

FICHA 2:

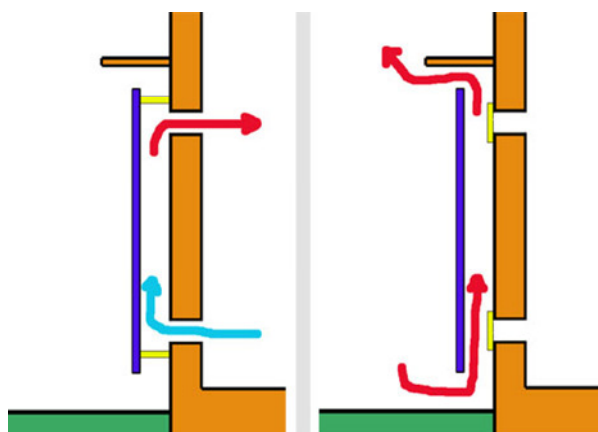
PAREDE DE TROMBE COM VENTILAÇÃO

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 interespaco 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 período 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:



Adelaide (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 ($\pm 18^\circ$).
2. Os espaços da cavidade são horizontalmente divididos ao nível 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 ² K	0.3 a 5	UT
Capacidade de armazenamento térmico da parede de trombe ($\rho \cdot C_p$)	MJ/m ² K	0.5 a 2.5	QT
Difusividade térmica $\lambda/\rho \cdot C_p$ (***)	mm ² /s	0.2 a 2	DT
Espessura do espaço de separação	m	0.05 a 0.8	EH
Transmitância térmica vidro exterior trombe	W/m ² K	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 média 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 ($FA=1,3 \cdot RH \cdot EH$)

Parâmetros característicos do edifício:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superfície de janelas viradas a norte (*)	-	0 a 0.6	VN
Superfície de janelas viradas a sul (*)	-	0 a 0.6	VS
Superfície 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 ² K	< CTE	UM
Coeficiente perdas pela envolvente (****)	W/m ³ K	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 e a área total exposta para o exterior.

*** - As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica média inferiores aos exigidos 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).

***** - 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 m² de parede de Trombe, são dadas pela expressão:

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

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

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

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 seleccionáveis: 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/m²ano
Maior consumo de energia para refrigeração:	13.83	kwh/m²ano
Poupança global estimada:	46.38	kwh/m²ano

Efeitos dos parâmetros:

A seguir é 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).

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 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
Coefficiente 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 favorável):

Poupança de energia para aquecimento:	181.55	kwh/m²ano
Maior consumo de energia para refrigeração:	84.58	kwh/m²ano
Poupança global estimada:	96.97	kwh/m²ano

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 ($\pm 18^\circ$).
2. Os espaços da cavidade são horizontalmente divididos ao nível 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/m²K	0.3 a 3	UT
Capacidade de armazenamento térmico da parede de trombe ($\rho \cdot C_p$)	MJ/m ² K	0.25 a 1.5	QT
Difusividade térmica $\lambda/\rho \cdot C_p$ (***)	mm ² /s	0.2 a 2	DT
Espessura do espaço de separação	m	0.01 a 0.8	EH
Transmitância térmica vidro exterior trombe	W/m ² K	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/hm²	0.1 a 100	FA

*- Taxa média 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 ($FA=1,3 \cdot RH \cdot EH$)

Parâmetros característicos do edifício:

Parâmetro:	Unidade:	Limites:	Nom:
Superfície de janelas viradas a norte (*)	-	0 a 0.6	VN
Superfície de janelas viradas a sul (*)	-	0 a 0.6	VS
Superfície 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 ² K	< CTE	UM
Coeficiente perdas pela envolvente (****)	W/m³K	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 e a área total exposta para o exterior.

*** - As expressões obtidas são válidas para edifícios com coeficientes de transmissão térmica média inferiores aos exigidos 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).

***** - 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 m² de parede de Trombe, são dadas pela expressão:

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

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/m ² ano
Maior consumo de energia para refrigeração:	0.00	kwh/m ² ano
Poupança global estimada:	192.79	kwh/m ² ano

Efeitos dos parâmetros:

A seguir é 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).

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 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 favorável):

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