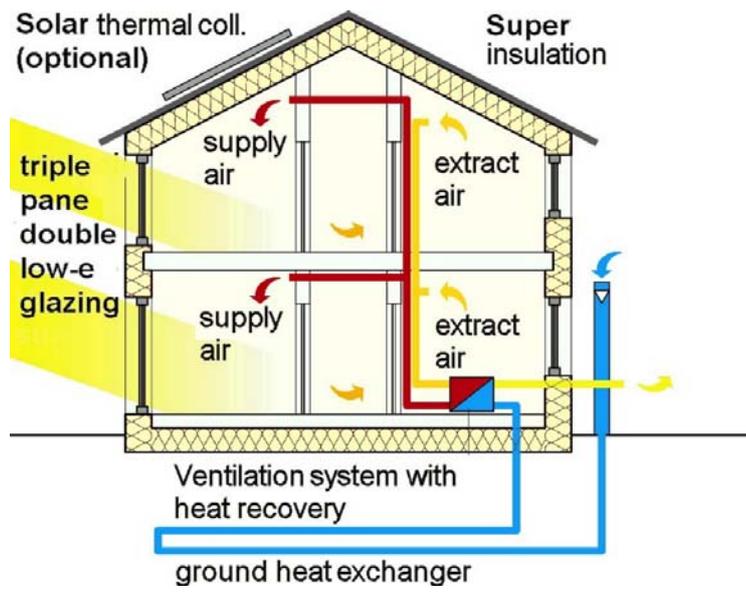


Fig. 7 - Sistema Passivhaus

Este método, que é simultaneamente um rigoroso sistema de certificação, propõe aliar estratégias passivas como altos níveis de isolamento, impermeabilidade ao ar, e boa orientação e dimensionamento dos vãos a um sistema activo de ventilação mecânica com recuperação de calor, que permite que o ar seja renovado e aquecido de forma activa mas eficiente. Apesar de este sistema ter sido desenvolvido para países do centro e norte da Europa, tem-se revelado também eficaz em países com climas mais quentes. Neste caso poder-se-á reduzir o nível de isolamento mas serão, no entanto, necessárias preocupações acrescidas com o sobreaquecimento, através de elementos de sombreamento e adequando o sistema de ventilação para possibilitar o arrefecimento, humedificação ou desumidificação do ar.<sup>27</sup>

### **Iluminação e Sombreamento**

A luz tem um papel fundamental na arquitectura, é uma das ferramentas mais importantes do arquitecto e constitui uma base ou matéria-prima da disciplina.

No contexto da sustentabilidade a utilização da luz natural num espaço é associada não só a poupanças energéticas mas também a um grande número de vantagens como qualidade espacial, conforto visual e psicológico, saúde. Ao contrário da luz artificial, a luz natural é composta pelo espectro completo de ondas electromagnéticas. Esta tem um papel fundamental no controle de processos fisiológicos, na sincronização do relógio biológico, síntese de vitamina D e até afecta o sistema imunitário. Estudos sobre os efeitos da luz natural nos ocupantes de edifícios de ocupação diurna prolongada (escolas, escritórios, comércio, serviços de saúde e ambientes zaindustriais) revelam diversas vantagens fisiológicas e psicológicas: redução de problemas de saúde (ex: cáries, dores de cabeça, depressões), sensação de bem-estar e melhoria do humor, aumento da rentabilidade escolar, e até vantagens económicas consideráveis como aumento de produtividade, da qualidade dos produtos e das vendas.<sup>28</sup>

Fazem parte do vocabulário da arquitectura conceitos de certa forma abstratos como “esculpir” com a luz, a luz como matéria-prima, ou jogos de luz. No entanto há que distinguir a luz enquanto ferramenta plástica ou escultórica e a sua funcionalidade enquanto iluminação natural, que pretende reduzir a utilização de

---

<sup>27</sup> [Em Linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível na Internet: [www.passiv.de](http://www.passiv.de)

<sup>28</sup> Edwards, L. & Torcellini P. – A Literature Review of the effects of Natural Light on Building Occupants.

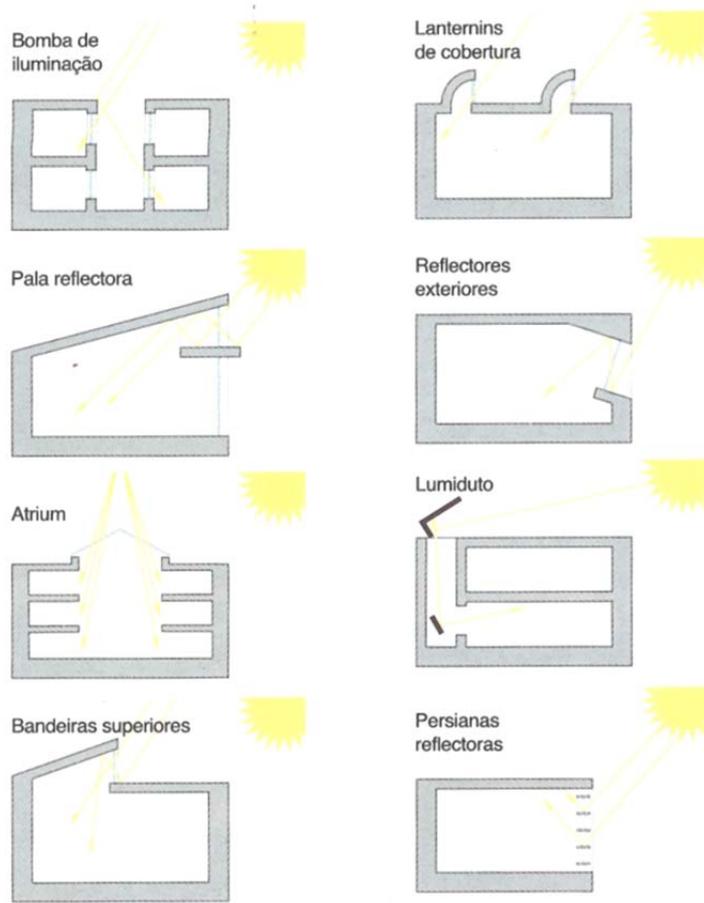


Fig. 8 - Sistemas e dispositivos de iluminação natural

luz artificial. Neste sentido, é necessário ter em conta a função do espaço, de forma a adequar a intensidade e qualidade de luz.

A percepção da quantidade de luz de um espaço diminui com o aumento do contraste, se num mesmo espaço há zonas de iluminação muito intensa, nas zonas restantes ter-se-á uma percepção errada de iluminação insuficiente. Desta forma, para criar um conforto visual necessário a determinadas actividades, a distribuição uniforme da luz através do espaço, é por vezes mais importante que a quantidade de luz que nele entra.<sup>29</sup> Assim, principalmente para espaços de leitura ou de trabalho, torna-se necessário bloquear, difundir ou reflectir a radiação solar directa, e aproveitar a luz indirecta ou difusa vinda do exterior.

A distribuição da luz num determinado espaço, está dependente não só da dimensão e posição dos vãos (janelas mais altas permitem uma maior penetração solar), mas também da sua orientação, das características dos envidraçados, da profundidade do espaço e da cor das superfícies presentes nesse espaço. Para além disso há um grande número de sistemas ou dispositivos que permitem não só controlar a intensidade e aumentar a distribuição de luz num espaço, mas que também abrangem outras considerações como sobreaquecimento, brilho excessivo, perdas térmicas, vistas e privacidade.

Os sistemas sombreadores têm como objectivo principal, controlar a intensidade da radiação solar que entra num determinado espaço, reduzindo o sobreaquecimento e encandeamento. Existe, actualmente, uma variedade cada vez maior de sistemas sombreadores disponíveis que podem ser definidos como fixos ou móveis, interiores ou exteriores. Os sistemas fixos, como por exemplo palas (horizontais e verticais), galerias e arcadas, são geralmente exteriores e a sua eficácia está dependente de um desenho e dimensionamento cuidado, de acordo com a orientação e o percurso solar. Têm a desvantagem de diminuir a iluminação em alturas do dia ou do ano em que esse sistema não seria necessário.

Os dispositivos móveis, como por exemplo estores de lâminas, portadas e persianas, têm a vantagem de se poderem adaptar à intensidade e direcção dos raios solares, de acordo com as necessidades dos utilizadores. Estes sistemas são mais eficazes pelo exterior, porque bloqueiam ou reflectem os raios solares antes destes atravessarem o vidro, protegendo-o de condensações (inverno) e de tensões térmicas e efeito de estufa (verão). Quando usados interiormente possuem,

---

<sup>29</sup> A Green Vitruvius, op. cit., p.28

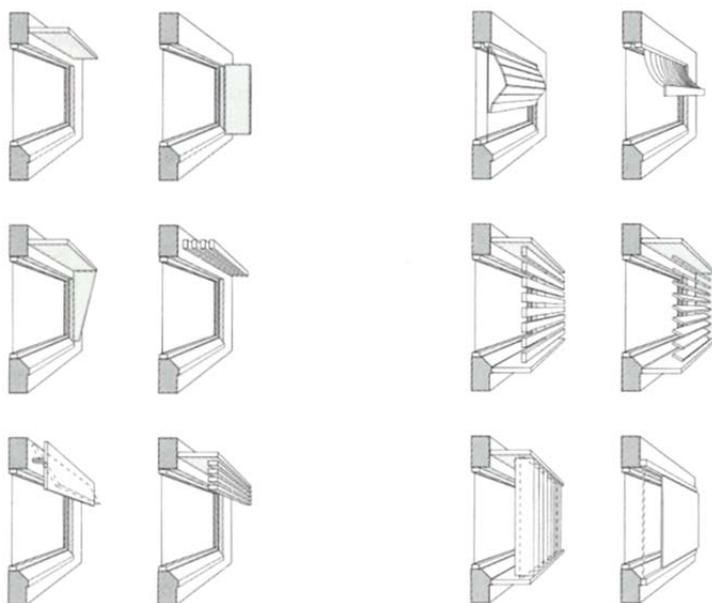


Fig. 9 - Dispositivos de sombramento pelo exterior

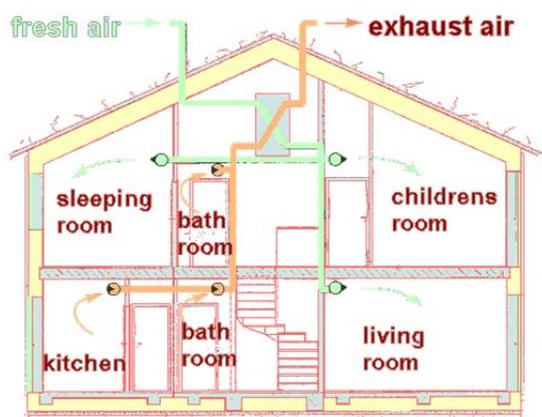


Fig. 10 - Esquema de ventilação com recuperação de calor (Passivhaus)

no entanto, algumas vantagens, como a facilidade de manuseamento e manutenção, e não havendo a necessidade de serem tão robustos para suportarem condições exteriores, têm geralmente um custo mais reduzido.

Para além dos elementos sombreadores, existem dispositivos com o objectivo de distribuir a luz solar uniformemente, reflectindo-a para o tecto e para o fundo do espaço. Esses dispositivos podem ser simples palas ou lâminas reflectoras, ou sistemas mais avançados como estruturas anidólicas, vidros prismáticos ou cortados a laser (LCP- Lazer Cut deflecting Panels), dispositivos holográficos ou heliostáticos e até sistemas que transportam a luz através de lumiductos, ou fibra óptica. Os sistemas mais complexos operáveis, podem ter uma operação manual ou automatizada. Estes dependem de controlos computadorizados e instrumentos de monitorização que adaptam o sistema ao ângulo e intensidade solar.

A utilização de iluminação bilateral deve ser privilegiada sempre que possível, na medida em que um espaço iluminado de várias direcções terá uma maior qualidade e distribuição de luz e redução de encandeamento.<sup>30</sup> Em salas situadas no canto do edifício, a colocação de janelas nas várias fachadas cria uma iluminação mais uniforme. Em edifícios baixos ou nos últimos pisos de edifícios altos, as entradas de luz zenital, como claraboias ou poços de luz, podem-se revelar muito eficazes em proporcionar uma melhor distribuição de luz num espaço.

### **Ventilação Natural**

A ventilação de um edifício têm duas funções, renovar o ar interior (durante todo o ano) e arrefecimento na estação quente. A ventilação natural é particularmente importante em climas quentes e temperados em que as necessidades de arrefecimento no verão são elevadas. Em climas com invernos rigorosos a renovação do ar durante o inverno poderá ser mais eficaz por meios mecânicos com recuperação de calor, de forma a não desperdiçar os ganhos térmicos obtidos e garantindo a qualidade do ar interior<sup>31</sup>.

Para o arrefecimento passivo de um edifício, é fundamental em primeiro lugar evitar os ganhos solares através de um sombreamento eficaz, como segunda prioridade deve-se garantir uma ventilação natural adequada. Se, em casos extremos, essas medidas não forem suficientes, poder-se-á recorrer a meios

---

<sup>30</sup> LECHNER, Norbert – Heating, cooling, lighting: design methods for architects.

<sup>31</sup> Passipedia - Ventilation [Em Linha]. [Consult. Maio 2012]. Disponível em: [http://www.passipedia.org/passipedia\\_en/planning/building\\_services/ventilation/basics/types\\_of\\_ventilation](http://www.passipedia.org/passipedia_en/planning/building_services/ventilation/basics/types_of_ventilation)

-  
-

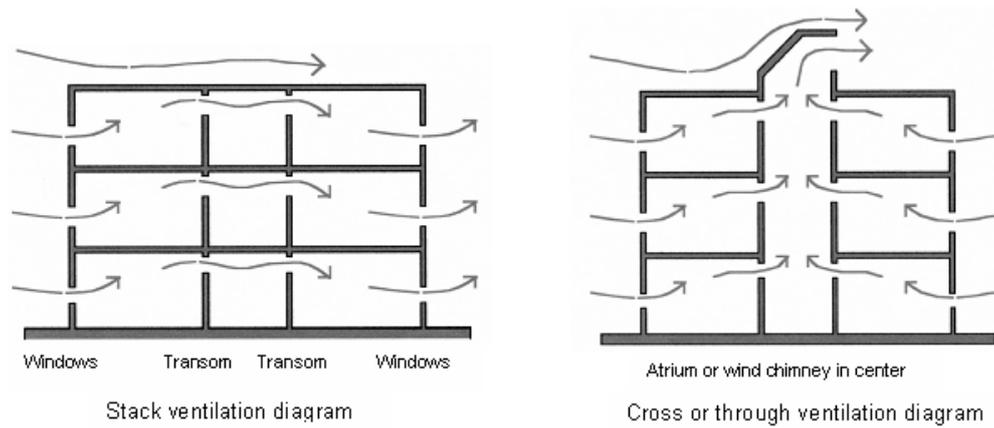


Fig. 11 – Esquema de Ventilação Cruzada e Efeito de Chaminé

mecânicos de movimentação de ar ou dispositivos de ar condicionado (AVAC) que os complementem.

O movimento do ar por si só não desce a temperatura, simplesmente provoca uma sensação de frescura provocada pelo aumento de trocas de calor da pele com o ar e aumento da evaporação. No entanto, a ventilação pode arrefecer efectivamente o ar de duas formas: através da substituição do ar interior quente por ar fresco do exterior (se isso se verificar), ou pré-arrefecendo o ar que entra, forçando-o a contactar com superfícies de água ou vegetação (arrefecimento evaporativo) ou com o solo (arrefecimento geotérmico) através de tubos subterrâneos. Para além disso, a ventilação noturna, poderá ajudar a dissipar a energia acumulada pela massa térmica durante o dia. Neste caso deve ser promovido o contacto térmico entre o fluxo de ar e a massa térmica.<sup>32</sup>

A ventilação natural consiste no aproveitamento da força do vento (e das altas e baixas pressões por ele causadas) ou do efeito de chaminé.(movimento ascendente do ar por diferenças de temperatura).

O vento pode ser aproveitado utilizando a forma e orientação do edifício, a topografia e vegetação do envolvente e o posicionamento da fenestração de maneira a dirigir os fluxos de vento predominantes. A ventilação transversal deve ser garantida, posicionando aberturas em fachadas opostas e possibilitando o movimento de ar entre elas. As correntes de ar excessivas podem ser evitadas utilizando dispositivos como ventiladores permanentes automáticos que mantêm uma taxa de ventilação constante.<sup>33</sup>

O efeito de chaminé é caracterizado pela movimentação natural do ar mais quente (menos denso) que sobe e sai através de aberturas existentes na parte superior de um edifício, sendo substituído por ar exterior mais frio, que entra por outras aberturas a um nível inferior. Este efeito aumenta com a distância entre as aberturas altas e baixas e com a diferença de temperatura. Pode ser utilizado de várias formas, num mesmo espaço utilizando fenestração a diferentes alturas podendo inclusivamente tomar partido da forma desse espaço ou a uma escala maior, utilizando chaminés de ventilação (ou poços de luz) ou espaços comuns semiexteriores como átrios comuns a vários pisos. Estes tipos de elementos podem também ser utilizados como fonte de iluminação zenital.<sup>34</sup>

---

<sup>32</sup> Green Vitruvius op. cit. p.26

<sup>33</sup> Green Vitruvius op. cit. p.75

<sup>34</sup> LNEC p.101



Fig. 12 - Parede de trombe

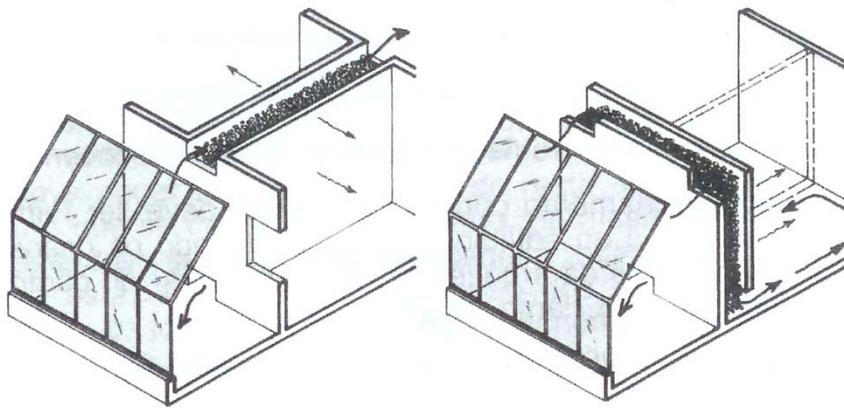


Fig. 13 - Duas alternativas de acumulação térmica associada a estufas

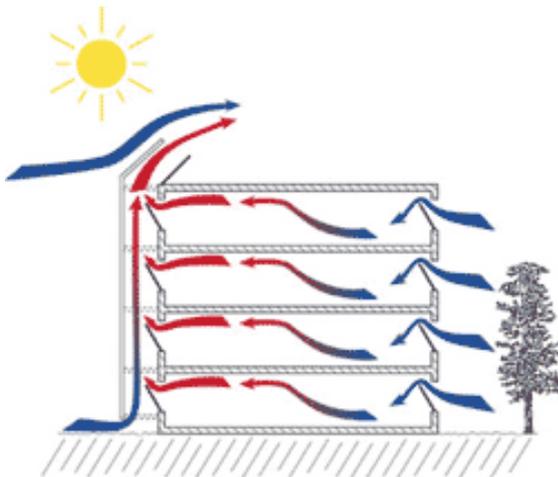


Fig. 14 - Chaminé térmica

## Sistemas Indirectos

Os sistemas passivos indirectos são dispositivos ou elementos arquitectónicos com uma ou várias funções específicas relacionadas com energia (aquecimento, arrefecimento, iluminação) utilizando essa energia de forma indirecta ou retardada. Existem vários sistemas disponíveis e em desenvolvimento dos quais são exemplo:

Parede de Trombe – é um sistema com o objectivo de acumular a energia da radiação solar e libertá-la lentamente para o espaço interior adjacente. É composto por uma massa térmica (geralmente betão) revestida exteriormente por um vidro com uma caixa-de-ar, que pode ser ventilada. Deve ser orientada a sul e a massa térmica deve ser pintada na face exterior de uma cor escura. A ventilação da caixa-de-ar permite que o calor acumulado seja transferido para o interior do edifício, não só por radiação (da superfície interior da parede), mas também por convecção (do ar quente da caixa-de-ar). Há várias configurações de ventilação, algumas delas permitindo que no verão possa ser accionado um mecanismo de abertura, fazendo com que a parede de Trombe funcione como extrator de ar.<sup>35</sup>

Estufa – é um espaço tampão, contíguo a um espaço que se pretende aquecer. Constitui-se por um involucro de vidro e por uma massa térmica, geralmente o pavimento e parede do espaço adjacente. Funciona através do princípio que lhe dá nome, o efeito de estufa, combinado com o armazenamento de calor na massa térmica, de forma a regularizar as amplitudes térmicas. Deve ser considerada como um espaço adicional, sem uma função de habitação. Tem que ser concebida para ser bem isolada do espaço interior quando necessário (verão e noites de inverno), e é necessário ser bem ventilada e protegida no verão.<sup>36</sup>

Chaminés térmicas – são sistemas com o objectivo principal de ventilação e arrefecimento, sendo no entanto, por vezes usadas também como fonte de iluminação indirecta. São usadas à vários séculos (principalmente no médio oriente) e na sua forma mais simples constitui-se por uma chaminé pintada de preto. Durante o dia o sol bate nessas superfícies escuras (colector) aquecendo-as e criando uma corrente de ar ascendente (efeito de chaminé). Essa corrente de ar vai criar um efeito de sucção na base da chaminé que vai ventilar e arrefecer o edifício inclusivamente em dias sem vento. Há várias variações deste sistema, por exemplo, o colector pode ser constituído por vidro a sul e massa térmica pintada de preto para aumentar os ganhos solares através do efeito de estufa. O topo da torre pode

---

<sup>35</sup> MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Sustentabilidade ambiental da habitação.

<sup>36</sup> Ibidem

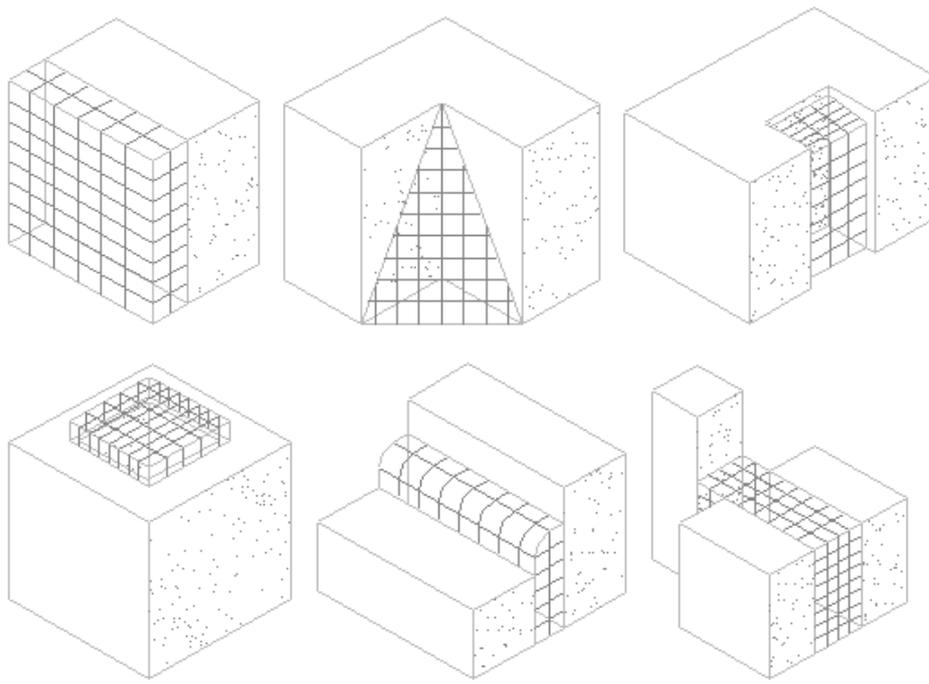


Fig. 15 – Várias disposições possíveis de átrios

ser desenhado de forma a utilizar o vento para aumentar o efeito sucção. Podem também ser usadas como dispositivos de iluminação indirecta ou para aquecer o espaço no inverno. Um outro sistema semelhante, mas utilizando o fenómeno inverso, é a torre de arrefecimento (downdraft cooltower) na qual, provocando a evaporação de água no topo da torre, se arrefece o ar, criando uma corrente de ar frio descendente que entra para espaços interiores arrefecendo-os.

Atrium – é um espaço tampão intermédio, contíguo a um ou vários edifícios, que pode ter diversas formas e geometrias e várias finalidades. Geralmente são espaços com grandes superfícies de vidro e com luz natural abundante que criam um ambiente semiexterior protegido das condições atmosféricas. Servem geralmente como entrada e distribuição, e atravessam vários ou todos os pisos do edifício. A nível energético, dependendo da sua configuração podem ter várias funções: iluminação natural indirecta, ventilação (através do efeito de chaminé), e isolamento ou aquecimento dos espaços adjacentes (efeito de estufa). Para ter uma acção passiva eficaz necessita de um desenho muito cuidado, de forma a evitar sobreaquecimento no verão e perdas térmicas no inverno. Podem-se revelar de planeamento bastante complexo, podendo levantar diversos problemas (nomeadamente perigo de propagação de incêndios).<sup>37</sup>

---

<sup>37</sup> Green Vitruvius op. cit. p.74-75



## 2.1.2 – Sistemas Activos

A crescente procura na melhoria do desempenho energético dos edifícios levou ao desenvolvimento de tecnologias activas, aproveitando ganhos energéticos naturais através de dispositivos mecânicos, térmicos ou de conversão em energia eléctrica.

As tecnologias sem conversão de energia, destinadas a melhorar a eficiência energética do edifício, incluem uma grande quantidade de sistemas, painéis solares térmicos, sistemas de ventilação mecânica com recuperação térmica, sistemas geotérmicos, sistemas mecânicos de sombreamento. No fundo qualquer tecnologia de climatização que, embora utilizando energia permitem uma economia energética face aos sistemas comuns.

### **Painéis Solares Térmicos**

Dos sistemas activos destaca-se como o mais largamente utilizado, os painéis solares térmicos, devido ao seu baixo custo, facilidade de instalação e aos incentivos governamentais. Apesar de esta tecnologia ter alcançado um nível de fiabilidade elevado, e de poder proporcionar uma considerável economia de energia de outras fontes não renováveis, no nosso país ainda está pouco aproveitada, embora se disponha de uma exposição solar excelente, bastante acima da média da Europa.

Os painéis solares produzem água quente de baixa temperatura (50 a 90°), e em termos gerais um sistema solar térmico é composto por um colector, um permutador e um depósito. E para uma habitação com instalação na posição mais rentável, deverá possuir 1 m<sup>2</sup> de colector e 50 a 70 litros de depósito, por pessoa. Estes cálculos são baseados nas necessidades de água quente no verão, o que corresponde a 70% das necessidades energéticas, pelo que o sistema tem que estar dotado de apoio com outro tipo de energia (gás, electricidade, etc..)

Os colectores, em Portugal deverão ser instalados orientados a Sul e com uma inclinação relativamente à horizontal de 38°, para uma rentabilidade óptima, as variações para Este ou Oeste, deverão ser compensadas reduzindo a inclinação.<sup>38</sup>

---

<sup>38</sup> Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico – Brochura da DGGE/IP-AQSpP, Lisboa, Abril 2004 - ISBN 972-8268-29-7



Fig. 16 - Câmara Municipal de Proença-a-Nova - Potência Instalada: 7 kw Área: 67 m<sup>2</sup>



Fig. 17 - Telhas Solares

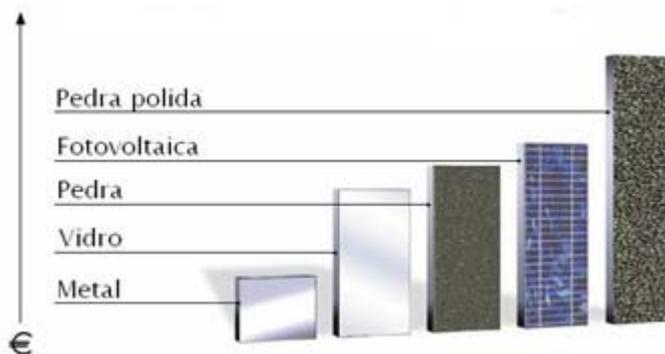


Fig. 18 - Comparação de custos de materiais de fachada

Segundo dados do INE em 2010, do consumo total de energia para aquecimento de água nos alojamentos familiares clássicos de residência apenas pouco mais de 3 % foi de origem solar<sup>39</sup>

### **Paineis Solares Fotovoltaicos**

O sistema fotovoltaico (PV) é um dispositivo que converte directamente a energia solar em energia eléctrica, e é provavelmente a tecnologia mais promissora das energias renováveis. Está em constante desenvolvimento, existindo inúmeras empresas a investigar e desenvolver novas técnicas, materiais e métodos de aplicação/montagem. São silenciosos, fiáveis, duráveis, não poluem, não libertam CO<sub>2</sub> e o custo de manutenção é quase nulo. No entanto o seu custo inicial ainda é elevado.

Existem dois tipos de módulos fotovoltaicos: placas espessas silício cristalino cuja produtividade é de cerca de 110wh por M<sup>2</sup>, que necessitam de montagem em estrutura própria; e película fina (thin film) de material fotovoltaico que pode ser montada entre camadas de materiais transparentes, ou opacos numa das faces, a produção de energia eléctrica é cerca de metade das primeiras, sendo necessário maior área de painéis, têm no entanto um preço mais reduzido em resultado da menor necessidade energética na produção e do menor custo da matéria-prima.

Este último tipo de módulos é conhecido por painéis fotovoltaicos integrados no edifício (sigla inglesa-BIPV), e podem ser instalados em qualquer local dos edifícios e empregues em substituição dos materiais convencionais do invólucro; nos telhados, nas fachadas e até em painéis de vidro, resultando numa economia de materiais e de energia eléctrica convencional.<sup>40</sup>

Já existem em Portugal alguns edifícios a utilizar esta tecnologia, como por exemplo o edifício solar XXI e a Câmara Municipal de Proença-a-Nova

Visto que um sistema totalmente autónomo de produção de energia eléctrica exige investimentos avultados, especialmente no armazenamento, o método mais utilizado é com ligação à rede, com contrato de compra e venda à EDP.

---

<sup>39</sup> Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico. INE. 2010

<sup>40</sup> Strong, Steven. "Building Integrated Photovoltaics (BIPV)".[Em linha] Whole Building Design Guide, 2011 [consult. em Junho 2012].Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/bipv.php>



Fig. 19 - Bahrain World Trade Center

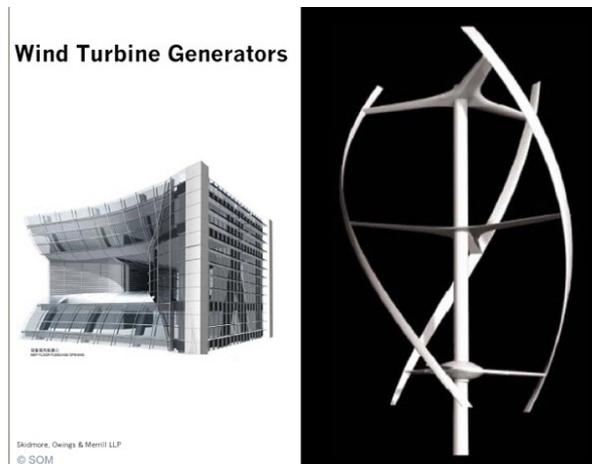


Fig. 20 – Pearl River Tower e Esquema das Turbinas

## Energia Eólica

O vento é uma fonte de energia renovável, que tem sido aproveitada desde à muito, para transporte (barcos à vela), ou transformada em energia mecânica nos moinhos de vento, para a moagem de cereais ou bombagem de água, destes, os mais conhecidos ainda em funcionamento encontram-se na Holanda. Ultimamente tem-se desenvolvido e instalado equipamento para produção de energia eléctrica.

Quando se aborda a energia eólica para produção de energia eléctrica o primeiro pensamento vai para os espaços amplos e montanhosos, com as turbinas eólicas comuns, e não para os espaços urbanos.

No entanto, após análises e estudos sobre a intensidade e regularidade do vento em determinados locais urbanos pode-se concluir ser rentável a instalação de aerogeradores nos edifícios, especialmente nos mais altos, já existindo no mundo alguns exemplos. O primeiro grande edifício a integrar aerogeradores de grande escala foi o Bahrain World Trade Centre (BWTC), as duas torres gémeas cuja forma foi inspirada nas velas náuticas estão implantadas de forma a concentrar o vento, tendo sido alcançada uma melhoria de 30 % na velocidade, estão ligadas por 3 pontes onde foram instaladas 3 aerogeradores de hélice com 29 m de diâmetro e 225 kW de potência e produzem entre 11 a 15% da energia eléctrica consumida no edifício.<sup>41</sup>

Outro edifício que integra turbinas eólicas na sua estrutura é o Pearl River Tower, em construção em Guangzhou na China projectado pelo atelier SOM. A estrutura desta torre de 309 metros está desenhada para direccionar o vento para um par de aberturas horizontais situadas a cerca de um terço e de dois terços da sua altura total e possuindo 2 tuneis em cada abertura. À medida que o vento flui através das aberturas acciona as turbinas integradas de eixo vertical de 3 metros de diâmetro, com uma capacidade de 10.000 kWh por ano.

Testes em tuneis de vento de modelos demonstraram que o desenho da fachada, das aberturas e respectivos tuneis assegura que os aerogeradores funcionem mesmo com ventos fracos e vindos de várias direcções, duplicando a velocidade do vento para o dobro, e aumentando a capacidade produtiva para quase quinze vezes mais do que uma turbina isolada.<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> Bahrain World Trade Center : News Update [Em Linha] e-architect 8 Abr 2008[Consult Junho 2012] Disponível em: <http://www.e-architect.co.uk>

<sup>42</sup> - EPSTEIN, Kira – How Far Can You Go - case study Pearl River Tower [Em Linha] 2008 [Consult. em Junho 2012] Disponível em: <http://www.hpbmagazine.org>



Fig. 21 - Instalação de tubos para arrefecimento pelo solo - Edifício Solar XXI

## **Energia Geotérmica**

A energia geotérmica é a energia gerada e armazenada no interior da Terra sob a forma de calor, sendo aproveitada a partir do solo, a maior ou menor profundidade, utilizando-se esse calor para diversos fins, desde cozinhar à produção de energia eléctrica, passando pelos tratamentos termais, o aquecimento ambiental, de águas sanitárias e de estufas. Estes sistemas estão naturalmente condicionados à geologia do local, sendo as zonas onde existem fontes termais, as que maior potencial possuem para aproveitamento deste tipo de energia.<sup>43</sup>

Recentemente têm sido desenvolvidas outras técnicas de aproveitamento geotérmico, recorrendo não à energia térmica produzida pela Terra mas aproveitando a capacidade de massa térmica do solo que apresenta uma temperatura constante (cerca de 15º em Portugal) ao longo de todo o ano a uma profundidade de um a três metros. Um sistema de tubos subterrâneos, no Verão, pode funcionar para arrefecer o ambiente no interior do edifício, apenas com recurso a ventilação forçada.<sup>44</sup> Já existem no mercado nacional, empresas que fornecem e instalam bombas de calor geotérmicas (BCG) reversíveis, que embora necessitem de energia eléctrica para a compressão e circulação do fluido, substituem os sistemas de climatização convencionais, com significativa economia energética.

## **Sistemas de Gestão de Energia**

O desenvolvimento das tecnologias de informação permitiu os chamados edifícios “inteligentes” ou seja a integração de vários sistemas de monitorização e controlo assistidos por computador que gerem automaticamente as necessidades de iluminação e climatização. Estes sistemas têm o objectivo de gerir de forma eficiente a energia consumida garantindo a qualidade ambiental interior. A informação fornecida por diversos sensores (presença, luz natural, temperatura interior e exterior, humidade, entre outros) é processada num computador central, que controla os vários subsistemas, conjugando aquecimento, arrefecimento (sombreamento e ventilação) e iluminação natural e artificial. Estes sistemas geralmente permitem o controlo personalizado das condições ambientais do espaço, de forma a proporcionar o melhor conforto desejado pelos ocupantes, sem prejuízo do conforto geral e das estratégias de performance energética.<sup>45</sup>

---

<sup>43</sup> LOURENÇO, Carla; CRUZ, José - Os Recursos Geotérmicos de Baixa Entalpia em Portugal Continental.

<sup>44</sup> PATROCÍNIO, Teresa - Arquitectura Bioclimática Ficha Técnica nº 6 [Em Linha] [Consult. Junho 2012] Disponível em: [www. Construlink.com](http://www.Construlink.com)

<sup>45</sup> Wigginton, Michael; Harris, Jude - Intelligent Skins. 2002



## 2.2 Eficiência dos Materiais e Recursos

A energia incorporada de um edifício é frequentemente desvalorizada, considerando-se a energia operacional mais importante no contexto de ciclo de vida do edifício. No entanto, apesar de estudos iniciais (anos 70) indicarem que a energia incorporada era em média equivalente à energia utilizada em cinco anos de operação, estudos mais recentes indicam um valor entre 30 e 40 anos<sup>46</sup>, devido principalmente ao aumento do uso de materiais industriais e sintéticos, mas também devido a um aumento na eficiência energética. Para além disso, o impacto da indústria da construção é considerável, e não se limita às emissões de CO<sub>2</sub> (só a indústria do cimento estima-se responsável por 5% de emissões mundiais<sup>47</sup>) mas estende-se também a outros danos ambientais (poluição, minas, deflorestação), utilização exaustiva de recursos e produção de resíduos. Por outro lado a energia operativa é mais fácil de reduzir, sendo inclusivamente possível integrar no edifício meios de produção de energia renovável equivalente à consumida (edifícios carbono zero). Já a fonte de energia utilizada na extracção, produção e transporte de materiais, é mais difícil de controlar e quase sempre de origem fóssil.

Desta forma, aumenta a importância relativa dos materiais escolhidos, da sua energia incorporada e da fase de construção no ciclo de vida dos edifícios. A selecção dos materiais e do método de construção, bem como o respectivo potencial de reutilização e reciclagem, tornam-se determinantes para a redução do impacto ambiental do edificado.

Na escolha de materiais, o arquitecto deverá preocupar-se com vários aspectos de que se destacam os mais importantes:

Materiais em quantidades até 250Kg:

- Impacte da produção, destruição de habitat e toxidade libertada,
- Riscos para a saúde e ambiente local, durante a construção e utilização,
- Tempo de vida útil do material e seu destino após o tempo de vida do edifício (reutilização é melhor que reciclagem e esta melhor que incineração ou transporte para vazadouro),
- Tratamento adequado dos resíduos de construção.

---

<sup>46</sup> Szokolay, Steven V. – Introduction to architectural science - the basis of sustainable design. Amsterdam, Boston, London: Elsevier/Architectural Press, 2004

<sup>47</sup> WORREL, E et al - Carbon dioxide emissions from the global cement industry. Annual Review of Energy and the Environment, v. 26, 2001 [Em Linha] [Consult. Junho 2012] Disponível em: <http://ies.lbl.gov/iespubs/49097.pdf>



Para materiais em quantidades elevadas, deve considerar-se adicionalmente os seguintes aspectos:

- Natureza dos recursos atendendo à abundância ou escassez e se é renovável ou não,
- Energia incorporada e/ou emissões de CO<sub>2</sub>, durante a extração, produção e transporte.<sup>48</sup>

Os materiais só por si não podem ser classificados como sustentáveis, o que poderá ser ou não sustentável é a forma como estes são utilizados na construção, de acordo com a sua função no edifício. São geralmente agrupados em materiais naturais, artificiais e sintéticos, de acordo com a sua origem e a forma como são processados. Esta divisão não é suficiente para a tomada de decisão na selecção dos materiais e componentes adequados à construção sustentável, uma vez que devem ser analisados os efeitos ambientais dos mesmos ao longo de todo o seu ciclo de vida, não sendo suficiente privilegiar os materiais locais, reciclados ou de baixa energia incorporada.<sup>49</sup>

### **Materiais naturais:**

A terra, a pedra, a madeira, e certas fibras vegetais, terão sido os primeiros materiais de construção utilizados pelo homem, de acordo com a disponibilidade local.

### **Madeira**

O facto de ser um material leve, forte e fácil de trabalhar tornou a madeira um material de construção muito popular e bastante utilizado, desde tempos ancestrais, quer isoladamente, quer em conjunto com outros materiais. A madeira é simultaneamente o material mais ecológico e o mais problemático.

Apresenta como vantagens o facto de ser de origem natural e renovável, é reciclável e reutilizável e necessita de pouca energia na transformação e aplicação, para além disso a madeira funciona como depósito do CO<sub>2</sub> que a árvore absorveu durante a sua vida e que, caso seja queimada ou se decompuser, será libertado para a atmosfera. No entanto apresenta como inconvenientes o facto de necessitar de manutenção frequente, custo elevado de construção, caso não se recorra à pré-fabricação e tenha de se recorrer à importação, o seu transporte implica impacto ambiental significativo.

---

<sup>48</sup> Green Vitruvius *op. cit* p. 113

<sup>49</sup> MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Sustentabilidade ambiental da habitação. p. 133-6



Fig. 22 - Residência TK-Pad, Jackson, Wyo – Taipa



Fig. 23 – Capela da Reconciliação, Berlim – Taipa e Madeira

A madeira só é um recurso renovável tendo como condição fundamental a necessária reposição florestal. Porque em alguns países produtores de madeiras tropicais, é frequente o abate ilegal de árvores, o que constitui uma ameaça ao equilíbrio ambiental, existe o *Forest Stewardship Council* (FSC), organização internacional que emite certificados, garantindo que a madeira provém de florestas que estão a ser responsabilmente geridas e conservadas de forma sustentável, pelo que apenas se devem utilizar madeiras de origem local ou devidamente certificadas.

Existem vários produtos derivados de madeira tais como lamelados colados, aglomerados de partículas ou fibra de madeira e também nas vigas estruturais sintéticas são usadas aparas e derivados da madeira. Exceptuando o contraplacado que usa madeiras de grandes dimensões, é de supor que nestes produtos a madeira está a ser usada de forma eficiente, podendo ser analisados, de forma análoga à madeira, em termos ambientais.<sup>50</sup>

## **Terra**

Em quase todos climas quentes-áridos e temperados a terra foi desde sempre o material de construção mais comum. Estima-se que, ainda hoje, um terço da população mundial vive em habitações de terra, no entanto, nos países em desenvolvimento este número eleva-se a mais de metade.

Trata-se de material de elevado potencial já que é de fácil acesso, existe em grande quantidade praticamente em todo o planeta, e raramente a sua composição não é adequada para a construção. O seu impacto ambiental é praticamente nulo, a extracção é fácil, o transporte e processamento é reduzido e não produz resíduos quer na construção, nem na demolição. Se não for cozida a terra é sempre reutilizável. Possui boa capacidade de isolamento térmico e acústico, e é excelente a manter o equilíbrio da humidade do ar ambiente (45% a 55%), proporcionando economia de energia quer na construção, quer na utilização (aquecimento e climatização) e enorme facilidade de construção. Tem como inconvenientes o facto de ser susceptível à acção da água (no caso de protecção insuficiente) e fraca resistência sísmica (quando não possui reforço estrutural). A variabilidade das características da terra torna os cálculos estruturais mais complexos, o que a torna limitada como material estrutural (principalmente em construção em altura).

---

<sup>50</sup> Green Vitruvius *op. cit* p. 116-7



Fig. 24 – Produção artesanal de adobe



Fig. 25 – Produção de adobe com a CINVA Ram

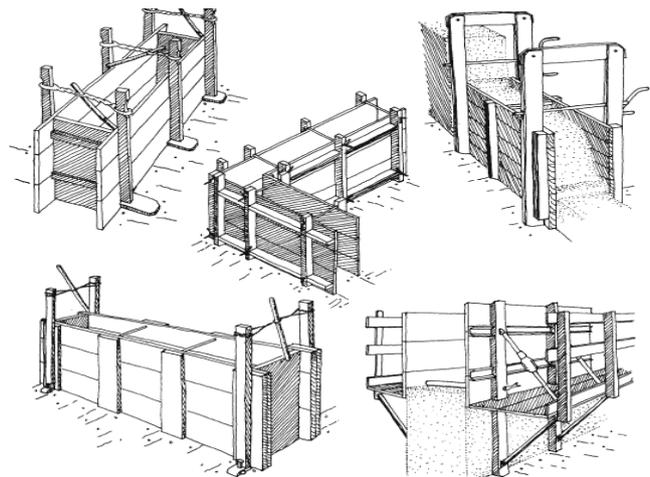


Fig. 26 – Construção em Taipa

A camada superficial de terra, conhecida como solo fértil, não tem aplicabilidade como material de construção, devendo recorrer-se à camada abaixo, mais rica em argila e sedimentos calcários.<sup>51</sup>

Existem vários métodos de construção com terra, sendo o mais simples chamado 'cob' em que a terra é amassada com água e outros ingredientes (palha ou outras fibras vegetais), sendo as paredes construídas à mão sem moldes.

A terra também pode ser moldada em blocos comprimidos e cozidos ao sol, conhecidos vulgarmente por adobe, sistema ainda muito utilizado. O arquitecto alemão David Gilly (finais do século XVIII) publicou manuais sobre a construção em adobe. O método mais ancestral de fabrico de adobe consiste em colocar a terra amassada com água em moldes, normalmente de madeira, e comprimi-la manualmente ou com os pés. Nos anos 50 do século XX, o engenheiro Raul Ramirez desenvolveu uma prensa manual que ficou mundialmente conhecida como CINVA Ram, que produz blocos de muito melhor qualidade e com um tempo de secagem menor, podendo até ser utilizados logo após o fabrico. Têm sido entretanto desenvolvidas diversas prensas mecânicas, mais ou menos automáticas, mas requerem grandes investimentos, e tem um considerável consumo de energia.

Outro método muito utilizado, consiste na moldagem no local por meio de taipais de madeira ou metal, onde a terra é compactada manualmente ou à máquina, conferindo-lhe forte resistência, este processo é designado por "taipa" ("rammed earth" em Inglês; "pisé" em francês).<sup>52</sup> Em Portugal foi bastante utilizado em casas unifamiliares e construções rurais no Alentejo. Actualmente existem tendências, empresas especializadas e gabinetes de arquitectura, de recuperação deste método construtivo, quer no restauro de edifícios antigos, quer na construção de novos.<sup>53</sup>

---

<sup>51</sup> Minke, Gernot, - Building with Earth. Basel: Birkhäuser, 2006

<sup>52</sup> *ibidem*

<sup>53</sup> Pedro, Fernanda – Taipa, a Volta do Material Ancestral. Espaços&Casas, *Jornal Expresso*. 19 de Dezembro de 2009



Fig. 27 - Construção com fardos de palha



Fig. 28 - Sutton Bonington Biosciences Building, Nottingham, Reino Unido

## **Pedra**

A pedra é um material de construção que está na base da arquitectura tradicional, e ainda é largamente utilizada. É de origem natural, abundante e possui elevada resistência e durabilidade. Embora não sendo renovável, possui a capacidade de ser reutilizada inúmeras vezes. Possui elevada massa térmica e é de fácil manutenção. Os impactos ambientais da pedra são principalmente relacionados com o seu transporte e com a sua extracção, que é geralmente um processo destrutivo para os ambientes naturais, e que provoca transformações topográficas. Esses impactos podem ser evitados utilizando pedra recuperada e proveniente de um local próximo da construção. Daí que se poderá privilegiar este material quando existir em quantidade suficiente localmente e a sua extracção não provocar desequilíbrios ambientais.<sup>54</sup>.

Existem situações em que o retirar da pedra existente à superfície, tornaria eventualmente os terrenos mais viáveis para exploração agrícola. Em Portugal, num número de regiões, a pedra foi o material de construção por excelência, durante largos anos, existindo ainda muitas habitações com centenas de anos, ainda em uso, nas zonas históricas do país. Actualmente na construção, a pedra já não é tão utilizada como material estrutural, ou em alvenaria. Sendo principalmente utilizada em pavimentos (exteriores e interiores), revestimentos de fachadas, acabamentos e como agregados para betão.

## **Palha e Fibras Vegetais**

A palha é um subproduto agrícola, constituído por caules de diversos cereais tais como o trigo a aveia, o arroz, a cevada e centeio. Quando se aborda a palha como material de construção, o primeiro pensamento vai para as cabanas/palhotas dos indígenas africanos e americanos, parecendo não ter qualquer futuro na habitação.

No entanto, actualmente a palha está a tornar-se num material popular devido ao baixo custo, baixo impacto ambiental, á grande disponibilidade, às boas propriedades isolantes, a ausência de resíduos não biodegradáveis na demolição e possui uma boa resistência ao fogo quando compactada e rebocada, podendo ser utilizada de inúmeras maneiras no campo da construção:

---

<sup>54</sup> MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Sustentabilidade ambiental da habitação. p. 153/4



Fig. 29 - Straw-House do Arquitecto Felix Jerusalem em Eschenz na Suíça



Fig. 30 – Palha Prensada, fase de construção

- Como ligante em blocos de adobe e em massas construtivas (paredes de terra).
- Após a mecanização da agricultura e invenção da enfardadeira (final do século XIX), os fardos de palha tem sido usados como blocos de construção para paredes, eventualmente reforçados com vigas e pilares de outros materiais e reboco interior e exterior. Esta prática teve a sua origem nos EUA, onde ainda existem algumas das primeiras construções feitas com fardos de palha e tem vindo a popularizar-se.
- Mais recentemente têm sido desenvolvidas técnicas para fabricar painéis que usam a palha e outras fibras vegetais, através dum processo de compressão a elevas temperaturas, ficando as fibras fortemente ligadas, sem recurso a quaisquer produtos ligantes. Estes painéis podem ser posteriormente utilizados na construção de casas pré-fabricadas.

A utilização deste material na construção exige alguns cuidados no sentido de o proteger da água que é o seu principal inimigo. Devendo por isso ser muito bem compactada e possuir um beirado e fundações que previnam a entrada e/ou a infiltração da água.<sup>55</sup>

Na arquitectura contemporânea já se recorre a este material, referindo-se como exemplos a Straw-House do Arquitecto Felix Jerusalem em Eschenz na Suíça e o Sutton Bonington Biosciences Building na Universidade de Nottingham no Reino Unido.

Na sequência das preocupações ambientais, têm surgido materiais de isolamento à base de outras fibras vegetais, tais como fibras de coco, de cânhamo, de celulose, de madeira e cortiça, estando já a ser utilizadas em substituição dos isolantes artificiais, devido ao seu baixo nível de energia incorporada, não serem tóxicos e não libertarem substancias químicas para a atmosfera.<sup>56</sup>

### **Materiais Artificiais e Sintéticos:**

Actualmente a construção incorpora uma grande quantidade de materiais que necessitam de processamento industrial prévio, com elevado impacto ambiental e constituídos por materiais não renováveis e geralmente menos ecológicos que os materiais naturais. No entanto, são largamente utilizados por serem os mais

---

<sup>55</sup> MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Sustentabilidade ambiental da habitação. p. 148/9

<sup>56</sup> Ibidem - Pág 150



adequados a certas funções ou por não haver substitutos nos materiais naturais (por exemplo: não existe material natural substituto do vidro).<sup>57</sup>

### **Cimento e Betão**

Desde as primeiras tentativas de construção, que o Homem procurou um material que unisse as pedras para formar paredes. A descoberta da cal e do gesso é atribuída aos Egípcios (pirâmides), mas os Romanos é que inventaram o termo "caementum"; a maior parte do Forum Romano foi construída à base de uma espécie de betão. Os Banhos Romanos (cerca de 27 A.C.), o Coliseu e a Basílica de Constantino são exemplos, em que as argamassas de cimento foram utilizadas. O sucesso do "caementum" dos Romanos resultou da combinação de cal com "pozolana" (cinza vulcânica na zona de Pozzuoli, junto a Nápoles).

O cimento actualmente em uso é o denominado cimento "Portland", o seu processo de fabrico foi patenteado em 1830 por Joseph Aspdin, cujo método consiste em juntar certas proporções de calcário e argila, reduzi-las a pó e calciná-las num forno, obtendo-se o clínquer que moído se transforma em cimento.<sup>58</sup>

A indústria do cimento tem um impacto ambiental significativo, em Portugal utiliza 13.4% da energia total consumida pela indústria transformadora,<sup>59</sup> e a produção de 1 Kg de cimento liberta cerca de 1.1 Kg CO<sub>2</sub>,<sup>60</sup> pelo que é recomendável a adopção de estratégias que minimizem o consumo de cimento.

O betão é o maior consumidor de cimento que, misturado com areia e gravilha ainda constitui a maior parte da estrutura dos edifícios. Para além do impacto do cimento, a areia e a gravilha são também recursos não renováveis e a sua extração pode envolver impactos ambientais negativos, afectando os cursos dos rios e da costa marítima.

O betão ainda apresenta outra questão ambiental devido ao facto de, em fim de vida, não ser reciclável, podendo apenas ser triturado para reutilização sob a forma de inerte, mas ainda é raro, devido à quantidade de energia necessária a esse processamento, optando-se essencialmente pela deposição em aterros. Incorporando desta forma cerca de metade dos resíduos de construção e demolição.

---

<sup>57</sup> Ibidem - Pág 159

<sup>58</sup> Histórico do Cimento [Em Linha][Consultado em 2012] Disponível em: <http://www.secil.pt/>

<sup>59</sup> Direcção Geral de Energia e Geologia - Balanço Energético Nacional. [Em Linha] DGEG, 2010 [Consult. 2012] Disponível em: <http://www.dgge.pt/>

<sup>60</sup> Green Vitruvius op.cit. pág 120



O impacto ambiental do betão pode ser minimizado com a utilização de pré-fabricados, e pré-esforçados, o que reduz a produção de resíduos na fase de construção e possibilita a reutilização. Também com o objectivo de reduzir o impacto e o custo, a indústria cimenteira tem vindo a produzir cimentos com substituição parcial por outros produtos com certas características cimentícias, como pó de pedra, escórias e cinzas volantes<sup>61</sup>.

Apesar de todas as desvantagens ambientais enumeradas o betão de cimento Portland é actualmente o material de construção mais utilizado em todo o mundo, devido às suas características únicas, elevada resistência à compressão, é abundante e barato, é incombustível, é de fácil preparação e ainda não existe em comercialização, um ligante alternativo ao cimento Portland.

Quanto à durabilidade, apesar de nos anos 50 o betão ter uma vida útil prevista de 100 anos, actualmente essa previsão média é de apenas 50 anos, existindo inúmeros casos de deterioração precoce de estruturas de betão armado com menos de 20 anos. A reduzida durabilidade das estruturas de betão deve-se, não só à deficiente colocação e cura, mas essencialmente ao próprio material, que possui grande quantidade de cal, muito susceptível de alteração química, e à sua permeabilidade que permite a absorção de água, gases e outros elementos que provocam a deterioração interna das estruturas.

Com base em estudos feitos a algumas construções históricas, tais como nas pirâmides egípcias e nas construções romanas, o investigador Joseph Davidovits, desenvolveu e patenteou novos ligantes obtidos por activação alcalina, criando em 1978 a designação “geopolímero”, que para o seu autor não passam de uma adaptação moderna dos métodos utilizados pelos Romanos e Egípcios.

A investigação sobre o fabrico destes ligantes centra-se na utilização de cinzas volantes, escórias e resíduos de minas e pedreiras, como matéria-prima, e apontam para uma substancial redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Também já foram efectuados ensaios que demonstraram, que os betões com base nestes novos ligantes apresentam maior resistência à compressão, à tracção e ao desgaste por abrasão; e melhor desempenho quando exposto a ácidos, que o betão tradicional à base de cimento Portland. No entanto, em termos económicos ainda não se apresenta como alternativa competitiva.<sup>62</sup>

---

<sup>61</sup> MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Sustentabilidade ambiental da habitação. p. 160

<sup>62</sup> Torgal, F. Pacheco; Jalali, Said - Ligantes Geopoliméricos. Uma Alternativa ao Cimento Portland? Revista Ingenium nº 114 (Nov/Dez 2009) pag 66-68.



## **Tijolo e outros produtos cerâmicos**

Todos os produtos cerâmicos (azulejo, azulejo, mosaico e louça sanitária) são obtidos cozendo argila a altas temperaturas. Embora a argila seja muito abundante, não é renovável e a sua extração provoca impacto na crosta terrestre. O maior impacto negativo provém da energia usada na cozedura, em Portugal a indústria cerâmica consome uma quantidade de energia idêntica à do cimento 13.3% do total<sup>63</sup>. Para produzir 1 Kg de tijolo liberta-se 0.25 Kg de CO<sub>2</sub>. Assim, considerando que o betão é composto por, no máximo, 15% de cimento conclui-se que o tijolo é o material de construção de base, que mais energia consome.<sup>64</sup>

## **Vidro**

O vidro é fabricado de sílica, carbonato de sódio e sulfatos, todos recursos não renováveis, mas abundantes. A sua indústria é das que maior quantidade de energia necessita por quilo de produto final, libertando cerca de 2 Kg de CO<sub>2</sub> por cada quilo de vidro produzido. Mas, considerando que a massa de vidro necessária num edifício é muito inferior à massa de betão e de tijolo, que ainda não existe um material de substituição satisfatório, que a sua função nos edifícios é primordial, para a iluminação e para o comportamento térmico, e por ser reciclável o seu impacto ambiental é largamente compensado ao longo de toda a sua vida útil.<sup>65</sup>

## **Aço e Ligas Metálicas**

A obtenção de metais é conseguida através de exploração mineira (céu aberto ou subterrânea), que causa impacto ambiental negativo, quer ao nível das alterações físicas directas, quer ao nível das emissões tóxicas. Para além disso os processos industriais de extrair os metais dos respectivos minérios e a sua transformação e produção do produto final, são também grandes consumidores de energia. No entanto apresentam a vantagem de serem facilmente recicláveis ou até reutilizáveis, o que reduz o seu impacto ambiental.

O aço é o metal mais utilizado como material de construção, é usado principalmente para reforçar o betão ou como sistema construtivo. Trata-se de uma liga metálica de ferro e carbono, pouco resistente à corrosão, necessitando sempre de tratamento ou revestimento anticorrosivo (pintura ou galvanização).

---

<sup>63</sup> DGEG *op.cit*,

<sup>64</sup> Green Vitruvius pag 121.

<sup>65</sup> *Ibidem*

	CO <sub>2</sub> emissions (kg/SF)		Energy Consumption (MJ/SF)		Resource Depletion (million·kg)	
	Steel	Concrete	Steel	Concrete	Steel	Concrete
Current Study	12.4	16.4	102.1	102.5	270	885
					27.7*	89.3*
Bjorklund et al., 1996	8.1	11.9	84.7	110.6	-	-
Guggemos et al., 2005	57.6	51.1	882.6	771.1	-	-
Junnila et al, 2003	-	-	-	-	-	20.4

\* total results (in million·kg) without water resource included

Tabela 1 - Comparação de Valores de Impacto Ambiental Normalizados: Aço e Betão

Embora apresentando elevado índice de energia incorporada, necessária à sua extração e produção, e não ser renovável, a sua utilização como sistema estrutural apresenta algumas vantagens ambientais em relação ao betão armado. Principalmente a facilidade de reciclagem do aço, que quando incorporado no betão é de mais difícil separação para reciclagem.<sup>66</sup>

Para além disso, e apesar da energia incorporada por tonelada de aço ser superior, o facto de ser mais forte permite construções mais leves, utilizando menos material. O que resulta, num total de energia incorporada idêntica, e emissões de CO<sub>2</sub> possivelmente menores para o aço, dependendo do caso. Apresenta ainda as vantagens de possibilidade de pré-fabricação de elementos e rapidez da construção, que se podem traduzir em benefícios económicos.<sup>67</sup>

---

<sup>66</sup> MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Sustentabilidade ambiental da habitação.

<sup>67</sup> JONHSON, Timothy W. – Comparison of Environmental Impacts of Steel and Concrete as Building Materials Using the Life Cycle Assessment Method. Tese de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, MIT: 2006



### III – Da teoria à prática / divergências

A arquitectura constitui-se como uma expressão dos valores e ideais do arquitecto, das necessidades dos clientes e ocupantes do edifício e das influências e condicionantes da sociedade em que se insere. No entanto, as partes interessadas ou afectadas (stakeholders) não serão apenas estas; ao considerarmos os impactos ambientais do edifício, surgem sujeitos passivos (ecossistemas, elementos naturais, gerações futuras) cujos interesses terão de ser representados por seres humanos (provavelmente o arquitecto). O peso desses interesses terá um impacto nas decisões tomadas no processo de projecto e provavelmente na expressão do objecto edificado.

Ao abordar as questões fundamentais da sustentabilidade, repara-se que há uma ideia de protecção ambiental implícita, no entanto as posições éticas ou filosóficas que fundamentam essa relação do homem com o ambiente natural, nem sempre são explícitas. Desta forma havendo diferentes pressupostos nessa relação com a natureza que poderão levar a diferentes abordagens práticas na arquitectura, surge a necessidade de abordar as diversas questões e posições éticas.

#### **Ética Ambiental**

Considera-se por ética um ramo da filosofia que tem como objecto de estudo "as questões fundamentais relativamente à conduta do ser humano, ou seja, aos valores e princípios que o ser humano deve escolher de modo a dar uma orientação definida ao seu comportamento relativamente a si próprio e à sua relação com os outros e com a natureza em geral."<sup>68</sup>

A ética ambiental foca-se especificamente no comportamento do ser humano em relação ao mundo natural, e nas normas morais que podem ou devem governar essa relação.

As divergências éticas nessa relação surgem fundamentalmente relacionadas com questões de valor; nomeadamente do valor que se atribui, ou se reconhece aos ecossistemas, ao ambiente natural, e aos organismos e elementos que o compõem. Distingue-se um valor instrumental atribuído a um objecto, relacionado com a sua utilidade, de um valor intrínseco reconhecido nesse objecto independente da sua utilidade.

---

<sup>68</sup> ética. In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2012. [Consult. Maio 2012]. Disponível em [http://www.infopedia.pt/\\$etica](http://www.infopedia.pt/$etica).



“To say that an object is intrinsically valuable is to say that it has a good of its own and what is good for it does not depend on outside factors. In this sense, it would be a value found or recognized rather than given.”<sup>69</sup>

Esta distinção é particularmente importante para a sustentabilidade quando as questões do valor do natural, em relação ao valor do construído, se tornam centrais à tomada de decisões.

O valor intrínseco era até recentemente atribuído unicamente ao ser humano, no entanto a ética ambiental veio desafiar esta ideia, considerando uma série de possíveis expansões e adições ao que poderá ser atribuído estatuto moral (para além dos seres humanos).

“Candidates for moral standing include animals, plants, species, natural objects like mountains, rivers, and wilderness areas, and even the earth itself.”<sup>70</sup>

Para além disso, surge também o conceito de igualdade intergeracional, ou seja a ideia implícita na maior parte das definições de desenvolvimento sustentável, de que as gerações futuras têm certos direitos, e que conseqüentemente temos deveres em relação a elas.

Estas questões do valor do natural, das classes a que se reconhece estatuto moral, e da posição do ser humano relativo à natureza originam diferentes correntes de pensamento dentro da ética ambiental.

Na década de setenta o filósofo norueguês Arne Naess criticou a filosofia ocidental predominante, argumentando que esta compreendia os seres humanos como separados uns dos outros e do mundo natural. Fundamentando-se na ciência (física e ecologia) argumentou que os seres humanos não devem ser entendidos como objectos isoladas mas sim interconectados, parte dos fluxos de energia, da teia da vida. Analisando os movimentos ambientais da altura Naess identificou duas posições diferentes; chamou superficiais aos movimentos principalmente preocupados com o bem-estar humano e em como as questões ambientais podem afetar esse bem-estar. Em contraste, o que definiu como movimento ecológico profundo (radical) preocupava-se com questões filosóficas fundamentais sobre a relação dos seres humanos com o ambiente, mais concretamente propunha que se desenvolvesse, o que ele chamava de visão holística do mundo.<sup>71</sup>

---

<sup>69</sup> Des Jardins 2001:133 cit. por Williamson et al – Understanding Sustainable Architecture p.45

<sup>70</sup> Des Jardins 2001:103 cit. por Williamson et al, op.cit. p.62

<sup>71</sup> Keller, David R. – Encyclopedia of Environmental Ethics and Philosophy. Stanford, California: Stanford University 2008 p. 206



Outros autores <sup>72</sup> propuseram posteriormente uma posição intermédia, posicionando-a entre as duas definidas por Naess, obtendo-se assim três categorias abrangentes: ambientalismo superficial, intermédio e profundo.

### **Ambientalismo Superficial**

“Shallow Environmentalism is anthropocentric. Few constraints are imposed upon the treatment of the environment providing that its treatment does not interfere with the interests of other humans. By contrast, however, with non-environmental ethics it does take a long-term view of environmental issues, and it does consider future human generations. For these reasons it is often described as resource management or husbandry.”

Nestas posições os sistemas ecológicos têm simplesmente um valor instrumental para os seres humanos, que é o único objecto com valor intrínseco ou inato. Designam-se por antropocêntricas precisamente porque as preocupações ambientais não provêm de uma preocupação com o dano aos ecossistemas ou ao ambiente natural em si, mas sim em como esse dano poderá constituir uma ameaça ao bem-estar e interesses das gerações humanas, actuais e futuras.

A maior parte das definições de desenvolvimento sustentável enquadram-se nesta perspectiva, por exemplo na Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento afirma-se logo no primeiro princípio: “Os seres humanos estão no centro das preocupações com o desenvolvimento sustentável. Têm direito a uma vida saudável e produtiva, em harmonia com a natureza.”<sup>73</sup>

No entanto, apesar de a natureza ser vista como um recurso, em decisões relacionadas com possíveis danos ambientais, aplica-se o chamado princípio da precaução (princípio 15 da mesma declaração), que defende: “Quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental.”<sup>74</sup>

### **Ambientalismo Intermédio**

“Intermediate positions can be distinguished as rejecting the notion that humans and human projects are the sole items of value; however serious human concerns always come first [have greater value]. These positions acknowledge

---

<sup>72</sup> Sylvan and Bennett 1994 cit. por Williamson et al, op.cit. p.54

<sup>73</sup> Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento [Em linha]. [Consult. 2012] Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>

<sup>74</sup> *ibidem*



the value-in-their-own-right of some at least of animals, ecosystems, forests, and other parts of the environment as a whole in addition to their value for human purposes.”<sup>75</sup>

Grande parte dos movimentos ambientais tomam pelo menos uma posição intermédia, na qual a natureza tem um valor intrínseco, para além do seu valor utilitário, no entanto o ser humano é mais importante, tem mais valor.

Algumas posições incluem uma visão pluralista do valor da natureza, defendem que o valor da natureza, não sendo independente do ser humano, pode ir além de um valor instrumental; consideram que um valor contemplativo ou espiritual, não se podendo dissociar da experiência humana, também não pode ser entendido como instrumental.<sup>76</sup>

As classes abrangidas pelo estatuto moral podem, também variar, alguns consideram apenas organismos vivos como animais e plantas (posição biocêntrica), outros abrangem também objectos inanimados como montanhas, rios ou paisagens (posição ecocêntrica). Nestas posições os ecossistemas selvagens têm grande valor na medida em que permitem que as espécies existam sem interferência humana. No entanto questões humanas sérias poder-se-ão sobrepor a questões de protecção ambiental.

### **Ambientalismo Profundo**

“Deep positions are characterised by the rejection of the notion that humans and human projects are the sole items of value, and further by the rejection of the notion that humans and human projects are always more valuable than all other things in the world.”<sup>77</sup>

O ambientalismo profundo defende que os seres humanos não têm um estatuto privilegiado, são considerados apenas um dos muitos componentes da natureza. Consequentemente os humanos não têm mais direito de ocupar um determinado espaço com os seus edifícios, do que qualquer outro uso potencial (natural), incompatível com a ocupação humana. Para além disso, defende que os seres humanos, com a sua capacidade única na natureza de reconhecer a sua posição dominante, têm responsabilidade ética de deixar espaço para as outras espécies viverem.

---

<sup>75</sup> Sylvan and Bennett 1994 cit. por Williamson et al, op.cit. p.56

<sup>76</sup> Norton, Bryan – Values in Nature: A Pluralistic Approach in Contemporary Debates, in Applied Ethics, Editado por Cohen, A.I. e Wellman, C.H.. Blackwell Publishers, 2005.

<sup>77</sup> Sylvan and Bennett 1994 cit. por Williamson et al, op.cit. p.57



Nestas posições o centro das preocupações não são os indivíduos mas as espécies, populações e sistemas ecológicos. O que importa realmente é a saúde dos principais ecossistemas que compõem a biosfera, e a própria biosfera. O planeta é entendido como um todo, composto pelo ar, os oceanos, a superfície terrestre e a matéria viva, formando um sistema complexo que pode ser entendido como um organismo (Gaia).

Estas posições propõem assim uma mudança profunda na forma como vemos o mundo, recusam a ideia da necessidade de crescimento económico e propõem uma gradual redução na população humana, de forma a possibilitar uma integração dos seres humanos nos ciclos naturais do planeta. Apesar de até se poder reconhecer a lógica do argumento, e que os humanos são o problema, não parece haver muitas pessoas preparadas para viver segundo esta ética. Prefere-se geralmente tentar remediar o problema que eliminar a posição privilegiada do ser humano.<sup>78</sup>

### **Tradição e Inovação**

Muitas vezes numa decisão particular, tanto as posições superficiais como as profundas, levam à mesma acção: a conservação ou protecção da natureza e do ambiente. No entanto, indicam uma atitude fundamentalmente diferente, nas relações que propõem com a natureza e com a sociedade.

As posições ambientais mais profundas (em particular a deep ecology de Arne Naess) surgem como uma crítica à sociedade actual dos países desenvolvidos, acusando as grandes indústrias e o consumismo como os principais motivadores da crise ambiental, criticam também o que designam como pensamento ambiental tecnocêntrico, caracterizado por um optimismo na capacidade das inovações tecnológicas e científicos de combater os impactos ambientais decorrentes da acção humana. Contrapõem esta atitude com o conceito de pensamento ecocêntrico, centrado na natureza e não no Homem, no qual este se deve sujeitar à natureza e não tentar controlá-la.<sup>79</sup>

Esta controvérsia da importância da ciência e tecnologia no discurso ambiental, encontra-se também patente na arquitectura sustentável, na qual se destacam os dois polos opostos desta questão, o high-tech e o low-tech, também chamados respectivamente progressistas e regressistas. Apesar de esta questão ser

---

<sup>78</sup> Williamson et al, op.cit. p.57-58

<sup>79</sup> Naess, Arne; Rothenberg, David - Ecology, Community and Lifestyle: Outline of an Ecosophy



principalmente relativa aos materiais, técnicas e tecnologias utilizadas, também têm uma componente formal, relativa à expressão arquitectónica e à imagem que se pretende transmitir.

“At present, environmental architecture is split between an arcadian minority intent on returning building to a pre-industrial, ideally pre-urban state, and a rationalist majority interested in developing the techniques and technologies of contemporary environmental design, some of which are pre-industrial, most of which are not.”<sup>80</sup>

A arquitectura sustentável low-tech baseia-se principalmente em técnicas de construção mais rudimentares, na sua maioria anteriores à revolução industrial, utilizando materiais naturais e locais (ou materiais reutilizados/recicladados) e recorrendo quase exclusivamente a técnicas passivas e energias renováveis. Evita-se sempre que possível processos industriais, favorecendo processos manuais, ainda que impliquem mais mão-de-obra. Muitas vezes baseia-se na tradição construtiva local (arquitectura vernacular), não só como fonte de informação relativamente às técnicas construtivas e materiais, mas por vezes na própria imagem ou simbologia. Quer tenha uma imagem inspirada no vernacular, num imaginário fantasioso ou numa linguagem orgânica, natural ou biomimética; é uma imagem que procura reflectir uma ideia de harmonia, ou de uma relação simbiótica entre o ambiente construído e o ambiente natural.

O extremo do low-tech, designado também por construção natural, toma a forma de uma auto-construção sem a necessidade de arquitecto ou de qualquer profissional ligado à indústria da construção, são geralmente construídas pelo próprio dono e futuro habitante, familiares e amigos (ou pela comunidade em que se insere), com o mínimo recurso a intervenientes externos. Estas construções são, no fundo, uma tentativa de materialização das filosofias ambientais profundas. Organizam-se geralmente em pequenas comunidades (eco-vilas), procurando um retorno a um estado pré-industrial, em que há um isolamento da sociedade e uma mudança radical no estilo de vida, mais ligado à natureza e integrado nos seus ciclos. São quase sempre auto-suficientes em termos de energia, água e até comida.

A arquitectura sustentável high-tech situa-se no polo oposto da questão, encarando a inovação tecnológica como a solução primordial para a resolução dos

---

<sup>80</sup> HAGAN, Susannah – Taking Shape - A New Contract Between Architecture and Nature. 2001



problemas ambientais. Ou seja, a sustentabilidade é encarada como uma questão de desenvolver tecnologias que resolvam ou transformem em benefícios o que actualmente parecem ser problemas.

O processo de projecto adquire uma forte componente técnica e multi-disciplinar, baseada em factores mensuráveis da performance do edifício, consumo de energia, energia incorporada, temperatura, iluminação, níveis de ruído e qualidade do ar, custos iniciais e de operação. Há uma importância fundamental da racionalidade e eficiência no planeamento, uso de materiais e sistemas.

Em termos formais pode ser descrita através do estereótipo das “torres de escritórios, e estruturas dramáticas de aço e vidro dos actuais arquitectos ‘estrelas’ internacionais.”<sup>81</sup> Na qual se procura responder, com uma linguagem internacional, a problemas globais, desenvolvendo soluções universais que transmitam uma imagem de engenho e sofisticação. Esta abordagem, apelidada por vezes de “Eco-tech”, pode-se encarar como evolução da expressão tecnológica do movimento high-tech dos anos 70.<sup>82</sup> No entanto em vez de glorificar a tecnologia como símbolo de desenvolvimento e progresso, a tecnologia é explorada de forma mais selectiva, numa tentativa de responder aos problemas ambientais. Das técnicas mais utilizadas destacam-se as fachadas duplas ventiladas, os materiais inteligentes, os átrios e chaminés de ventilação. O edifício torna-se responsivo ao clima exterior, ao trajecto do sol e às necessidades dos ocupantes através de sistemas automáticos que controlam a climatização, iluminação (natural e artificial) e sombreamento.

No entanto, o desempenho ambiental, principalmente dos primeiros edifícios Eco-tech, não são muito convincentes, sobretudo devido aos materiais de alta energia incorporada utilizados, mas mesmo em termos de eficiência energética não aparentam melhorias significativas. Apenas mais recentemente surgem bons exemplos desta arquitectura, que procuram mais do que a eficiência energética e que conseguem realmente cumprir os objectivos de minimizar o uso de recursos e o impacto ambiental do edifício.

Obviamente que estes são os dois pontos extremos da questão, e no fundo são caricaturas do que realmente se passa. Na prática, os edifícios low-tech não rejeitam todas as novas tecnologias que possam ser úteis como painéis solares, e

---

<sup>81</sup> “High-tech architecture is symbolized by the towering office buildings and dramatic steel and glass structures of today’s international ‘superstar’ architects” em Gauzin-Müller, Dominique e Favet, Nicolas – Sustainable Architecture and Urbanism: Concepts, Technologies, Examples. Basel: Birkhäuser. 2003

<sup>82</sup> SLESSOR, Catherine – Eco-Tech - Sustainable Architecture and High Technology. Londres: Thames and Hudson, 1997



os edifícios high-tech também tiram proveito de técnicas básicas que sejam eficazes, como o efeito de chaminé. No entanto, apesar de grande parte dos edifícios tender claramente para uma das duas correntes, há um número crescente de arquitectos que tomam uma posição intermédia, que não se identificam exclusivamente com nenhuma das posições. Estas podem ser um compromisso entre as duas, ou um híbrido que tira o que necessita de cada uma das correntes, tirando partido das técnicas e tecnologias low-tech e high-tech, passivas e activas, e conjugando materiais naturais e industriais.



### 3.1 – Low-Tech

Apesar de a consciência na sociedade dos problemas ambientais (nomeadamente o aquecimento global) se ter generalizado apenas mais recentemente com as conferências internacionais da década de 90 (Rio 92, Quioto 97), a procura de uma arquitectura mais sensível ao ambiente surge muito antes. Já na década de 70, na sequência da primeira crise do petróleo e dos movimentos ambientalistas, surgem propostas alternativas apresentadas por um pequeno número de idealistas que actuando principalmente numa pequena escala, propuseram uma alternativa ao que viam como a frieza do modernismo, encorajando um papel activo dos futuros utilizadores não só no projecto mas por vezes também na própria construção. São exemplos pioneiros desta abordagem os projectos de habitação social de Joachim Eble na Alemanha, e do Vandkunsten studio perto de Copenhaga; e os projectos de autoconstrução de escolas e centros juvenis de Peter Hübner em Estugarda. Estes projectos recorriam principalmente a materiais naturais como a madeira por ser leve e fácil de trabalhar. Na década seguinte outros materiais começaram a ser também usados, como a terra ou telhados e fachadas com cobertura vegetal.<sup>83</sup>

Numa definição mais geral, *low-tech* ou *low technology*, refere-se principalmente a técnicas, ferramentas ou tecnologias simples, associadas à manufactura ou artesanato, que tipicamente precedem a revolução industrial, e que actualmente se encontram muitas vezes obsoletas ou em desuso. A arquitectura *low-tech* utiliza preferencialmente esse tipo de técnicas e sistemas construtivos, por vezes reinventando-os de acordo com conhecimentos modernos. Desta forma a arquitectura vernacular torna-se matéria de estudo não só pelo domínio dessas técnicas (por vezes já esquecidas) mas também como indicador de possíveis estratégias para responder às particularidades da região (clima, topografia, ventos, materiais abundantes). As vantagens destes sistemas construtivos devem-se principalmente ao facto de serem derivados da acumulação de conhecimentos graduais ao longo de um grande período de tempo, testados exaustiva e repetidamente, e por isso de grande fiabilidade.<sup>84</sup> No entanto têm uma forte componente manual e pessoal, muito exigente em termos de mão-de-obra, pelo que por vezes se promove um envolvimento pessoal dos utilizadores (ou comunidade) na própria construção.

---

<sup>83</sup> GAUZIN-MULLER, Dominique – Sustainable Architecture and Urbanism

<sup>84</sup> RUDOFISKY, Bernard – Architecture without architects: a short introduction to non-pedigree architecture.



Em termos energéticos, o Low-Tech enfrenta o problema ambiental apoiando-se maioritariamente em sistemas passivos de controlo térmico, que permitam gradualmente uma satisfação das condições de conforto, dispensando formas de funcionamento complexo. Assim, tendencialmente, procuram-se sistemas que permitam uma adequação térmica natural, proporcionada por parte do edifício em si. Por outro lado, como consequência da sua base de pensamento, o Low-Tech assenta primordialmente na escolha e utilização de materiais provenientes de fontes locais e naturais. Desta forma, ao dispensar-se o transporte de materiais específicos por encontrarmos alternativas válidas mais próximas, pretende-se reduzir os custos inerentes à deslocação e o seu consequente impacto ambiental.

O paralelismo entre pensamento low-tech e as filosofias ecológicas mais profundas, torna-se particularmente claro nas relações que propõem com a natureza, na importância que dão à integração de elementos naturais (jardins, telhados verdes, fachadas plantadas) mas principalmente na sua procura de transmitir uma harmonia com a natureza e de fortalecer a relação entre o homem e o ambiente natural.

Em termos formais, o low-tech caracteriza-se principalmente por essa procura de harmonia com a natureza e com o conceito de “tocar a terra levemente”<sup>85</sup>. Isto reflecte-se tanto directamente através de relações espaciais interior/exterior, integração na paisagem e na utilização de elementos vegetais, como indirectamente, pelos materiais naturais e pelas formas orgânicas ou inspiradas na natureza (biomimética). O recurso ao vernacular é também muitas vezes evocado a um nível formal, sendo até por vezes imitadas ou copiadas certas características formais, símbolos ou elementos arquitectónicos. No entanto, mesmo esta influência assenta na mesma ideia de um regresso a uma vida mais simples, mais ligada à natureza.

---

<sup>85</sup> “Touch the earth lightly” - Provérbio aborígene australiano que deu o título ao livro: Drew, Philip & Murcutt, Glenn – Touch this earth lightly: Glenn Murcutt in his own words



Fig. 31 –Arcosanti – Vista Geral



Fig. 32 – Arcosanti – Edifícios Residenciais



Fig. 33 –Crafts III – Primeiro Piso

## Arcosanti

Em 1970, o arquitecto italiano Paolo Soleri, discípulo de Frank Loyd Wright, através da fundação Cosanti começa a construir esta cidade experimental no deserto do Arizona, nos Estados Unidos. Um “laboratório urbano” baseado no seu conceito de “arcology” que define como “cidades que incorporam a fusão entre arquitectura e ecologia”.<sup>86</sup> Desta forma uma arcologia seria uma cidade compacta, com limites bem definidos e com grande densidade populacional, de forma a conseguir uma grande conservação de espaço, energia e recursos,

Um dos objectivos principais da “arcology” enquanto teoria e de Arcosanti enquanto prática é o eliminar do automóvel da cidade, e contrariar o modelo típico de dispersão urbana (urban sprawl) através dum correcto desenho urbano, localizando as áreas destinadas a habitação, trabalho e serviço público perto umas das outras, para que seja possível deslocar-se pedonalmente e com facilidade a qualquer ponto da cidade. Pretende-se obter uma cidade compacta, que preserve as características naturais do território pré-existente, permite a proximidade com os espaços naturais envolventes e a localização de agricultura perto da cidade, aumentando desta forma a eficiência logística dos sistemas de distribuição de comida. Para além disso há um grande recurso a técnicas solares passivas que são utilizadas repetidamente, não só em Arcosanti mas também nas arcologias teóricas de Soleri. Das quais se destacam as formas em abside ou meia cúpula abertas para sul (apse), a utilização de telas de sombreamento amovíveis (garment architecture) e o recurso a estufas para aquecimento no inverno e para produção agrícola.

Na prática, Arcosanti não se desenvolveu como previsto, sendo de momento uma pequena amostra do plano inicial que previa uma cidade para cerca de 5.000 pessoas, actualmente a população varia entre 50 e 150 dependendo do número de voluntários. Devido à falta de fundos, a construção tem avançado muito lentamente, depende principalmente do trabalho de voluntários estudantes que frequentam workshops, do turismo e da venda dos sinos característicos de bronze ou cerâmica.

Os edifícios construídos constituem cerca de 5% do plano inicial. Existem 13 estruturas principais, com apenas alguns pisos, que permitem o seu funcionamento básico enquanto uma pequena ‘cidade’. Contêm vários edifícios puramente

---

<sup>86</sup> [Em linha]. [Consult. 2012] Disponível em: <http://www.arcosanti.org/>

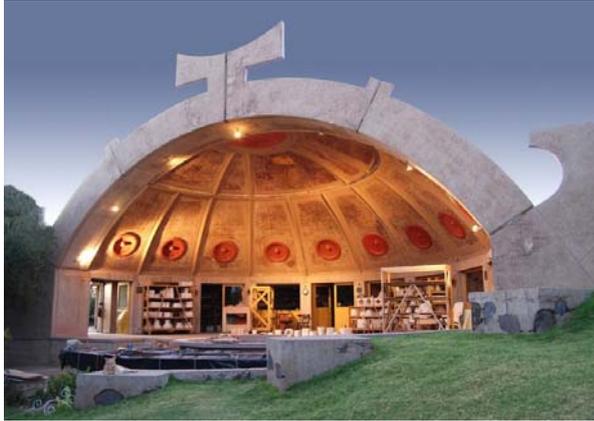


Fig. 34 –Foundry Apse (Fundição)



Fig. 35 Crafts III vista exterior

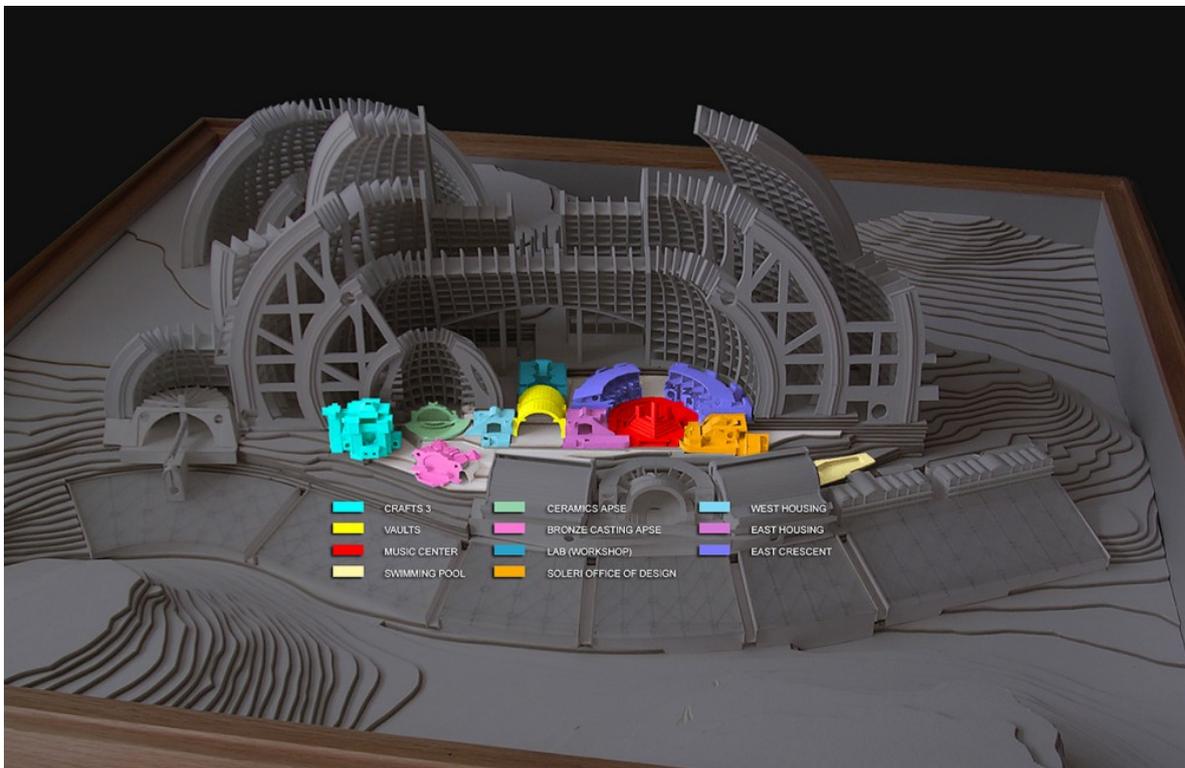


Fig. 36 – Maquete do Plano Futuro (Os edifícios construídos encontram-se a cores)

habitacionais alguns edifícios de trabalho para os residentes e outros culturais e de lazer, para residentes e visitantes.

Por exemplo, um dos edifícios principais de Arcosanti, o Crafts III, com função principal de centro de visitantes mas que, de acordo com outro dos princípios da Arcology, reúne vários usos. Desta forma, neste edifício, o primeiro piso destina-se a Habitação, o segundo a um Café, o terceiro à Padaria e o quarto e último a uma área comercial onde se vendem recordações de Arcosanti, nomeadamente os Sinos de Vento. É de notar no átrio neste edifício a utilização de um tubo de tecido (heat tube) que atravessa os vários pisos, no inverno o ar no seu interior é aquecido pelo sol através de uma claraboia no topo do edifício, e desce para o café do segundo piso (ajudado por uma ventoinha), aquecendo o espaço.

Em relação aos materiais utilizados, a escolha deve-se principalmente ao orçamento limitado. Os edifícios são construídos maioritariamente em betão, com estrutura de betão armado e painéis de betão pré-moldados, utilizando moldes feitos de sedimentos locais que lhe conferem uma cor e textura característica. A arquitectura da cidade é marcada pelas formas abobadadas, e pelas janelas redondas que remetem para uma antiga imagem futurista.

Apesar de Arcosanti não ter resultado enquanto cidade, e ter ficado muito longe da visão utópica de Soleri, a sua teoria da arcologia levantou uma série de questões importantes, relativas à forma como pensamos as nossas cidades, e como nos relacionamos com o ambiente. Para além disso foi um projecto pioneiro que teve um impacto na mediatização de princípios ecológicos na arquitectura.



Fig. 37 – 20k House 2008



Fig. 38 - Cardboard Bale House



Fig. 39 - Yancey Chapel



Fig. 40 – Mason's Bend Community Center



Fig. 41 - Butterfly House



Fig. 42 - Lucy's House

## Rural Studio

Fundado em 1993 pelo arquitecto Samuel Mockbee (1944-2001) e por D.K. Ruth (1944-2009), o Rural Studio é uma iniciativa da Universidade de Auburn que tem o objectivo de sensibilizar os estudantes de arquitectura sobre as responsabilidades sociais da profissão, ao mesmo tempo que desenha e constrói habitações e edifícios comunitários para comunidades desfavorecidas das zonas rurais do oeste do Alabama. Pretende-se que os edifícios desenhados pelos estudantes sejam de baixo custo, confortáveis, sustentáveis e de qualidade.<sup>87</sup>

O processo começa com a imersão dos profissionais e estudantes nas actividades comunitárias, o que serve para os ajudar a superar opiniões mal concebidas e a projectar com uma convicção moral de estar a servir a comunidade. Eles deixam o conforto do campus para estudar, viver e trabalhar no estúdio, em contacto com a comunidade. Esta experiência pretende ajudar a aumentar a sensibilidade e confiança no poder transformador do que fazem, em relação a abstractas e preconcebidas boas intenções.

O Rural Studio pretende desta forma não só aumentar as condições de vida nas comunidades carentes locais, como introduzir e desenvolver no ensino da arquitectura preocupações sociais e ambientais. Os projectos são de baixo custo, utilizando matérias locais, sobras de materiais, materiais doados ou reutilizados para construir pequenas residências para famílias sem dinheiro, ou equipamentos para comunidades locais. Os projectos são geralmente construídos com recurso a doações, ajuda filantrópica e governamental.

São construídos cerca de cinco projectos por ano: uma casa pelos estudantes do segundo ano, três projectos de tese por grupos de 3 a 5 alunos do quinto ano e um ou mais projectos por estudantes externos através do programa “outreach”. No total já foram construídos mais de 80 edifícios, principalmente nos condados de Hale, Perry e Marengo.

Os materiais mais usados são possivelmente a madeira, a terra e a palha, no entanto há uma grande procura de soluções inovadoras na utilização de materiais reutilizados, como as paredes de pneus e terra da Yancey chapel, os para-brisas de automóveis do centro comunitário em Mason’s Bend, e uma pequena casa feita com fardos de cartão canelado que por ser encerado não era reciclável.

---

<sup>87</sup> [Em Linha]. [Consult. Julho 2012]. Disponível em: <http://apps.cadc.auburn.edu/rural-studio/>



Fig. 43 - Abrigos de emergência num campo de refugiados das Nações Unidas

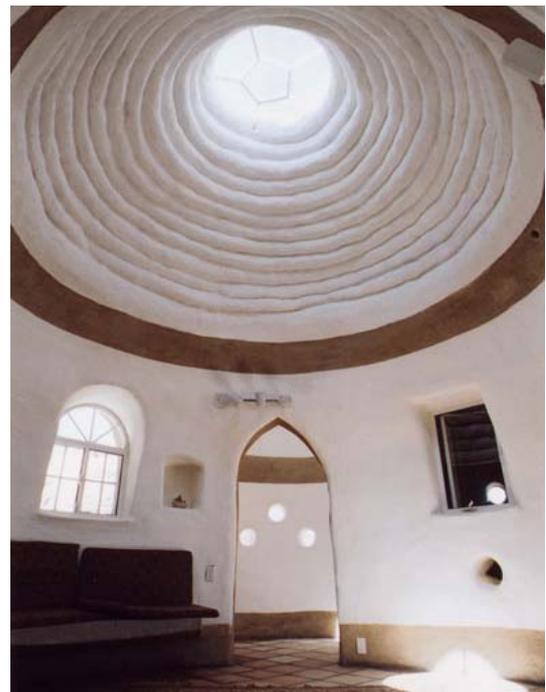
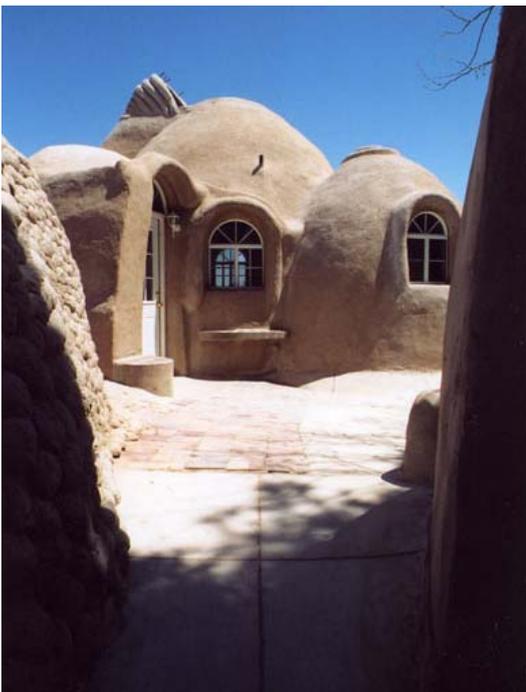


Fig. 44 – Casa tipo “Eco-dome”

## Nader Khalili

Nader Khalili (1936-2008), arquitecto e filósofo Iraniano, desenvolveu duas técnicas de construção com terra: um sistema de terra cozida que chamou “geltaftan”, e posteriormente um sistema de sacos de terra a que chamou “superadobe”. Este último, foi originalmente apresentado, em 1984, num simpósio para a NASA, como uma proposta de sistema construtivo para construir bases na Lua. Com a guerra do golfo, Khalili trabalhou com as Nações Unidas para adaptar esta técnica e construir abrigos de emergência para refugiados no Irão.

Em 1991 fundou o instituto Cal-Earth (California Institute of Earth Art and Architecture), com o objectivo de desenvolver estas técnicas, construindo e testando protótipos, e para ensinar estas técnicas a refugiados e populações carenciadas. Actualmente existem construções neste sistema em diversos países: tais como Austrália, Costa Rica, Nicarágua, Irão, Índia, México, Chile, Sibéria, Tibete, África do Sul e Estados Unidos.

O “superadobe” consiste no preenchimento de mangas de polipropileno com terra humedecida e estabilizada (com cal ou cimento) e seu assentamento sobre um plano circular que vai se estreitando até formar uma cúpula, cada camada é compactada manualmente e entre cada uma é colocada uma ou duas fiadas de arame farpado para dar adesividade entre as fiadas de sacos. As portas e janelas são feitas com moldes aplicados durante a construção ou serradas posteriormente. Depois de concluída, a estrutura deve ser rebocada no interior e exterior com uma massa à base de terra, cal ou cimento.

Estas construções não necessitam de mão-de-obra qualificada, as técnicas são simples e fáceis de aprender. Para além da terra, que pode ser obtida no próprio local, os materiais necessários são reduzidos e baratos, limitam-se à manga plástica, o arame farpado, um estabilizador (cal ou cimento) e algumas ferramentas. O objectivo principal é não só providenciar as populações com um abrigo temporário, mas ensinar um método de construção simples, barato e seguro que pode ser usado para habitações permanentes.

As casas construídas por este método têm um bom comportamento térmico, devido ao bom isolamento e à massa térmica das paredes de terra. Para além disso os testes efectuados em protótipos demonstraram que este sistema construtivo tem uma boa resistência sísmica.



## 3.2 High-Tech

Os desenvolvimentos tecnológicos sempre acompanharam a expressão da arquitectura ao longo dos tempos. A arquitectura moderna em particular, sempre procurou apropriar-se da tecnologia e celebrá-la como uma força de mudança. Posteriormente, e de uma forma mais marcada, esta procura de exprimir uma imagem de vanguarda tecnológica reflecte-se na arquitectura high-tech dos anos 70, fruto de uma era de optimismo tecnológico, marcada por avanços científicos e pela exploração espacial.<sup>88</sup>

Esta arquitectura, bem exemplificada pelo Centro Pompidou (1977) de Richard Rogers e Renzo Piano; caracteriza-se pela linguagem futurista e Industrial, inspirada pelas provocações do grupo Archigram. Os elementos técnicos (tubagens, condutas de ar condicionado), equipamentos (elevadores, escadas rolantes) e a estrutura tomam um papel de relevo nas fachadas, sendo usados como elementos de composição. Estes elementos para além de uma demonstração do poder científico e tecnológico, reflectem uma linguagem irreverente, marcada pelas estruturas de aço, em que os elementos técnicos e funcionais expostos evocam equipamento industrial (edifício enquanto máquina) enfatizando a automatização, a artificialidade e a libertação e flexibilidade do espaço interior. O facto de não haver uma preocupação com o clima, e haver um uso persistente de fachadas de vidro, levou a uma grande dependência de sistemas de climatização, e a um elevado consumo energético.

Ainda assim, esta arquitectura tem vindo a evoluir na direcção da sustentabilidade, em particular no trabalho de arquitectos como Norman Foster, Renzo Piano, Richard Rogers e Nicholas Grimshaw. Inicialmente incorporando apenas conceitos de eficiência energética, pré-fabricação e standardização, durabilidade e flexibilidade espacial, progrediu no sentido de incorporar outras preocupações ambientais, como economia de recursos e integração de sistemas de geração de energias renováveis. Assim, também designada por Eco-tech, esta arquitectura distingue-se da high-tech pelos objectivos ambientais. No entanto, continuam de forma geral, a procurar um compromisso entre as preocupações ambientais e uma imagem tecnológica, menos industrial e mais sofisticada, mas em que continua a dominar a expressão estrutural do aço, e extensas fachadas de vidro.

---

<sup>88</sup> SLESSOR, Catherine – Eco-Tech - Sustainable Architecture and High Technology. 1997



As medidas passivas não têm papel de relevo, havendo uma preferência por soluções activas e por tecnologias e materiais inovadores, como fachadas duplas, sistemas de sombreamento operáveis, vidros de alta performance, e painéis fotovoltaicos. A tecnologia toma um papel central, havendo um grande investimento na procura e desenvolvimento de novas soluções: sistemas de climatização mais sofisticados e eficientes, sistemas geotérmicos, de recuperação de calor ou sistemas de controlo computadorizado que monitorizam as condições climatéricas e controlam a ventilação natural e a mecânica (podem abrir e fechar janelas), regulam a iluminação artificial, controlam a radiação solar, ou até sistemas de espelhos que seguem e reflectem a luz solar.

Em termos económicos, a utilização de tecnologia de ponta implica quase sempre um elevado custo inicial, com algum risco da tecnologia não cumprir os objectivos esperados, ou de ocorrerem problemas de manutenção e necessidade de mão-de-obra especializada. No entanto esse custo adicional é assumido, mesmo não contando com retorno directo (através de poupanças energéticas) mas esperando benefícios noutras áreas, principalmente marketing, visibilidade e melhoria da imagem da marca (fazendo passar a ideia de que a empresa se preocupa com os problemas ambientais), ou aumento da produtividade (devido à iluminação natural e qualidade do ar).

Nota-se, de forma geral, que estes edifícios estão ligados a grupos empresariais com grande poder económico, e surgem como forma de captar atenção internacional, sugerindo que a sustentabilidade destes edifícios surge principalmente como ferramenta de marketing. Esta situação pode levar ao chamado 'greenwash', ou seja, que os edifícios ou a actividade da empresa sejam anunciados como sustentáveis, ecológicos ou "amigos do ambiente", quando isso não se reflecte na actividade da empresa, ou no impacto ambiental do próprio edifício.

Para tentar colmatar esta situação, e confirmar a performance ambiental dos edifícios, têm vindo a ser desenvolvidos vários sistemas de certificação ambiental. O mais utilizado e reconhecido internacionalmente neste tipo de projectos de grande escala é provavelmente o sistema americano LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).



Fig. 45 – Desenho do Arquitecto



Fig. 46 – Vista da Rua

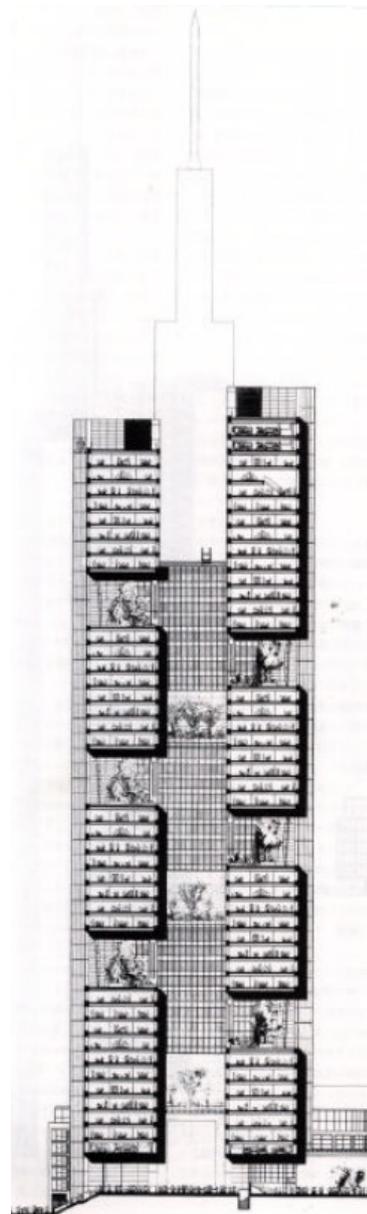


Fig. 47 - Corte

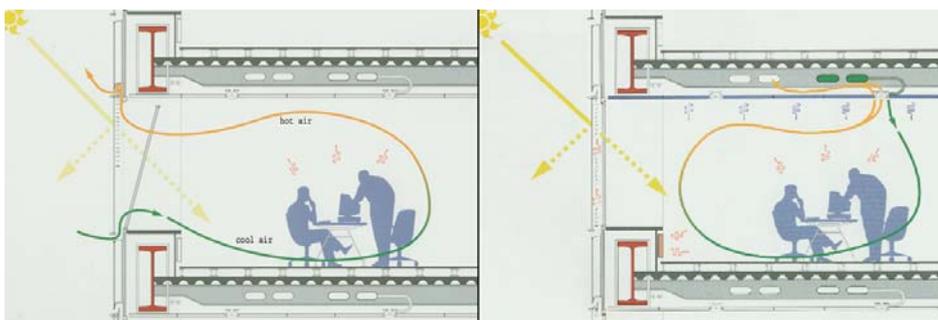


Fig. 48 – Esquema de ventilação natural e artificial

## Norman Foster – Commerzbank, Frankfurt

"Since Stonehenge, architects have always been at the cutting edge of technology. And you can't separate technology from the humanistic and spiritual content of a building."<sup>89</sup>

Norman Foster (1935), é um arquitecto britânico de renome mundial, fundador e presidente de um dos mais bem-sucedidos gabinetes de arquitectura, Foster + Partners, com quase mil colaboradores e escritórios em vários países. É responsável por vários projectos de grande escala e visibilidade, e é dos arquitectos mais referenciados como exemplo de uma arquitectura de proficiência técnica, nomeadamente no campo da arquitectura sustentável.

O seu projecto do edifício sede do Commerzbank, em Frankfurt, é descrita como a primeira torre de escritórios ecológica do mundo e, com 53 andares, era à data da sua conclusão em 1997, o edifício mais alto da Europa (actualmente é o terceiro). Das suas características técnicas de economia de energia é de destacar a fachada dupla que permite a abertura do painel interno das janelas, e o sistema de ventilação que conjuga ventilação natural com artificial, ou seja, há um computador central que, através de diversos sensores meteorológicos, e de acordo com vários factores climatéricos, decide para cada espaço se a climatização é feita artificialmente pelo sistema de ar condicionado ou se as janelas podem ser abertas pelo utilizador para o espaço ser ventilado naturalmente. Há também um sistema de aproveitamento da água do sistema de arrefecimento nas descargas sanitárias

A sua planta triangular permite-lhe um esquema de sucessivos jardins interiores, que ocupando uma altura de quatro pisos cada, iluminam e ventilam um átrio central triangular que percorre toda a altura do edifício, e que através do efeito de chaminé permite a ventilação natural do edifício. Em cada piso a planta triangular contém escritórios em apenas dois dos lados com o jardim a ocupar o terceiro lado, que vai alternando. Esta configuração permite que os escritórios virados para o interior tenham acesso a iluminação, ventilação natural e vistas para o exterior através dos jardins. Nos cantos encontram-se os serviços de apoio, acesso verticais e a estrutura vertical principal da torre.

---

<sup>89</sup> Foster, N. - entrevista na BBC Radio 4, Maio 1999 in Williamson et al. - Understanding Sustainable Architecture.

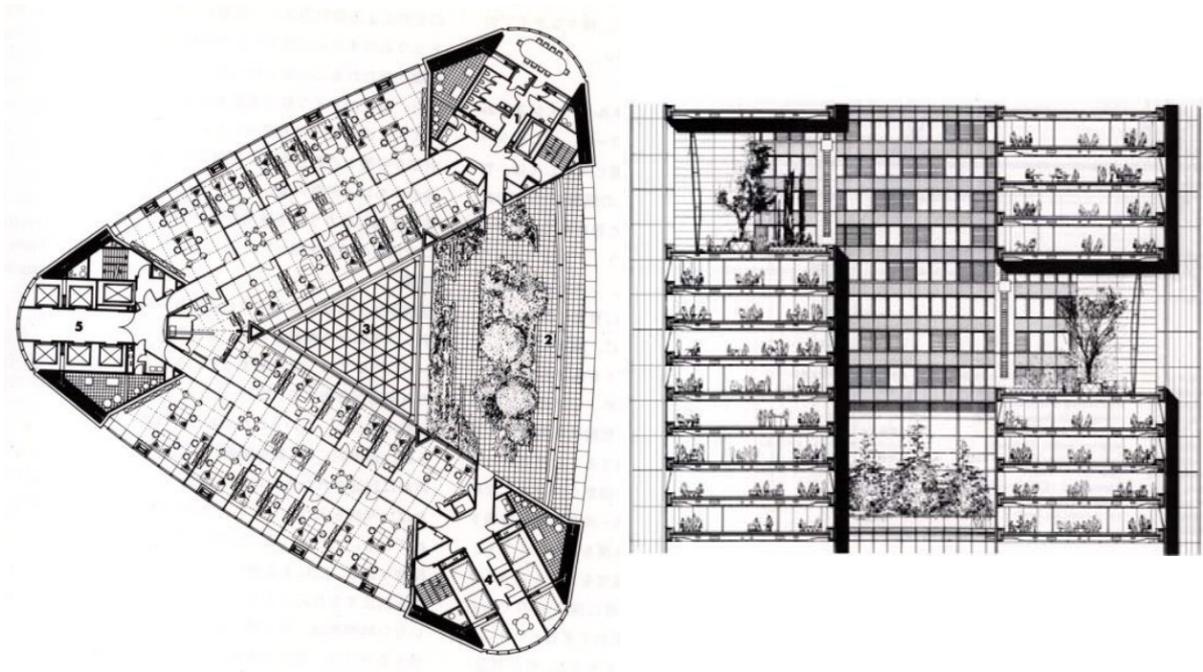


Fig. 49 – Planta piso tipo e corte



Fig. 50– Vista para os Jardins

Para além da redução do consumo de energia (metade de uma torre de escritórios convencional)<sup>90</sup>, o facto de cada espaço ter acesso a iluminação e ventilação natural, tinha também o objectivo de criar espaços de trabalho confortáveis e saudáveis. Os jardins servem também esse objectivo proporcionando espaços sociais para descontração durante eventuais pausas no trabalho e proporcionando uma relação com um espaço verde, não habitual num ambiente urbano. Segundo opiniões pessoais, os utilizadores demonstram satisfação com o sistema de climatização e com o ambiente de trabalho<sup>91</sup>.

Enquanto construção em altura, e devido aos materiais utilizados (aço e vidro) é obviamente um edifício com uma grande energia incorporada. Para além disso não há qualquer produção de energia renovável, como painéis solares, no entanto, este foi um edifício extremamente inovador na introdução de princípios sustentáveis neste tipo de arquitectura de grande escala, e testou soluções técnicas que viriam a ser aproveitados noutros edifícios semelhantes.

---

<sup>90</sup> [Em Linha]. [Consult. 2012]. Disponível em: <http://www.fosterandpartners.com/Projects/0626/Default.aspx>

<sup>91</sup> Brian N. Dean – entrevista com Peter Muschelknautz (Building Manager) [Em Linha]. 2000 [Consult. 2012]. Disponível em: <http://cmiserver.mit.edu/natvent/Europe/commerzbank.htm>



Fig. 51 – Interior do Bioma Tropical



Fig. 52 – Vista do Exterior



Fig. 53 – Vista a partir do “The Core”

## Eden Project

Situado numa antiga exploração mineira na Cornualha, Reino Unido, o Eden Project é uma atracção turística, um jardim botânico e um centro educacional dedicado à biodiversidade e sustentabilidade. O complexo, desenhado por Nicholas Grimshaw & Partners inclui duas enormes estufas, concluídas em 2001, que em conjunto são consideradas a maior estufa do mundo.

Constituídas por oito cúpulas esféricas, separadas por um edifício central de ligação, as duas estufas permitem criar micro-climas controlados, representando a vegetação típica de várias zonas do mundo. O projecto engloba dois 'biomas' principais, o tropical húmido encontra-se na estufa maior e contém árvores e plantas de várias florestas tropicais. O bioma mediterrânico, situa-se na estufa menor com espécies nativas não só de países mediterrânicos mas também de outros países com clima semelhante. Para além destes, existe o bioma exterior que é composto pelos jardins do recinto, com espécies que não necessitam de protecção climática.

O terreno previsto para a construção deste projecto, era o local de uma mina de caolin que continuou em exploração durante o período de projecto arquitectónico, o que criou o problema de não se poder determinar com antecedência e exactidão a topografia final do terreno. A forma composta por várias superfícies esféricas, veio resolver este problema pela facilidade de se adaptar a qualquer topografia bastando, se necessário, continuar a forma da estrutura. A disposição orgânica das 'bolhas' foi também uma consequência da topografia, estando distostas de forma a aproveitar o declive do terreno para conseguir uma maior exposição a sul, maximizando os ganhos solares.

A dimensão das cúpulas, aliada à necessidade de maximizar a transparência e isolamento do invólucro, obrigou a uma solução técnica inovadora, em vez do tradicional vidro, optou-se por um material plástico, chamado ETFE (etil-tetrafluoretileno) que é muito mais leve que o vidro, para além disso é de baixa manutenção e é mais seguro. Foi utilizado um sistema de almofadas triplas que permite um alto nível de isolamento e de transmissão de luz. Para além disso a geometria da estrutura baseada nas cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller, permitiu uma ainda maior leveza e eficácia da estrutura de aço. Esta estrutura metálica tubular, não é uma cúpula geodésica simples, sendo constituída por um sistema de duas camadas, referido como 'hex-tri-hex', ou seja, hexágonos na

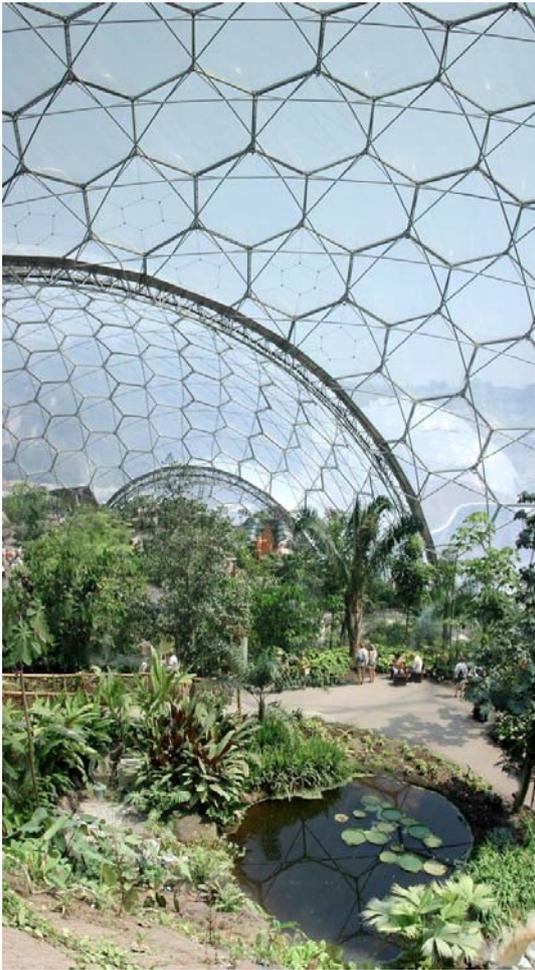


Fig. 55 – Bioma Mediterrâneo



Fig. 54 – Pormenores da cobertura em ETFE



Fig. 56 – Vista Aérea

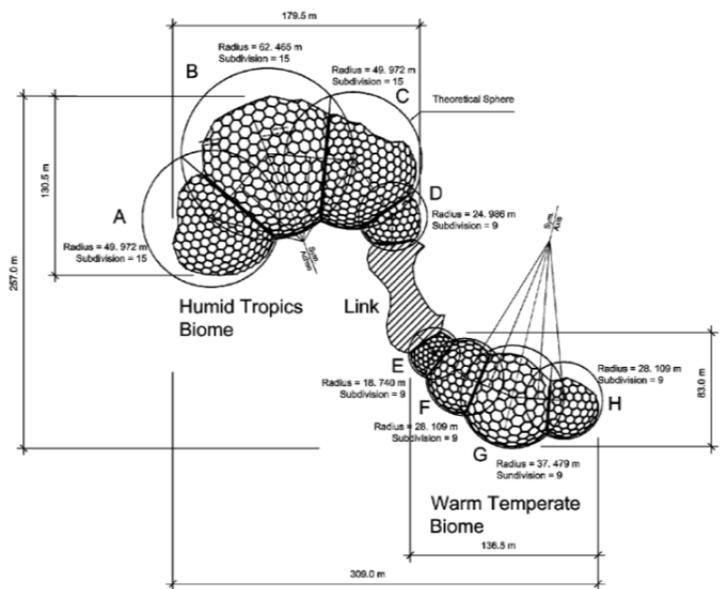


Fig. 57 – Planta da estrutura

camada exterior e triângulos e hexágonos na camada interior. Este sistema permitiu uma redução de cerca de 50% quantidade de aço utilizado<sup>92</sup>. A ventilação natural das estufas é feita no topo das cúpulas pela divisão em triângulos dos cinco hexágonos que rodeiam o pentágono que marca o ponto mais alto de cada cúpula. Estas janelas triangulares, também de ETFE, têm actuadores mecânicos que permitem a sua abertura por um sistema informático central.

Apesar do sistema de almofadas de ETFE já ter sido usado anteriormente noutros projectos, nunca tinha sido utilizado a esta escala, com os hexágonos maiores a chegarem aos 11 metros. Este edifício foi o primeiro a ser desenhado especificamente para as características estruturais do sistema de almofadas de ETFE<sup>93</sup> e sem o qual não teria sido possível, ou pelo menos economicamente viável, construir as estruturas de tão grandes dimensões: a cúpula maior tem cerca de 110m de diâmetro e atinge uma altura de 55m.

Obviamente que o funcionamento e a climatização das estufas, implica um grande consumo energético e de água, no entanto as estufas foram desenhadas para maximizar o isolamento e ganhos solares, e há um sistema de recolha e sanitização de águas pluviais, que permite que apenas a água dos lavatórios e para cozinhar provenham da rede. Para além das estufas o complexo contém outros edifícios, também desenhados por Nicholas Grimshaw e em todos houve uma procura de integrar princípios de construção sustentável. O centro de visitantes à entrada, construído em 2000, um edifício de escritórios em construído em 2002 e o “the core”, construído em 2005.

As características ambientais mais significativas não são apenas as relacionadas com os edifícios em si, mas principalmente a educação ambiental que procuram transmitir aos visitantes. De facto o objectivo fundamental deste complexo é fazer com que as pessoas compreendam a interdependência do ser humano com a natureza, e leva-las a pensar nas consequências das acções humanas sobre o planeta. Para além das exposições relacionadas com a natureza e biodiversidade, há também exposições relacionadas com o aquecimento global e com tecnologias de construção sustentável. São também organizados diversos projectos educacionais e sociais, espalhados um pouco por todo o mundo, incluindo parcerias com empresas visando melhorar as suas práticas ambientais.

---

<sup>92</sup> KNEBEL, K.; SANCHEZ-ALVAREZ, J.; ZIMMERMANN, S. - The structural making of the Eden Domes

<sup>93</sup> LECUYER, Annete – ETFE Technology and Design. Basel: Birkhauser Verlag, 2008



Fig. 58 – Expressobar Delft

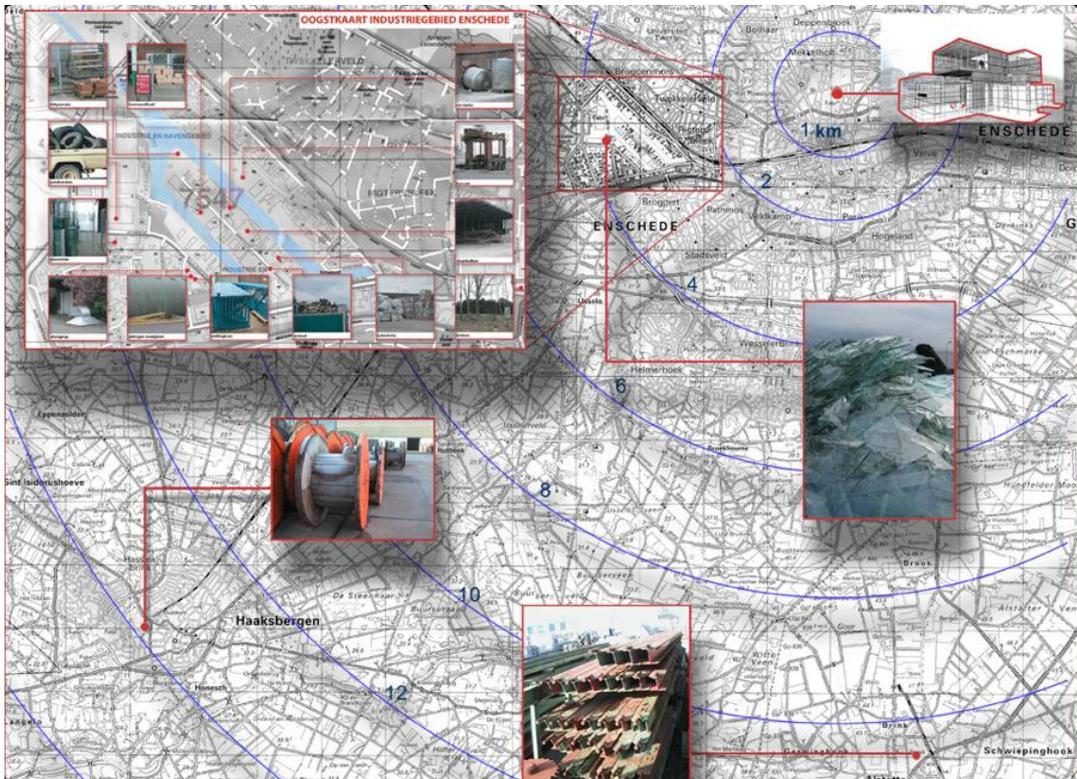


Fig. 59 'Harvestmap' da villa Welpeloo

### 3.3 Posições Intermédias

“Architects play many games at once, using many images.”<sup>94</sup>

Ao considerarmos o High-tech e Low-tech como os dois polos opostos da sustentabilidade em arquitectura, surgem uma grande quantidade de possibilidades intermédias, que se situam algures entre as duas, não se comprometendo totalmente com nenhuma delas.

Este campo de experimentação não é completamente definido pela palavra intermédio, na medida em que por vezes o que acontece é uma espécie de híbrido entre as duas correntes que aproveita o que necessita de cada uma, combinando tradição com inovação.

De facto nota-se uma tendência cada vez maior de complementar técnicas passivas low-tech com inovadoras tecnologias activas mais eficientes, combinando materiais naturais e locais, de baixa energia incorporada, com materiais reciclados ou reutilizados, ou novos materiais industriais de alta performance.

Assim, podem ocorrer situações tão díspares como painéis fotovoltaicos ao lado de paredes de terra ou em coberturas verdes, edifícios com uma imagem tecnológica, construídos com técnicas vernáculas ou materiais reutilizados, ou edifícios que tiram partido de técnicas ou tecnologias inovadoras com uma imagem evocativa de uma tradição cultural.

#### 2012 Architecten

O 2012 Architecten é um gabinete de arquitectura holandês que tem como método de trabalho um processo a que chamam “superuse”, este método tem o objectivo de maximizar e promover a reutilização de resíduos ou desperdícios nomeadamente de origem industrial, demolições, ou bens de consumo em fim de vida (automóveis, eletrodomésticos, entre outros), integrando o projecto arquitectónico em ciclos de utilização e reutilização dos materiais, minimizando assim gastos energéticos de produção e transporte de materiais, evitando assim que os mesmos se tornem desperdício.

---

<sup>94</sup> Williamson et al – Understanding Sustainable Architecture



Fig. 60 - Vista Norte



Fig. 61 - Vista Sul

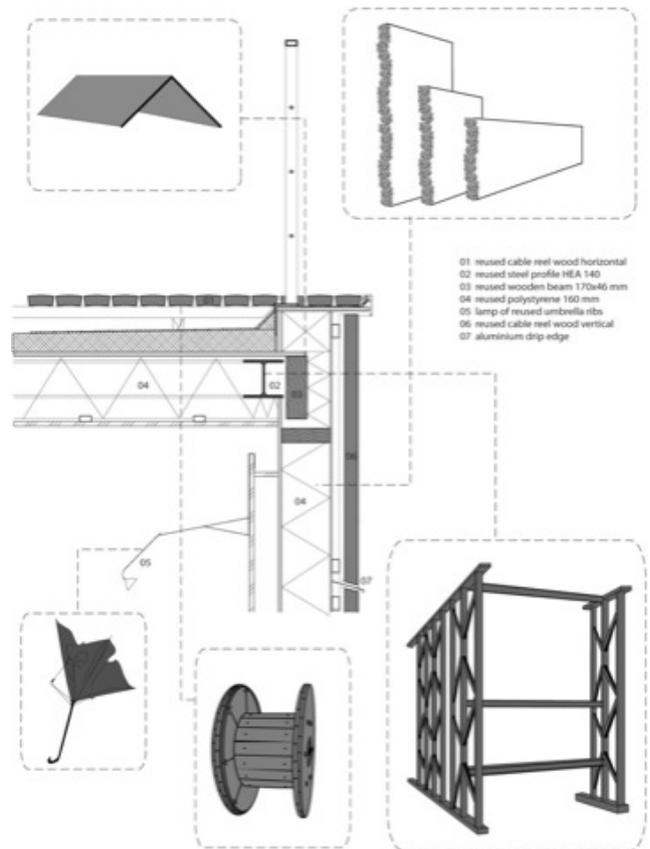


Fig. 62 – Corte Construtivo com a origem dos materiais



Fig. 63 – Fase de Construção



Fig. 64 Interior

O processo é iniciado com a procura em locais próximos e catalogação num mapa (harvestmap) de potenciais materiais a serem reutilizados, seguindo-se o processo de desenho com o objectivo de os valorizar, surgindo como consequência dos materiais disponíveis. Os seus projectos são na maioria em pequena escala, instalações ou teóricos. A descontextualização dos materiais consegue muitas vezes criar uma sensação de surpresa, por exemplo quando nos apercebemos ao perto, que as janelas redondas de um bar que lembra uma nave espacial, são na verdade portas de máquinas de lavar roupa reaproveitadas. (Fig.58)

A Villa Welpeloo (2008), em Enschede, na Holanda é um bom exemplo deste método, contendo cerca de 70% de materiais reutilizados dentro de um raio de 15km da obra. A estrutura principal é feita a partir de vigas de aço de uma máquina industrial têxtil desmantelada, a madeira da fachada da parte central de bobines de cabos industriais provenientes de uma fábrica de cabos vizinha, o isolamento e alguns dos vidros foram aproveitados de edifícios para demolição. Nos interiores a maior parte dos materiais são novos, no entanto até em móveis e decoração foram utilizados materiais reaproveitados como antigos sinais de trânsito e a estrutura de guarda-chuvas. Apesar disso a casa apresenta uma imagem limpa e contemporânea que à primeira vista não deixa adivinhar a proveniência destes materiais.



Fig. 65 - Vista Principal



Fig. 66 - Vista Posterior



Fig. 67 - Cobertura com Deck



Fig. 68 - Interior



Fig. 69 - Acesso à cobertura



Fig. 70 - Pormenor da fachada

## Casa em Arruda dos Vinhos – Plano B

A casa em Arruda dos Vinhos foi projectada pelo Gabinete Plano B Arquitectos (Eduardo Carvalho, Francisco Freire, Luís Gama), tendo como condicionante a localização do terreno em reserva ecológica e por isso ter de respeitar, por lei, a área de implantação, as dimensões das ruínas existentes (60m<sup>2</sup>), assim como manter os limites de ocupação, impermeabilização, altura e número de pisos. A opção de construir de forma sustentável partiu da vontade do proprietário, procurando-se não só a eficiência energética mas também reduzir a energia incorporada da construção.<sup>95</sup>

Os materiais utilizados não são apenas uma procura de utilizar os materiais mais sustentáveis, a sua escolha baseia-se numa atitude crítica aos métodos convencionais de construção. Desta forma são utilizadas técnicas tradicionais mas procurando uma imagem arquitectónica contemporânea, articulando materiais naturais (madeira, terra, cortiça) com materiais industriais, (betão, policarbonato).

O desenho da habitação foi pensado tendo em conta o envolvente edificado da zona, predominando edifícios baixos com portões em vez de janelas, devido à função de armazenamento. Pretenderam também, usar como materiais de construção os que tinham sido utilizados na construção existente: pedra, madeira e terra, mas reordenados, reutilizando a pedra para as fundações, usando madeira para a estrutura e terra no preenchimento das paredes.

Assente em fundações de betão armado convencionais, a solução construtiva baseia-se numa estrutura de madeira de eucalipto baseada na gaiola pombalina, sendo o espaço intersticial dos elementos, preenchido por terra amassada com palha. A escolha da madeira de eucalipto foi imposta pela vontade de uma madeira da zona, e pela vantagem da resistência a pestes e de não haver necessidade de tratamentos com produtos tóxicos. A escolha de madeira de eucalipto é invulgar e arriscada, devido às características estáticas e de resistência ao empeno, sendo normalmente usada noutra tipo de aplicações, mas interessante pelo facto do eucalipto ser uma árvore muito abundante e de crescimento rápido. A terra foi aproveitada da própria escavação, e a sua aplicação foi efectuada pelo proprietário, arquitectos, familiares, amigos, vizinhos e até desconhecidos.

---

<sup>95</sup> Diário de Obra da Autoria do Plano B Arquitectura [Em Linha]. 2007-2011 [Consult. 2012]. Disponível em: <http://planob-arruda.blogspot.pt/>

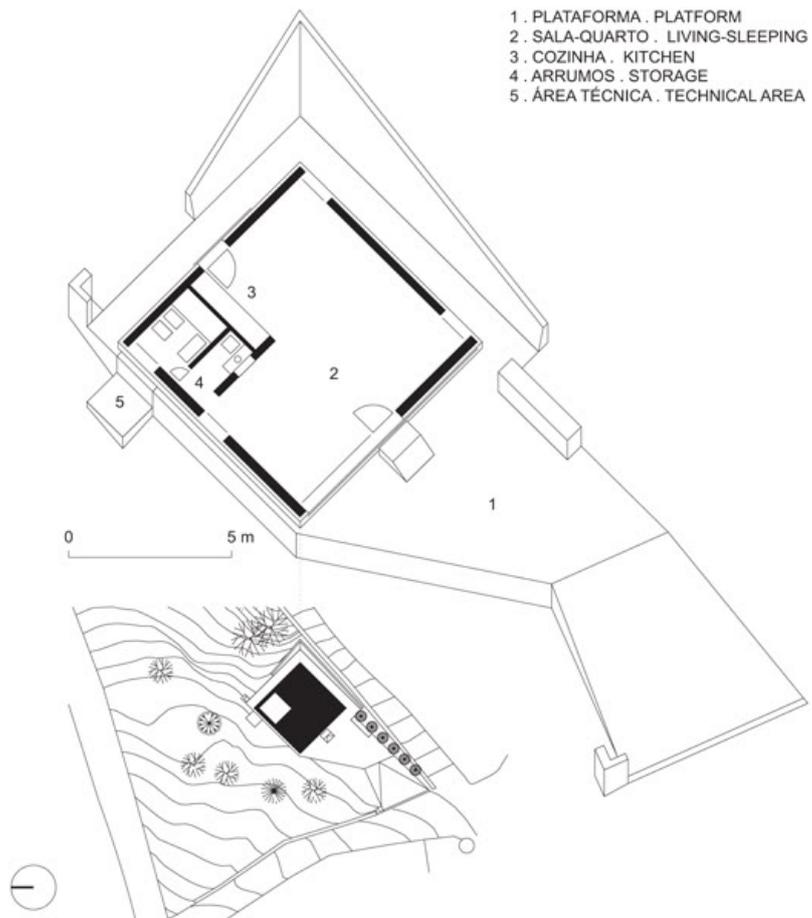


Fig. 71 Plantas



Fig. 72 Fase de Construção

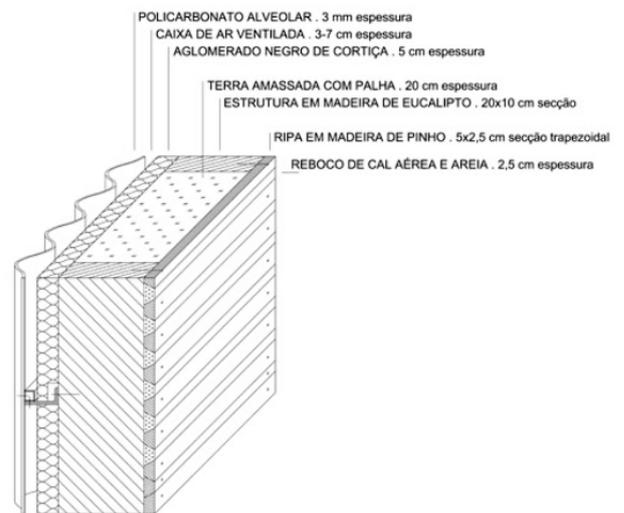


Fig. 73 – Detalhe construtivo

As paredes exteriores são revestidas com placas de aglomerado negro de cortiça com 5 centímetros de espessura, revestido por chapas de policarbonato alveolar (para impermeabilizar), separadas por uma caixa-de-ar. O interior das paredes é revestido por um fasquiado de pinho, rebocado a cal e areia e pintado de branco e o piso interior é em betonilha afagada protegida com resina acrílica.

.Em consequência da morfologia do terreno, a casa orienta-se principalmente para Sudeste, onde está situada a janela principal, com a enorme portada em madeira de correr que marca a imagem da casa. Nas outras fachadas foram abertos vãos mais pequenos, a maior parte delas em vidro fosco e cobertas pelo policarbonato, servindo apenas para iluminação e ventilação. Todos os vidros são duplos e temperados.

A cobertura do edifício, originalmente com madeira reutilizada, foi mais recentemente (2010) substituída por um deck em pinho e construído um acesso exterior e guardas metálicas de forma a ser utilizada como terraço. No exterior, os muros de contenção e de delimitação são em betão armado aparente e o caminho de acesso é uma base asfáltica com 40% de permeabilidade às águas pluviais.<sup>96</sup>

Numa situação normal, poder-se-ia pensar que devido aos condicionamentos impostos por lei, ao tamanho e até ao edificado envolvente, poderia ter sido construído um anexo ou pequeno armazém que passaria totalmente despercebido. No entanto, a vontade de respeitar o meio ambiente, a área envolvente, o saber misturar técnicas, materiais industriais com materiais naturais, fizeram da casa da Arruda dos Vinhos um exemplo de como é possível encontrar soluções inovadoras e conciliar o que às vezes parece inconciliável.

---

<sup>96</sup> Diário de Obra da Autoria do Plano B Arquitectura [Em Linha].2007-2011 [Consult. 2012]. Disponível em: <http://planob-arruda.blogspot.pt/>



Fig. 74 – Fachada Sul



Fig. 75 – Ruas Pedonais e Passadiços



Fig. 76 – Vista Lateral

## BedZed

O Beddington Zero Energy Development, é um empreendimento de uso misto em Sutton, sul de Londres, construído em 2002. Contem 82 habitações de várias tipologias (25% habitação social) e 2500m<sup>2</sup> de escritórios/serviços. Foi projectado pelo arquitecto Bill Dunster em parceria com a Peabody Trust e a BioRegional (Organização Ambiental). Ficou famoso por ser o primeiro empreendimento do Reino Unido com o objectivo carbono zero, ou seja produzir no local energia renovável equivalente à consumida. Além disso pretendiam também uma alteração do estilo de vida dos utilizadores, mais sustentável em relação a transportes, reciclagem e comida.<sup>97</sup>

O projecto aplica extensamente estratégias solares passivas e utiliza sempre que possível materiais naturais e locais de baixa energia incorporada, no entanto conjuga estas estratégias com tecnologias inovadoras, particularmente na geração de energia renovável, o sistema de ventilação com recuperação de calor e o sistema de colecção e tratamento de águas pluviais.

A Implantação do projecto é desenhada para tirar o máximo partido da radiação solar, obtendo uma grande densidade e baixa altura. Os volumes são dispostos num eixo este-oeste, de forma a maximizar a área da fachada sul. A forma dos volumes, está também relacionada com a exposição solar, com as habitações na parte mais alta a sul, com três pisos, e os escritórios/comercio a norte, na parte mais baixa, permitindo desta forma que os volumes não façam sombra uns sobre os outros. As habitações são super-isoladas (30cm de isolamento nas paredes), com um desenho cuidado para minimizar pontes térmicas. As janelas são na sua maioria de vidro triplo, excepto nas estufas (sun rooms) que se encontram na fachada sul, nas quais por haver duas camadas, os vidros são duplos. Os altos níveis de isolamento e estanquidade ao ar obrigam que a ventilação seja assegurada no Inverno, neste caso por um sistema de ventilação com 70% de recuperação de calor, que funciona aproveitando a energia do vento através de um elemento chamado “wind cowels”. Este dispositivo é utilizado como elemento arquitectónico, aparecendo nas coberturas como elementos coloridos semelhantes a cata-ventos e dando unidade ao conjunto.<sup>98</sup>

O impacto ambiental foi considerado numa perspectiva de ciclo de vida, tendo sido considerado e tentado minimizar também o impacto dos materiais de construção. Desta forma os materiais são escolhidos de acordo com o seu impacto ambiental, dando prioridade a materiais reaproveitados (aço estrutural, madeira, e algumas portas), e de fontes locais. Para os materiais em que isso não foi possível, utilizou-se materiais com o

---

<sup>97</sup> ZedFactory [Em Linha]. [Consult. 2012]. Disponível em: <http://www.zedfactory.com/>

<sup>98</sup> BioRegional - Beddington Zero (Fossil) Energy Development - Construction Materials Report [Em Linha]. [Consult. 2012]. Disponível em: <http://www.oneplanetcommunities.org/wp-content/uploads/2010/03/BedZED-Construction-Materials-Report-BioRegional-Development-Group.pdf>

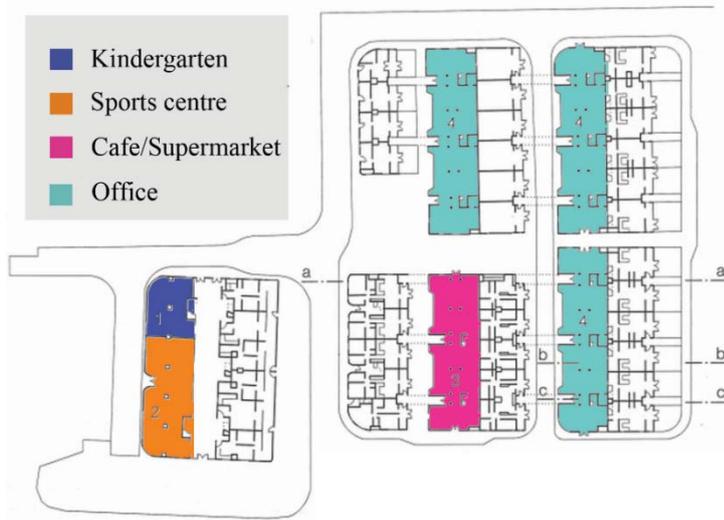


Fig. 78 – Planta Global

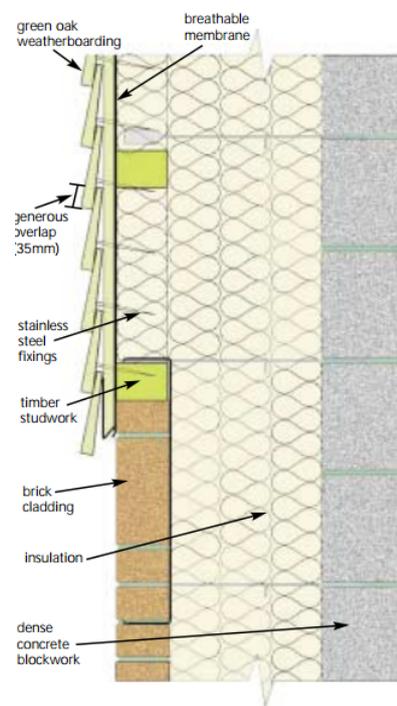


Fig. 77 – Pormenor Construtivo

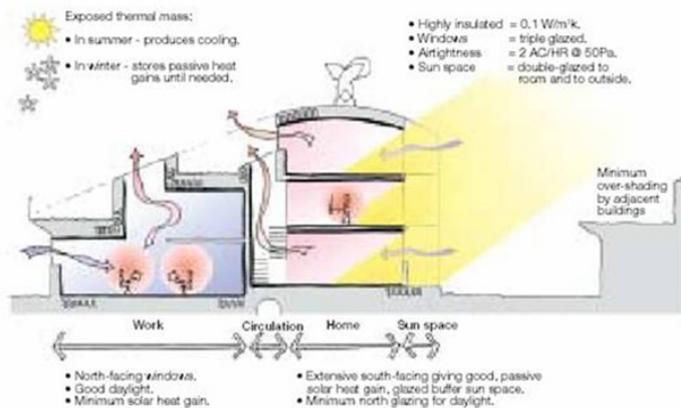


Fig. 79 – Esquema de Funcionamento Passivo



Fig. 80 – Corte em Perspectiva

mínimo de energia incorporada, procurando reduzir a distância da fonte ao local. Toda a madeira utilizada veio de fontes sustentáveis, reaproveitada ou certificada pelo FSC (Forest Stewardship Council).

Apesar de ser um projecto de alta densidade o arquitecto procurou garantir áreas verdes, instalando um jardim/horta para cada residência. Alguns destes são terraços-jardim localizados nas coberturas dos escritórios do bloco vizinho, sendo acessíveis através de uma pequena ponte pedonal. Para poupar água, para além das torneiras e chuveiros de baixo caudal, e eletrodomésticos eficientes em termos hidro-energéticos, foi instalado um sistema de recolha de água da chuva, utilizando-a para as descargas sanitárias e rega dos jardins.

Para cumprir o objectivo de produção de energia renovável, foram instalados dois sistemas de produção de energia, os painéis solares fotovoltaicos que cobrem cerca de 800m<sup>2</sup> integrados nas coberturas e em algumas janelas das fachadas sul; e uma unidade de cogeração a biomassa por gaseificação, que permitiria a produção de electricidade e a distribuição de água quente para aquecimento. No entanto este sistema teve problemas técnicos e teve de ser desativado e substituído por um sistema a gás. Neste momento como a electricidade produzida pelo sistema fotovoltaico é menor que a utilizada, o empreendimento não conseguiu cumprir o objectivo proposto que lhe dá o nome.

Em termos de mobilidade foram tomadas várias medidas, para além da sua boa localização em termos de transportes públicos, todo o projecto foi concebido para desencorajar a utilização do automóvel particular, e estimular a utilização de transportes colectivos, bicicletas e o trânsito pedonal. Foram construídos abrigos para bicicletas, não existem garagens e os lugares de estacionamento são reduzidos. Existem pontos de carregamento para carros eléctricos e está implementado um sistema de utilização de carros comunitários chamado ZEDcars, que permite aos moradores alugarem um carro quando necessário.

Desde a sua ocupação o projecto tem vindo a ser acompanhado e monitorizado, no sentido de avaliar os consumos de água, electricidade e transportes e aferir o impacto ambiental dos moradores e a qualidade de vida proporcionada pelo empreendimento. Apesar de não ser carbono zero como pretendia, os consumos medidos em 2009, em relação à média da região são: 45% menos energia eléctrica, 81% menos energia (gás) para aquecimento e cerca de metade da água da rede. Para além disso apenas 17% dos moradores utilizam o carro para as deslocações diárias para o trabalho.<sup>99</sup>

---

<sup>99</sup> BioRegional – BedZED seven years on [Em Linha]. 2009 [Consult. 2012]. Disponível em: [http://www.bioregional.com/files/publications/BedZED\\_seven\\_years\\_on.pdf](http://www.bioregional.com/files/publications/BedZED_seven_years_on.pdf)



## Conclusão

A sustentabilidade não é algo que se possa alcançar com pequenos actos isolados, é necessário uma consciência global, e uma mudança de atitude a todos os níveis da actividade humana. Na arquitectura isto significa que a sustentabilidade não pode ser encarada como uma opção, ou um movimento. Deve ser encarada como uma responsabilidade do arquitecto e como algo que deveria ser intrínseco a toda a obra de arquitectura.

No entanto, compatibilizar os princípios da sustentabilidade com a prática da arquitectura é sem dúvida um desafio. A arquitectura vive da utilização de recursos, da transformação do espaço natural em artificial, enquanto que a sustentabilidade acarreta um imperativo de conservação de recursos e protecção ambiental que no extremo poderá levar a questionar o próprio acto de construir.

Desta forma, é complicado definir exactamente o que é um edifício sustentável, na medida em que um edifício nunca é realmente 'amigo do ambiente'. Uma agressão menor não deixa de ser uma agressão. Será talvez mais correcto dizer mais sustentável, mais responsável, ou com um impacto ambiental menor que a prática comum. Para além disso é também necessário considerar as limitações à responsabilidade do arquitecto, face a imposições da parte do cliente ou por incorrecta utilização do edifício. Ainda assim a arquitectura tem um grande potencial para reduzir consideravelmente os impactos e os recursos utilizados em todo o ciclo de vida do edifício (construção, utilização e demolição), e possivelmente até influenciar as práticas dos utilizadores e as formas de transporte utilizadas.

Quando se passa da teoria à prática observam-se diversas abordagens, no limite podem-se identificar os dois pólos opostos, o low-tech e o high-tech. Ao analisar estas abordagens apercebemo-nos que cada uma tem as suas particularidades, as suas vantagens e limitações. O Low-tech surge associado e aparentemente limitado a edifícios de pequena escala, os materiais e técnicas utilizadas, apesar de serem geralmente simples, por já não serem comuns torna-se por vezes difícil a sua utilização enquanto estrutura, e inclusivamente podem ser de difícil licenciamento. O baixo custo dos materiais pode ser anulado pela necessidade acrescida de mão-de-obra, sendo comum este tipo de projectos tirar



partido de mão-de-obra comunitária ou voluntária, ou localizarem-se em países em desenvolvimento, nos quais o preço da mão-de-obra é mais reduzido.

O High-tech ou Eco-tech, possui também algumas falhas, principalmente no que respeita aos materiais de grande energia incorporada utilizados. As técnicas passivas são por vezes desprivilegiadas, ou relegadas para um papel secundário de utilização pontual, e não parece haver por vezes uma adaptação ao clima local. Há também o perigo da sobrevalorização das tecnologias, que pode levar a custos elevados, necessidade de manutenção especializada, falhas imprevistas ou desconhecimento por parte dos utilizadores na correcta utilização dos equipamentos.

Apesar disso o High-tech parece ser mais facilmente aceite pela sociedade actual, ou pelo menos partilha o nosso desejo pelo mais recente avanço tecnológico a nível de computadores, televisões, telemóveis. Enquanto que o low-tech implica um estilo de vida mais simples e possivelmente uma certa ruptura com a sociedade actual.

Assim, parece-me mais interessante o campo de experimentação intermédia na medida em que permite combinar vantagens de ambas as abordagens e obter o melhor desempenho, podendo escolher de acordo com as necessidades a opção mais apropriada, utilizando materiais naturais e locais ou materiais industriais de alta performance, e complementando as técnicas passivas, com sistemas activos, novas tecnologias e dispositivos mais eficientes.

Na minha opinião, em termos de sustentabilidade, podemos fazer melhor de que um simples retorno ao vernacular. Sem ignorar os conhecimentos dessa arquitectura, não precisamos de nos limitar a utilizar técnicas de construção tradicional e materiais naturais e locais. Penso que o futuro desta arquitectura será obviamente marcado pelos avanços nas tecnologias das energias renováveis, novos materiais e avanços nas ferramentas informáticas, no entanto essas tecnologias devem ser encaradas apenas como um meio para atingir um fim.

“While environmental architecture does recycle ideas as old as those found in Vitruvius, it could also, if allowed, engage with the ‘newest’ science and theory. If environmental architecture is to have a wider cultural relevance, it is as dependent upon the new as the re-newed.”<sup>100</sup>

---

<sup>100</sup> HAGAN, Susannah – Taking Shape, - A New Contract Between Architecture and Nature. p.75



## Bibliografia

### **A Green Vitruvius Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura**

**Sustentável.** Lisboa: Ordem dos arquitectos, 2001 ISBN 9729766827.

ALVES, Joana - **Vários tons de verde.** Coimbra : [s. n], 2007. 100 p. Prova Final de Licenciatura apresentado ao Departamento de Arquitectura.

BARTON, H.; DAVIES, G.; GUISE, R. – **Sustainable Settlements – A Guide for Planners, Designers and Developers,** Bristol: University of West England and the Local Government Management Board, 1995 ISBN 074889796

DEPLAZES, Andrea; SÖFFKER, G.H.- **Constructing architecture: materials, processes, structures, a handbook.** 2nd ed. Berlin : Birkhäuser, 2008. ISBN 9783764386306.

DUTRA, Luciano; LAMBERTS, Roberto; PEREIRA, Fernando O. R. - **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo : PW Editores, 1997. 188 p. ISBN 8586759015

EDWARDS, Brian – **Green Buildings Pay.** Nova Yorque: Spon Press 2003. ISBN 0415262712

EDWARDS, L.; TORCELLINI P. – **A Literature Review of the effects of Natural Light on Building Occupants.** [Em Linha] Colorado: NREL, 2002 NREL/TP-550-30769 [Consult. 2012] Disponível em: [www.nrel.gov/docs/fy02osti/30769.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/30769.pdf)

FOSTER, Norman, ed. – **Catalogue Foster and partners.** München : Prestel, 2005. ISBN 3791332988.

FOX, Warwick, ed. – **Ethics and the built environment.** London : Routledge, 2000. ISBN 0415238781.

GAUZIN-MULLER, Dominique – **Sustainable Architecture and Urbanism.** Basel: BirkHouser 2002. ISBN 3764366591

HAGAN, Susannah – **Taking Shape - A New Contract Between Architecture and Nature.** Oxford: Architectural Press, 2001 ISBN 0750649488

HARRIES, Karsten – **The ethical function of architecture.** London : The MIT Press, 1998. ISBN 0262082527.

KIBERT, Charles J. – **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery.** New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008 ISBN 9780470114216



LECHNER, Norbert – **Heating, cooling, lighting: design methods for architects.** 2ª Edição, Nova Iorque: John Wiley & Sons, Inc., 2001 ISBN 0471241431

LOURENÇO, Carla; CRUZ, José - **Os Recursos Geotérmicos de Baixa Entalpia em Portugal Continental.** [Em Linha] Boletim de Minas nº 41-2, 2006 [Consult. 2012]  
Disponível em: [http://onlinebiblio.lneg.pt/multimedia/associa/base%20mono/bm41\\_2\\_p175.pdf](http://onlinebiblio.lneg.pt/multimedia/associa/base%20mono/bm41_2_p175.pdf)

MARRAS, Amerigo – **Eco-tech: architecture of the in-between.** Nova Iorque: Princeton Architectural Press, 1999 ISBN 1568981597

MCDONOUGH, William [et. al.] – **The Hannover principles: design for sustainability** [Em Linha]. Hannover : William McDonough & Partners, 1992. [Consult. 2012]. Disponível na em: <http://www.mcdonough.com/>.

MINKE, Gernot, - **Building with earth: design and technology of a sustainable architecture.** Basel; Berlin; Boston: Birkhäuser, 2006 ISBN 9783764374778

MOSTAEDI, Arian – **Sustainable architecture: high tech housing.** Barcelona: Carles Broto & Josep Ma Minget, D.L., 2003 ISBN 848986179-X

MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – **Sustentabilidade ambiental da habitação.** Relatório n.º 239/2010 – NAU. Lisboa: LNEC 2010

NEILA, Gonzalez, FRANCISCO, Javier – **Arquitectura bioclimatica en un entorno sostenible.** Madrid: Munilla-Leria, 2004 ISBN 8489150648

NOGUEIRA, Vítor - **Educação ambiental, introdução ao pensamento ecológico.** Lisboa : Plátano Edições Técnicas, 2000. ISBN9727073026.

OLIVER, Paul – **Built to meet needs: cultural issues in vernacular architecture.** Oxford : Architectural Press, 2006. 445 p. ISBN 0750666579.

PAPANEK, Victor – **Arquitectura e Design - Ecologia e Ética.** Londres, Thomas & Hudson, 1995 ISBN 9724409686

RICHARDSON, Phyllis - **Xs ecológico: grande ideias para pequenos edifícios.** Barcelona : Gustavo Gili, 2007. 223 p. ISBN 9788425221712.

RODRIGUES, Carla - **(In)sustentabilidades urbanas: sustentabilidade território e cidade.** Coimbra : [s. n], 2008. 175 p. Prova Final de Licenciatura apresentado ao Departamento de Arquitectura.



RUDOFISKY, Bernard – **Architecture without architects: a short introduction to non-pedigree architecture.** [Ed Original MoMa, Nova Iorque 1965] University of New Mexico Press, 1995.. ISBN 0385074875

SASSI, Paola - **Strategies for sustainable architecture.** New York : Taylor and Francis, 2006. 306 p. ISBN 9780415341424

SLESSOR, Catherine – **Eco-Tech - Sustainable Architecture and High Technology.** Londres: Thames and Hudson, 1997 ISBN 0500341575

SMITH, Peter F. - **Architecture in a climate of change: a guide to sustainable design.** 2nd ed. Oxford : Architectural Press, 2001. ISBN 0750665440.

STANG Alanna; HAWTHORNE Christopher – **The Green House - New Directions in Sustainable Architecture.** Nova Iorque: Princeton Architectural Press 2005 ISBN 1568984812

STEELE, James – **Ecological Architecture – A critical history.** Londres: Thames and Hudson, 1999

TIRONE, Livia; NUNES, Ken - **Construção sustentável: soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã.** Sintra : Tirone Nunes SA, 2007. ISBN 9789892011912.

WIGGINTON, Michael; HARRIS, Jude - **Intelligent Skins.** Oxford : Architectural Press, 2002 – ISBN 0750648473

WILLIAMSON, Terry; RADFORD, Antony; BENNETTS, Helen – **Understanding Sustainable Architecture.** Londres: Spon Press, 2003 ISBN 0415283515

WINES, James – **Green architecture.** Colónia : Taschen, 2000.. ISBN 9783836503211

YEANG, Ken – **Proyectar con la naturaleza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico.** Barcelona : Editorial Gustavo Gili, S.A, 1999. 198 p. ISBN 8425217636.



## **Websites consultados:**

<http://www.worldometers.info/world-population>

<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

<http://www.ipcc.ch/>

<http://earthobservatory.nasa.gov/>

<http://europa.eu/>

<http://inhabitat.com>

<http://www.a-nossa-energia.edp.pt>

<http://www.torresolenergy.com>

<http://www.passivhaus.org.uk>

<http://www.arcosanti.org/>

<http://www.archdaily.com/159763/paolo-soleris-arcosanti-the-city-in-the-image-of-man/>

<http://samuelmockbee.net>

<http://apps.cadc.auburn.edu/rural-studio/>

<http://eartharchitecture.org>

<http://www.fosterandpartners.com>

<http://grimshaw-architects.com>

<http://www.edenproject.com>

<http://2012architecten.nl/2009/10/villa-welpeloo>

<http://www.2012architecten.nl/projecten/enschede.html>

<http://planob-arruda.blogspot.pt/>

<http://www.planob.com/planob.html>

<http://www.zedfactory.com>

<http://www.bioregional.com>



## Fontes das Imagens:

- Fig. 1 - [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Desenvolvimento\\_sustent%C3%A1vel.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Desenvolvimento_sustent%C3%A1vel.svg)
- Fig. 2 - [http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Efeito\\_Estufa.html](http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Efeito_Estufa.html)
- Fig. 3 - <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/page1.php>
- Fig. 4 - <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/page5.php>
- Fig. 5 - <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/page5.php>
- Fig. 6 - [http://en.wikipedia.org/wiki/Cliff\\_Palace](http://en.wikipedia.org/wiki/Cliff_Palace)
- Fig. 7 - <http://www.passivhaus.org.uk>
- Fig. 8 - A Green Vitruvius Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura Sustentável. p. 71
- Fig. 9 - A Green Vitruvius Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura Sustentável. p. 70
- Fig. 10 - [http://www.passipedia.org/passipedia\\_en/\\_detail/picopen/ventilation\\_passive\\_house.png](http://www.passipedia.org/passipedia_en/_detail/picopen/ventilation_passive_house.png)
- Fig. 11 - <http://wiki.aia.org/Wiki%20Pages/Natural%20Ventilation.aspx>
- Fig. 11 - MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Sustentabilidade ambiental da habitação. p.106
- Fig. 12 - MOURÃO, Joana; PEDRO, J. Branco – Sustentabilidade ambiental da habitação. p.109
- Fig. 13 - [http://www.wbdg.org/design/env\\_atria.php](http://www.wbdg.org/design/env_atria.php)
- Fig. 15 - <http://passivesolar.weebly.com/cooling.html>
- Fig. 16 - <http://www.futursolutions.pt>
- Fig. 17 - <http://inhabitat.com/solar-panel-roof-tiles/>
- Fig. 18 - <http://www.futursolutions.pt>
- Fig. 19 - <http://www.atkinsdesign.com>
- Fig. 20 - <http://www.hpbmagazine.org>
- Fig. 21 - [http://www.lneg.pt/download/4078/BrochuraSolarXXI\\_Dezembro2005.pdf](http://www.lneg.pt/download/4078/BrochuraSolarXXI_Dezembro2005.pdf)
- Fig. 22 - <http://blog.emap.com/footprint/2011/08/24/berlin-green-at-heart/>
- Fig. 23 - <http://eartharchitecture.org>
- Fig. 24 - MINKE, Gernot, - Building with Earth. Basel: Birkhäuser, 2006
- Fig. 25 - MINKE, Gernot, - Building with Earth. Basel: Birkhäuser, 2006
- Fig. 26 - MINKE, Gernot, - Building with Earth. Basel: Birkhäuser, 2006
- Fig. 27 - <http://ecohomeresource.com/2008/08/natural-remodeling-with-kelly-1.html>
- Fig. 28 - <http://inhabitat.com/work-begins-on-the-uks-largest-prefabricated-strawbale-building/>
- Fig. 29 - <http://strohhaus.net/strohhaus/home>
- Fig. 30 - <http://strohhaus.net/strohhaus/home>
- Fig. 31 - <http://www.arcosanti.org/>
- Fig. 32 - <http://www.arcosanti.org/>
- Fig. 33 - <http://www.arcosanti.org/>
- Fig. 34 - <http://www.archdaily.com/159763/paolo-soleris-arcosanti-the-city-in-the-image-of-man/>
- Fig. 35 - <http://www.archdaily.com/159763/paolo-soleris-arcosanti-the-city-in-the-image-of-man/>
- Fig. 36 - <http://www.archdaily.com/159763/paolo-soleris-arcosanti-the-city-in-the-image-of-man/>
- Fig. 37 - <http://www.lifeofanarchitect.com/the-rural-studio-the-20k-house/>
- Fig. 38 - <http://www.thetinylife.com/new-type-of-bale-house/>
- Fig. 39 - <http://samuelmockbee.net>



Fig. 40 - <http://samuelmockbee.net>  
 Fig. 41 - <http://samuelmockbee.net>  
 Fig. 42 - <http://samuelmockbee.net>  
 Fig. 43 - <http://calearth.org/>  
 Fig. 44 - <http://calearth.org/>  
 Fig. 45 - <http://www.civil.ist.utl.pt/~crisrina/EBAP/FolhasEdifAltos/commerzbank/commerzbank.pdf>  
 Fig. 46 - <http://www.fosterandpartners.com/Projects/0626/Default.aspx>  
 Fig. 47 - <http://www.civil.ist.utl.pt/~crisrina/EBAP/FolhasEdifAltos/commerzbank/commerzbank.pdf>  
 Fig. 48 - <http://www.civil.ist.utl.pt/~crisrina/EBAP/FolhasEdifAltos/commerzbank/commerzbank.pdf>  
 Fig. 49 - <http://www.civil.ist.utl.pt/~crisrina/EBAP/FolhasEdifAltos/commerzbank/commerzbank.pdf>  
 Fig. 50 - <http://www.fosterandpartners.com/Projects/0626/Default.aspx>  
 Fig. 51 - <http://grimshaw-architects.com/project/the-eden-project-the-biomes/>  
 Fig. 52 - <http://grimshaw-architects.com/project/the-eden-project-the-biomes/>  
 Fig. 53 - <http://grimshaw-architects.com/project/the-eden-project-the-biomes/>  
 Fig. 54 - <http://www.edenproject.com>  
 Fig. 55 - <http://grimshaw-architects.com>  
 Fig. 56 - <http://www.edenproject.com>  
 Fig. 57 - LECUYER, Annete – ETFE Technology and Design. Basel: Birkhauser Verlag, 2008  
 Fig. 58 - <http://2012architecten.nl/2007/06/espressobar-k/>  
 Fig. 59 - <http://www.recyclicity.org/Resources/oogstkaartwelpelb.jpeg>  
 Fig. 60 - <http://2012architecten.nl/2009/10/villa-welpeloo/>  
 Fig. 61 - <http://2012architecten.nl/2009/10/villa-welpeloo/>  
 Fig. 62 - <http://www.2012architecten.nl/projecten/enschede.html>  
 Fig. 63 - <http://www.2012architecten.nl/projecten/enschede.html>  
 Fig. 64 - <http://www.2012architecten.nl/projecten/enschede.html>  
 Fig. 65-73 - <http://planob-arruda.blogspot.pt/>  
 Fig. 74 - [http://www.zedfactory.com/projects\\_mixeduse\\_bedzed\\_gallery.html](http://www.zedfactory.com/projects_mixeduse_bedzed_gallery.html)  
 Fig. 75 - [http://www.zedfactory.com/projects\\_mixeduse\\_bedzed\\_gallery.html](http://www.zedfactory.com/projects_mixeduse_bedzed_gallery.html)  
 Fig. 76 - [http://www.zedfactory.com/projects\\_mixeduse\\_bedzed\\_gallery.html](http://www.zedfactory.com/projects_mixeduse_bedzed_gallery.html)  
 Fig. 77 - <http://www.oneplanetcommunities.org/wp-content/uploads/2010/03/BedZED-Construction-Materials-Report-BioRegional-Development-Group.pdf>  
 Fig. 78 - <http://blog.ocad.ca/wordpress/envr4c03-fw2011-01/>  
 Fig. 79 - <http://www.zigersnead.com/current/blog/post/bedzed-beddington-zero-energy-development>  
 Fig. 80 - [http://www.bioregional.com/files/publications/BedZED\\_toolkit\\_part\\_2.pdf](http://www.bioregional.com/files/publications/BedZED_toolkit_part_2.pdf)

Tabela 1 - Jonhson, Timothy W. – Comparison of Environmental Impacts of Steel and Concrete as Building Materials Using the Life Cycle Assessment Method. Tese de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, MIT: 2006

Tabela 2 - O'Riordan 1981 cit. por Naess, Arne; Rothenberg, David - Ecology, Community and Lifestyle: Outline of an Ecosophy