



# Envolvente na Eficiência Energética dos Edifícios

Laura Aelenei

21 Dezembro 2011

**MIT** Portugal



Envolvente

Processos térmicos. Balanços energéticos pela envolvente

Eficiência Energética

Soluções/Sistemas Passivos para Envolvente

Exemplo: Edifício SolarXXI

envolvente

## definição

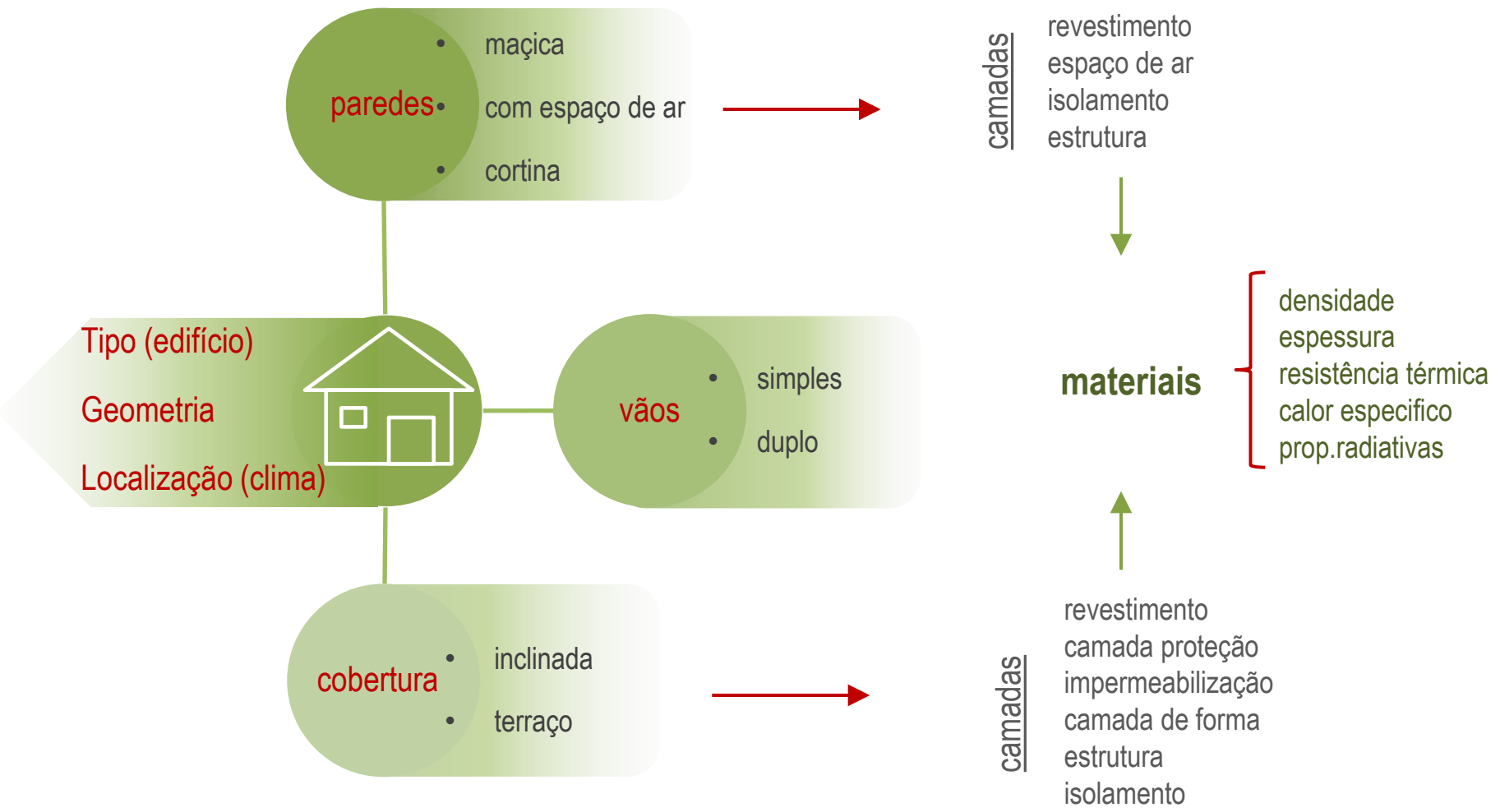
### Envolvente do edifício

elementos do edifício que constituem o contorno fechado do espaço interior aquecido através das quais se verifica transferência de fluxo de calor com o exterior ou outros espaços adjacentes.

componentes de envolvente

mecanismos de transmissão de calor

# componentes do envoltente





clima



edifício



corpo humano

mecanismos de transmissão de calor

# Edifício ↔ Clima local

## Factores que afectam o clima local

Radiação solar → provoca o aumento da temperatura interior

Temperatura ar → influência as trocas de calor (perdas/ganhos)

Humidade relativa → influência directamente o conforto higrotérmico

Precipitação → pode alterar as propriedades físicas da envolvente

Vento → condiciona a ventilação do edifício

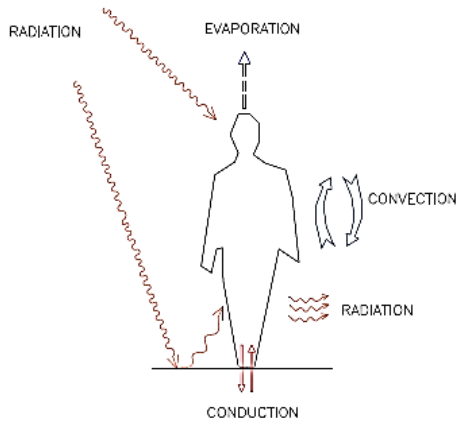
Características do céu → condiciona as trocas de calor por radiação

# Corpo humano ↔ Clima

## Parâmetros

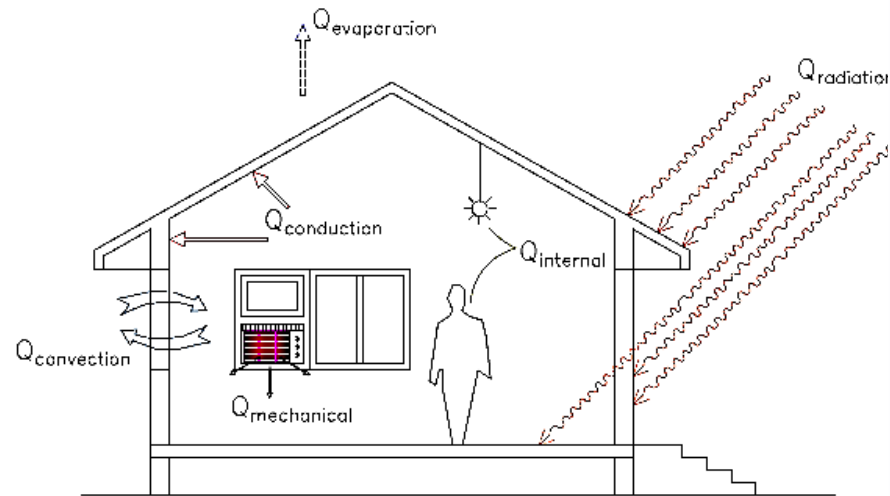
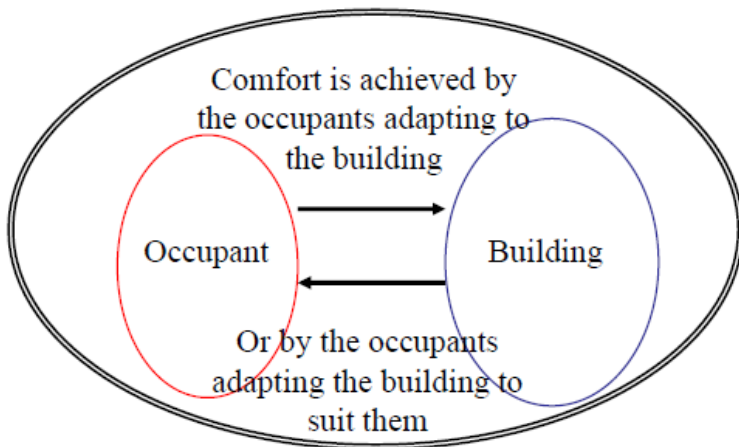
- Coeficiente de transmissão térmica
- Inércia térmica – capacidade térmica
- Propriedade radiativas (factor solar, absorção e emissividade)
- Permeabilidade ao ar da envolvente

# Porque razão os edifícios consomem energia?



Corpo humano ↔ Edifício

Edifício ↔ Clima local



mecanismos de transmissão de calor

balanços energéticos  
pela envolvente

## Estudo do comportamento térmico dos edifícios

Estudo do comportamento térmico dos edifícios implica conhecimento do modo de propagação de calor através da sua envolvente.

### Leis e princípios básicos da termodinâmica

Transmissão de calor → sempre que se estabelece uma diferença de temperatura

Calor transmitido → de temperatura mais elevada para a temperatura mais baixa

### Objectivo principal

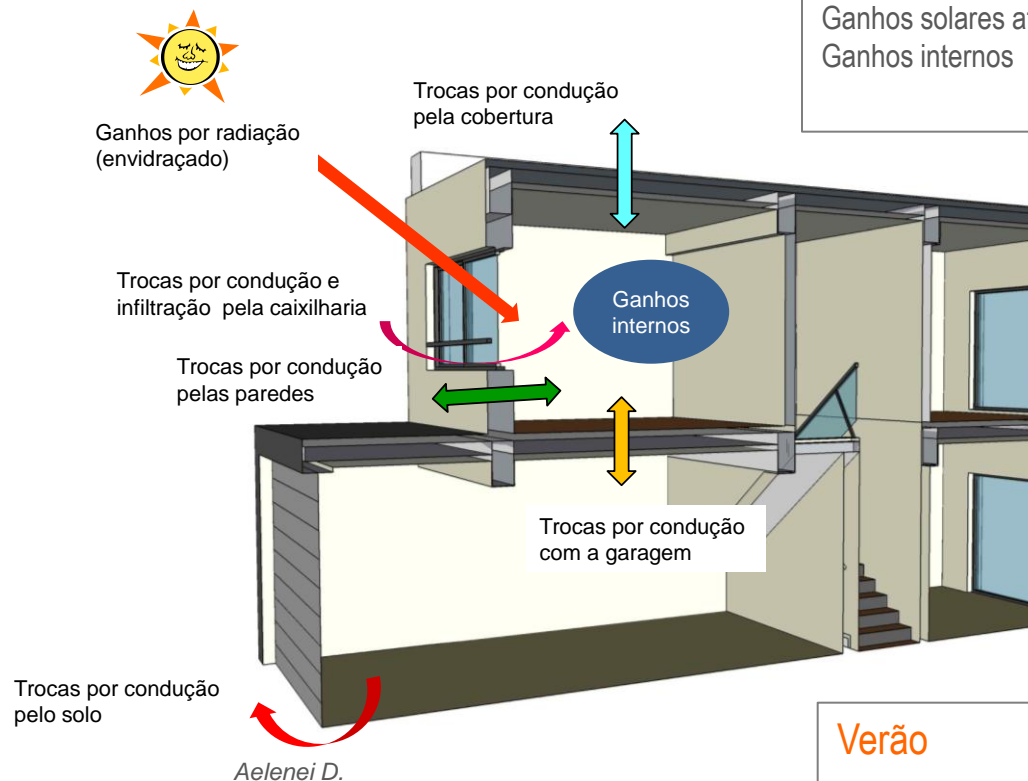
Determinar a quantidade de energia que é necessário fornecer ao edifício para que a sua temperatura interior se mantenha constante num determinado valor de referência.

Condições de Inverno

Determinação do fluxo de calor a fornecer ao edifício para que:  $\theta_i \approx 20^\circ\text{C}$

Condições de Verão

Determinação do fluxo de calor a retirar ao edifício para que:  $\theta_i \approx 25^\circ\text{C}$



### Inverno

Perdas de calor conductivas através de envolvente  
Perdas de calor convectivas resultantes da renovação de ar, infiltração  
Ganhos solares através de vãos envidraçados  
Ganhos internos

## BALANÇO TÉRMICO

### Verão

Ganhos solares pela envolvente opaca devidos à incidência da radiação solar  
Ganhos solares através de vãos envidraçados  
Cargas internas, devidas aos ocupantes, aos equipamentos e à iluminação artificial.

eficiência energética

## Objectivos:

optimizar os ganhos/perdas em função das necessidades

diminuir a utilização de equipamentos para aquecimento/arrefecimento

diminuir o consumo para iluminação

aumentar conforto

reduzir a factura

**Passive  
buildings**

Edifícios capazes de satisfazer as exigências de conforto sem consumo de energia ou com consumo baixo, limitado de energia

**Low energy  
buildings**

Edifícios capazes de satisfazer as exigências de conforto com consumos baixos de energia

**Buildings**

Edifícios capazes de satisfazer as exigências de conforto com consumos elevados de energia

**1. Minimizar as  
necessidades  
energéticas**

**2. Uso racional  
de combustíveis  
fósseis**

**3. Energias  
renováveis**

## Estratégias passivas

- Forma e localização do edifício;
- Orientação;
- Sombreamento;
- Massa térmica;
- Aquecimento/Arrefecimento passivo;
- Ventilação natural;
- Isolamento térmico (paredes, cobertura e pavimentos);
- Factor solar (vãos envidraçados).
- Iluminação natural

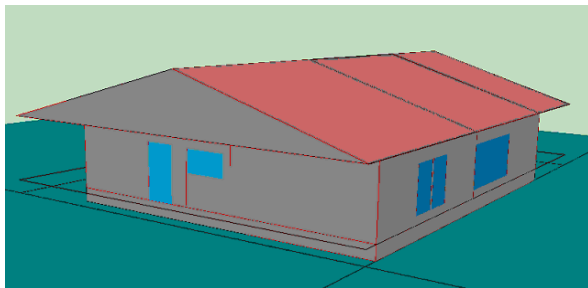
## Forma do edifício - factor de forma

Factor de Forma FF traduz a compacidade do edifício

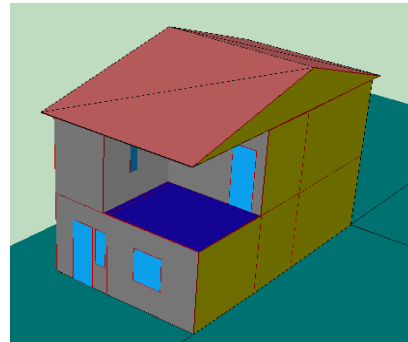
(a “pequenez” da sua envolvente através do qual se verificam perdas)

$$FF = \frac{A}{V} \left( m^2/m^3 \right)$$

Passive-On Project

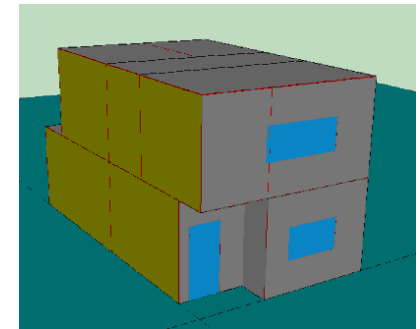


FF = 1,24



FF = 1,31

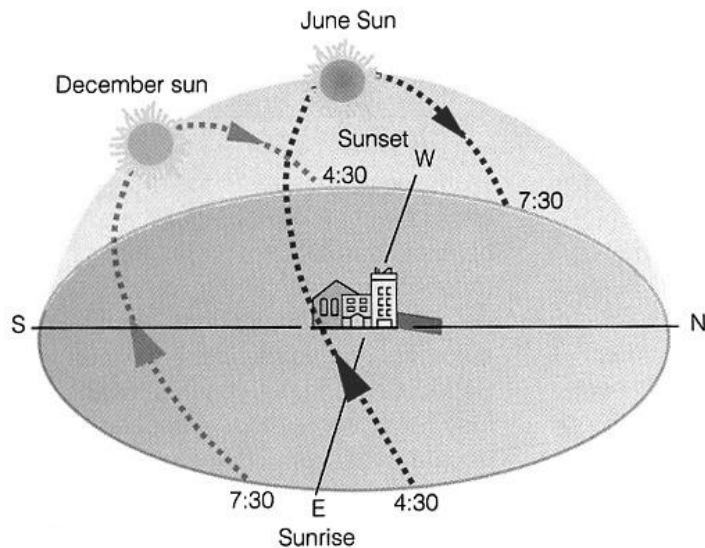
melhor comportamento!



FF = 1,70

## Orientação do edifício

Meteorology Today, C. Donald Ahrens

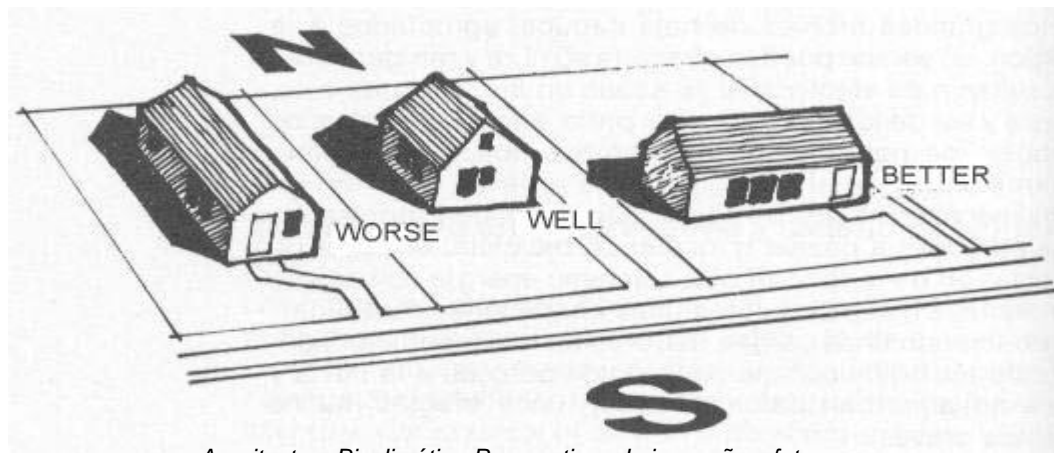


### Objetivo:

- Captação eficaz da radiação solar no Inverno;
- Diminuir os ganhos solares no Verão (sobreaquecimento)

Quanto maior for a duração do dia, maior será a possibilidade de insolação.

Ao meio-dia solar, a intensidade de insolação é maior; nas horas da manhã ou da tarde, quando o Sol está num ângulo baixo, a quantidade de insolação diminui.



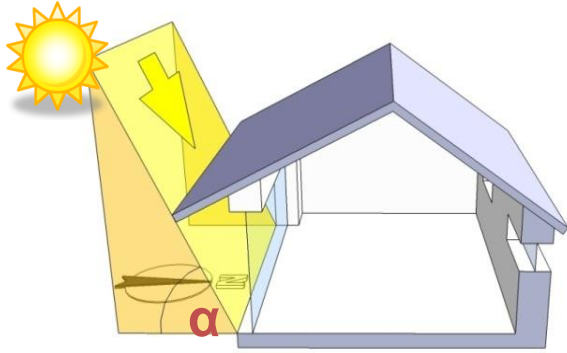
Arquitetura Bioclimática-Perspectivas de inovação e futuro

**GREENCAMPUS / Envolvente na Eficiência Energética dos Edifícios**

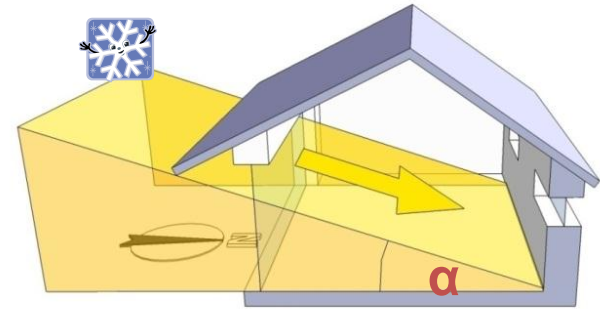
# Sombreamento

Princípio de funcionamento duma obstrução horizontal na orientação Sul

Comportamento de Verão



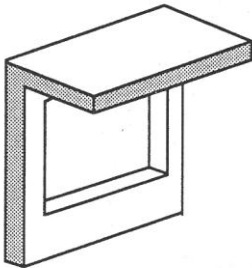
Comportamento de Inverno



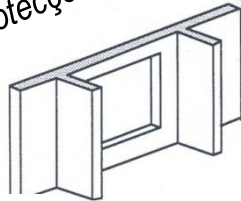
Sombreamento: tipo pala fixa

Sombreamento: tipo móveis

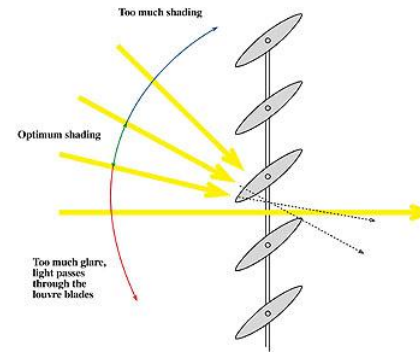
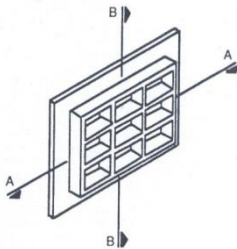
Protecção horizontal



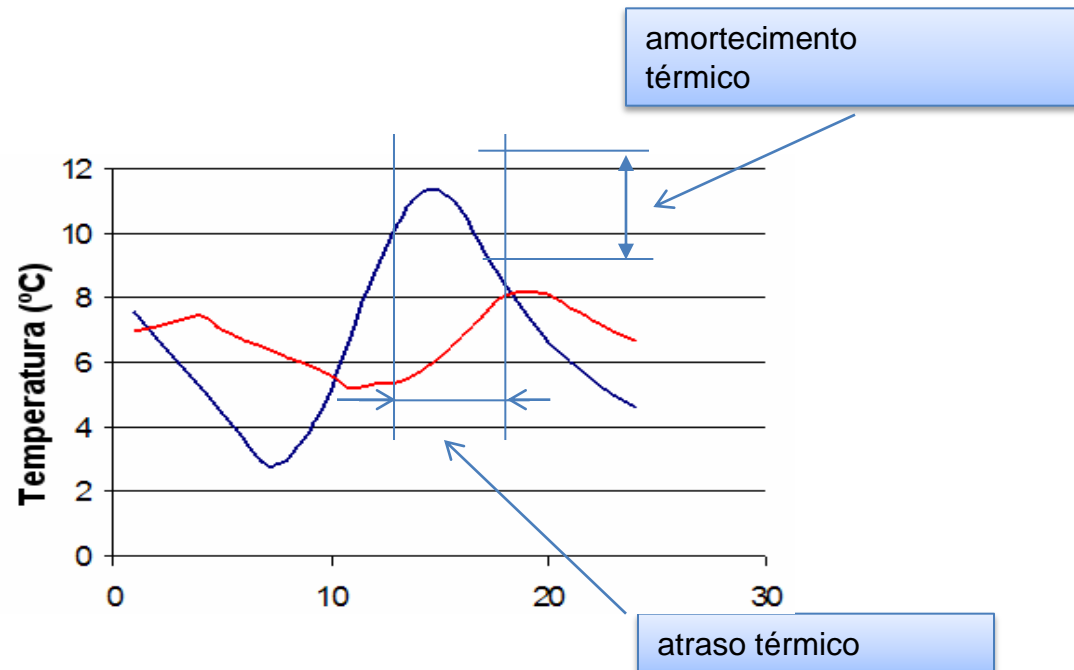
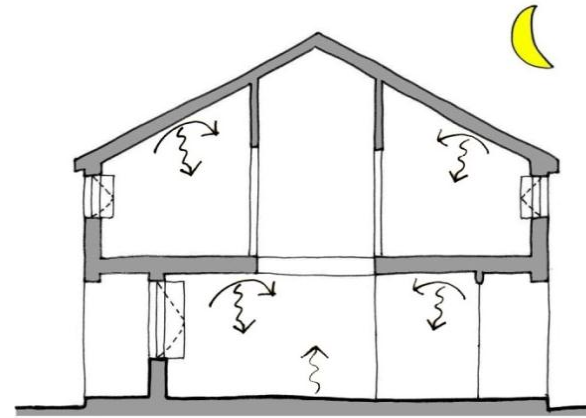
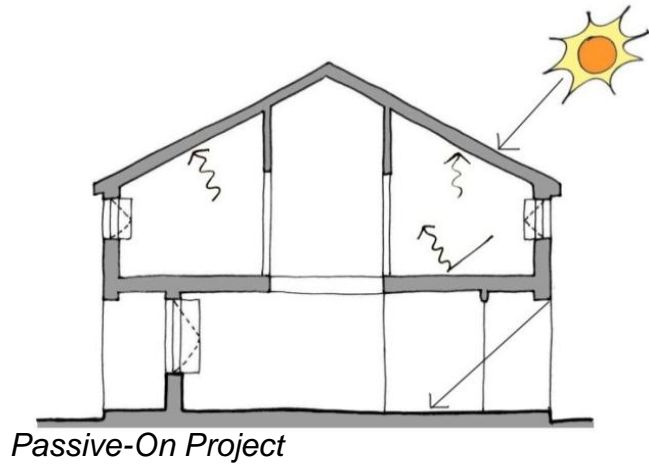
Protecções verticais



Protecções "grelha"



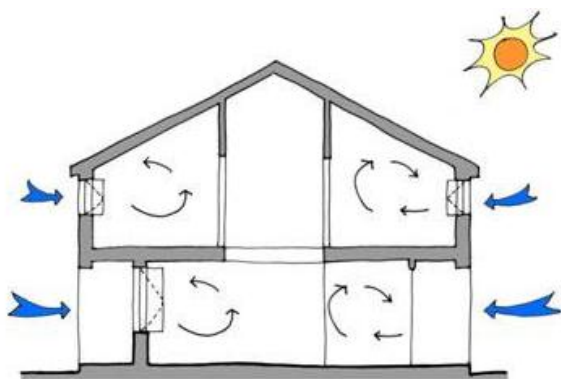
# Massa térmica



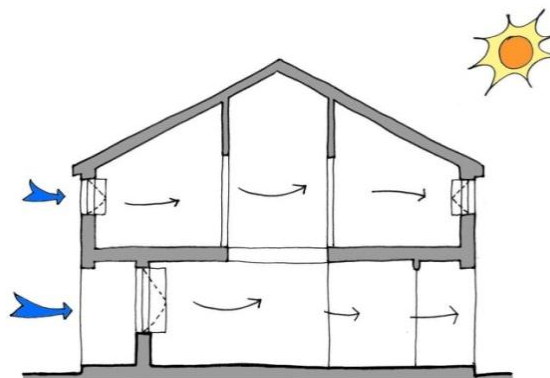
## Ventilação natural

- O vento, que gera uma diferença de pressões estáticas no interior dos edifícios ou compartimentos;
- O gradiente térmico, que origina uma variação de pressão devida ao gradiente de densidade do ar resultante de diferentes temperaturas interior/exterior - “efeito chaminé” (stack effect).

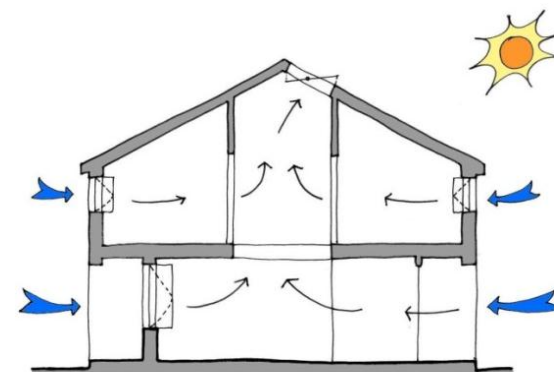
Passive-On Project



Ventilação unilateral

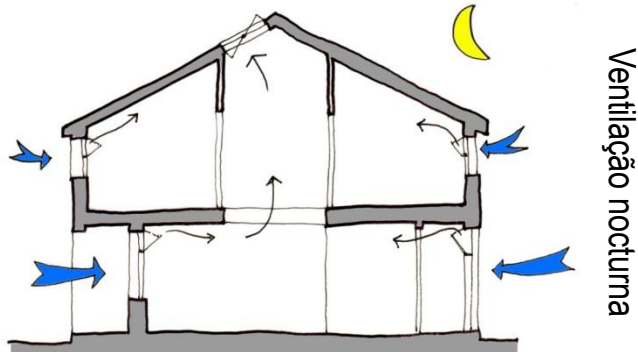


Ventilação cruzada

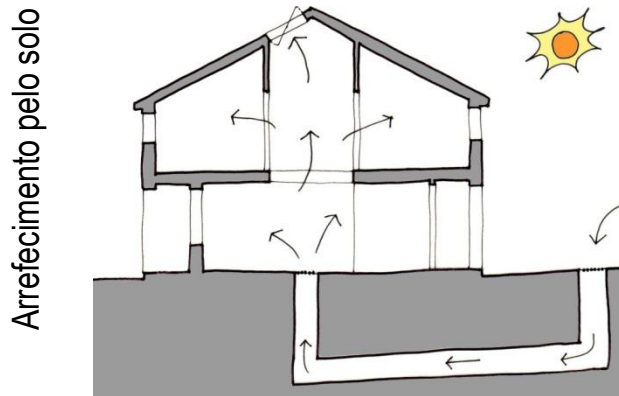


Ventilação por efeito chaminé

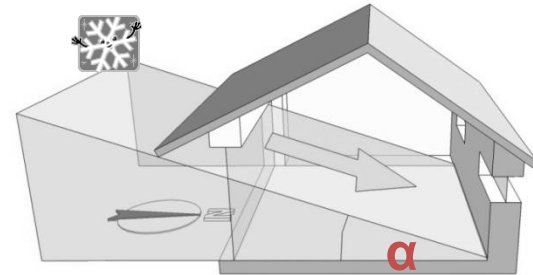
## Arrefecimento passivo



*Passive-On Project*

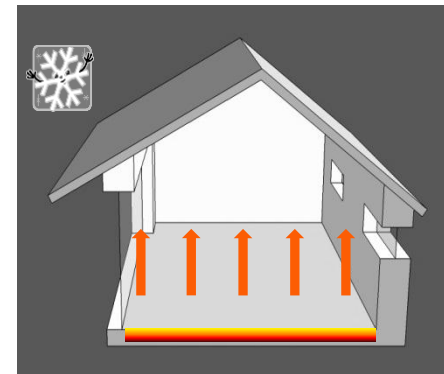


## Aquecimento passivo

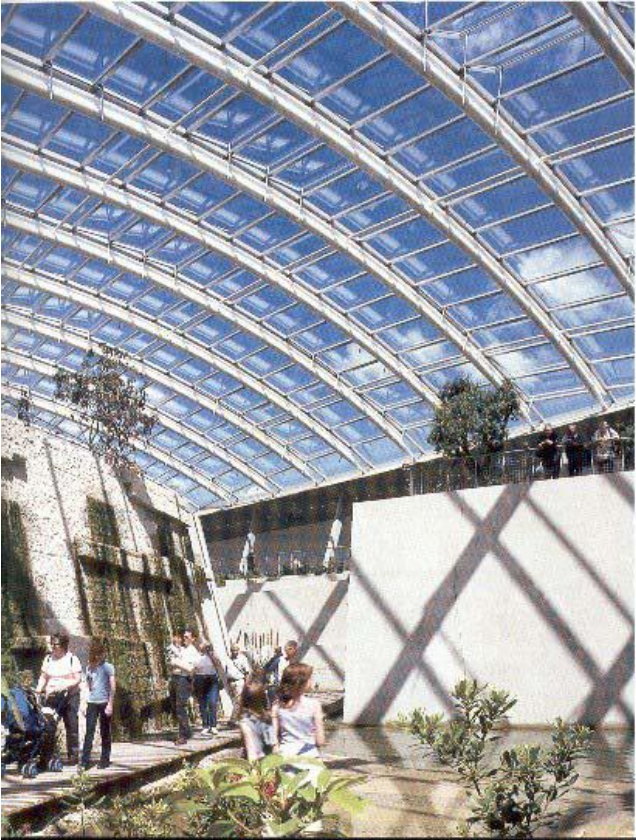


*ganhos solares através dos vãos envidraçados*

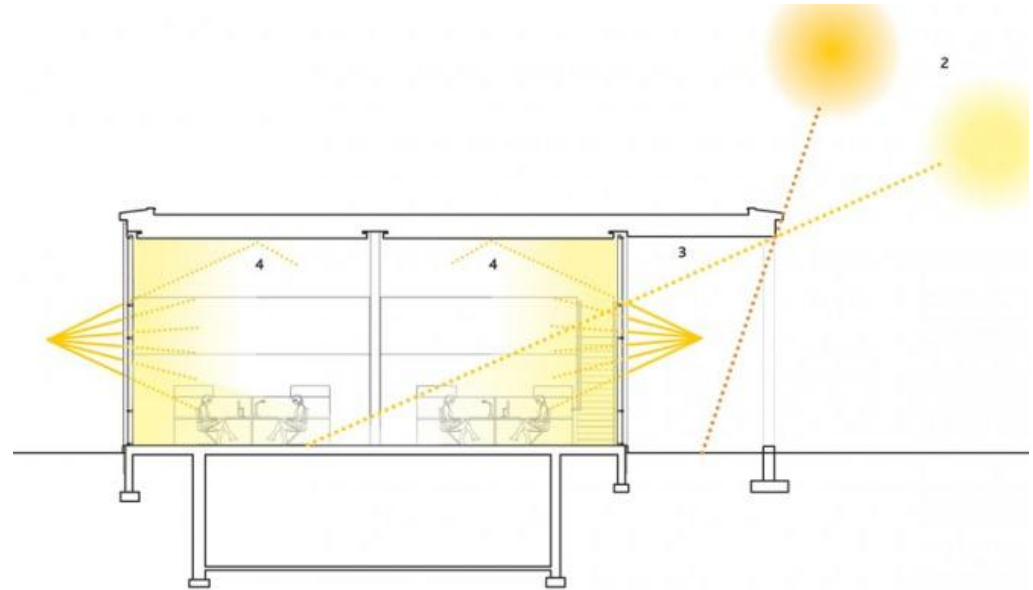
*inércia térmica*



## Iluminação natural



*Arquitetura Bioclimática-Perspectivas de inovação e futuro*



*Directory of Architecture Designs, Contemporary Houses, and Modern Buildings*

soluções/sistemas passivas  
para envoltente

**Materials:**

isolamento térmico

PCM (materiais com mudança de fase)

vidro especial

Paredes

Cobertura

Vãos

**Sistemas integradas na fachada:**

trombe wall

BIPV

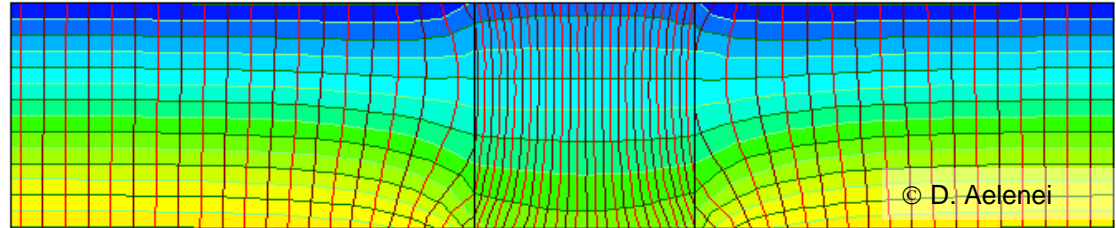
proteção solar

cobertura ajardinhada

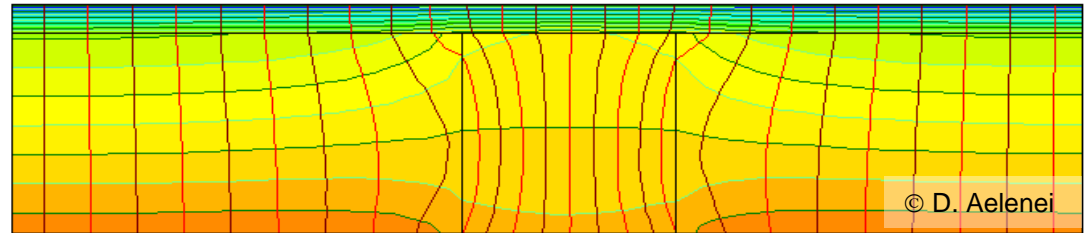
## Isolamento térmico: materiais/sistemas



sem isolamento

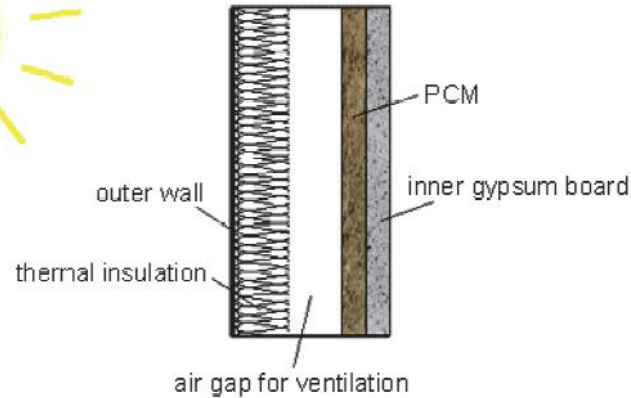


com isolamento

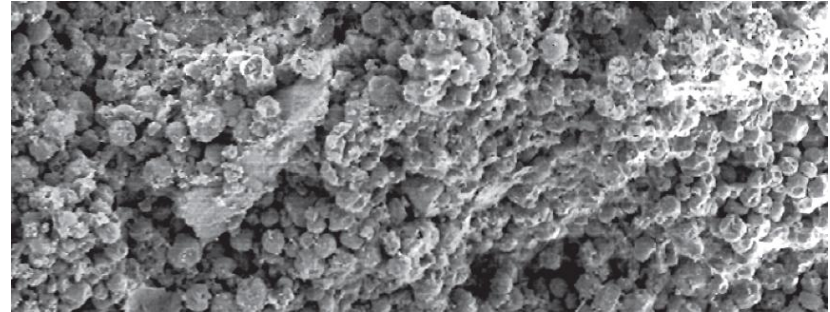


- diminuir as trocas do calor através de envoltante
- diminuir o efeito de ponte térmica

# PCM (materiais com mudança de fase): materiais/systemas

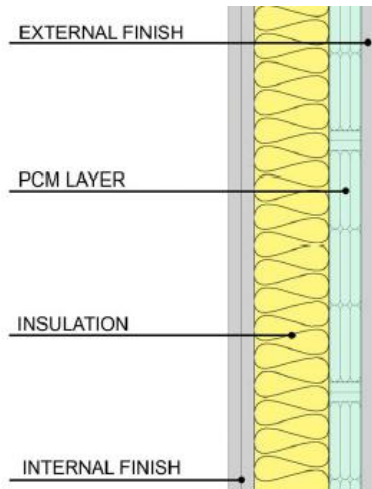


## Incorporação de microcápsulas num reboco



João Araújo Pereira Coutinho

Integração em paredes exteriores



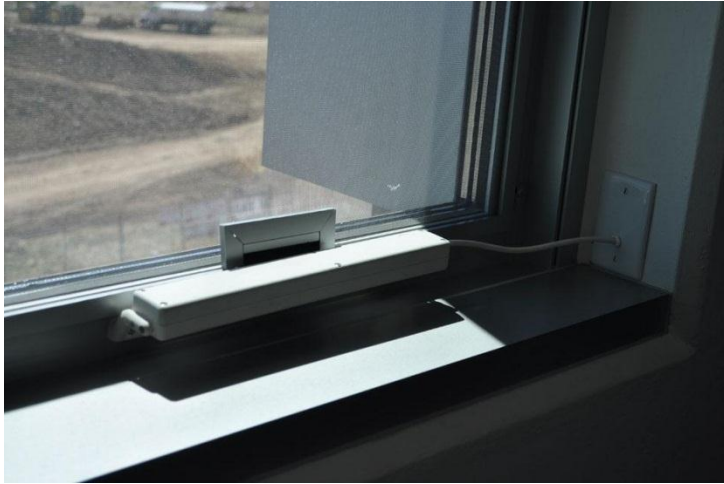
### DAY

The PCM layer in warm days store a great deal of the energy that flows through the wall

### NIGHT

The PCM layer release energy stored in the day outside and inside the building

## Vãos envidraçados: materiais/sistemas

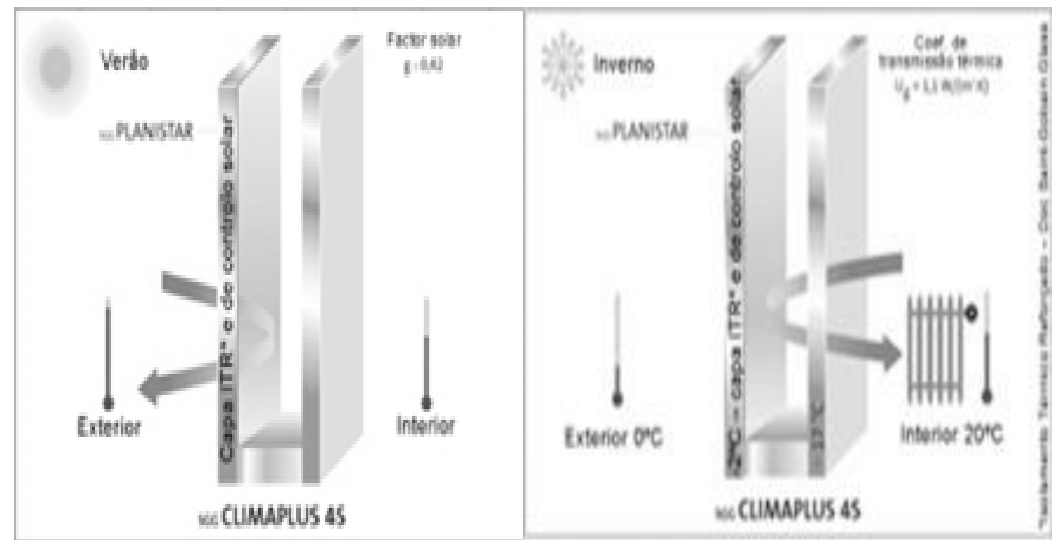


Permitir ventilação natural no edifício

Proteção solar adequada

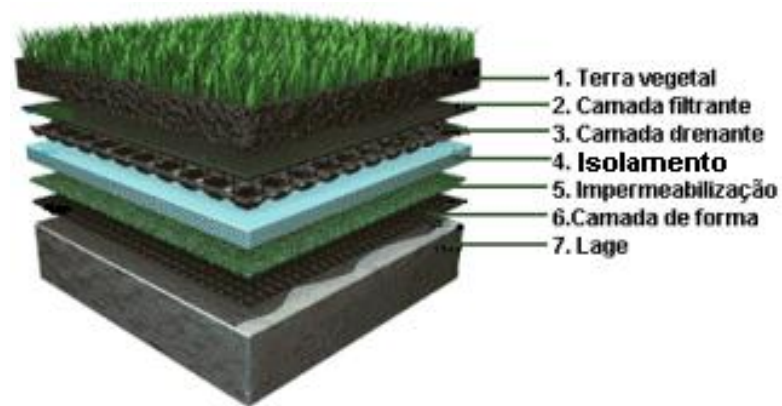


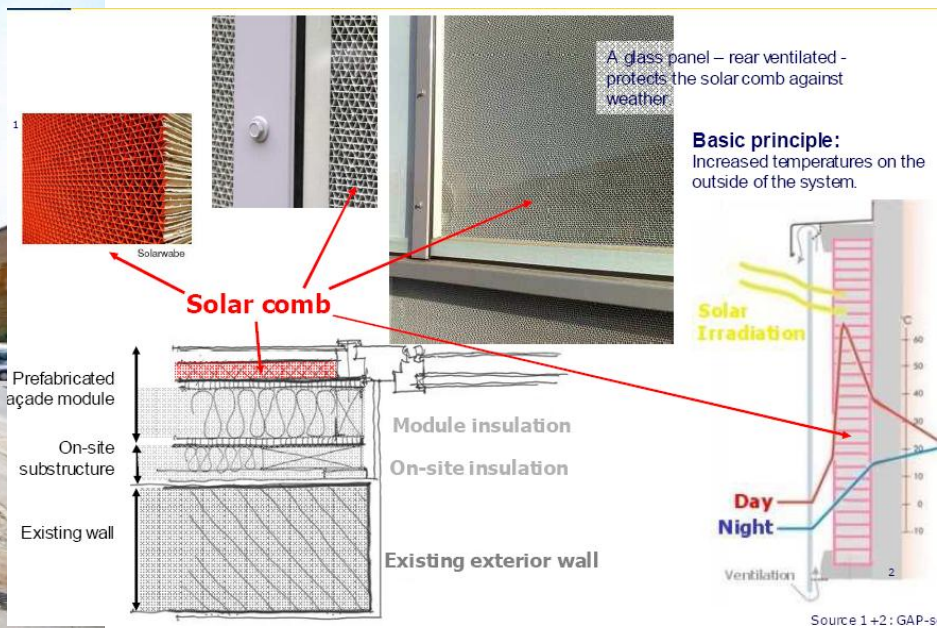
Vidro de qualidade elevada





Paredes/coberturas ajardinadas





Sistemas pre fabricados de fachada (colector térmico)

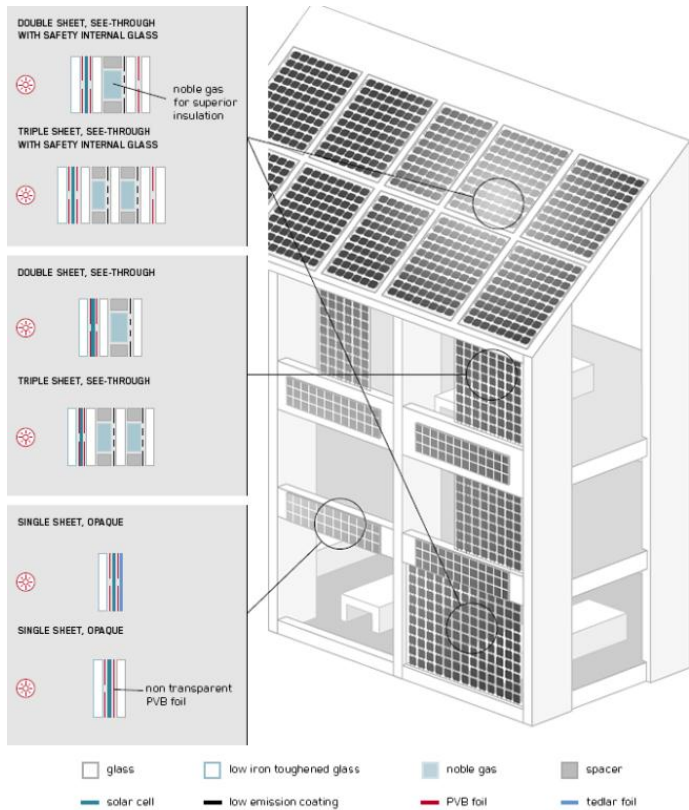
Solar thermal collectors were integrated instead of solar comb



South oriented facade of the long building row



AEE Intec

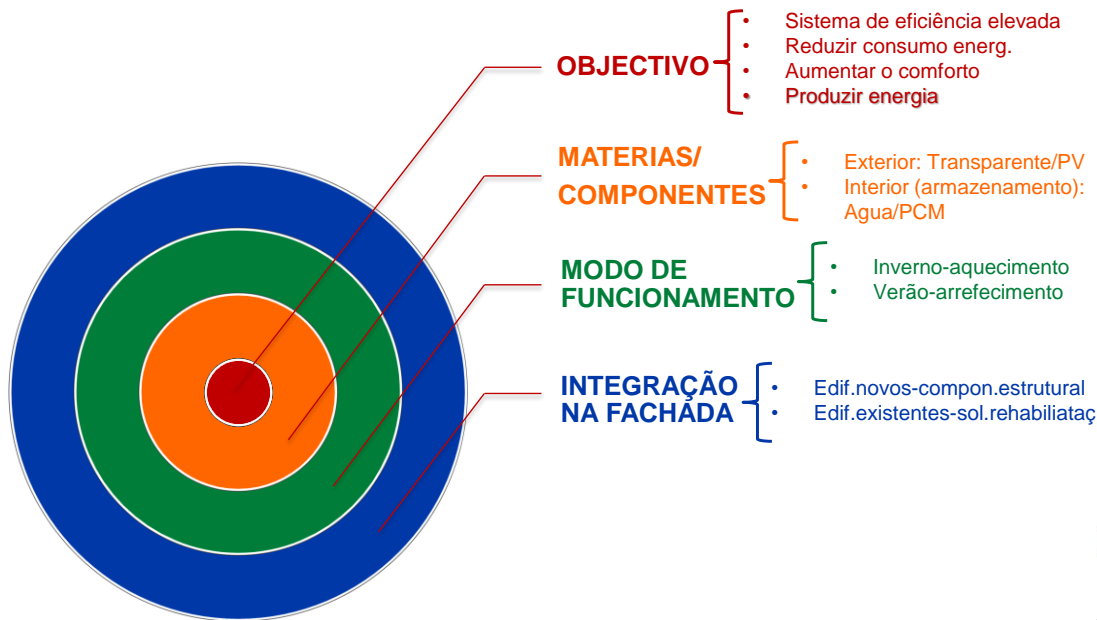


sapa-solar.com

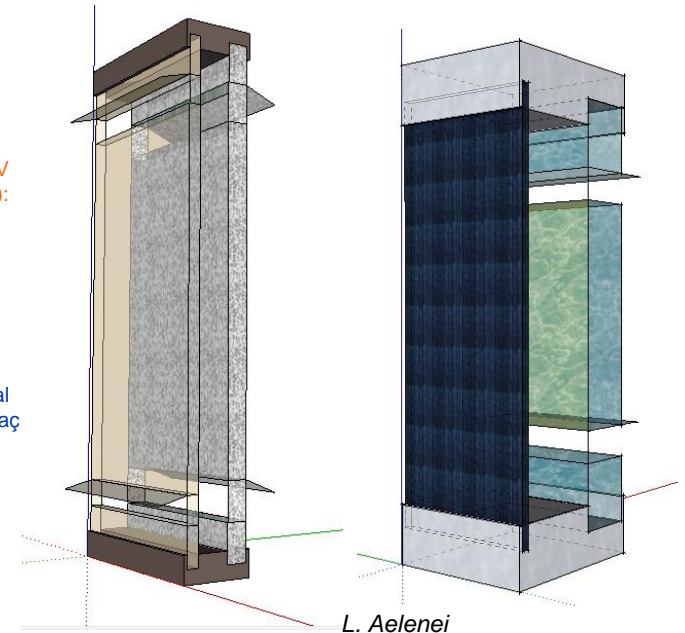
## BIPV - Building Integrated Photovoltaic



# Sistemas pre fabricadas para integração em fachadas



L. Aelenei



Projecto FRAME - Sistemas pre-fabricadas para edifícios de baixo consumo: design, modulação, prototipagem e testes

Exemplo:  
Edifício SolarXXI



# SOLAR

Em direcção à energia zero **Towards zero energy**

Em direcção à energia zero **Towards zero energy**

SOLAR XXI

Inverno

Optimizar a  
qualidade  
térmica de  
envolvente

Potenciar a  
captação de  
ganhos solares

Verão

Prevenir sobre  
aquecimento

Aproveitamento  
de “fontes” de  
arrefecimento  
“naturais”

## Estratégias/sistemas adoptadas - Inverno

### Optimizar a qualidade térmica da envolvente,

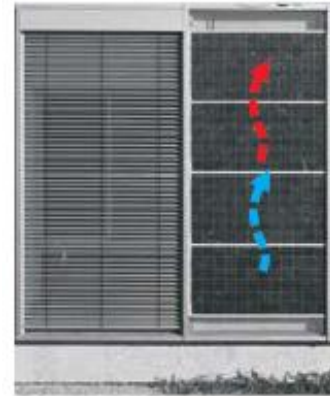
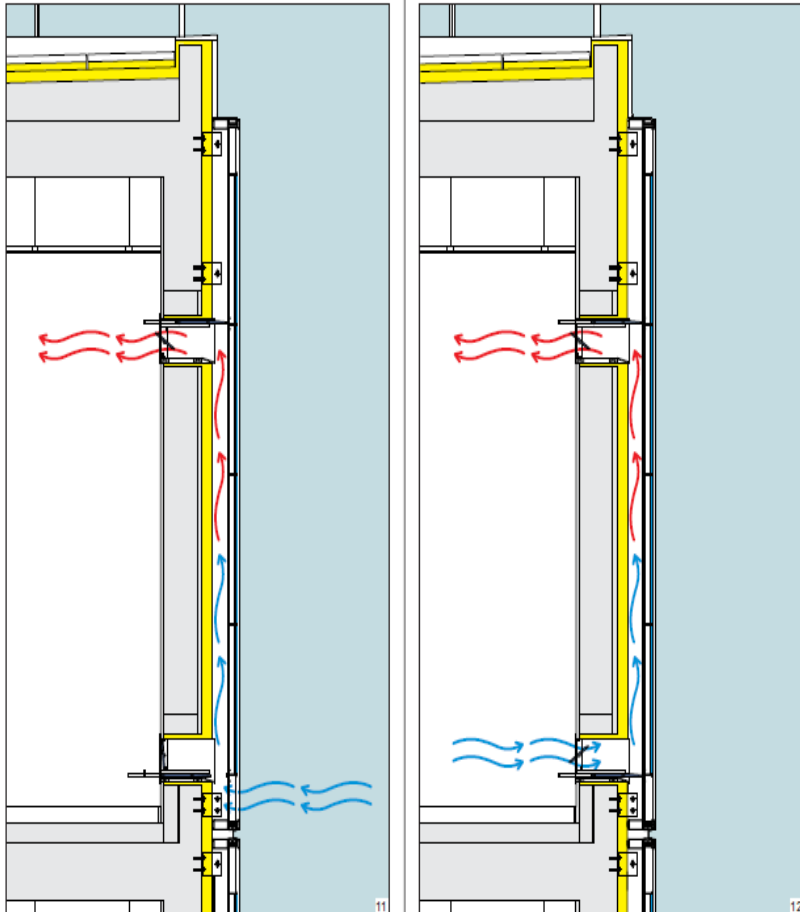
através da adopção de isolamento térmico adequado das paredes, coberturas e pavimentos.

O isolamento térmico, diminui as perdas térmicas do edifício no período de Inverno. Ao ter sido sempre aplicado pelo exterior corrige as pontes térmicas mantendo a “massa inercial” do edifício no seu interior contribuindo assim para a amortização das variações exteriores da temperatura.

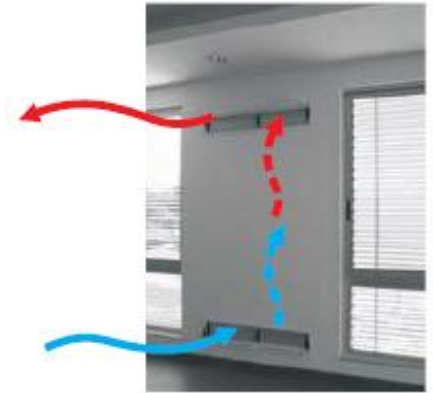


Building elements	Material	U value (W/m <sup>2</sup> K)
External walls	Brick wall + ETICS (6 cm)	0.45
Roof	Concrete with external insulation (10 cm)	0.26
Thermal bridges	Concrete with external insulation (6 cm)	0.55
Windows	Transparent double glazing	3.50
Envelope (average)		0.88

## Estratégias/Sistemas adoptadas - Inverno



*Inverno / Winter*



### **Recuperação de calor na face interior dos módulos fotovoltaicos (BIPV-T system)**

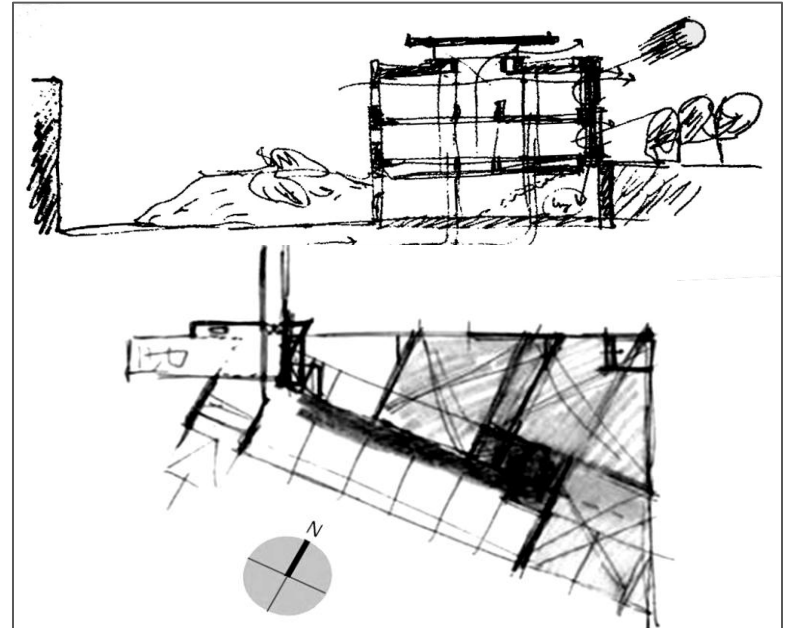
Aproveitar o calor gerado na face interior dos módulos fotovoltaicos, contribuir assim para o aquecimento do ar ambiente nos espaços contíguos.

## Estratégias/Sistemas adoptadas - Inverno



### Potenciar a captação de ganhos solares

Orientação do edifício - Fachada principal - Sul  
Grande area de envidraçados na fachada principal Sul



## Estratégias/sistemas adoptadas - Verão

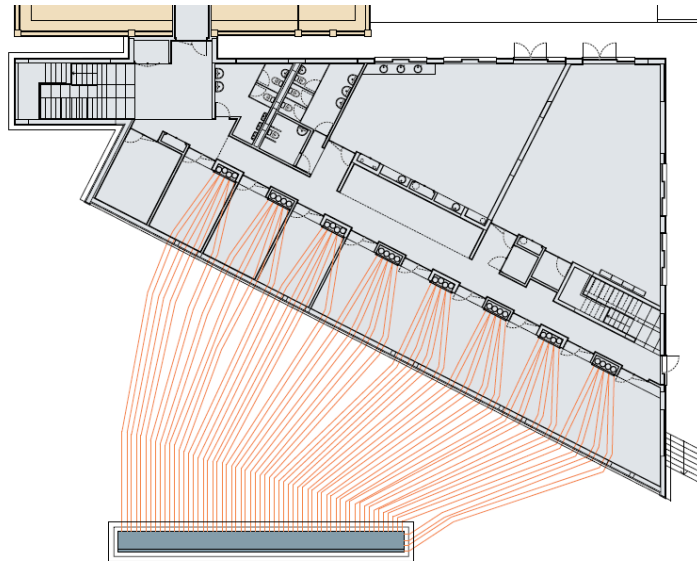
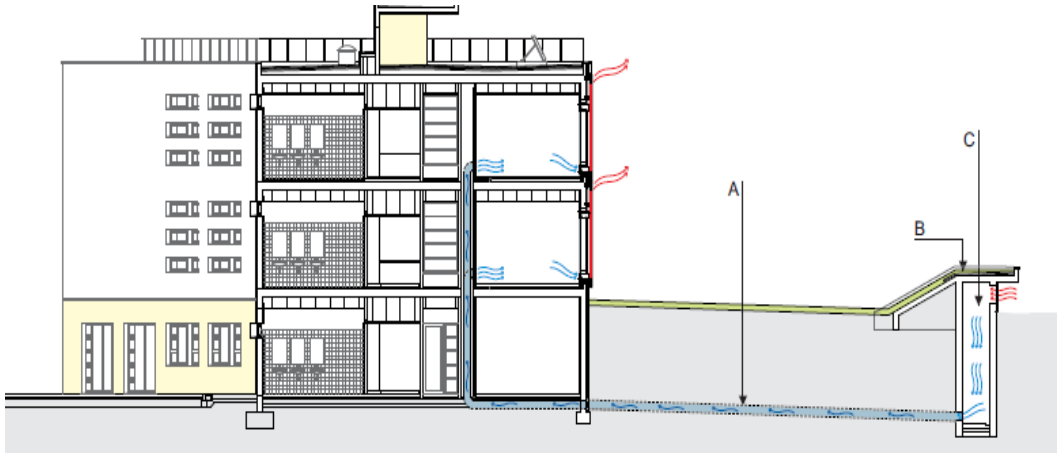


### Sombreamento dos vãos

Dispositivos de sombreamento-estores de laminas exteriores, reguláveis e orientáveis, adequar a entrada de radiação solar e luz.



## Estratégias/Sistemas adoptadas - Verão



### Sistemas de tubos enterrados

- O arrefecimento através de tubos enterrados recorrendo ao importante potencial de frio do solo (fonte fria) para arrefecer o ar exterior que será insuflado no interior do edifício.
- 32 tubos de manilhas de cimento - com um diâmetro de 30 cm e enterrados a 4,6 m de profundidade

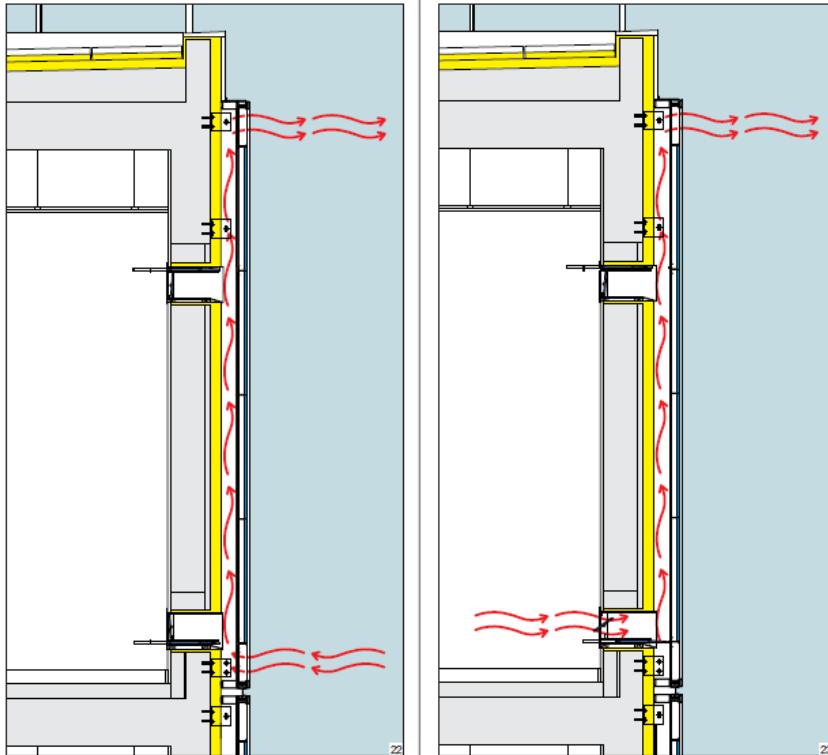
## Estratégias/Sistemas adoptadas - Verão



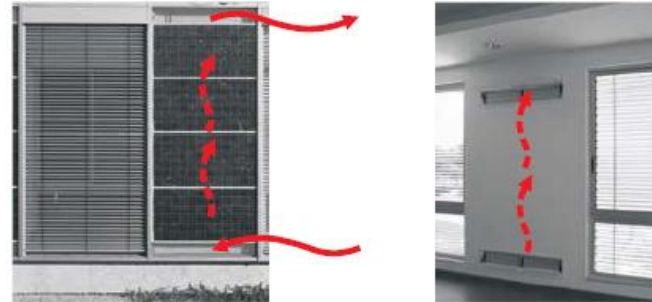
### Ventilação natural

- através de aberturas nas diferentes fachadas de forma a permitir uma ventilação transversal
- existência de registos reguláveis em bandeiras existentes sobre todas as portas, que ligam as salas ao corredor e ao poço central, que por sua vez permite uma ventilação ascendente por efeito de chaminé

## Estratégias/Sistemas adoptadas - Verão



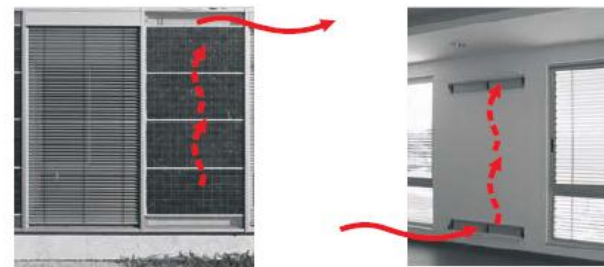
Verão / Summer



### Ventilação da fachada fotovoltaica

- Extração do calor produzido pelos módulos fotovoltaicos
- Evacuação do ar quente do interior dos gabinetes-efeito de chamine

Verão / Summer

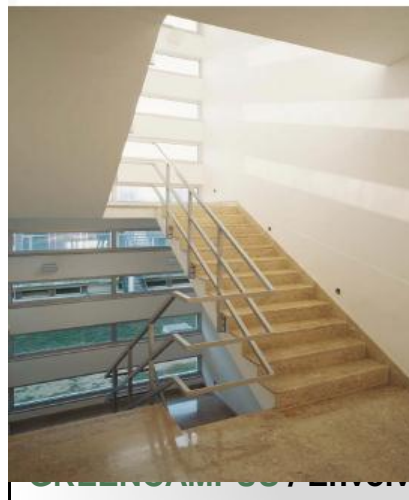


## Iluminação natural



### Ventilação da fachada fotovoltaica

Vãos distribuidos, claraboia central comum aos 3 pisos com ligação às salas a norte e a sul propiciam iluminação natural, todo o ano.



# Temperatura do ar interior Inverno / Verão

Inverno

Gráfico 9 / Chart 9

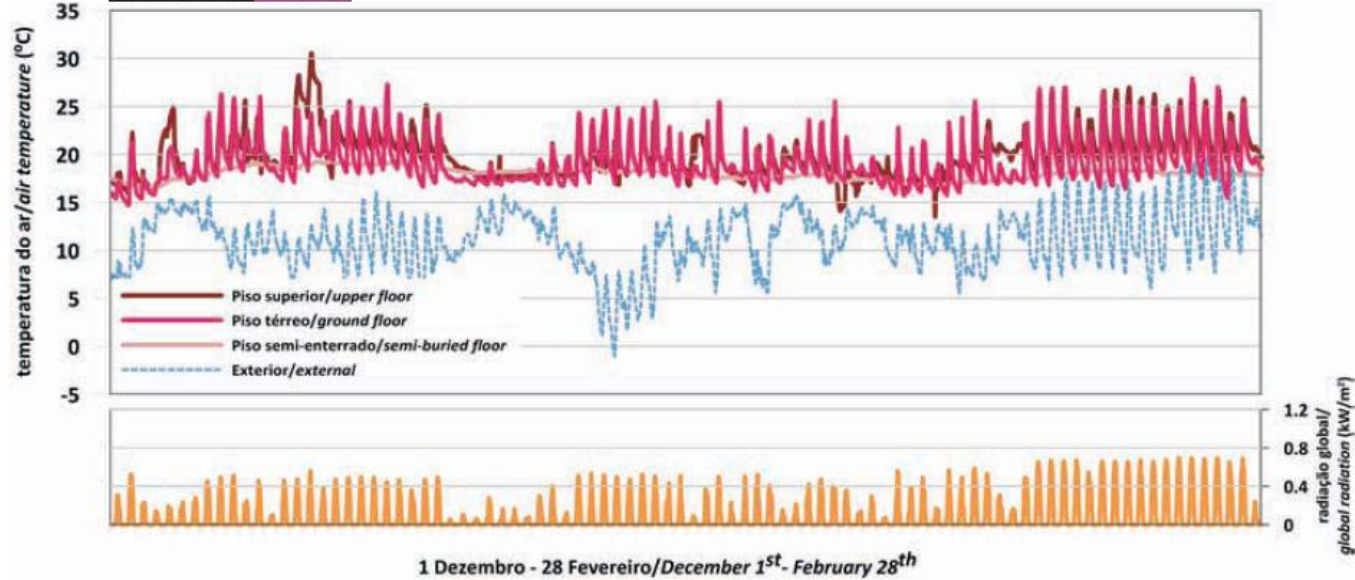
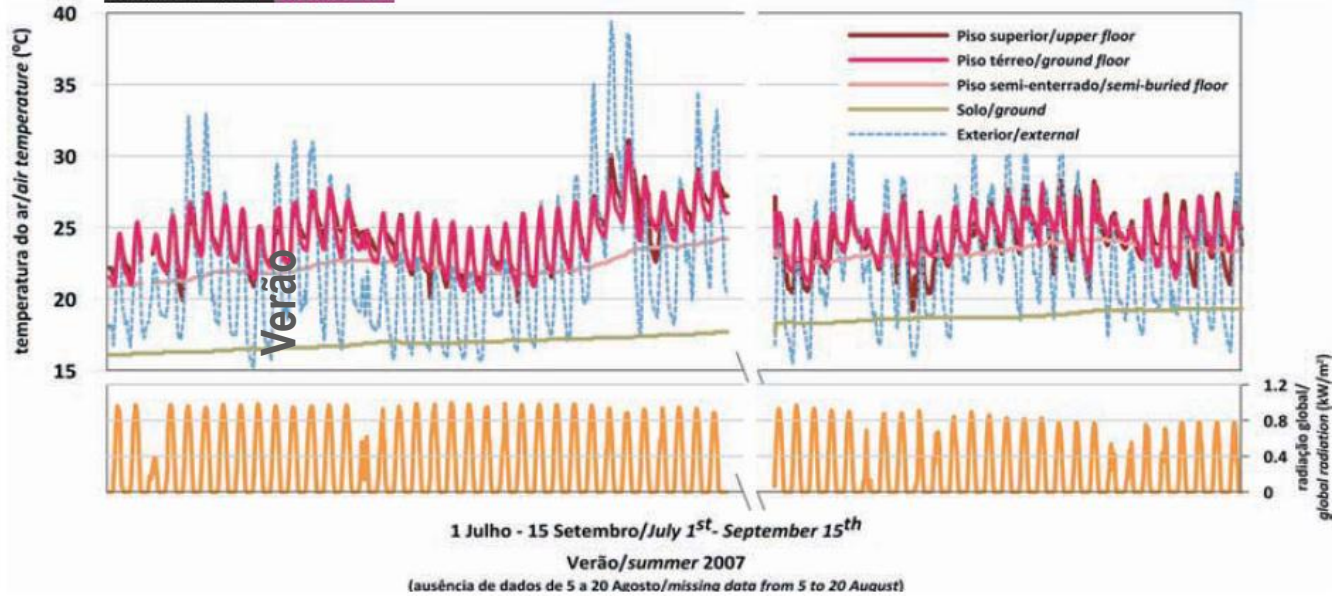


Gráfico 10 / Chart 10



# Indicador de eficiência energética IEE

IEE  
SOLAR XXI  
(real)

**2.8**  
kgep/(m<sup>2</sup>.year)

IEE  
SOLAR XXI  
(typical user related  
loads)

**16**  
kgep/(m<sup>2</sup>.year)

**x 10**

IEE  
Standard value office  
building

**30**  
kgep/(m<sup>2</sup>.year)



*OBRIGADA*

[laura.aelenei@lneg.pt](mailto:laura.aelenei@lneg.pt)



[www.lneg.pt](http://www.lneg.pt)