

PINTO, Alberto Reaes e DIAS, Bruno (2015). Aquecimento solar passivo - ganhos diretos, indiretos e isolados. Revista Arquitectura Lusíada, N. 7 (1.º semestre 2015): p. 77-92. ISSN 1647-9009.

## **AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO - GANHOS DIRETOS, INDIRETOS E ISOLADOS**

**Alberto Reaes Pinto  
Bruno Dias**

### **RESUMO**

A utilização das energias fósseis que produzem gases de efeito de estufa, aquecimento global e mudanças climáticas que estamos a assistir, viabilizam, cada vez mais, as energias renováveis e os sistemas de climatização passivos. (Reaes Pinto, 2008).

Neste artigo pretende-se aprofundar o conceito de solar passivo e o que é necessário ter em consideração para que um edifício solar passivo possa funcionar com eficiência.

Todas as fases são importantes, desde o desenho urbano, ao projecto de arquitectura e das especialidades até à escolha criteriosa dos materiais. No entanto, se a construção não for bem executada o edifício não irá funcionar como é esperado.

O crescente número de software de simulação e de modelação, cada vez mais precisos, permitem auxiliar o dimensionamento e afinação de soluções passivas. Deste modo é mais fácil construir edifícios com elevado conforto higrotérmico que utilizem o mínimo de energia possível para a climatização, iluminação e ventilação.

Neste artigo serão abordados três sistemas genéricos para a implementação do aquecimento solar passivo: ganhos térmicos diretos, indiretos e ganhos isolados.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Aquecimento solar passivo, Conforto térmico, Eficiência energética, Construção sustentável.

### **ABSTRACT**

The use of fossil fuels that produce greenhouse gases, global warming and climate change, we are witnessing, enable the use of renewable energy and passive climatization systems. (Reaes Pinto).

This article is intended to have a deep understand of the concept of passive solar and consider everything is necessary to make a passive solar building work in full.

All phases are important, from the urban design, the architecture and specialties project to the right choice of materials. However, if the building is not well build it will not operate and performed as expected.

The growing number of simulation and modeling software, more precise, allow the design and tuning of passive solutions. This help to make buildings with high hygrothermal comfort using as little energy as possible for the climatization, lighting and ventilation.

This article will discuss three general systems for the implementation of passive solar heating: direct thermal gain, indirect gain and isolated.

### **KEY-WORDS**

Passive solar heating, Thermal comfort, Energy efficiency, Sustainable construction.

## 1. INTRODUÇÃO

Todos os materiais na superfície da terra restituem continuamente o calor que recebem durante uma parte do dia. Sem sol, a terra arrefeceria até alcançar uma temperatura mínima de  $-25^{\circ}\text{C}$ , que corresponde ao fluxo energético geotérmico do centro da terra (Bardou, 1978).

Sistemas de aquecimento solar passivo são possíveis de implementar, tanto em construção nova como na reabilitação de edifícios, se a exposição solar for a adequada. Não é indicado aplicar este sistema a edifícios quando tenham um número de utilizadores e aparelhos eléctricos variáveis, que são fontes de calor que podem facilmente causar o sobreaquecimento de um espaço, especialmente nos meses de verão. Estas medidas e sistemas aplicam-se principalmente a edifícios residenciais, turísticos, escritórios e a alguns serviços.

A eficiência do aquecimento solar passivo resulta da relação criteriosa dos elementos que constroem o edifício e do entendimento das características do sítio onde vai ser construído, como a dimensão dos edifícios e do arvoredo envolvente, os ventos dominantes, a morfologia do terreno, a posição geográfica, entre outros aspectos.

Estima-se que a introdução desta estratégia possa reduzir o consumo de energia para aquecimento entre 25% a 75% durante o ciclo de vida de um edifício, comparado com outro que não considere o desenho solar passivo na sua concepção (Gonçalves, 2004).

A evolução da legislação térmica e o aparecimento da certificação energética introduziram boas práticas de desenho passivo, passos importantes para melhorar a qualidade térmica dos edifícios e diminuir os consumos energéticos. Espera-se que a legislação possa evoluir e ajude a tornar a edificação nova e a existente ainda mais passiva.

É importante salientar que, em alguns casos, é necessário equipar os edifícios com sistemas de climatização, para que no pico do verão e do inverno se mantenha o conforto térmico.

## 2. FASE DE PROJECTO

É na fase embrionária do projecto de arquitectura, que se integram os objectivos do promotor, o programa do edifício, as características do sítio, a linguagem, a configuração do edifício, etc. No início do projecto são definidos elementos chave que têm impacto no desempenho passivo do edifício e para que este possa ser mais eficiente existem métodos de ferramentas que podem ajudar a guiar o complexo processo de projecto e construção.

### 2.1. Integrative design

Esta é uma metodologia de projecto holística que pode ajudar a conceber edifícios mais eficientes, dependendo da dimensão do projecto. Este método introduz a ideia de que um edifício pode e deve ser pensado de início com uma vasta equipa multidisciplinar que pode incluir, os donos de obra, os futuros utilizadores do edifício, arquitectos, engenheiros e se possível a equipa que irá construir (Wiki, 2013).

Todos os elementos estão em relação com o todo, ou seja, a orientação do edifício está directamente relacionada com a climatização, a iluminação, a ventilação, o conforto térmico e a eficiência energética. A escolha de uma lâmpada está relacionada com o sistema de climatização, a qualidade de iluminação, a escolha de cores e a materialidade de acabamentos (7Group & Bill Reed, 2009).

Se todos os elementos forem pensados em conjunto, desde a fase inicial do projecto, o resultado será um edifício mais eficiente e até, possivelmente, mais económico na fase de construção.

## 2.2. Urbanismo/Loteamento

O desenho urbano deve considerar a altura e distância entre edifícios, a sombra projectada noutros edifícios, assim como a forma e disposição dos edifícios vão influenciar a direcção e velocidade do vento. Os elementos do desenho paisagístico como árvores e arbustos, muros e vias, podem criar microclimas indesejados caso não sejam bem projectados. Deve-se ter especial atenção na distribuição da vegetação, para que se evite o bloqueio das brisas refrescantes durante os períodos quentes. Nos meses frios a vegetação pode dissipar ou deflectir a direcção e velocidade dos ventos dominantes (Lewis, 2001).

## 2.3. Orientação do edifício

Um edifício mal orientado não só é mais frio no inverno como mais quente no verão. Quando orientado a sul no inverno tem ganhos térmicos favoráveis, no verão com um sistema de sombreamento eficaz, pode-se diminuir a radiação na fachada sul. Quando o edifício é orientado a nascente/poente, torna-se mais difícil de controlar os ganhos térmicos devido ao ângulo de incidência solar.

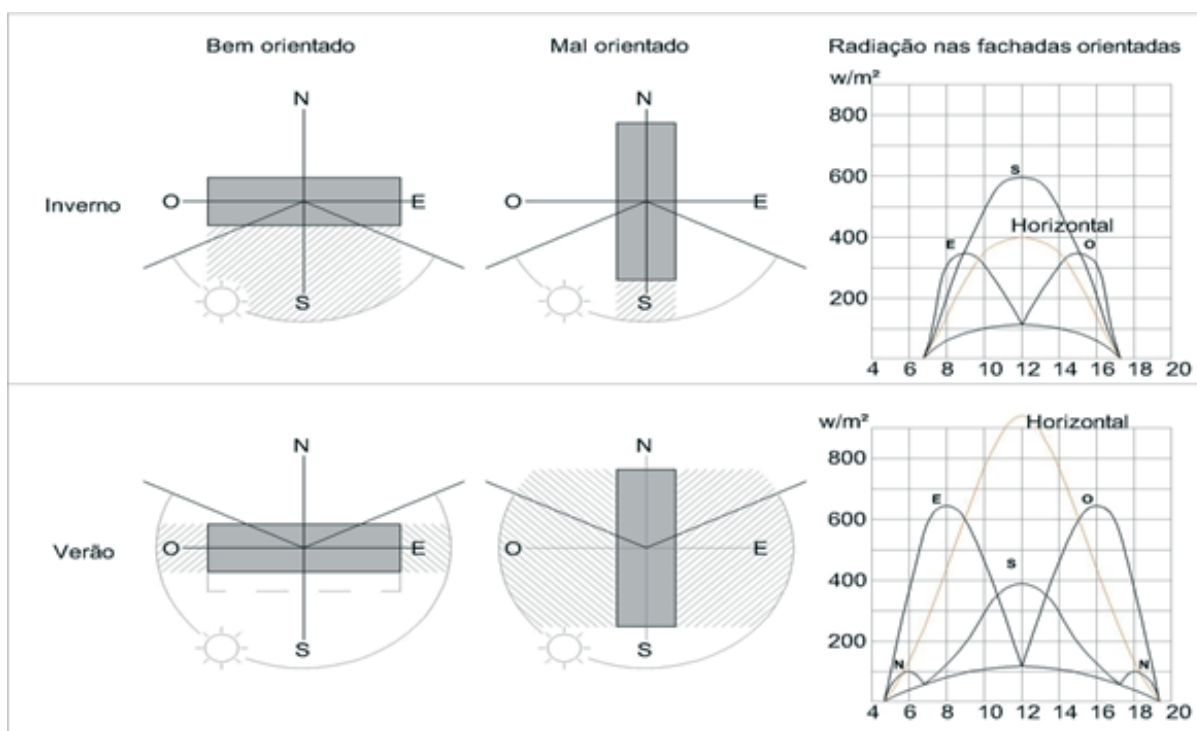


Figura 1 - Representação esquemática da radiação nas fachadas de um edifício no Verão e no Inverno.

## 2.4. Disposição dos espaços interiores

Na fase de organização e orientação dos espaços interiores faz sentido colocar, no lado norte do edifício, os espaços com menor tempo de permanência como lavandaria, arrecadação, casa de banho, garagem, comunicações verticais, corredores, etc. Estes são chamados de espaços tampão que funcionam como barreira ou amortecedor de temperatura. Os gabinetes, quartos, salas e cozinhas, são espaços com maior tempo de permanência e devem estar orientados a sul.

## 2.5. Forma do edifício

A forma de um edifício está directamente relacionado com o desempenho térmico e custos de construção. Quanto menor for a área de superfície exterior (involucro), menos energia é despendida tanto na construção (utiliza menos materiais) como na operação do edifício. A forma óptima define-se como aquela que ganha o mínimo de calor no verão e perde o mínimo de calor no inverno. A forma óptima de um edifício varia de acordo com a região e clima em que se situa (Olgay, 1998).

Um edifício de apartamentos despende menos energia que uma habitação unifamiliar, pois tem menos área de superfície de parede em contacto directo com o exterior (Goulding, 1992).

## 2.6. Software de modelação

Numa fase avançada do projeto, pode-se testar as soluções propostas e proceder a afinações de dimensionamento de vãos, isolamento térmico, de inércia térmica, entre outros, de forma a otimizar o desempenho passivo do edifício utilizando Software apropriado.

O EnergyPlus, um software desenvolvido pelo departamento de tecnologias de energia dos Estados Unidos, é talvez o software mais utilizado (direta e indiretamente) para fazer simulações e modelações de aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e consumo de água em edifícios.

Este é um programa grátis, á volta dele nasceram vários programas e interfaces que utilizaram o EnergyPlus como motor de cálculo. Actualmente são muito utilizados três softwares grátis em simultâneo - faz-se a modelação 3D no SketchUp com um plugin do OpenOffice, que é um interface que simplifica a utilização do EnergyPlus que faz o cálculo (EnergyPlus, 2015).

## 2.7. Escolha de materiais e acabamentos

Alguns materiais e sistemas de construção potenciam o aquecimento solar passivo, outros diminuem a eficiência do sistema. A escolha ideal dos materiais tem de ir além das suas características térmicas. É necessário avaliar o comportamento nomeadamente da resistência, da durabilidade e da toxicidade, quando o material é sujeito a radiação solar direta.

Elementos leves de construção como paredes, pavimentos e tetos falsos não armazenam calor na estrutura. Por outro lado paredes e pavimentos construídos com materiais pesados (betão, pedra e terra) favorecem a acumulação de calor. O calor armazenado será libertado apenas quando a temperatura do ar, no interior da habitação, for inferior à temperatura dos elementos pesados da construção.

A inércia térmica é especialmente relevante em climas sujeitos a grandes amplitudes térmicas em curtos espaços de tempo, uma das características do clima mediterrânico. Edifícios de pedra têm muita massa térmica que pode ser favorável nos meses quentes. Se o edifício não for concebido com os princípios solar passivo, nos meses mais frios, pode ser desconfortável e dispendioso, pois é necessário estar constantemente a aquecer a massa térmica para que a temperatura seja agradável (Bardou, 1978).

## 3. CONFORTO TÉRMICO

A temperatura do meio construído tem efeitos físicos e mentais sobre o ser humano, tornando-se por isso um elemento de importância central no design do ambiente construído, que deve ser apropriado a todas as actividades que aí possam acontecer (Goulding, 1992).

### 3.1. Troca térmica entre o corpo e o Ambiente

O corpo é capaz de se adaptar a mudanças climáticas mas, para o fazer, depende energia, ao criar um microclima confortável evita-se que o corpo despenda energia metabólica desnecessária.

Temperatura radiante é a temperatura média das superfícies dos elementos que encerram um espaço. Por exemplo, uma sala com acabamento de granito no pavimento e nas paredes será sempre mais fria que uma sala com acabamentos de madeira no pavimento e nas paredes, porque cada material tem uma temperatura própria que influencia o conforto térmico de um espaço (Goulding, 1992).

**Condução** – é a transmissão de calor entre a superfície do corpo e os materiais que estão em contacto com ele. Este fluxo de energia, sobre a forma de calor, depende do coeficiente de condutividade térmica dos materiais.

**Convecção** – é a transmissão de calor da pele para o ambiente e vice-versa. O fluxo de calor é proporcional a um coeficiente de convecção e a diferença da temperatura entre o ar e a pele. A velocidade de renovação do ar (vento) acelera a convecção.

**Radiação** – é a transmissão de calor através do meio, principalmente por radiação no espectro de infravermelho. Este fluxo de calor é proporcional à constante universal de radiação, ao poder de absorção da pele (que é muito elevado) e à diferença de temperatura entre a pele e os elementos radiantes (materiais das paredes, pavimentos, etc.).

**Evaporação** – é a transmissão de calor unidirecional do organismo para o ar, através de evaporação cutânea e respiratória. A perda de calor do organismo depende do volume de ar ambiente ventilado, da sua temperatura e da pressão parcial de vapor de água (Bardou, 1978).

### 3.2. Temperatura do espaço construído

**Temperatura do ar** - A temperatura do ar/sala afeta a perda de calor do corpo humano por convecção e evaporação, que deverá estar compreendida entre os valores limites de 18°C e 26°C, devendo a sua variação corresponder à variação sazonal da temperatura.

**Radiação de conforto** - a temperatura média de radiação das superfícies envolventes do local deve apresentar valores próximos da temperatura do ar.

**Humidade relativa** - é a quantidade de humidade no ar que afecta a perda de calor, permitindo níveis maiores ou menores de evaporação. Salvo em situações extremas, a influência da humidade relativa sobre a sensação do conforto térmico é relativamente pequena. Em zonas temperadas, o aumento da humidade relativa de 20 a 60% permite descer a temperatura menos de 1°C, com pouco ou nenhum efeito sobre o conforto térmico. Os valores confortáveis devem estar entre 35% e 85%, devendo contudo evitar-se que no Verão se exceda os 60%.

**Velocidade do ar** - A velocidade do ar não faz diminuir a temperatura mas provoca uma sensação de frescura devido às perdas de calor por convecção e ao aumento da evaporação. Os valores da velocidade do ar devem ser de forma geral baixos, recomendando-se que não ultrapasassem 0,2 [m/s] no Inverno, podendo no Verão chegar a valores mais elevados, mas sem contudo exceder 0,5 [m/s] e, mesmo assim, em locais de actividade mais pesada (oficinas, ginásios, etc.) (Bardou, 1978).

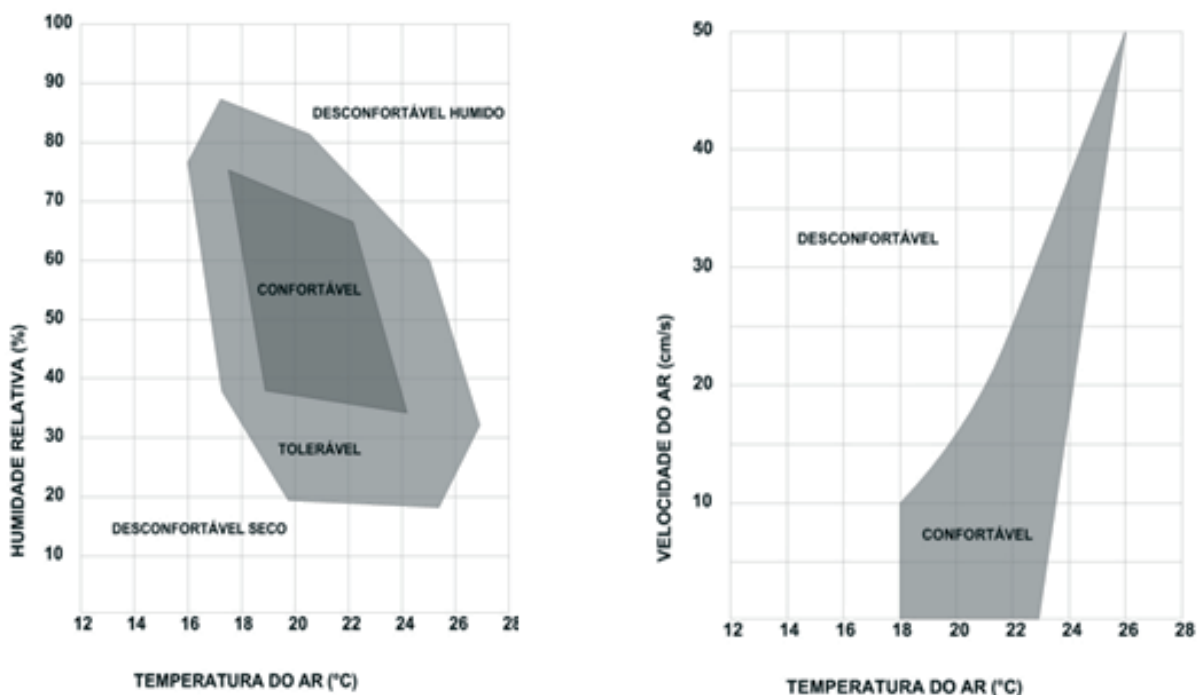


Figura 2 - Zona de conforto térmico

#### 4. SOLAR PASSIVO – ELEMENTOS PRINCIPAIS

Este sistema faz uso dos elementos de construção para coletar, absorver, armazenar, distribuir, controlar e manter por mais tempo os ganhos solares que aumentam a inércia térmica do edifício e reduzem a necessidade de utilização de sistemas de aquecimento artificiais.

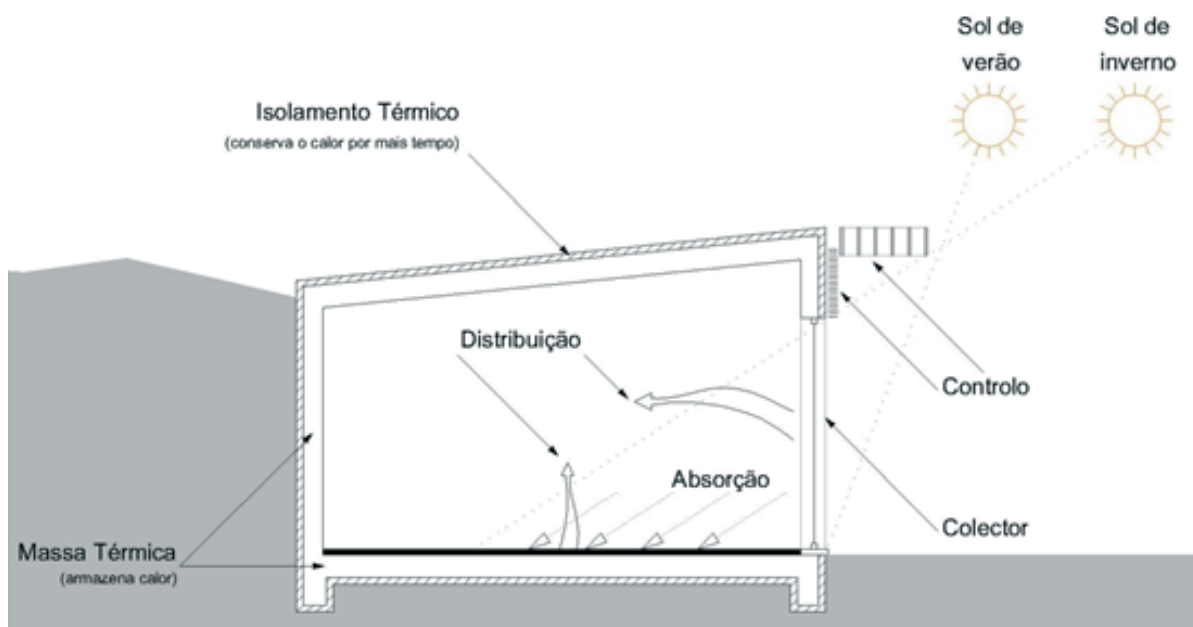


Figura 3 - Elementos que constituem o aquecimento solar passivo.

**Coletor** - No sistema de ganhos diretos e isolados, a radiação solar incide dentro do espaço aquecendo o material do pavimento ou parede. O sistema de ganhos indiretos caracteriza-se por envidraçado colocado na parede sul que aquece a massa térmica da parede exterior (Parede de Trompe).



**Absorção** - Um material de acabamento com uma boa capacidade de absorver energia sobre a forma de calor (superfície escura e dura).

**Massa térmica** - Material pesado (pedra, água, betão) que tem capacidade de reter ou armazenar calor (está atrás da superfície absorvente). A massa térmica permite reduzir a amplitude térmica da temperatura interior.

**Distribuição** - Processo de transferência de calor armazenado, um projeto estritamente passivo utilizará os três modos naturais de transferência de calor exclusivamente, condução, convecção e radiação. Em algumas aplicações podem-se utilizar ventiladores e condutas para ajudar a distribuir o calor para outras zonas do edifício (WBDG, 2013).

**Controle Solar** - elementos exteriores que impedem o sobreaquecimento de um espaço nos meses de aquecimento. Incluem beirados do telhado, portadas, persianas, estores, toldos, etc. Podem ser operados manualmente ou automaticamente (domótica) com dispositivos de deteção térmicos electrónicos, como um termostato diferencial que sinaliza para abrir ou fechar o sistema de sombreamento. A utilização de videiras, árvores ou trepadeiras de folha caduca para sombrear os vãos permitem também melhorar a qualidade e arrefecer o ar através da evapotranspiração.

**Isolamento Térmico** - É importante que o isolamento envolva todo o edifício para se eliminar pontes térmicas e manter o calor o máximo de tempo possível dentro do edifício. Complementa a massa térmica para aumentar a inércia térmica do edifício.

**Isolamento nocturno dos vãos** - Nos meses mais frios, para diminuir as perdas térmicas durante a noite, deve-se prever o isolamento térmico dos vãos. Podem ser portadas deslizantes ou estores com alguma resistência térmica. O objectivo é criar uma caixa-de-ar mais fria que o interior mas mais quente que o exterior.

## 5. GANHOS TÉRMICOS DIRETOS

Este é o sistema mais simples que consiste num edifício bem isolado, com vãos de janela orientados a sul que permitem a entrada directa de raios solares no inverno. Os sistemas de ganhos directos normalmente utilizam a massa térmica sobre a forma de paredes sólidas e chão maciço com isolamento pelo exterior para conservar o calor por mais tempo.

É fundamental ter em consideração o dimensionamento da massa térmica em relação à dimensão do espaço ou edifício a aquecer, para que o calor armazenado durante o dia seja suficiente para impedir que a temperatura desça em demasia durante a noite (Goulding, 1992).

A escolha e dimensionamento de materiais, processos de construção, acabamentos e até decoração são fundamentais para a optimização deste sistema. Exemplo: os pavimentos flutuantes e as paredes de gesso cartonado não armazenam calor, logo não são indicados para espaços onde queremos colher e manter calor.

Edifícios altamente isolados requerem envidraçados menores e menos massa térmica. Caso não seja bem isolado serão necessárias grandes quantidades de massa térmica para compensar mudanças de temperatura. Mesmo com massa térmica, as temperaturas diurnas terão mudanças (Moita, 1985).



Figura 4 - Estratégias de ganhos directos passivos.

Deve-se garantir o sombreamento para que nos dias mais quentes se possa defender os envidraçados do calor e garantir algum isolamento dos vãos por fora nos dias enublados ou mesmo durante as noites frias para impedir que o calor seja dissipado mais depressa.

Grandes panos de vidro não só admitem ganhos solares como permitem uma boa iluminação natural. Contudo é necessário ter em consideração que vãos grandes têm percas grandes e também ter atenção para os raios ultravioletas não danificarem materiais, acabamentos e decoração interior.

O “perigo” de encadeamento deve ser considerado na escolha dos materiais e acabamentos dos pavimentos e paredes. Os envidraçados devem estar livres de cortinas ou portadas para que os raios solares entrem. Dependendo do edifício isto pode diminuir os níveis de privacidade.

## 6. Ganhos indirectos

Consiste na captação da energia solar por meio de um sistema colector que armazena calor em massa térmica.

Nos sistemas de Parede de Trombe, ventilada e não ventilada, o armazenamento térmico é feito nas paredes de alvenaria ou betão com uma protecção de vidro transparente, de preferência duplo, para reduzir as percas térmicas para o exterior. Para aumentar os ganhos térmicos a parede deve ser pintada de uma cor escura.

Tal como no sistema de ganhos directos, para minimizar as percas no inverno, quando não houver sol, convém que seja isolado (portadas ou estores). O mesmo sistema pode ser utilizado no verão para evitar aquecimento desnecessário (Goulding, 1992).

Neste sistema a privacidade, os raios ultravioletas e o perigo de encadeamento não são um problema. O tempo entre absorção de energia solar e de distribuição é maior, o que é uma vantagem para o aquecimento nocturno.

É um sistema de aquecimento passivo de baixa manutenção que também permite reduzir o consumo de energia.



A Parede de Trombe tem de ser desenhada para permitir a limpeza do interior dos envidraçados. É necessário ter atenção à condensação nos vidros que pode degradar precocemente os materiais (Goulding, 1992).

É um sistema de aquecimento passivo completamente opaco, não permitindo ver para dentro ou fora dos espaços. A opacidade foi o problema que o arquitecto português Jorge Graça Costa, resolveu na sua parede de água.

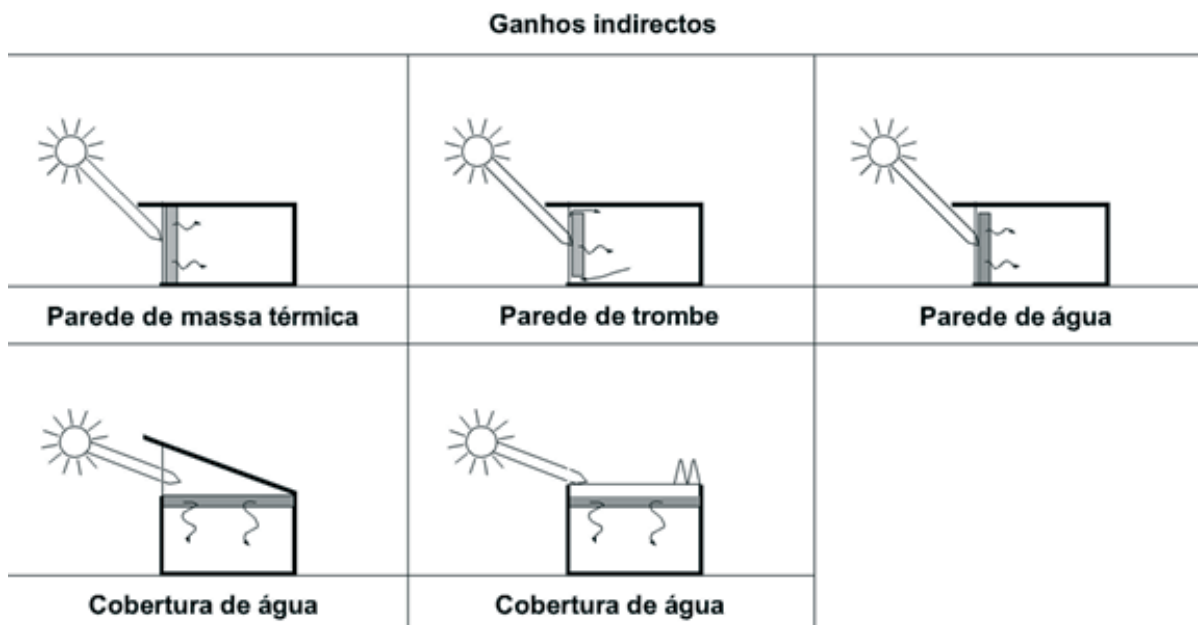


Figura 5 - Estratégias de ganhos indirectos passivos.

A Parede de Trombe pode causar desconforto, pela radiação incontrolada durante as tardes ou manhãs quentes. Estes efeitos podem ser reduzidos por ventilação ou por um sistema de sombreamento que permita controlar a radiação solar. A necessidade de massa térmica tem de ser equilibrada com as janelas para potenciar uma boa temperatura e iluminação natural (Goulding, 1992).

### 6.1. Parede de Trombe

A Parede de Trombe foi um sistema desenvolvido em França, por Felix Trombe e Jacques Michel. Esta caracteriza-se pela ventilação de uma parede com grande massa térmica utilizando uma caixa pelo exterior com vidro. Para funcionar corretamente o painel de vidro deve situar-se entre 10 a 15 cm da parede, dando lugar a uma zona intermediária de ar que suporta as grandes amplitudes térmicas e contribui desta forma para um ambiente mais ameno no interior do compartimento. Em zonas muito frias é aconselhável o painel de vidro duplo para redução das perdas por transmissão direta.

Para aumentar a capacidade de absorção da radiação solar, a superfície da parede exposta ao sol deve ser pintada de cor escura mate para não reflectir energia nenhuma.

O dimensionamento de uma Parede de Trombe depende sobretudo dos dados climatéricos (quanto maior for a radiação direta, maior deve ser a espessura), do volume do espaço a aquecer e o coeficiente de condutividade térmica do material (quanto maior o coeficiente, mais espessa a parede deve ser). É importante evitar que os aquecimentos sejam demasiado rápidos ou prematuros (Lewis, 2001).

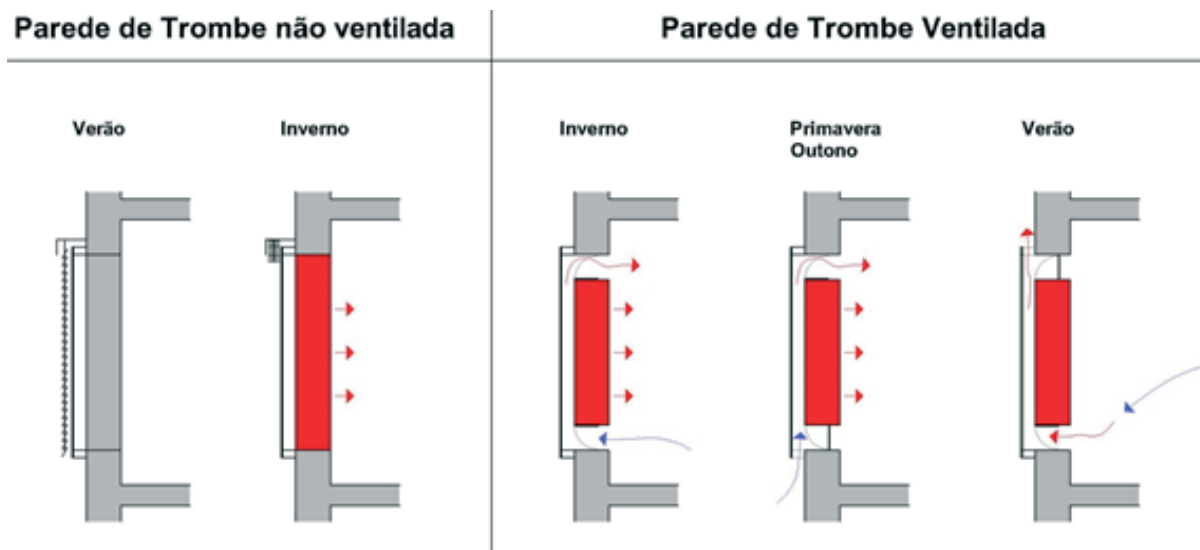


Figura 6 - Parede de Trombe ventilada e não ventilada.

A Parede de Trombe ventilada permite fazer renovação do ar através do efeito chaminé. Embora nesta imagem só a parede não ventilada apresenta uma solução de sombreamento pelo exterior, aconselha-se a utilização de uma solução semelhante na parede ventilada para que nos meses de aquecimento não exista o perigo de sobreaquecimento.

### 6.2. Parede de água

Este é um sistema similar à parede de Trombe, com a diferença que contém água em vez de um material sólido. Este pode ser um sistema atractivo pelo baixo custo de massa térmica e pela sua capacidade de aquecimento, que é melhor que tijolo ou betão. Uma parede de água tem de ter uma grande superfície de envidraçados orientados a sul no exterior do contentor de água. A água pode ser contida de várias maneiras, o tipo de contentor afecta a capacidade de armazenamento e a velocidade de distribuição do calor. Contentores feitos de metal ou vidro, na forma de tubos ou paredes de cimento cheias de água são alguns dos métodos já utilizados. A selecção do material e forma do contentor é um factor importante tanto para a eficiência como para a economia da parede de água (Goulding, 1992).

### 6.3. Parede de água com vidro triplo

O arquitecto português Jorge Graça Costa desenhou uma parede de água, que teve como ponto de partida, ver através da parede e além disso poder tirar proveitos de ganhos térmicos. O objectivo é aproveitar as potencialidades térmicas da água para regular as temperaturas de edifícios. Este é um sistema ecológico silencioso e económico que contribui para o cumprimento do Protocolo de Quioto. É constituído por vidros triplos com dois espaços que formam caixas-de-ar. O espaço mais próximo do exterior é preenchido com ar isolante de calor durante todo o ano, ao passo que o interior é cheio de água durante o inverno e de ar isolante de calor no verão (Costa, 2009).

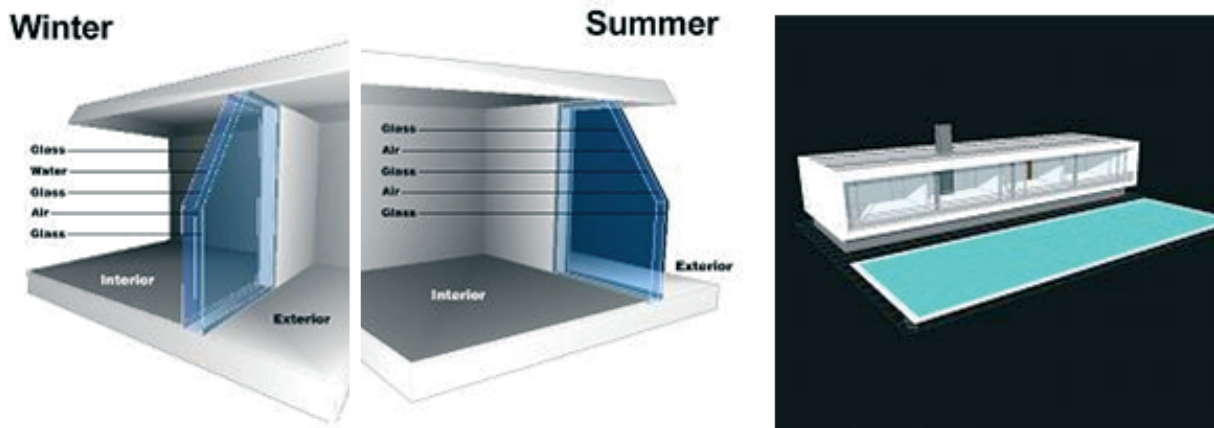


Figura 7 - Parede de água com vidro triplo.

Esta ideia não só prevê que a água das chuvas seja armazenada num tanque e bombeada para as paredes como o seu aproveitamento para usos domésticos (lavagens, rega de jardim e piscina). Durante os meses de inverno, de dia, a água acumula calor que se dissipa para o interior quando a temperatura interior baixa. A caixa-de-ar pelo exterior minimiza as perdas térmicas. Durante a noite o sistema prevê, através de painéis solares térmicos, a possibilidade de aquecer água e injectá-la já aquecida, quando não houver mais radiação solar.

#### 6.4. Recuperação do calor emitido por painéis fotovoltaicos

Na fachada Sul do edifício “Solar XXI” do INETI de Lisboa foi projectada a integração de um sistema solar fotovoltaico em harmonia com os vãos envidraçados orientados a sul, tendo sido pensado para que se pudesse aproveitar o calor produzido pelos painéis fotovoltaicos para climatizar os gabinetes e espaços contíguos.

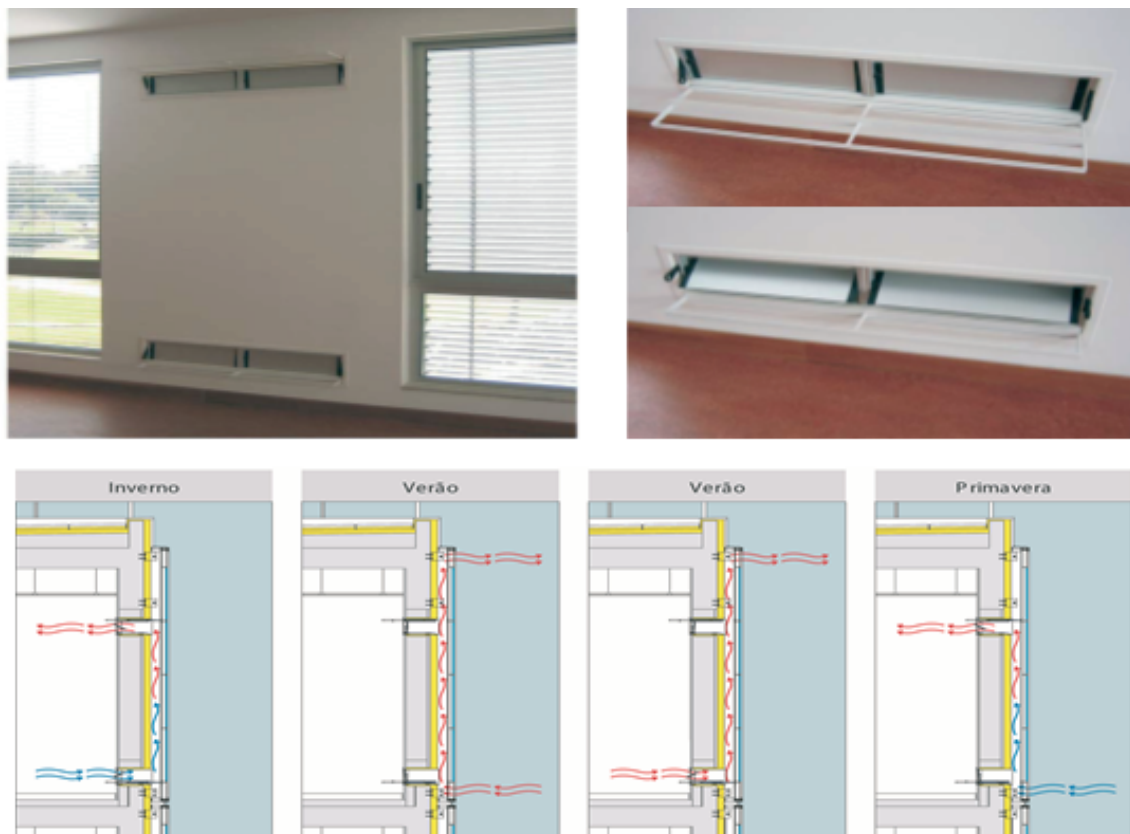


Figura 8 – Esquema e fotografias interiores do sistema de aquecimento e arrefecimento passivo pelos painéis fotovoltaicos.

Os painéis fotovoltaicos produzem calor na parte posterior do painel, que neste caso é aproveitado através de sistema de ventilação que comunica com os gabinetes, para climatizar os espaços adjacentes. Por lado quando o calor é dissipado do painel o seu rendimento aumenta consideravelmente. É sem dúvida um princípio inteligente de reutilização de um resíduo térmico (Gonçalves, 2005).

## 7. GANHOS ISOLADOS (ESTUFA)

Este sistema combina princípios térmicos de ganho direto e indireto, que se caracteriza por um espaço fechado coberto de vidro, com massa de acumulação térmica, que normalmente é constituída pela parede e o pavimento.

A estufa tanto proporciona ganhos da radiação directa em dias de céu limpo, como radiação difusa nos dias de céu encoberto. Nos dias frios e de fraca insolação, ou mesmo durante a noite, funciona como zona térmica intermediária (zona tampão), contribuindo para a redução das perdas térmicas. Para reduzir as perdas térmicas, durante a noite, devem-se considerar mecanismos móveis de isolamento nocturno.

O calor captado no espaço da estufa (ganho direto) pode ser transmitido diretamente por circulação de ar, forçado ou não, para os espaços dos edifícios ou pode ser retido pela massa acumuladora para posterior aquecimento por radiação (ganho indireto).

O dimensionamento de uma estufa exige sobretudo um equilíbrio entre a área de captação solar e a massa de armazenamento térmico disponível. Os processos de acumulação térmica mais utilizados são: pavimento, massa de enrocamento, contentores de água e Parede de Trombe.

As estufas podem ter geometrias distintas e ter características térmicas semelhantes, tudo depende dos ganhos térmicos conseguidos na área de envidraçado e na massa térmica. Quanto mais larga for uma estufa, menos ficará sujeita a sombreamentos indesejáveis.

Nos exemplos da fig.7, A e B têm a mesma área, no entanto os ganhos solares são bem diferentes. As estufas B e C, pelos efeitos térmicos que produzem são praticamente iguais. Na estufa B pode-se verificar um desenho concebido para maximizar ganhos térmicos no inverno.

No verão é necessário proteger os envidraçados, especialmente em climas temperados. Entre os vários sistemas de sombreamento, a vegetação de folha caduca é sem dúvida a forma mais simples, económica e de maior integração estética e ambiental. Embora algumas estratégias, como a colocação dos envidraçados na vertical em vez de inclinado, permitem reduzir um pouco a necessidade de sombreamento.



Figura 9 – Estufa - várias configurações.

A estufa deve ser concebida de maneira a poder ser isolada do edifício sempre que necessário. O isolamento móvel, previne as desnecessárias perdas térmicas, especialmente em noites de inverno ou em dias muito enublados. Deve ser ponderado um sistema de aquecimento auxiliar, para controlar a humidade e também para quando a estufa é utilizada para plantas. Existem vários sistemas de isolamento, que pode ser feito pelo interior do edifício ou pelo exterior, dependendo da configuração, dimensões e do tipo de estufa.

Em edifícios de vários pisos a varanda fechada quando orientada a sul, pode apresentar efeitos térmicos semelhantes aos das estufas e contribuir assim para melhores condições de ambiente térmico (Moita, 1985).

## 8. PRÉ-DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS ELEMENTOS DOS VÃOS

O dimensionamento dos vãos para um determinado espaço deve considerar a quantidade e tipo de aberturas, características do vidro e a materialidade das caixilharias para que o sistema solar passivo funcione corretamente pelo maior tempo possível. É importante salientar que as soluções de abertura de janela podem permitir que haja mais infiltração de ar o que equivale a perdas ou ganhos térmicos desnecessários e incontroláveis.

Dimensionamento de janelas para garantir ganhos solares		
<b>Pressupostos:</b> te = -5°C Temperatura exterior ti = +20°C Δt = 25k (te-ti) Coef. transmissão térmica janela k=5.2W/m²K Coef. transmissão térmica fugas k=1W/mK	<b>Percas térmicas das janelas/ ganhos solares:</b> Por transmissão: ± 130 W/m² (área bruta) por juntas ±25W/m (metro linear) Ganhos solares : ±350 W/m² (área de vidro) Total (percas+ganhos, tem de ser positivo) = W	
<b>1º Caso</b> Duas janelas de batente, com 15% da área da parede exterior, cada uma com 1m² de área bruta, cada folha com 0.54 m² de área de vidro, cada janela com 4.54m de fugas	<b>Percas térmicas</b> 1) Transmissão directa 2 x 1 x 130= -260 2) pelas juntas 2 x 4.54 x 25= -228 total -488 3) Ganho solar 2 x 0.54 x 350= +378 Balanço térmico -110 W	
Janelas subdimensionadas originam balanços energéticos negativos, que têm de ser compensados com aquecimento suplementar.		
<b>2º Caso</b> Duas janelas, de um só batente 20% da área da parede exterior, cada uma com 1.4m² de área bruta, cada folha com 1.05m² de área de vidro, cada janela com 4.44m de fugas	<b>Percas térmicas</b> 1) Transmissão directa 2 x 1.4 x 130= -364 2) pelas juntas 2 x 4.44 x 25= -222 total -586 3) Ganho solar 2x 1.05 x 350= +735 Balanço térmico +149 W	
Vãos com dimensionamentos médios não originam balanços negativos, mas também não permitem ganhos solares significativos.		
<b>3º Caso</b> Uma janela, com 2 batentes simples + pano central 40 % da área da parede exterior, 5.6 m² de área bruta, 4.8 m² de área de vidro, 6.88 m de fugas	<b>Percas térmicas</b> 1) Transmissão directa 1 x 5.6 x 130= -728 2) pelas juntas 6.88 x 25= -172 Total -900 3) Ganho solar 4.8 x 350= +735 Balanço térmico +780 W	
Janelas dimensionadas para permitirem ganhos solares consideráveis, devem reduzir as juntas dos batentes a um mínimo necessário aos processos de ventilação.		
<b>1º Caso</b> 	<b>2º Caso</b> 	<b>3º Caso</b> 

Figura 10 – Pré dimensionamento de vãos para ganhos solares diretos. (Moita)

Tipos de vidro e acabamentos - Existem vários tipos de acabamentos dos vãos de janela que permitem melhorar a performance térmica do edifício. Deve-se ter em consideração que o vão permite ter ganhos térmicos, mas também é o elemento no involucro que mais energia perde para o exterior em noites frias.

A mesma solução de vidro não deve ser utilizada para todos os alçados porque os ângulos e variações de intensidade de radiação mudam durante o ano. Um vidro orientado a sul deve permitir que a radiação entre totalmente. Enquanto um vidro orientado a nascente e poente (mais difícil de sombrear) vai receber mais radiação nos meses de aquecimento e pode causar também o encadeamento (Phillips, 2004).



A tecnologia do vidro oferece cada vez mais soluções ao projectista. O acabamento tanto no interior como no exterior pode combinar vidro transparente, colorido, reflector, isolamento térmico reforçado, isolamento acústico, segurança, auto-limpeza, decoração (padrões e desenhos), produção de energia, purificação do ar (fotocatalítico), etc.

Com os avanços tecnológicos caixas de vidros duplos e triplos conseguem prestações térmicas que se aproximam de uma parede. As transferências térmicas através duma superfície por convecção, condução e radiação, exprimem-se através do coeficiente  $U^*$ . Este representa o fluxo de calor que atravessa um  $m^2$  da superfície para uma diferença de temperatura de 1 grau entre o interior e o exterior. Quanto mais pequeno é o coeficiente  $U$ , mais reduzidas serão as perdas térmicas e melhor será o isolamento da superfície (Saint-Gobain, 2013).

**Caixilhos** – Quando se pretende aumentar a eficiência do caixilho tem de ter em consideração a taxa de infiltração. Quando se fala de um caixilho de um vão fixo a taxa de infiltração e perdas/ganhos térmicas (pelo caixilho) é menor do que uma janela de correr que com os anos, ganha folgas que permitem a infiltração do ar.

A escolha do material a utilizar nos caixilhos deve considerar: a durabilidade, pegada ecológica, coeficiente térmico e toxicidade dos acabamentos (verniz, lacado) para o utilizador do espaço.

Um caixilho com rutura da ponte térmica é na realidade constituído por dois perfis independentes unidos por peças de poliamida. Esta solução garante que se consegue o isolamento térmico entre o elemento do exterior e o do interior (ANFAJE, 2013).

É também importante que o isolamento quando feito pelo exterior acabe junto ao caixilho para que não haja pontes térmicas, que causam perdas ou ganhos térmicos desnecessários.

No caso de janelas de batente e/ou oscilo-batentes deve garantir-se uma ventilação permanente. Esta pode ser assegurada pela colocação de grelhas de ventilação auto-reguláveis. Deve-se conciliar os requisitos de ventilação permanente com a atenuação acústica e térmica pretendida para as janelas.

**Ferragens** – A qualidade das ferragens especialmente em janelas de batente, são fundamentais para garantir a segurança do espaços e evitar folgas que aumentam a infiltração de ar (ANFAJE, 2013).

## CONCLUSÃO

A noção de que a indústria da construção, quando inserida no âmbito e princípios da Construção Sustentável, pode ser compatível com a sustentabilidade do planeta, faz com que reabilitar ou construir um edifício seja um processo cada vez mais complexo, na fase de projecto, construção e utilização. É necessário que as equipas projetistas acompanhem o edifício depois de construído, no sentido de monitorizar a sua performance face ao projetado, para que as soluções passivas ou não possam ser optimizadas.

O desenho solar passivo, influencia praticamente todas as escolhas que se têm de fazer quando se pensa em construir. O edifício é desenhado para responder às características do sítio que são tão importantes para o conforto térmico interior como as escolhas de soluções construtivas e acabamentos.



## CRÉDITOS DAS IMAGENS

- Figura 1 - Moita, Francisco, 1985
- Figura 2 - Moita, Francisco, 1985
- Figura 3 - (Imagem desenvolvida sobre exemplo apresentado no site) WBDG
- Figura 4 - John Goulding, 1992
- Figura 5 - John Goulding, 1992
- Figura 6 - Mateus, Ricardo, 2006
- Figura 7 - Costa, Jorge Graça, 2009
- Figura 8 - Gonçalves, Helder, 2005
- Figura 9 - Moita, Francisco, 1985
- Figura 10 - Moita, Francisco, 1985

## BIBLIOGRAFIA/REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARDOU, Patrick; Arzoumanian, Varoujan – Sol y Arquitectura: Tecnologia y Arquitectura, Madrid, 1978.
- GONÇALVES, H., Graça, J.M., Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal, DGGE, 2004.
- GONÇALVES, H.; Edifício Solar XXI: Um edifício energeticamente eficiente em Portugal, INETI, Lisboa, 2005.
- GOULDING, John; Lewis, Owen; Steemers, Theo – Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook, Dublin: Commission of the European Communities, 1992.
- LEWIS, J.Owen - A Green Vitruvius : Princípios e práticas de projecto para uma Arquitectura Sustentável, Ordem dos arquitectos, Lisboa, 2001.
- MATEUS, Ricardo; Bragança, Luís – Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção, Edições Ecopy, Porto, 2006.
- MOITA, Francisco – Energia Solar Passiva, Lisboa: Direcção Geral de Energia, 1985.
- OLGYAY, Victor – Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas, Barcelona: Editorial Gustavo Gili , SA, 1998.
- PHILLIPS, Derek - Daylighting: Natural Light in Architecture, Oxford : Architectural Press, 2004.
- REAES, Pinto A.; Construção Sustentável – Materiais e Tecnologias (PE 19/06/2008), Apresentação na Agência Municipal de Energia e Ambiente, Lisboa, 2008.
- 7GROUP & BILL REED – The Integrative Design Guide to Green Building, New Jersey, Wiley, 2009.
- Internet:
- COSTA, Jorge Graça [em linha]: [Consult. 12-05-2009], disponível em, <http://www.oasrs.org/conteudo/agenda/noticias-detalle.asp?noticia=152>
- WBDG [em linha]: [Consult. 02-09-2013], disponível em, <http://www.wbdg.org/resources/psheating.php>
- SAINT-GOBAIN [em linha]: [Consult. 12-09-2013], disponível em, <http://pt.saint-gobain-glass.com>
- ANFAJE [em linha]: [Consult. 12-09-2013], disponível em, [www.anfaje.pt/](http://www.anfaje.pt/)
- Wiki 01 [em linha]: [Consult. 12-09-2013], disponível em, [https://en.wikipedia.org/wiki/Integrated\\_design](https://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_design)
- EnergyPlus [em linha]: [Consult. 12-09-2015], disponível em, <https://energyplus.net/>

## ALBERTO REAES PINTO

Professor Catedrático da Faculdade de Arquitectura e Artes (FAA) da Universidade Lusíada de Lisboa (ULL) e Doutor em Arquitectura pela Universidade de Salford-UK. É Coordenador do Centro de Investigação e Desenvolvimento, em Território, Arquitectura e Design (CITAD) das FAA da Universidade Lusíada. Foi Director da FAA da ULL, no período

de 2009 a 2012. Membro do Conselho Geral da Academia de Escolas de Arquitectura e Urbanismo de Língua Portuguesa (AEAULP), de 2011 a 2013. Foi administrador de empresas e iniciou a actividade empresarial privada em 1964 na empresa de construção civil ICESA, onde desempenhou cargos de Direcção e de Administração (1972/1989) e especializou-se em pré-fabricação, na Société Fiorio, em Limoux, France, de 1964 a 1967. Eleito Acad  mico Correspondente Nacional pela Academia Nacional de Belas Artes, em 1995. Eleito Presidente do Conselho Regional de Delegados do Sul da Ordem dos Arquitectos, no tri  nio 1999 a 2001. Nomeado pelo Conselho Nacional da Ordem dos Arquitectos em 2001 para integrar a Comissão de Acredita  o do Curso de Arquitectura (CA), da Escola Superior Artística do Porto, e em 2002 para Presidente da Comissão de Acredita  o do CA da Universidade do Minho. Eleito, pela Ordem dos Arquitectos, Presidente da Mesa da Assembleia Geral do Colégio da Especialidade de Gestão, Direc  o e Fiscaliza  o de obras, no dia 8 de Abril de 2014.

### **BRUNO DIAS**

Arquiteto pela Universidade Lusíada de Lisboa com Mestrado Integrado intitulado "Sustentabilidade na Arquitetura". Desenvolve projeto e constru  o focados na eficiência e sustentabilidade da constru  o e salubridade do utilizador. Investigador no Centro de Investiga  o do Território Arquitetura e Design da Universidade Lusíada de Lisboa desde 2013.

Endereços electrónicos dos autores  
reaespinto@sapo.pt - brunoduartedias@edu.ulusiada.pt