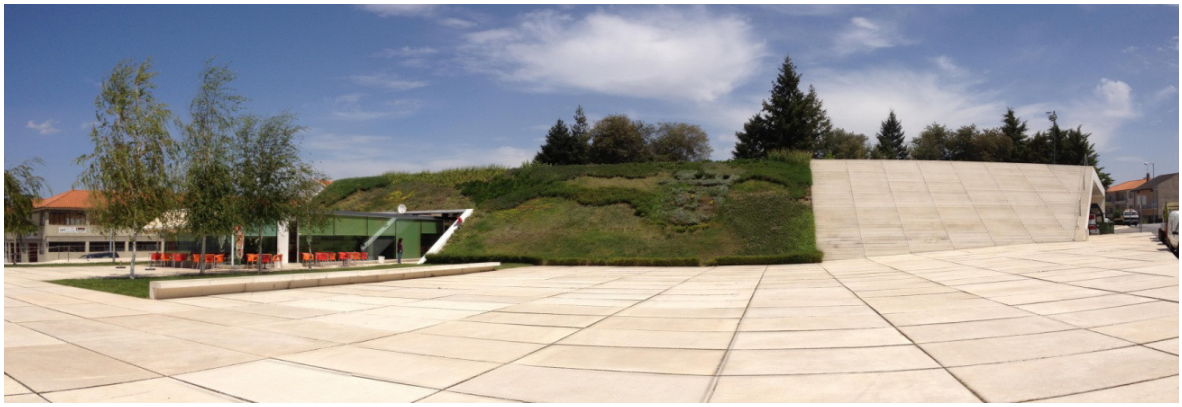


CATÁLOGO DE SOLUÇÕES BIOCLIMÁTICAS DE CONSTRUÇÃO PARA MINIMIZAR O CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS

CATÁLOGO DE SOLUÇÕES BIOCLIMÁTICAS DE CONSTRUÇÃO PARA MINIMIZAR O CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS

FUNDAMENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO CATÁLOGO

O projeto BIOURB (Diversidade Bioconstructiva Transfronteiriça, Construção Bioclimática e sua adaptação à Arquitectura e Urbanismo Moderno) é um projeto desenvolvido no Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha-Portugal (POCTEP) e financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), que tem como principal objetivo substituir o atual modelo construtivo por um modelo bioclimático mais sustentável, ambientalmente e economicamente, através da redução das necessidades energéticas dos edifícios, valorizando a diversidade bioconstrutiva e o património bioclimático da área transfronteiriça de Castilla y León e Norte de Portugal".

No âmbito deste projecto, a Fundação para Investigação e Desenvolvimento dos Transportes a da Energia (CIDAUT) desenvolveu um estudo sobre o desempenho energético das soluções bioclimáticas tradicionais para aplicação em edifícios actuais de habitaçao.

Este catálogo de soluções foi desenvolvido a partir dos resultados do estudo sobre os diferentes tipos de soluções:

- Parede de Trombe sem ventilação..... 3
- Parede de Trombe com ventilação..... 13
- Estufa anexa 23
- Parede verde..... 28
- Cobertura verde..... 32
- Cobertura captadora pasiva..... 37
- Climatização geotérmica..... 41

As condições meteorológicas aplicadas foram sempre correspondentes a uma zona próxima e muito semelhante ao das regiões abrangidas pelo projeto (condições climáticas na cidade de Zamora, Espanha). As características climáticas desta região representam, em todos os tipos de edifícios de habitaçao, um período com alto consumo energético por aquecimento (Outubro a Maio) e um período com consumo relativamente pequeno de arrefecimento (Junho a Setembro).

Basicamente, o estudo envolveu o uso de códigos de simulação de sistemas de energia (TRNSYS) para modelar uma multiplicidade de casos com diferentes configurações paramétricas das variáveis nos edifícios e nas soluções, e obtenção de poupanças de energia para aquecimento e arrefecimento, em cada caso. A análise estatística subsequente dos resultados permitiu determinar os parâmetros mais influentes para cada tipo de solução e seu efeito sobre o resultado final.

Tudo isso conduziu à definição de expressões empíricas para a poupança de energia das soluções bioclimáticas com base em seus parâmetros característicos. A poupança é expressa em kWh/ano de consumo de energia térmica para cada unidade básica de solução (metros quadrados ou metros lineares).

Poupanças são positivas na maioria dos casos. No entanto, por vezes, dependendo do tipo de solução bioclimatica e de suas características, podem tornar-se negativas. Existem soluções em que o comportamento positivo no periodo de aquecimento implica um comportamento negativo no período de arrefecimento e vice-versa; em função das características climáticas da região em estudo, na maioria dos casos, é mais importante a poupança em período de aquecimento. Em outros casos, o comportamento é positivo em ambos os períodos do ano.

A poupança em consumo de energia térmica pode ser transformado em poupança de energia final usando os coeficientes de desempenho térmico do equipamento instalado para aquecimento e arrefecimento do edifício.

Finalmente, aplicando os coeficientes de transformação para o tipo de abastecimento de energia e tendo em conta a localização geográfica, podem ser obtidas as poupanças em energia primária e a redução das emissões equivalentes de CO_2.

As folhas individuais são estruturadas com as seguintes seções:

1. Descrição da solução construtiva
2. Exemplos reais de aplicação
3. Restrições impostas ao cálculo da solução
4. Parâmetros característicos da solução
5. Expressões para o cálculo das poupanças de energia
6. Valores típicos dos parâmetros e dos seus efeitos

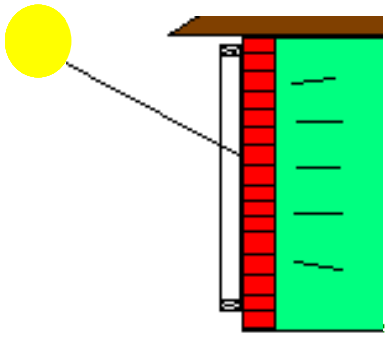
FICHA 1:

PAREDE DE TROMBE SEM VENTILAÇAO

1. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA.

Com o nome de "parede de Trombe" são conhecidas as soluções bioclimáticas que incorporam uma parede vertical, com uma espessura e transmitância variáveis, na sua face interior e um elemento de vidro, único ou múltiplo, na sua face exterior. O espaço entre a parede e o vidro é relativamente pequeno (<0,8 m).

O vidro é altamente transparente a radiação visível, mas é opaco à radiação infravermelha, com um comprimento de onda maior, que emite a parede quente para o exterior. Assim, uma grande parte da radiação solar passa para dentro do edifício:



Uma parede de trombe é conhecida como “sem ventilação” quando o interespaço não tem comunicação com o ambiente exterior nem com o interior do edifício.

A parede de trombe não ventilada pode ter dispositivos de sombreamento, como beirais, palas, toldos, persianas ou estores que promovem a economia de energia, reduzindo a quantidade de radiação solar direta na parede no verão. O efeito destes elementos não é considerado nos cálculos.

Só foi considerada uma variante conhecida como “parede de trombe com controlo de radiação solar”: Esta é uma parede de trombe especial que tem um estore ou semelhante fazendo como uma tela isolante y reflexiva. O dispositivo é aberto apenas no periodo de aquecimento e apenas enquanto a parede de Trombe recebe a luz solar directa, e manteve-se fechado o resto do tempo. Isso vai ficar mais isolamento das paredes e uma redução significativa das perdas de calor para fora no inverno e os ganhos de calor do lado de fora no verão.

Pela definição, a parede permanece completamente fechada durante o período de arrefecimento, o que pressupõe que as perdas de energia são nulas.

Dentro da ficha para a parede de trombe não ventilada estão incluídas, portanto, duas soluções diferentes: parede de trombe simple e parede de trombe com controlo de radiação solar.

2. EXEMPLOS REAIS DE APLICAÇÃO.

a) Na área de estudio:

Zamora, Plaza del Mercado 1

b) No mundo:

Taos, New Mexico (USA)

Santa Fe, New Mexico (USA)

a) PAREDE DE TROMBE NÃO VENTILADA SIMPLE

3.a RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma parede de Trombe não ventilada aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. Espaços de base rectangular, com uma espessura inferior a 0,8 m, e onde a superfície do vidro principal e a parede em contacto directo com o edifício são verticais e viradas para o sul (± 18º).
2. Os movimentos convectivos do ar não são levados em conta e os espaços da cavidade são horizontalmente divididos ao nivel dos pavimentos.
3. A face sul da parede de Trombe será sempre envidraçada (feita inteiramente de vidro).
4. A parede deve ser completamente opaca e com toda a face norte em contato direto com os espaços climatizados do edifício. Supõe-se que os espaços climatizados em cada andar estão interligados e têm um tamanho suficiente para absorver toda a energia térmica transmitida através da parede.
5. As paredes laterais (leste e oeste) e as partes superior e inferior da parede de Trombe estão devidamente fechadas e isoladas. As perdas de calor através destes elementos são consideradas nulas.
6. No espaço anexo não há aquecimento, arrefecimento ou entrada de calor adicional.
7. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha)

4.a PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados da **parede de trombe sem ventilação**, do **edifício** e da **relação entre os dois**. São destacados em negrito aqueles que foram estatisticamente significativos e, portanto, incluídos nas fórmulas da poupança de energia.

Parâmetros característicos da **parede de trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Absorvência solar da parede de trombe (*)	**-**	**0.3 a 0.9**	**AS**
Condutibilidade térmica da parede de trombe	**W/mK**	**0.1 a 3**	**CT**
Espessura da parede de trombe	**m**	**0.05 a 1**	**EM**
Transmitância térmica parede de trombe (**)	**W/m^2K**	**0.3 a 3**	**UT**
Capacidade de armazenamento térmico da parede de trombe (ρ*Cp)	**MJ/m^3K**	**0.5 a 2.5**	**QT**
Difusividade térmica λ/ρ*Cp (***)	mm^2/s	0.2 a 2	DT
Espessura do espaço de separaçao	m	0.01 a 0.8	EH
Transmitância térmica vidro exterior trombe	**W/m^2K**	**1 a 6**	**UV**
Factor solar do vidro exterior trombe (****)	**-**	**0.5 a 0.9**	**FS**

*- Taxa media de radiação solar absorvida em exposição solar direta, pela face do trombe, na parede comum entre o edifício e o trombe.

**- Coeficiente de transmissão térmica da parede. Inclui a contribuição da parede, oco, vidro e coeficientes de convecção do ar nos lados de dentro e de fora.

***- Relacionado com a velocidade de armazenamento e liberação de energia térmica.

****- Associado à transmitância térmica do vidro: Altos valores de UV implicam altos valores de FS, enquanto que baixos valores de UV envolvem valores baixos de FS.

Parâmetros característicos do **edifício**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superficie de janelas viradas a norte (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VN**
Superfície de janelas viradas a sul (*)	-	0 a 0.6	VS
Superficie de janelas viradas a leste (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VE**
Superfície de janelas viradas a oeste (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VO**
Compacidade do edifício (**)	m^3/m^2	1 a 6	CE
Transmitância térmica média do edifício (***)	W/m^2K	< CTE	UM
Coeficiente de perdas pela envolvente (****)	W/m^3K	0.05 a 0.5	CPE
Tipo de uso do edifício (*****)	-	Residencial	TU

*- Relação entre a superfície total envidraçada dos espaços climatizados orientada na direcção indicada e a área total climatizada.

**- Proporção entre o volume climatizado do edifício ea área total exposta para o exterior.

***- As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica media inferiores aos exigido pelo Código Técnico da Edificação em Espanha (CTE) na opção simplificada (0.66 W/m^2K na zona climática D2).

****- Relação entre a soma dos produtos de todas as superfícies exteriores por o seu coeficiente de transmissão, dividida pelo volume total climatizado (relacionado com a compacidade e a transmitância).

*****- O estudo inclui apenas os edifícios residenciais.

Parâmetros característicos da **relação edifício/trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Relação de áreas (*)	-	0 a 0.20	RS

*- Razão entre a área total da parede de Trombe ea área total climatizada.

5.a EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

As poupanças de energia calculadas durante o período de aquecimento, expressas por m^2 de parede de Trombe, são dadas pela expressão:

$$P_{AQ}\ (kWh/m^2ano) = 9{,}15 + 196*FS*AS/UV - 58{,}5*VE + 41{,}2*UT - 5{,}5*UV - 31*VO$$

O consumo adicional de energia térmica estimado durante o período de arrefecimento, é dado pela expressão:

$$C_{AR}\ (kWh/m^2ano) = 1{,}36*CT/EM + 52{,}5*VO - 12{,}5*QT*EM + 21*VE + 17{,}7*AS + 16{,}4*VN - 0{,}38$$

Em qualquer caso, a presença de elementos de isolamento ou de sombreamento sobre o vidro exterior poderia remover a totalidade ou parte do consumo adicional de energia durante o período de arrefecimento.

6.a VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fin de poder dar una idea del efecto de los diferentes parámetros sobre el ahorro energético, se desarrolla a continuación un ejemplo con parámetros típicos, analizando los cambios que se producen cuando cada una de las variables pasa a tomar sus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Absorvência solar parede de trombe	0.7	0.3	0.9	*0.9*
Condutibilidade térmica da parede	1	0.1	3	*3*
Espessura da parede de trombe	0.3	0.05	1	*0.05*
Capacidade armazenamento térmico	1	0.5	2.5	*2.5*
Transmitância térmica vidro exterior	3	1	6	*1*
*Factor solar do vidro exterior***	*0.72*	*0.5*	*0.9*	*0.5*
*Transmitância térmica trombe***	*0.9*	*0.25*	*1.25*	*1.25*
Ventanas viradas a norte	0.1	0	0.6	*0*
Ventanas viradas a leste	0.1	0	0.6	*0*
Ventanas viradas a oeste	0.1	0	0.6	*0*

*- A combinação ótima é obtida a partir das extremidades superior ou inferior, em função dos valores de poupanças globais mais favoráveis.

**- Não selecionáveis: estão associados com outros parâmetros.

Os outros parâmetros não incluídos não são considerados relevantes para o resultado final da economia de energia.

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

Poupança de energia para aquecimento:	**53.71**	**kwh/m²ano**
Maior consumo de energia para refrigeração:	**21.78**	**kwh/m²ano**
Poupança global estimada:	**31.92**	**kwh/m²ano**

Efeitos dos parâmetros:

A seguir e mostrada uma tabela comparativa com os valores de poupança de energia fornecidos pela parede de trombe nas extremidades superior e inferior de cada uma das variáveis (com os restantes parâmetros no valor típico anteriormente definido).

	POUPANÇA AQUEC.			MAIOR CONSUMO ARREF.			POUPANÇA GLOBAL		
Variável:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorvência solar parede de trombe	53.71	34.89	**63.12**	21.78	14.7	25.32	31.93	20.19	**37.8**
Condutibilidade térmica da parede	53.71	26.93	**57.83**	21.78	17.7	30.85	31.93	9.23	**26.98**
Espesor del muro trombe	53.71	**61.95**	37.23	21.78	47.58	9.86	31.93	14.37	**27.37**
Capacidad almacenamiento térmico	53.71	53.71	53.71	21.78	23.66	16.16	31.93	30.05	37.55
Transmitância térmica vidrio exterior	53.71	**85.96**	28.98	21.78	21.78	21.78	31.93	**64.18**	7.2
Ventanas viradas a norte	53.71	53.71	53.71	21.78	20.14	23.72	31.93	33.57	29.99
Ventanas viradas a leste	53.71	**59.56**	24.46	21.78	19.68	32.28	31.93	**39.88**	-7.82
Ventanas viradas a oeste	53.71	**56.81**	38.21	21.78	16.53	48.03	31.93	**40.28**	-9.82

Em negrito foram realçados os parâmetros com efeito mais pronunciado sobre a poupança de energia a partir do caso típico considerado.

Quando um elevado percentagem de janelas no edifício são viradas para leste ou oeste, os resultados podem vir a ser negativos, desde que a parede de trombe não é sombreada no verão: o aumento do consumo no período de arrefecimento seria maior que a poupança em período de aquecimento.

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

Poupança de energia para aquecimento:	**143.35**	**kwh/m^{2}ano**
Maior consumo de energia para refrigeração:	**95.59**	**kwh/m^{2}ano**
Poupança global estimada:	**47.76**	**kwh/m^{2}ano**

b) PAREDE DE TROMBE NÃO VENTILADA COM CONTROLO DE RADIAÇÃO SOLAR

3.b RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma parede de Trombe não ventilada, sombreada e isolada aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. Espaços de base rectangular, com uma espessura inferior a 0,8 m, e onde a superfície do vidro principal e a parede em contacto directo com o edifício são verticais e viradas para o sul (± 18º).
2. Os movimentos convectivos do ar não são levados em conta e os espaços da cavidade são horizontalmente divididos ao nivel dos pavimentos.
3. A face sul da parede de Trombe será sempre envidraçada (feita inteiramente de vidro).
4. A parede deve ser completamente opaca e com toda a face norte, em contato direto com os espaços climatizados do edifício. Supõe-se que os espaços climatizados em cada andar estão interligados e têm um tamanho suficiente para absorver toda a energia térmica transmitida através da parede.
5. As paredes laterais (leste e oeste) e as partes superior e inferior da parede de Trombe estão devidamente fechadas e isoladas. As perdas de calor através destes elementos são consideradas nulas.
6. No espaço anexo não há aquecimento, arrefecimento ou entrada de calor adicional.
7. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).

4.b PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados da **parede de trombe sem ventilação**, do **edifício** e da **relação entre os dois**. São destacados em negrito aqueles que foram estatisticamente significativos e, portanto, incluídos nas fórmulas da poupança de energia.

Parâmetros característicos da **parede de trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Absorvência solar da parede de trombe (*)	**-**	**0.3 a 0.9**	**AS**
Condutibilidade térmica da parede de trombe	W/mK	0.1 a 3	CT
Espessura da parede de trombe	m	0.05 a 1	EM
Transmitância térmica da parede trombe (**)	**W/m^2K**	**0.3 a 3**	**UT**
Capacidade de armazenamento térmico da parede de trombe (ρ*Cp)	MJ/m^2K	0.25 a 1.5	QT
Difusividade térmica λ/ρ*Cp (***)	mm^2/s	0.2 a 2	DT
Espessura do espaço de separaçao	m	0.01 a 0.8	EH
Transmitância térmica vidro exterior trombe	W/m^2K	1 a 6	UV
Factor solar do vidro exterior do trombe	-	0.5 a 0.9	FS

*- Taxa media de radiação solar absorvida em exposição solar direta, pela face do trombe, na parede comum entre o edifício e o trombe.

***- Coeficiente de transmissão térmica da parede. Inclui a contribuição da parede, oco, vidro e coeficientes de convecção do ar nos lados de dentro e de fora.

***- Relacionado com a velocidade de armazenamento e liberação de energia térmica.

Parâmetros característicos do **edifício**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superficie de janelas viradas a norte (*)	-	0 a 0.6	VN
Superfície de janelas viradas a sul (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VS**
Superficie de janelas viradas a leste (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VE**
Superfície de janelas viradas a oeste (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VO**
Compacidade do edifício (**)	m^3/m^2	1 a 6	CE
Transmitância térmica média do edifício (***)	W/m^2K	< CTE	UM
Coeficiente de perdas pela envolvente (****)	**W/m^3K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Tipo de uso do edifício (*****)	-	Residencial	TU

*- Relação entre a superfície total envidraçada dos espaços climatizados orientada na direcção indicada e a área total climatizada.

**- Proporção entre o volume climatizado do edifício ea área total exposta para o exterior.

**- As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica media inferiores aos exigido pelo Código Técnico da Edificação em Espanha (CTE) na opção simplificada (0.66 W/m^2K na zona climática D2).

****- Relação entre a soma dos produtos de todas as superfícies exteriores por o seu coeficiente de transmissão, dividida pelo volume total climatizado (relacionado com a compacidade e a transmitância).

*****- O estudo inclui apenas os edifícios residenciais.

Parâmetros característicos da **relação edifício/trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Relação de áreas (*)	-	0 a 0.20	RS

*- Razão entre a área total da parede de Trombe ea área total climatizada.

5.b EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

As poupanças de energia calculadas durante o período de aquecimento, expressas por m^2 de parede de Trombe, são dadas pela expressão:

P_{AQ} (kWh/m^2ano) = -0,53 + 60,65*AS + 36,4*AS*UT + 126,6*CPE – 48,45*VO – 35*VS – 20,5*VE

O consumo adicional de energia térmica estimado durante o período de arrefecimento é assumido como sendo zero, porque é uma parede de Trombe com controlo de radiação solar.

6.b VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fim de dar uma idéia do efeito dos parâmetros na poupança de energia, a seguir é mostrado um exemplo com os parâmetros típicos, analisando as variações no consumo de energia quando cada uma das variáveis assume os seus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Absorvência solar parede de trombe	**0.7**	0.3	0.9	*0.9*
Transmitância térmica parede	**0.66**	0.3	3	*3*
Superfície de janelas viradas a sul	**0.1**	0	0.6	*0*
Superficie de janelas viradas a leste	**0.1**	0	0.6	*0*
Superfície de janelas viradas a oeste	**0.1**	0	0.6	*0*
Coef. perdas pela envolvente	**0.3**	0.05	0.5	*0.5*

*- A combinação ótima é obtida a partir das extremidades superior ou inferior, em função dos valores de poupanças globais mais favoráveis.

Os outros parâmetros não incluídos não são considerados relevantes para o resultado final da economia de energia.

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

Poupança de energia para aquecimento:	**86.33**	**kwh/m^2ano**
Maior consumo de energia para refrigeração:	**0.00**	**kwh/m^2ano**
Poupança global estimada:	**86.33**	**kwh/m^2ano**

Efeitos dos parâmetros:

A seguir e mostrada uma tabela comparativa com os valores de poupança de energia fornecidos pela parede de trombe nas extremidades superior e inferior de cada uma das variáveis (com os restantes parâmetros no valor típico anteriormente definido).

	POUPANÇA AQUEC.			MAIOR CONSUMO ARREF.			POUPANÇA GLOBAL		
Variável:	**V. típico:**	**Extr. Inf:**	**Extr. Sup:**	**V. típico:**	**Extr. Inf:**	**Extr. Sup:**	**V. típico:**	**Extr. Inf:**	**Extr. Sup:**
Absorvência solar parede de trombe	86.33	52.46	**103.26**	0	0	0	86.33	52.46	103.26
Transmitância térmica trombe	86.33	77.15	**145.95**	0	0	0	86.33	77.15	145.95
Ventanas orientación sur	86.33	89.83	68.83	0	0	0	86.33	89.83	68.83
Ventanas orientación este	86.33	88.38	76.08	0	0	0	86.33	88.38	76.08
Ventanas orientación oeste	86.33	91.17	62.1	0	0	0	86.33	91.17	62.1
Coeficiente pérdidas envolvente	86.33	54.68	**111.65**	0	0	0	86.33	54.68	111.65

Em negrito foram realçados os parâmetros com efeito mais pronunciado sobre a poupança de energia a partir do caso típico considerado.

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

Poupança de energia para aquecimento:	**215.64**	**kwh/m^{2}ano**
Maior consumo de energia para refrigeração:	**0.00**	**kwh/m^{2}ano**
Poupança global estimada:	**215.64**	**kwh/m^{2}ano**

FICHA 2:

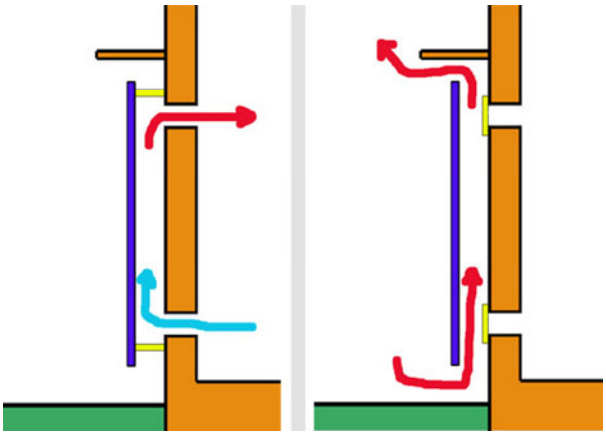
PAREDE DE TROMBE COM VENTILAÇAO

1. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA.

Com o nome de "parede de Trombe" são conhecidas as soluções bioclimáticas que incorporam uma parede vertical, com uma espessura e transmitância variáveis, na sua face interior e um elemento de vidro, único ou múltiplo, na sua face exterior. O espaço entre a parede e o vidro é relativamente pequeno (<0,8 m).

O vidro é altamente transparente a radiação visível, mas é opaco à radiação infravermelha, com um comprimento de onda maior, que emite a parede quente para o exterior. Assim, uma grande parte da radiação solar passa para dentro do edifício.

Uma parede de trombe é conhecida como "com ventilação" quando existem buracos que comunicam o interespaço com o interior do edifício, com o ambiente externo ou com ambos. Para que o sistema seja eficaz, deve ser possível abrir ou fechar os buracos automaticamente ou por vontade do usuário. A **ventilação** pode ser **natural**, quando o movimento do ar é porque os fenômenos de convecção natural, **ou forçada**, quando o conjunto tem fãs que circulam no ar.



Posição de inverno **Posição de verão**

A parede de trombe ventilada pode ter elementos de sombreamento, como beirais, palas, toldos, persianas ou estores, que promovem a economia de energia, reduzindo a quantidade de radiação solar direta na parede no verão. O efeito destes elementos não é considerado nos cálculos.

Só foi considerada uma variante conhecida como "parede de trombe com controlo de radiação solar": Esta é uma parede de Trombe especial que tem um estore ou semelhante fazendo como uma tela isolante y reflexiva. O dispositivo é aberto apenas no periodo de aquecimento e apenas enquanto a

parede de Trombe recebe a luz solar directa, e manteve-se fechado o resto do tempo. Isso vai ficar mais isolamento das paredes e uma redução significativa das perdas de calor para fora no inverno e os ganhos de calor do lado de fora no verão.

Pela definição, a parede permanece completamente fechada durante o período de arrefecimento, o que pressupõe que as perdas de energia são nulas.

Dentro da ficha para a parede de trombe ventilada estão incluídas, portanto, duas soluções diferentes: parede de trombe simple e parede de trombe com controlo de radiação solar.

2. EXEMPLOS REAIS DE APLICAÇÃO.

a) Na área de estudio:

Não foi encontrado.

b) No mundo:

Adelaida (Australia)

Hayward, California (USA)

a) PAREDE DE TROMBE VENTILADA SIMPLE

3.a RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma parede de Trombe ventilada aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. Espaços de base rectangular, com uma espessura inferior a 0,8 m, e onde a superfície do vidro principal e a parede em contacto directo com o edifício são verticais e viradas para o sul (± 18º).
2. Os espaços da cavidade são horizontalmente divididos ao nivel dos pavimentos.
3. A face sul da parede de Trombe será sempre envidraçada (feita inteiramente de vidro).
4. A parede deve ser completamente opaca e com toda a face norte, em contato direto com os espaços climatizados do edifício. Supõe-se que os espaços climatizados em cada andar estão interligados e têm um tamanho suficiente para absorver toda a energia térmica transmitida através da parede.
5. As paredes laterais (leste e oeste) e as partes superior e inferior da parede de Trombe estão devidamente fechadas e isoladas. As perdas de calor através destes elementos são consideradas nulas.
6. No espaço anexo não há aquecimento, arrefecimento ou entrada de calor adicional.
7. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).
8. Em certos momentos, há uma ventilação forçada dentro da parede de Trombe, de acordo com as seguintes condições:
    - A troca de ar entre a parede de trombe e o interior do edifício em período de aquecimento (inverno) ocorre apenas quando a temperatura na cavidade do trombe é superior a temperatura interna do edifício.
    - A troca de ar entre a parede de trombe e o exterior em período de arrefecimento (verão) ocorre em todo momento.

4.a PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados da **parede de trombe ventilada**, do **edifício** e da **relação entre os dois**. São destacados em negrito aqueles que foram estatisticamente significativos e, portanto, incluídos nas fórmulas da poupança de energia.

Parâmetros característicos da **parede de trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Absorvência solar da parede de trombe (*)	**-**	**0.3 a 0.9**	**AS**
Condutibilidade térmica da parede de trombe	**W/mK**	**0.1 a 3**	**CT**
Espessura da parede de trombe	**m**	**0.05 a 1**	**EM**
Transmitância térmica da parede trombe (**)	**W/m^2K**	**0.3 a 5**	**UT**
Capacidade de armazenamento térmico da parede de trombe (ρ*Cp)	**MJ/m^2K**	**0.5 a 2.5**	**QT**
Difusividade térmica λ/ρ*Cp (***)	mm^2/s	0.2 a 2	DT
Espessura do espaço de separaçao	**m**	**0.05 a 0.8**	**EH**
Transmitância térmica vidro exterior trombe	**W/m^2K**	**1 a 6**	**UV**
Factor solar do vidro exterior do trombe	**-**	**0.5 a 0.9**	**FS**
Taxa de renovação horária	**1/h**	**1 a 100**	**RH**
Caudal de ar por metro quadrado de parede de trombe (*****)	**Kg/hm^2**	**0.1 a 100**	**FA**

*- Taxa media de radiação solar absorvida em exposição solar direta, pela face do trombe, na parede comum entre o edifício e o trombe.

**- Coeficiente de transmissão térmica da parede. Inclui a contribuição da parede, oco, vidro e coeficientes de convecção do ar nos lados de dentro e de fora.

***- Relacionado com a velocidade de armazenamento e liberação de energia térmica.

****- Associado à transmitância térmica do vidro: Altos valores de UV implicam altos valores de FS, enquanto que baixos valores de UV envolvem valores baixos de FS.

*****- Relacionado com a taxa de renovação, a espessura do espaço e a densidade do ar (FA=1,3*RH*EH)

Parâmetros característicos do **edifício**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superficie de janelas viradas a norte (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VN**
Superfície de janelas viradas a sul (*)	-	0 a 0.6	VS
Superficie de janelas viradas a leste (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VE**
Superfície de janelas viradas a oeste (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VO**
Compacidade do edifício (**)	m^3/m^2	1 a 6	CE
Transmitância térmica média do edifício (***)	W/m^2K	< CTE	UM
Coeficiente perdas pela envolvente (****)	**W/m^3K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Tipo de uso do edifício (*****)	-	Residencial	TU

*- Relação entre a superfície total envidraçada dos espaços climatizados orientada na direcção indicada e a área total climatizada.

**- Proporção entre o volume climatizado do edifício ea área total exposta para o exterior.

***- As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica media inferiores aos exigido pelo Código Técnico da Edificação em Espanha (CTE) na opção simplificada (0.66 W/m^2K na zona climática D2).

****- Relação entre a soma dos produtos de todas as superfícies exteriores por o seu coeficiente de transmissão, dividida pelo volume total climatizado (relacionado com a compacidade e a transmitância).

*****- O estudo inclui apenas os edifícios residenciais.

Parâmetros característicos da **relação edifício/trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Relação de áreas (*)	-	0 a 0.20	RS

*- Razão entre a área total da parede de Trombe ea área total climatizada.

5.a EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

As poupanças de energia calculadas durante o período de aquecimento, expressas por m^2 de parede de Trombe, são dadas pela expressão:

$$P_{AQ}\ (kWh/m^2ano) = 12{,}55 + 196*FS*AS/UV - 58{,}5*VE + 41{,}2*UT - 6{,}5*UV - 31*VO + 0{,}388*FA + 13{,}8*CPE - 3{,}32*CT + 6{,}33*EH$$

O consumo adicional de energia térmica estimado durante o período de arrefecimento, é dado pela expressão:

$$C_{AR}\ (kWh/m^2ano) = 1{,}36*CT/EM + 43{,}9*VO - 12{,}5*QT*EM + 21*VE + 17{,}7*AS + 16{,}4*VN - 0{,}052*RH - 0{,}812*FS - 0{,}85*EH - 5{,}3$$

Em qualquer caso, a presença de elementos de isolamento ou de sombreamento sobre o vidro exterior poderia remover a totalidade ou parte do consumo adicional de energia durante o período de arrefecimento.

6.a VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fim de dar uma idéia do efeito dos parâmetros na poupança de energia, a seguir é mostrado um exemplo com os parâmetros típicos, analisando as variações no consumo de energia quando cada uma das variáveis assume os seus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Absorvência solar parede de trombe	0.7	0.3	0.9	*0.9*
Condutibilidade térmica trombe	1	0.1	3	*3*
Espessura da parede de trombe	0.3	0.05	1	*0.05*
Capacidade armazenamento térmico	1	0.5	2.5	*2.5*
Espessura do espaço de separação	0.3	0.05	0.8	*0.8*
Transmitância térmica vidro exterior	3	1	6	*1*
*Factor solar do vidro exterior**	*0.72*	*0.5*	*0.9*	*0.5*
*Transmitância térmica trombe**	*0.9*	*0.25*	*1.25*	*1.25*
Caudal do ar por m^2 de trombe	10	0.1	100	*100*
Taxa de renovação no trombe	10	1	100	*100*
Janelas viradas a norte	0.1	0	0.6	*0*
Janelas viradas a leste	0.1	0	0.6	*0*
Janelas viradas a oeste	0.1	0	0.6	*0*
Coeficiente perdas pela envolvente	0.3	0.05	0.5	*0.5*

*- A combinação ótima é obtida a partir das extremidades superior ou inferior, em função dos valores de poupanças globais mais favoráveis.

**- Não selecionáveis: estão associados com outros parâmetros.

Os outros parâmetros não incluídos não são considerados relevantes para o resultado final da economia de energia.

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

Poupança de energia para aquecimento:	60.21	kwh/m^{2}ano
Maior consumo de energia para refrigeração:	13.83	kwh/m^{2}ano
Poupança global estimada:	46.38	kwh/m^{2}ano

Efeitos dos parâmetros:

A seguir e mostrada uma tabela comparativa com os valores de poupança de energia fornecidos pela parede de trombe nas extremidades superior e inferior de cada uma das variáveis (com os restantes parâmetros no valor típico anteriormente definido).

	POUPANÇA AQUEC.			MAIOR CONSUMO ARREF.			POUPANÇA GLOBAL		
Variável:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorvência solar parede de trombe	60.21	41.39	**69.62**	13.83	6.75	17.37	46.38	34.64	**52.25**
Condutibilidade térmica trombe	60.21	36.42	**57.69**	13.83	9.75	22.9	46.38	26.67	**34.79**
Espessura da parede de trombe	60.21	**68.45**	43.73	13.83	39.62	1.91	46.38	28.83	41.82
Capacidade armazenamento térmico	60.21	60.21	60.21	13.83	15.71	8.21	46.38	44.5	52
Espessura do espaço de separação	60.21	58.62	63.37	13.83	7.38	14.24	46.38	51.24	49.13
Transmitância térmica vidro exterior	60.21	**94.46**	32.48	13.83	14.01	13.68	46.38	**80.45**	18.8
Caudal do ar por m^2 de trombe	60.21	56.86	**93.79**	13.83	15.15	9.74	46.38	41.71	**84.05**
Janelas viradas a norte	60.21	60.21	60.21	13.83	12.19	22.03	46.38	48.02	38.18
Janelas viradas a leste	60.21	**66.06**	30.96	13.83	11.73	24.33	46.38	**54.33**	6.63
Janelas viradas a oeste	60.21	**63.31**	44.71	13.83	9.44	35.78	46.38	**53.87**	8.93
Coeficiente perdas pela envolvente	60.21	56.76	62.97	13.83	13.83	13.83	46.38	42.93	49.14

Em negrito foram realçados os parâmetros com efeito mais pronunciado sobre a poupança de energia a partir do caso típico considerado.

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

Poupança de energia para aquecimento:	181.55	kwh/m^{2}ano
Maior consumo de energia para refrigeração:	84.58	kwh/m^{2}ano
Poupança global estimada:	96.97	kwh/m^{2}ano

b) PAREDE DE TROMBE VENTILADA COM CONTROLO DE RADIAÇÃO SOLAR

3.b RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma parede de Trombe não ventilada, sombreada e isolada aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. Espaços de base rectangular, com uma espessura inferior a 0,8 m, e onde a superfície do vidro principal e a parede em contacto directo com o edifício são verticais e viradas para o sul (± 18º).
2. Os espaços da cavidade são horizontalmente divididos ao nivel dos pavimentos.
3. A face sul da parede de Trombe será sempre envidraçada (feita inteiramente de vidro).
4. A parede deve ser completamente opaca e com toda a face norte, em contato direto com os espaços climatizados do edifício. Supõe-se que os espaços climatizados em cada andar estão interligados e têm um tamanho suficiente para absorver toda a energia térmica transmitida através da parede.
5. As paredes laterais (leste e oeste) e as partes superior e inferior da parede de Trombe estão devidamente fechadas e isoladas. As perdas de calor através destes elementos são consideradas nulas.
6. No espaço anexo não há aquecimento, arrefecimento ou entrada de calor adicional.
7. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).
8. A troca de ar entre a parede de trombe e o interior do edifício em período de aquecimento (inverno) ocorre apenas quando a temperatura na cavidade do trombe é superior a temperatura interna do edifício.
9. En periodo de arrefecimento (verão) não há ventilação de nenhum tipo e a parede permanece completamente fechada aos raios solares.

4.b PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados da **parede de trombe ventilada**, do **edifício** e da **relação entre os dois**. São destacados em negrito aqueles que foram estatisticamente significativos e, portanto, incluídos nas fórmulas da poupança de energia.

Parâmetros característicos da **parede de trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Absorvência solar da parede de trombe (*)	**-**	**0.3 a 0.9**	**AS**
Condutibilidade térmica da parede de trombe	W/mK	0.1 a 3	CT
Espessura da parede de trombe	m	0.05 a 1	EM
Transmitância térmica da parede trombe (**)	**W/m^2K**	**0.3 a 3**	**UT**
Capacidade de armazenamento térmico da parede de trombe (ρ*Cp)	MJ/m^2K	0.25 a 1.5	QT
Difusividade térmica λ/ρ*Cp (***)	mm^2/s	0.2 a 2	DT
Espessura do espaço de separaçao	**m**	**0.01 a 0.8**	**EH**
Transmitância térmica vidro exterior trombe	W/m^2K	1 a 6	UV
Factor solar do vidro exterior do trombe	-	0.5 a 0.9	FS
Taxa de renovação horária	1/h	1 a 100	RH
Caudal de ar por metro quadrado de parede de trombe (*****)	**Kg/hm^2**	**0.1 a 100**	**FA**

*- Taxa media de radiação solar absorvida em exposição solar direta, pela face do trombe, na parede comum entre o edifício e o trombe.

**- Coeficiente de transmissão térmica da parede. Inclui a contribuição da parede, oco, vidro e coeficientes de convecção do ar nos lados de dentro e de fora.

***- Relacionado com a velocidade de armazenamento e liberação de energia térmica.

****- Relacionado com a taxa de renovação, a espessura do espaço e a densidade do ar (FA=1,3*RH*EH)

Parâmetros característicos do **edifício**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superficie de janelas viradas a norte (*)	-	0 a 0.6	VN
Superfície de janelas viradas a sul (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VS**
Superficie de janelas viradas a leste (*)	-	0 a 0.6	VE
Superfície de janelas viradas a oeste (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VO**
Compacidade do edifício (**)	m^3/m^2	1 a 6	CE
Transmitância térmica média do edifício (***)	W/m^2K	< CTE	UM
Coeficiente perdas pela envolvente (****)	**W/m^3K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Tipo de uso do edifício (*****)	-	Residencial	TU

*- Relação entre a superfície total envidraçada dos espaços climatizados orientada na direcção indicada e a área total climatizada.

**- Proporção entre o volume climatizado do edifício ea área total exposta para o exterior.

***- As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica media inferiores aos exigido pelo Código Técnico da Edificação em Espanha (CTE) na opção simplificada (0.66 W/m^2K na zona climática D2).

****- Relação entre a soma dos produtos de todas as superfícies exteriores por o seu coeficiente de transmissão, dividida pelo volume total climatizado (relacionado com a compacidade e a transmitância).

*****- O estudo inclui apenas os edifícios residenciais.

Parâmetros característicos da **relação edifício/trombe**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Relação de áreas (*)	-	0 a 0.20	RS

*- Razão entre a área total da parede de Trombe ea área total climatizada.

5.b EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

As poupanças de energia calculadas durante o período de aquecimento, expressas por m^2 de parede de Trombe, são dadas pela expressão:

$$P_{AQ}\ (kWh/m^2ano) = -89{,}7 + 344{,}5*AS + 172{,}3*CPE - 0{,}006*FA/EH + 12*UT - 88{,}6*VO - 76{,}1*VS$$

O consumo adicional de energia térmica estimado durante o período de arrefecimento é assumido como sendo zero, porque é uma parede de Trombe com controlo de radiação solar.

6.b VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fim de dar uma idéia do efeito dos parâmetros na poupança de energia, a seguir é mostrado um exemplo com os parâmetros típicos, analisando as variações no consumo de energia quando cada uma das variáveis assume os seus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Absorvência solar parede trombe	0.7	0.3	0.9	*0.9*
Transmitância térmica trombe	0.66	0.3	3	*3*
Caudal de ar por metro quadrado de parede de trombe	30	0.1	100	*0.1*
Espessura do espaço	0.1	0.01	0.8	*0.8*
Janelas viradas a sul	0.1	0	0.6	*0*
Janelas viradas a oeste	0.1	0	0.6	*0*
Coeficiente perdas envolvente	0.3	0.05	0.5	*0.5*

*- A combinação ótima é obtida a partir das extremidades superior ou inferior, em função dos valores de poupanças globais mais favoráveis.

Os outros parâmetros não incluídos não são considerados relevantes para o resultado final da economia de energia.

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

Poupança de energia para aquecimento:	**192.79**	**kwh/m²ano**
Maior consumo de energia para refrigeração:	**0.00**	**kwh/m²ano**
Poupança global estimada:	**192.79**	**kwh/m²ano**

Efeitos dos parâmetros:

A seguir e mostrada uma tabela comparativa com os valores de poupança de energia fornecidos pela parede de trombe nas extremidades superior e inferior de cada uma das variáveis (com os restantes parâmetros no valor típico anteriormente definido).

	POUPANÇA AQUEC.			MAIOR CONSUMO ARREF.			POUPANÇA GLOBAL		
Variável:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorvência solar parede de trombe	192.79	54.99	**261.69**	0	0	0	192.79	54.99	**261.69**
Transmitância térmica trombe	192.79	188.47	**220.87**	0	0	0	192.79	188.47	**220.87**
Caudal de ar por metro quadrado de parede de trombe	192.79	194.58	188.59	0	0	0	192.79	194.58	188.59
Espessura do espaço	192.79	176.59	194.37	0	0	0	192.79	176.59	194.37
Janelas viradas a sul	192.79	**200.4**	154.74	0	0	0	192.79	**200.4**	154.74
Janelas viradas a oeste	192.79	**201.65**	148.49	0	0	0	192.79	**201.65**	148.49
Coeficiente perdas envolvente	192.79	149.72	**227.25**	0	0	0	192.79	149.72	**227.25**

Em negrito foram realçados os parâmetros com efeito mais pronunciado sobre a poupança de energia a partir do caso típico considerado.

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

Poupança de energia para aquecimento:	**342.50**	**kwh/m^{2}ano**
Maior consumo de energia para refrigeração:	**0.00**	**kwh/m^{2}ano**
Poupança global estimada:	**342.50**	**kwh/m^{2}ano**

FICHA 3:

ESTUFA ANEXA

1. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA.

Considera-se que existe uma estufa anexa a um edifício quando um volume construtivo relativamente fechado, envidraçado em parte ou totalmente, compartilha, no seu lado exterior, uma ou mais paredes verticais do edifício. Neste sentido, a volume relativamente fechado é considerado quando as trocas de ar com o exterior são inferiores a 5 renovações/hora.

Ao contrário da parede de trombe, uma estufa anexa é diferenciada porque é transitável, isto é, deve ter uma porta de entrada y a sua amplitude deve ser maior que 0,8 m.

2. EXEMPLOS REAIS DE APLICAÇÃO.

Miranda do Douro, Largo do Castelo 1

Zamora, Calle Balborraz 18

3. RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma estufa anexa aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. Características da parede em contacto com o espaço de recolha de energia solar (estufa) idênticas às do resto das paredes do edifício. Não foram definidas outras características específicas para a parede em contacto com o espaço anexado. A parede pode ser completamente opaca ou pode ter superfícies envidraçadas (portas ou janelas com características idênticas às definidas para o resto do edifício). Supõe-se que os espaços climatizados em cada andar estão interligados e têm um

tamanho suficiente para absorver toda a energia térmica transmitida através da parede.

2. Espaços de base rectangular e virados para o sul, com a superfície do vidro principal paralela à parede sur do edifício. O resultado é válido desde que a parede sul do edifício e a superfície principal do vidro no edifício estão virados para o sul (± 18º).
3. Os movimentos convectivos do ar não são levados em conta e os espaços da estufa são horizontalmente divididos ao nivel dos pavimentos.
4. Cobertura de estufa opaca e com a mesma estrutura e composição do que o resto das coberturas do edifício.
5. A face sul da estufa será sempre envidraçada (feita inteiramente de vidro).
6. As fachadas laterais (voltadas para o leste eo oeste), podem ser envidraçadas, com características idênticas às da fachada sul, ou opacas. Neste último caso, as características construtivas de fachada coincidem com as estabelecidas para o resto das paredes do edifício.
7. No espaço anexo não há aquecimento, arrefecimento ou entrada de calor adicional.
8. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).

4. PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados da **estufa anexa**, do **edifício** e da **relação entre os dois**. São destacados em negrito aqueles que foram estatisticamente significativos e, portanto, incluídos nas fórmulas da poupança de energia.

Parâmetros característicos da **estufa anexa**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Absorvência solar da parede comum (*)	**-**	**0.3 a 0.9**	**AS**
Transmitância térmica da parede comum	**W/m^2K**	**0.3 a 1**	**U_M**
Percentagem de envidraçados na parede comum	**%**	**0 a 100**	**VI**
Transmitânc. térmica envidraçados parede comum	**W/m^2K**	**1 a 3.5**	**U_{VI}**
Transmitância térmica vidro exterior da estufa	**W/m^2K**	**1 a 6**	**U_{VE}**
Factor solar do vidro exterior da estufa	**-**	**0.5 a 0.9**	**FS**
Percentagem envidraçado nas paredes laterais (**)	**%**	**0 a 100**	**V_{LE}**
Grossura do envidraçado	**m**	**0.8 a 5**	**E_H**
Comprimento do envidraçado	**m**	**1 a 100**	**L_H**
Infiltraçoes de ar externo para a estufa	**1/h**	**0 a 3**	**INF**
Troca forçada de ar na estufa (***)	**1/h**	**0 a 10**	**RH**
Elementos de armazenamento térmico	kJ/m^3K	0 a 500	AT

*- Taxa media de radiação solar absorvida em exposição solar direta, pela face da estufa, na

**- As características dos envidraçados laterais são iguais ás características do vidro exterior en orintação sul.

***- No período de arrefecimento ocorre sempre uma troca de ar forçada com o exterior de um modo controlado. No período de aquecimento, a troca ocorre na direcção do interior do edifício, neste caso, só quando a temperatura da galeria é acima de 20°C.

Parâmetros característicos do **edifício**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superficie de janelas viradas a norte (*)	-	0 a 0.6	VN
Superfície de janelas viradas a sul (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VS**
Superficie de janelas viradas a leste (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VE**
Superfície de janelas viradas a oeste (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VO**
Compacidade do edifício (**)	m^3/m^2	1 a 6	CE
Transmitância térmica média do edifício (***)	W/m^2K	< CTE	UM
Coeficiente perdas pela envolvente (****)	**W/m^3K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Tipo de uso do edifício (*****)	-	Residencial	TU

*- Relação entre a superfície total envidraçada dos espaços climatizados orientada na direcção indicada e a área total climatizada.

**- Proporção entre o volume climatizado do edifício ea área total exposta para o exterior.

***- As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica media inferiores aos exigido pelo Código Técnico da Edificação em Espanha (CTE) na opção simplificada (0.66 W/m^2K na zona climática D2).

****- Relação entre a soma dos produtos de todas as superfícies exteriores por o seu coeficiente de transmissão, dividida pelo volume total climatizado (relacionado com a compacidade e a transmitância).

*****- O estudo inclui apenas os edifícios residenciais.

Parâmetros característicos da **relação edifício/estufa**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Relação de áreas (*)	-	0 a 0.20	RS

*- Razão entre a área total da estufa anexa ea área total climatizada.

5. EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

As poupanças de energia calculadas durante o período de aquecimento, expressas por m^2 de parede comum ou m^2 de área envidraçada, são dadas pela expressão:

$$P_{AQ}\ (kWh/m^2ano) = 67{,}4*CPE - (0{,}0292*U_{VE}+0{,}0285*E_H*INF)*(VI*U_{VI}+(100-VI)*U_M) + 0{,}173*V_{LE} + 0{,}953*RH*E_H - 0{,}0395*U_{VE}*V_{LE}*E_H/L_H - 2{,}9$$

O consumo adicional de energia térmica estimado durante o período de arrefecimento, é dado pela expressão:

$$C_{AR}\ (kWh/m^2ano) = 19{,}8*CPE - 0{,}126*VI + 0{,}098*V_{LE}*E_H/L_H + 29{,}7*FS*AS/U_{VE} + 33*VO + 37{,}2*VS + 17{,}5*VE - 7{,}6$$

Em qualquer caso, a presença de elementos de isolamento ou de sombreamento sobre os vidros exteriores da estufa poderia remover a totalidade ou parte do consumo adicional de energia durante o período de arrefecimento.

6. VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fim de dar uma idéia do efeito dos parâmetros na poupança de energia, a seguir é mostrado um exemplo com os parâmetros típicos, analisando as variações no consumo de energia quando cada uma das variáveis assume os seus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Absorvência solar parede	**0.7**	0.3	0.9	*0.3*
Transmitância parede	**0.66**	0.3	1	*0.3*
Percentagem envidraçado parede	**40**	0	100	*0*
Transmitância envidraçados parede	**2.5**	1	3.5	*1*
Transmitância vidro exterior	**3.5**	1	6	*1*
Factor solar vidro exterior	**0.75**	0.5	0.9	*0.5*
Percentagem envidraçado laterais	**40**	0	100	*100*
Grossura do envidraçado	**3**	0.8	5	*0.8*
Comprimento do envidraçado	**10**	1	100	*100*
Infiltração de ar externo	**1**	0	3	*0*
Circulação forçada de ar	**5**	0	10	*10*
Janelas viradas a sul	**0.1**	0	0.6	*0*
Janelas viradas a leste	**0.1**	0	0.6	*0*
Janelas viradas a oeste	**0.1**	0	0.6	*0*
Coeficiente perdas envolvente	**0.3**	0.05	0.5	*0.5*

*- A combinação ótima é obtida a partir das extremidades superior ou inferior, em função dos valores de poupanças globais mais favoráveis.

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

Poupança de energia para aquecimento:	**10.67**	**kwh/m^{2}ano**
Maior consumo de energia para refrigeração:	**7.70**	**kwh/m^{2}ano**
Poupança global estimada:	**2.97**	**kwh/m^{2}ano**

Efeitos dos parâmetros:

A seguir e mostrada uma tabela comparativa com os valores de poupança de energia fornecidos pela estufa anexa nas extremidades superior e inferior de cada uma das variáveis (com os restantes parâmetros no valor típico anteriormente definido).

Variável:	POUPANÇA AQUEC.			MAIOR CONSUMO ARREF.			POUPANÇA GLOBAL		
	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Absorvência solar parede	10.67	10.67	10.67	7.7	5.16	8.97	2.97	5.51	1.7
Transmitância térmica parede	10.67	14.72	6.84	7.7	7.7	7.7	2.97	7.02	-0.86
Percentagem envidraçado parede	10.67	**24.49**	-10.05	7.7	12.74	0.14	2.97	**11.75**	-10.19
Transmitância envidraçado parede	10.67	**21.93**	3.16	7.7	7.7	7.7	2.97	**14.23**	-4.54
Transmitância vidro exterior	10.67	**22.05**	-0.71	7.7	18.84	5.84	2.97	3.21	-6.55
Factor solar vidro exterior	10.67	10.67	10.67	7.7	6.22	8.59	2.97	4.45	2.08
Percentagem envidraçado laterais	10.67	5.41	18.56	7.7	6.53	9.47	2.97	-1.12	9.09
Grossura do envidraçado	10.67	10.16	11.14	7.7	6.84	8.49	2.97	3.32	2.65
Comprimento do envidraçado	10.67	-4.27	12.16	7.7	18.29	6.64	2.97	-22.56	5.52
Infiltraçoes de ar externo	10.67	**22.61**	-13.2	7.7	7.7	7.7	2.97	**14.91**	-20.9
Circulação forçada de ar	10.67	-3.62	**24.96**	7.7	7.7	7.7	2.97	-11.32	**17.26**
Janelas viradas a sul	10.67	10.67	10.67	7.7	3.98	26.3	2.97	6.69	-15.63
Janelas viradas a leste	10.67	10.67	10.67	7.7	5.95	16.45	2.97	4.72	-5.78
Janelas viradas a oeste	10.67	10.67	10.67	7.7	4.4	24.2	2.97	6.27	-13.53
Coeficiente perdas envolvente	10.67	-6.18	**24.15**	7.7	2.75	11.66	2.97	-8.93	**12.49**

Em negrito foram realçados os parâmetros com efeito mais pronunciado sobre a poupança de energia a partir do caso típico considerado. Poupança de energia negativa indica que a presença da galeria estaria penalizando o consumo de energia do edifício.

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

Poupança de energia para aquecimento:	**54.82**	**kwh/m^{2}ano**
Maior consumo de energia para refrigeração:	**6.83**	**kwh/m^{2}ano**
Poupança global estimada:	**47.98**	**kwh/m^{2}ano**

FICHA 4:

PAREDE VERDE

1. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA.

Na construção bioclimática, uma parede verde é um elemento vegetal, perto de uma parede exterior do edifício, que se interpõe, na totalidade ou em parte, entre a irradiação solar e a própria parede, evitando assim uma parte significativa da radiação incidente na parede e diminuindo a entrada de calor no edifício devido a este fenómeno.

2. EXEMPLOS REAIS DE APLICAÇÃO.

a) Na área de estudio:

Palaçoulo, Rua do Rodelao 33

Pinilla de Fermoselle, Calle Alamicos 5

b) No mundo:

Seul (Coréia do Sul) Portland (USA)

3. RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma parede verde aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. A única interação considerada entre a parede verde ea fachada é a redução da radiação solar na fachada. Os fenômenos biológicos, tais como a transpiração ou a fotossíntese, que são muitas vezes relacionados com a quantidade de energia absorvida e/ou liberada pela planta, são considerados de uma ordem de magnitude muito inferior e foram excluídos do estudo. Assume-se que a diminuição da temperatura da superfície da parede é proporcional à quantidade de radiação solar evitada pela planta.
2. Tampouco foi tido em conta o efeito da planta sobre o vento, o que poderia diminuir o coeficiente de convecção térmica entre o edifício eo exterior.
3. A contribuição da energia de tais elementos é positiva no período de arrefecimento (verão), sendo negativa no período de aquecimento (resto do ano).
4. A evolução anual da planta é caracterizada por uma percentagem média de sombra na parede para cada mês do ano. A solução mais favorável é dada por plantas de folha caduca.
5. As características da parede exterior sobre a qual é aplicada à parede verde são consideradas idênticas as das outras paredes do edifício. A parede verde cobre apenas as partes opacas do recinto, permanecendo sempre descobertas as partes envidraçadas (portas ou janelas).

6. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).

4. PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** utilizados:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Orientação da parede	-	N, S, E, O	C_O
Percentagem mensal de cobertura (*)	-	0 a 100	$\%MC_M$
Absorvência solar da parede original (**)	-	0.3 a 0.9	AS
Transmitância térmica da parede	W/m^2K	0.3 a 1	UM

*- Percentagem de cobertura da parede verde sobre a fachada (o percentagem numa parede completamente sombreada seria do 100%).

**- Taxa media de radiação solar absorvida pela parede em exposição solar direta quando não há parede verde.

5. EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

As poupanças de energia calculadas durante o período de arrefecimento, expressas por m^2 de parede verde, são dadas pela expressão:

$$P_{AR}\ (kWh/m^2ano) = C_O * AS * UM/20 *[\sum_V (\%MC_{Mi}/100)*IS_{Mi}*C_{Mi}]$$

Onde $\sum_V$ refere-se aos meses de junho, julho, agosto e setembro (verão).

O maior consumo de energia estimado durante o período de aquecimento, é dado pela expressão:

$$C_{AQ}\ (kWh/m^2ano) = C_O * AS * UM/20 *[\sum_I (\%MC_{Mi}/100)*IS_{Mi}*C_{Mi}]$$

Onde $\sum_I$ refere-se, neste caso, aos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro, Novembro e Dezembro (inverno).

Os **fatores de orientação e climáticos** que aparecem nas fórmulas (C_O, IS_M y C_M), específicos para a zona climática espanhola D2 (Zamora) são listados abaixo:

Fator de correção de orientação (C_O) que, dependendo da orientação da parede verde, toma o valor de:

Orientação:	SUL	LESTE	OESTE	NORTE
Fator:	0.85	0.65	1.10	0.85

Fator de redução mensal (C_{Mi}) que, dependendo do mês do ano, toma o valor de:

MÊS:	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Fator:	1	1	1	0.80	0.45	0.25	0.50	0.40	0.20	0.45	1	1

Irradiação solar total (direta + difusa) em as diferentes orientações (IS_{Mi}) que, dependendo do mês do ano e indicado em kWh/m^{2}mes, toma os valores de:

MÊS:	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
SUL	65.6	85.7	94.2	79.6	68.2	60.9	71.0	90.9	99.6	102.5	85.2	60.3
LESTE	28.1	41.7	63.9	71.6	87.1	90.9	103.7	98.0	71.9	52.6	35.1	23.0
OESTE	27.5	41.4	62.8	72.7	85.8	91.7	102.3	94.1	73.2	55.4	34.4	24.1
NORTE	14.4	15.5	24.7	28.4	37.7	41.7	39.6	30.1	22.0	18.4	14.0	12.7

6. VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fim de dar uma idéia do efeito dos parâmetros na poupança de energia, a seguir é mostrado um exemplo com os parâmetros típicos, analisando as variações no consumo de energia quando cada uma das variáveis assume os seus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Absorvência solar parede	0.7	0.3	0.9	*0.9*
Transmitância térmica parede	0.66	0.3	1	*1*
Percentagem mensal cobertura*	90	0	100	*100*

*- A combinação ótima é obtida a partir das extremidades superior ou inferior, em função dos valores de poupanças globais mais favoráveis.

*- A percentagem é considerada idêntica para todos os meses do ano.

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

ORIENTAÇÃO:	SUL	OESTE	LESTE	NORTE
Poupança de energia refrigeração (kWh/m^{2}ano):	1.89	2.27	1.71	1.07
Maior consumo aquecimento (kwh/m^{2}ano):	9.39	5.51	4.22	2.96

Efeitos dos parâmetros:

Neste caso, os efeitos dos três parâmetros envolvidos são muito semelhantes, visto que o resultado final de poupança ou maior consumo é diretamente proporcional a cada um deles.

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

ORIENTAÇÃO:	SUL	OESTE	LESTE	NORTE
Poupança de energia refrigeração (kWh/m^{2}ano):	4.09	4.90	3.70	2.31
Maior consumo aquecimento (kwh/m^{2}ano):	20.33	11.94	9.12	6.40

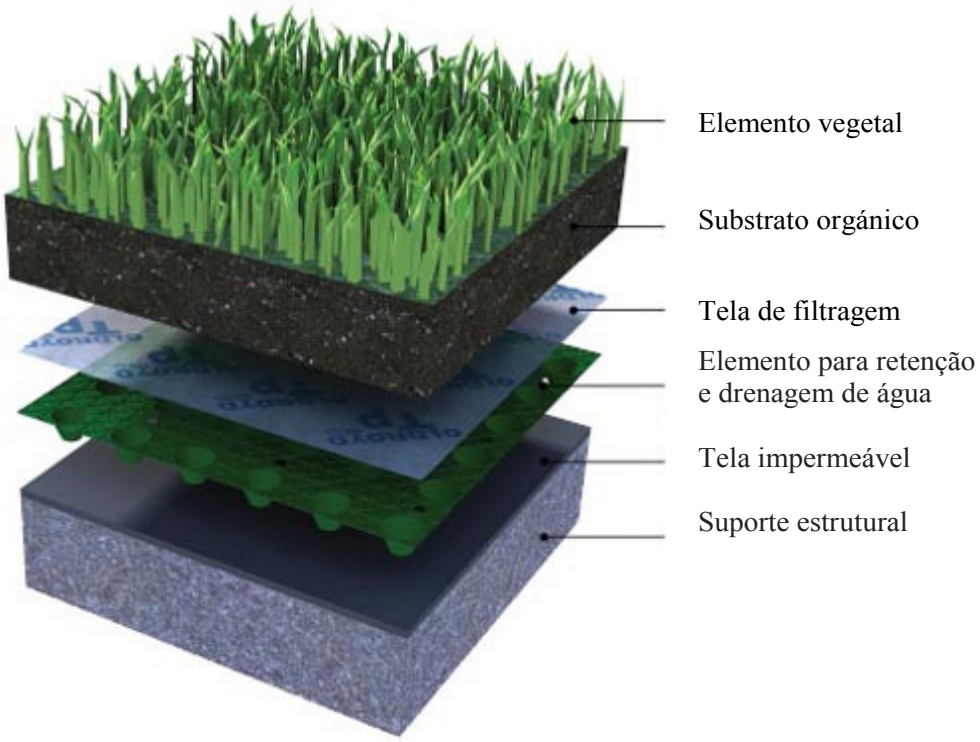
Deve notar-se que, no caso de plantas sazonais com uma elevada percentagem de sombreamento no verão e pequeno no inverno, os valores de consumo de energia de aquecimento podem ser consideravelmente reduzidos.

FICHA 5:

COBERTURA VERDE

1. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA.

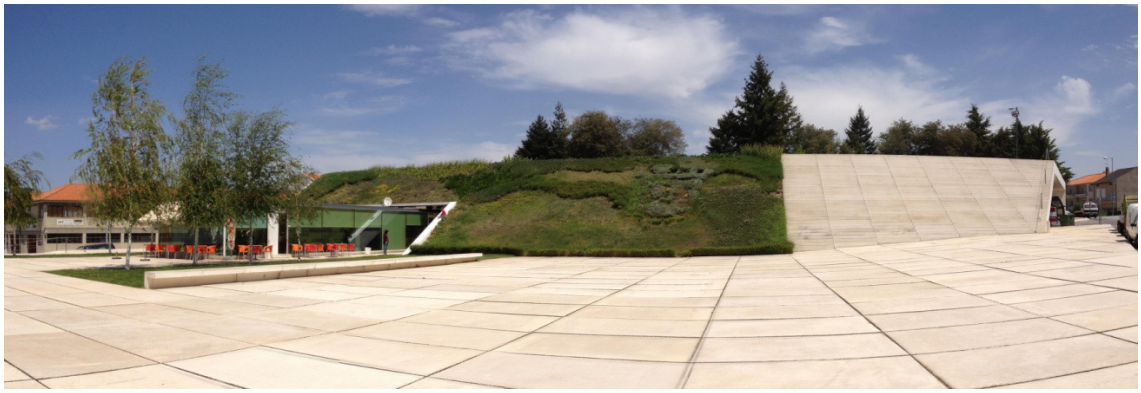
Na construção bioclimática, uma cobertura verde é um elemento vegetal localizado na cobertura do edifício. Inclui o elemento vegetal, com efeitos de sombreamento, transpiração e fotossíntese muito semelhantes aos da parede verde, mais o substrato orgânico que sustenta a planta e, por vezes, um suporte estrutural que também pode ter efeitos de isolamento e inércia.



2. EXEMPLOS REAIS DE APLICAÇÃO.

a) Na área de estudio:

San Felices de los Gallegos, Calle Acera del Cordero



Mogadouro, Estação de autocarros

b) No mundo:

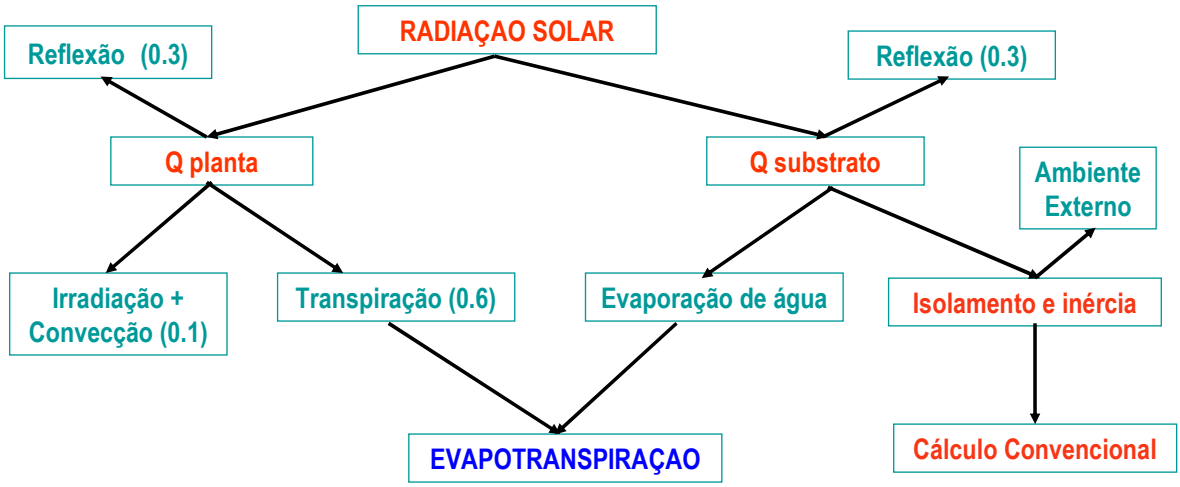
Isla Sentosa, Cingapura

Ilhas Faroé, Noruega

3. RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma cobertura verde aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. O esquema seguido para o cálculo dos efeitos térmicos da cobertura verde sobre o edifício inclui os seguintes componentes:



2. Os únicos fenómenos considerados no estudo são a reflexão e a evapotranspiração da planta; este último inclui o efeito térmico combinado de transpiração das plantas e evaporação da água contida no substrato.
3. Os efeitos térmicos devidos à fotossíntese, radiação e convecção da planta tenham sido desprezados por a sua pequena dimensão. Tampouco foi tido em conta o efeito da planta sobre a acção do vento, o que poderia diminuir o coeficiente de convecção térmica entre o edifício e o lado de fora.
4. Supõe-se que o suporte da cobertura vegetal tem as mesmas características térmicas que a cobertura original. No caso de haver efeitos significativos adicionais de isolamento e inércia para além da cobertura original, devido ao substrato orgânico e/ou ao suporte estrutural, estes poderiam ser calculados separadamente pelas metodologias conhecidas.
5. Considera-se que a redução da temperatura na superfície da cobertura é proporcional à quantidade de calor evitada por evapotranspiração.
6. A evapotranspiração, relacionada com as condições climáticas eo tipo de cultivo, tem sido caracterizada pela expressão de Hargreaves:

$$\mathbf{ETR}\ (\mathrm{kWh/m^2dia}) = \mathbf{0{,}0135 * (t_{med}+17{,}78)*Rs * K_C}$$

Nesta expressão, para cada mês, t_{med} (ºC) e Rs (kWh/m^{2}dia) são a temperatura média mensal ea irradiância total (direta + difusa) sobre uma superfície horizontal e K_C é um parâmetro adimensional característico para cada tipo de cultivo, também variável mensalmente.

7. A contribuição de energia deste tipo de elementos tem um caráter positivo no periodo de arrefecimento (verão), sendo de caráter negativo no período de aquecimento (resto do ano).
8. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).

4. PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** utilizados:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Coeficiente mensal de redução da evapotranspiração (*)	-	0 a 1	Kc
Absorvência solar da cobertura original (**)	-	0.3 a 0.9	AS_0
Transmitância térmica da cobertura original (***)	W/m^2K	0.2 a 0.5	UC

*- Dependendo do tipo de cultivo.

**- Taxa media de radiação solar absorvida pela cobertura original em exposição solar direta.

***- As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica media inferiores aos exigido pelo Código Técnico da Edificação em Espanha (CTE) na opção simplificada (0.66 W/m^2K na zona climática D2).

5. EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

As poupanças de energia calculadas durante o período de aquecimento, expressas por m^2 de cobertura verde, são dadas pela expressão:

$$P_{AR}\ (kWh/m^2ano) = UC/20 * [\sum_{V} IH_i*(AS_0 -0.6 +0.0092*K_{ci}*(t_{mi}+17.78))*C_i]$$

Onde $\sum_{V}$ refere-se aos meses de junho, julho, agosto e setembro (verão).

O maior consumo de energia estimado durante o período de aquecimento, é dado pela expressão:

$$C_{AQ}\ (kWh/m^2ano) = UC/20 * [\sum_{I} IH_i*(AS_0 -0.6 +0.0092*K_{ci}*(t_{mi}+17.78))*C_i]$$

Onde $\sum_{I}$ refere-se, neste caso, aos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro, Novembro e Dezembro (inverno).

Os **fatores climáticos** que aparecem nas fórmulas (C_O, IS_M y C_M), específicos para a zona climática espanhola D2 (Zamora) são listados abaixo:

MÊS:	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
t_m (ºC):	4.30	6.30	8.26	10.45	14.00	18.45	21.75	21.30	18.66	13.41	8.06	4.85
IH (kWh/m^2mes):	52.3	76.1	121.4	153.4	190.4	208.5	231.4	206.1	146.7	102.6	63.0	45.3

Os **coeficientes mensais de redução** (C_i), específicos para edifícios residenciais na zona climática espanhola D2 (Zamora), estão a seguir:

MÊS:	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Fator:	1.10	1.05	1.00	0.80	0.40	0.15	0.40	0.35	0.20	0.40	1.05	1.20

6. VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fim de dar uma idéia do efeito dos parâmetros na poupança de energia, a seguir é mostrado um exemplo com os parâmetros típicos, analisando as variações no consumo de energia quando cada uma das variáveis assume os seus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Absorvência solar cobertura	**0.7**	0.3	0.9	*0.9*
Transmitância térmica cobertura	**0.38**	0.2	0.5	*0.5*
Coef. redução evapotranspiração	**0.95**	0	1	*1*

*- A combinação ótima é obtida a partir das extremidades superior ou inferior, em função dos valores de poupanças globais mais favoráveis.

*- Foi considerado um fator idêntico para todos os meses do ano.

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

COBERTURA VERDE:	
Poupança de energia para refrigeração (kWh/m^{2}ano):	1.87
Maior consumo de energia para aquecimento (kwh/m^{2}ano):	3.91

Efeitos dos parâmetros:

A seguir e mostrada uma tabela comparativa com os valores de poupança de energia fornecidos pela cobertura verde nas extremidades superior e inferior de cada uma das variáveis (com os restantes parâmetros no valor típico anteriormente definido).

	POUPANÇA ARREF.			MAIOR CONSUMO AQUEC.		
Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:
Absorvência solar cobertura	1.87	0.59	**2.73**	3.91	0.38	6.26
Transmitância térmica cobertura	1.87	0.98	**2.46**	3.91	2.06	5.14
Coeficiente redução evapotranspiração	1.87	0.43	**1.95**	3.91	1.18	4.05

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

COBERTURA VERDE:	
Poupança de energia para refrigeração (kWh/m^{2}ano):	3.69
Maior consumo de energia para aquecimento (kwh/m^{2}ano):	8.43

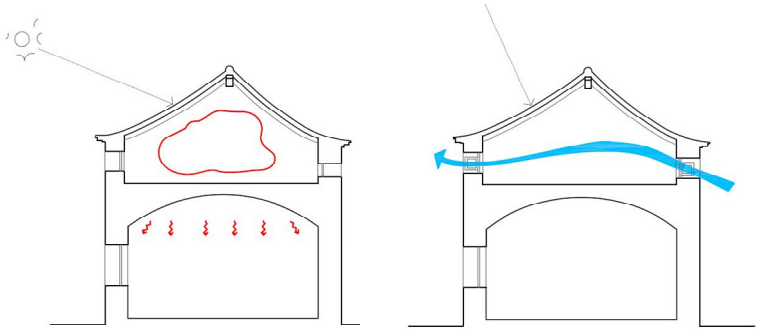
Deve notar-se que, no caso de plantas sazonais com uma elevada percentagem de sombreamento no verão e pequeno no inverno, os valores de consumo de energia de aquecimento podem ser consideravelmente reduzidos.

FICHA 6:

COBERTURA CAPTADORA PASSIVA

1. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA.

A função de uma cobertura captadora passiva é capturar a maior quantidade possível de radiação solar durante o período de aquecimento. Isto também implica um consumo de energia adicional durante o período de arrefecimento, o que pode ser reduzido por meio de ventilação natural dos espaços de transição abaixo da cobertura.



Esta ficha inclui os espaços de transição sem climatizaçao, com cobertura plana ou inclinada, em cima do edifício. Este tipo de soluções são consideradas passivas pela ausência de qualquer elemento mecânico para forçar o movimento dos fluidos e obter um melhor comportamento da solução.

2. EXEMPLOS REAIS DE APLICAÇÃO.

a) Na área de estudio:

Fariza de Sayago, Calle Adelante 2

Peredo, N-216

b) No mundo:

Valdeorras, Ourense

3. RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma cobertura captadora passiva aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. A cobertura captadora adicionada é um espaço de transição sem climatização acima do último andar do edifício, com a mesma área útil que os espaços climatizados e altura variável. A cobertura original, que é mantida, assume-se plana e uma nova cobertura, plana ou inclinada, é incorporada sobre o espaço de transição.
2. As características da envolvente do edifício, incluindo a cobertura original que passa a ser o pavimento do novo espaço de transição, serão mantidas. As características das paredes e coberturas no novo espaço de transição são variáveis.
3. A ventilação natural do espaço de transição durante o periodo de arrefecimento (variável) é um outro parâmetro da solução. Supõe-se que durante o período de aquecimento, não há ventilação.
4. No espaço anexo não há aquecimento, arrefecimento ou entrada de calor adicional.
5. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).

4. PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados da **cobertura captadora**, do **edifício** e da **relação entre os dois**. São destacados em negrito aqueles que foram estatisticamente significativos e, portanto, incluídos nas fórmulas da poupança de energia.

Parâmetros característicos da **cobertura captadora**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Absorvência solar da nova cobertura (*)	-	0.3 a 0.9	AS
Transmitância térmica da nova cobertura	**W/m²K**	**0.2 a 2**	**UC**
Inclinação da nova cobertura	**Graus sexagesimais**	**0 a 40**	**IC**
Orientação da nova cobertura	/Azimute/ (**)	0 a 180	AZ
Transmitância térmica das paredes externas do espaço de transição	**W/m²K**	**0.2 a 2**	**UM**
Altura mínima do espaço de transição (***)	m	0 a 2	AM
Ventilação do espaço de transição durante o periodo de arrefecimento	1/h	0 a 10	RH

*- Taxa media de radiação solar absorvida pela nova cobertura em exposição solar direta.

**- Graus sexagesimais que mede a projecção horizontal da linha normal à cobertura com a orientação sul. Por questões de simplicidade, supõe-se que a cobertura tem uma orientação única. Para coberturas com várias orientações, o azimute pode ser ponderado dependendo das percentagens em cada orientação.

***- A altura das paredes deve ser medida no lado menor.

Parâmetros característicos do **edifício**:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superficie de janelas viradas a norte (*)	**-**	**0 a 0.6**	**VN**
Superfície de janelas viradas a sul (*)	-	0 a 0.6	VS
Superficie de janelas viradas a leste (*)	-	0 a 0.6	VE
Superfície de janelas viradas a oeste (*)	-	0 a 0.6	VO
Compacidade do edifício (**)	m³/m²	1 a 6	CE
Transmitância térmica média do edifício (***)	W/m²K	< CTE	UM
Coeficiente perdas pela envolvente (****)	**W/m³K**	**0.05 a 0.5**	**CPE**
Relação de orientações (*****)	**-**	**0.5 a 2**	**RO**
Tipo de uso do edifício (******)	-	Residencial	TU

*- Relação entre a superfície total envidraçada dos espaços climatizados orientada na direcção indicada e a área total climatizada.

**- Proporção entre o volume climatizado do edifício e a área total exposta para o exterior.

***- As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica media inferiores aos exigido pelo Código Técnico da Edificação em Espanha (CTE) na opção simplificada (0.66 W/m²K na zona climática D2).

****- Relação entre a soma dos produtos de todas as superfícies exteriores por o seu coeficiente de transmissão, dividida pelo volume total climatizado (relacionado com a compacidade e a transmitância).

*****- Proporção entre a superfície externa em direções norte e sul e na superfície externa em orientações leste e oeste.

******- O estudo inclui apenas os edifícios residenciais.

5. EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

As poupanças de energia totais (período de aquecimento+período de arrefecimento), expressas por m^2 de cobertura, são dadas pela expressão:

PT (kWh/m^2ano) = 4,345 - 1,141*UC – 0,044*IC*UM + 4,477*RO*CPE – 4,077*RO*VN

6. VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fim de dar uma idéia do efeito dos parâmetros na poupança de energia, a seguir é mostrado um exemplo com os parâmetros típicos, analisando as variações no consumo de energia quando cada uma das variáveis assume os seus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima*:
Inclinação nova cobertura	**25**	0	40	0
Transmitância nova cobertura	**0.38**	0.2	2	0.2
Transmitância paredes	**0.66**	0.2	2	0.2
Janelas orientação norte	**0.1**	0	0.6	0
Coeficiente perdas envolvente	**0.3**	0.05	0.5	0.5
Relação de orientações	**1**	0.5	2	2

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

Poupança global estimada:	**4.12**	**kwh/m^2ano**

Efeitos dos parâmetros:

A seguir e mostrada uma tabela comparativa com os valores de poupança de energia fornecidos pela cobertura captadora nas extremidades superior e inferior de cada uma das variáveis (com os restantes parâmetros no valor típico anteriormente definido).

	AHORRO GLOBAL		
Variável:	**V. típico:**	**Extr. Inf.:**	**Extr. Sup.:**
Inclinação nova cobertura	4.12	**4.85**	3.69
Transmitância nova cobertura	4.12	**4.33**	2.27
Transmitância paredes	4.12	**4.63**	2.65
Janelas viradas a norte	4.12	**4.53**	2.08
Coeficiente perdas envolvente	4.12	3.00	**5.02**
Relação orientações	4.12	3.65	**5.06**

Em negrito foram realçados os parâmetros com efeito mais pronunciado sobre a poupança de energia a partir do caso típico considerado.

Poupança de energia pela **combinação ótima** (com todos os parâmetros na extremidade mais favorable):

Poupança global estimada:	**8.59**	**kwh/m^2ano**

FICHA 7:

CLIMATIZAÇAO GEOTÉRMICA

1. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA.

A circulação do ar de ventilação de um edifício através de **elementos subterrâneos** (tubulações ou adegas) permite a têmpera do mesmo antes de entrar no edifício. Assim, uma poupança de energia é conseguida no inverno (por aquecimento do ar) como no verão (por arrefecimento). O uso alternativo nos dois períodos do mesmo trocador de calor pode ajudar à regeneração térmica do solo em grandes profundidades.

O ar forçado através de dutos (mais conhecido pelos nomes de poço canadiano, poço provençal, ou poço mediterrâneo) é muito mais eficiente que a climatização por circulação natural através de adegas, uma vez que as altas velocidades do ar favorecem grandemente a troca de calor. Em qualquer caso, as velocidades de ar de mais de 3-5 m/s, não são recomendadas.

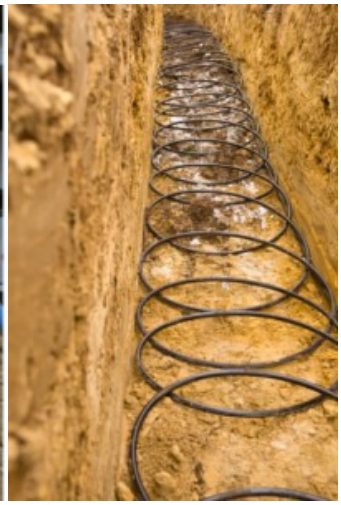
Em geotérmica, a quantidade máxima de calor que pode ser obtida é limitada principalmente pelo calor existente em torno do trocador e a capacidade de transferência de calor. A capacidade de troca de um sistema de energia geotérmica é geralmente muito elevada nos primeiros dias de operação, e diminui com o tempo. Dependendo da velocidade de extracção, os períodos de funcionamento mais elevados estão geralmente entre 1800 e 2400 horas em cada estação (inverno ou verão).

2. EXEMPLOS REAIS DE APLICAÇÃO.

a) Na área de estudio:

Bodega El Pulijón, Fermoselle

b) No mundo:



Edificio Lucía, Valladolid

Denver (USA)

3. RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO CÁLCULO DA SOLUÇÃO.

As expressões matemáticas empiricamente desenvolvidas para estimar as poupanças de energia de uma climatizaçao geotérmica aplicada a um edifício de habitação estão sujeitas às seguintes considerações:

1. O sistema é capaz de regenerar o calor durante o período de um ano. As condições de partida do sistema, no início do ciclo anual, são idênticas às do ciclo anterior.
2. A distância entre as diferentes tubulações geotérmicas é suficiente para haver uma mínima interferência térmica entre elas durante um ciclo completo de funcionamento. O programa de cálculo não considera a interferência térmica entre os dutos.
3. O máximo fluxo de ventilação no inverno coincide com as necessidades da renovação do ar do edifício. No verão é permitida uma maior quantidade de ar de renovação. Neste caso, o fluxo máximo é limitado pela velocidade de ar máxima indicada em as condições de conforto do edifício.
4. O edifício é capaz de suportar e tirar proveito do total de energia térmica de aquecimento ou de arrefecimento fornecida pelo sistema: a operação do sistema coincide sempre com os períodos de demanda térmica do edifício e o fornecimento nunca excede a demanda do edifício.
5. O solo tem características homogêneas de condutibilidade, densidade e calor específico.
6. As tubulações são assumidas retilíneas e de seção circular.
7. As características climáticas correspondem à cidade de Zamora (zona climática D2 em Espanha).

4. PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DA SOLUÇÃO.

A seguir estão os **parâmetros característicos** estudados de um sistema de climatização geotérmica. São destacados em negrito aqueles que têm um efeito significativo sobre o desempenho energético da solução.

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Condutibilidade térmica do solo	**W/mK**	**0.2 a 3**	**CT**
Calor específico do solo (ρ*C_p)	MJ/m^{3}K	1 a 3	CE
Rugosidade da tubulação	mm	0.0001 a 10	RC
Raio interior do tubo	**m**	**0.05 a 2**	**Ri**
Comprimento do tubo	**m**	**1 a 200**	**L**
Profundidade média da tubulação	**m**	**0.5 a 20**	**P**
Total de horas de operação	**h**	**1 a 3600**	**HF**
Velocidade do ar no tubo	**m/s**	**0.01 a 10**	**V**

5. EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DAS POUPANÇAS DE ENERGIA.

No caso da climatização geotérmica não foi determinada uma expressão para o cálculo das poupanças de energia. En el caso de la climatización geotérmica no existe una expresión para el cálculo del ahorro energético. A economia de energia é obtida através da aplicação de uma planilha do EXCEL.

6. VALORES TÍPICOS DOS PARÂMETROS E DOS SEUS EFEITOS.

A fim de dar uma idéia do efeito dos parâmetros na poupança de energia, a seguir é mostrado um exemplo com os parâmetros típicos, analisando as variações no consumo de energia quando cada uma das variáveis assume os seus valores extremos.

Valores a considerar:

Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	C. ótima:
Condutibilidade térmica do solo	**1.5**	0.2	3	-
Calor específico do solo (ρ*C_p)	**2**	1	3	-
Rugosidade da tubulação	**0.0015**	0.0001	10	-
Raio interior do tubo	**0.1**	0.05	2	-
Comprimento do tubo	**30**	1	200	-
Profundidade média tubulação	**5**	0.5	20	-
Total dias de operação	**100**	1	150	-
Horas de operação por dia*	**10**	1	24	-
Velocidade do ar no tubo	**3**	0.01	10	-

* - A energia fornecida também depende do tempo do dia em que o sistema está a funcionar. No arrefecimento, o período assumido é sempre o período de máxima demanda (das 14:00 h às 24:00 h, no caso de um período de 10 horas), que está sempre próximo ao período de máximo desempenho. No caso do aquecimento, dois cenários têm sido estudados: período de máxima demanda (das 14:00 h às 24:00 h, no caso de um período de 10 horas) y período de máximo desempenho (das 24:00 h às 10:00 h, no caso de um período de 10 horas).

Poupança de energia para os **valores típicos** supostos:

Abaixo estão o total de energia fornecida pelo sistema (em kWh) e a eficiência da transferência (em W por metro de tubo) nos três cenários típicos que têm sido assumidos:

	Energia fornecida total: (kWh)	Eficiência da troca: (W/m)
Arrefecimento	1315	48.7
Aquecimento máxima demanda	562	20.8
Aquecimento máx. desempenho	1256	41.9

Efeitos dos parâmetros:

A seguir e mostrada uma tabela comparativa com os valores de poupança de energia fornecidos pela climatização geotérmica nas extremidades superior e inferior de cada uma das variáveis (com os restantes parâmetros no valor típico anteriormente definido).

ENERGIA FORNECIDA (Kwh)	ARREFECIMENTO			AQUEC. MÁX DEM.			AQUEC. MÁX DESEMP.		
Variável:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:	V. típico:	Extr. Inf:	Extr. Sup:
Condutibilidade térmica do solo	1315	506	**1383**	562	216	**591**	1256	485	**1329**
Calor específico do solo (ρ*C_p)	1315	1313	1316	562	562	563	1256	1254	1258
Rugosidade da tubulação	1315	1315	1315	562	562	562	1256	1256	1256
Raio interior do tubo	1315	736	**13375**	562	313	**5685**	1256	700	**12025**
Comprimento do tubo	1315	75	**7805**	562	32	**3316**	1256	71	**7360**
Profundidade média tubulação	1315	131	**1315**	562	56	**562**	1256	126	**1256**
Total dias de operação	1315	20	**1969**	562	12	**753**	1256	15	**1786**
Horas de operação por dia	1315	213	**1676**	562	35	**1533**	1256	148	**1533**
Velocidade do ar no tubo	1315	19	**2554**	562	8	**1093**	1256	18	**2412**

EFICIÊNCIA DA TROCA (w/m)	ARREFECIMENTO			AQUEC. MÁX DEM.			AQUEC. MÁX DESEMP.		
Variável:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:	V. típico:	Extr. Inf.:	Extr. Sup.:
Condutibilidade térmica do solo	48.7	18.7	**51.2**	20.8	8	**21.9**	41.9	16.2	**44.3**
Calor específico do solo (ρ*C_p)	48.7	48.6	48.7	20.8	20.8	20.8	41.9	41.8	41.9
Rugosidade da tubulação	48.7	48.7	48.7	20.8	20.8	20.8	41.9	41.9	41.9
Raio interior do tubo	48.7	27.3	**495.4**	20.8	11.6	**210.6**	41.9	23.3	**400.8**
Comprimento do tubo	48.7	**83.8**	43.4	20.8	**35.6**	18.4	41.9	**71.2**	36.8
Profundidade média tubulação	48.7	4.8	**48.7**	20.8	2.1	**20.8**	41.9	4.2	**41.9**
Total dias de operação	48.7	**75.3**	48.6	20.8	**43.5**	18.6	41.9	**51.4**	39.7
Horas de operação por dia	48.7	**71**	24.3	20.8	11.5	22.2	41.9	**49.4**	22.2
Velocidade do ar no tubo	48.7	0.7	**94.6**	20.8	0.3	**40.5**	41.9	0.6	**80.4**

Em negrito foram realçados os parâmetros com efeito mais pronunciado sobre a poupança de energia a partir do caso típico considerado.

Alguns deles têm um impacto positivo sobre ambos: Condutibilidade do solo, diâmetro do tubo, profundidade média da troca (embora tenha sido considerado como um efeito constante a partir de 5 m) e velocidade do ar no tubo. Sempre é conveniente ter a velocidade mais rápida possível no duto, mas estará limitada pela queda de pressão ou o aparecimento de ruído.

Outros parâmetros têm um caráter oposto e precisarán de uma solução de compromisso:

Quantos mais dias e horas de funcionamento, mais energia é obtida a partir do sistema, mas a eficiência energética é inferior. Com a diminuição da eficiência, pode chegar um momento em que a energia fornecida não compense o consumo de electricidade dos ventiladores para circular o ar.

Algo semelhante acontece com o comprimento das condutas: a mais longas, maior é a quantidade de energia fornecida, mas a sua eficiência dimimui. É necessário um compromisso entre poupança de energía e investimento empregue.

Neste caso, pode-se dizer que há uma combinação ótima para máxima poupança de energia total é uma combinação ótima diferente para a máxima eficiência da troca. Entre as duas estaria a combinação ótima do ponto de vista econômico, dependendo de outros factores tais como o tamanho do edifício, o consumo de energia do sistema de ventilação ou a geração de ruído.