

RELATÓRIO TÉCNICO

Cálculo do fluxo e da transmitância
linear de pontes térmicas
Verificação da formação de mofo

OBJETO: Renovação vivenda de dois andares.
Reabilitação sótão

PARTE DA OBRA: Avaliação pontes térmicas

PROJETISTA: Eng. Andreia Silva

CLIENTE: Restructura

Projetista

RELATÓRIO TÉCNICO

Cálculo numérico da energia transmitida através das estruturas de edifícios interessados por pontes térmicas e verificação do risco da formação dos mofo.

A avaliação deriva de uma simulação numérica aos elementos finitos; deste modo são calculados e listados os fluxos térmicos em cada elemento e o fluxo térmico total, as temperaturas internas e as temperaturas superficiais, as transmitâncias térmicas dos elementos individuais, o coeficiente de acoplamento térmico e a transmitância térmica da ponte térmica.

Para a avaliação do risco de formação dos mofo é destacada a mínima temperatura superficial sobre a face interna, a temperatura crítica, o fator de temperatura crítico $f_{RSi,max}$ e o mês crítico.

Ao final do cálculo é apresentado se a ponte térmica está correta e se a ponte térmica é ou não sujeita ao risco de formação dos mofo.

Metodologia de Cálculo

O método de cálculo por elementos finitos previsto pela norma EN ISO 10211, permite deduzir as transmitâncias térmicas lineares e as temperaturas superficiais.

Baseia-se nos seguintes pressupostos:

- todas as propriedades físicas são independentes da temperatura;
- não existem fontes de calor dentro do elemento de construção.

O método numérico utilizado é validado em conformidade no Apêndice A da própria norma, enquanto:

- fornece as temperaturas e os fluxos térmicos;
- permite calcular as temperaturas e os fluxos térmicos em posições diferentes das indicadas na norma;
- calcula a soma dos valores absolutos de todos os fluxos térmicos duas vezes, para n nós (ou células) e para $2n$ nós (ou células). A diferença entre estes dois resultados é sempre inferior a 1%;
- repete o cálculo até que a soma de todos os fluxos térmicos (positivo e negativo) entrantes no objeto, dividido por metade da soma dos valores absolutos de todos estes fluxos térmicos, é inferior a 0,0001.

DADOS E RESULTADOS DE CÁLCULO

Dimensões geométricas

Na figura a seguir mostra o esquema geométrico da ponte térmica no qual estão representadas as dimensões, a forma e as estratigrafias dos materiais que o compõem; cada segmento diferente de fronteira é marcado com uma etiqueta numerada.

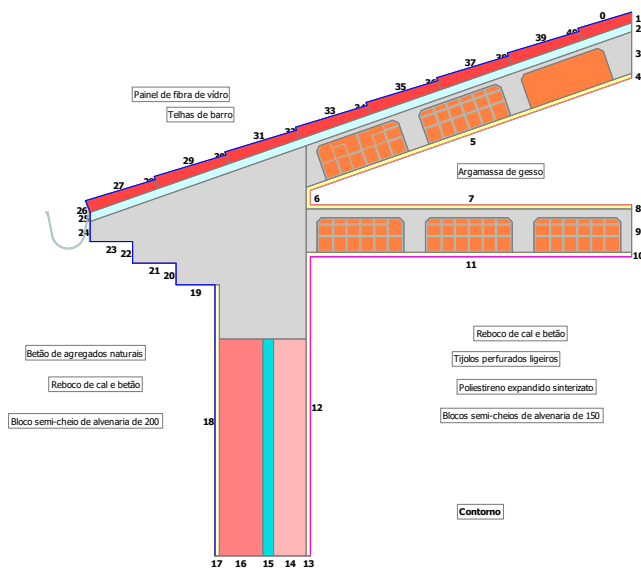
Na tabela à direita são listadas as dimensões, expressadas em m, de todos os traços de fronteira marcados por etiquetas.

Figura 1

Dimensões

Tabela 1

Traço	Tam. [m]
0	0.26
1	0.05
2	0.04
3	0.19
4	0.02
5	1.57
6	0.07
7	1.48
8	0.02
9	0.20
10	0.02
11	1.48
12	1.38
13	0.02
14	0.15
15	0.05
16	0.20
17	0.02
18	1.25
19	0.18
20	0.10
21	0.20
22	0.10
23	0.20
24	0.09
25	0.04
26	0.06
27	0.34
28	0.01
29	0.35
30	0.01
31	0.35
32	0.01
33	0.35
34	0.01
35	0.35
36	0.01
37	0.35
38	0.01
39	0.35
40	0.01

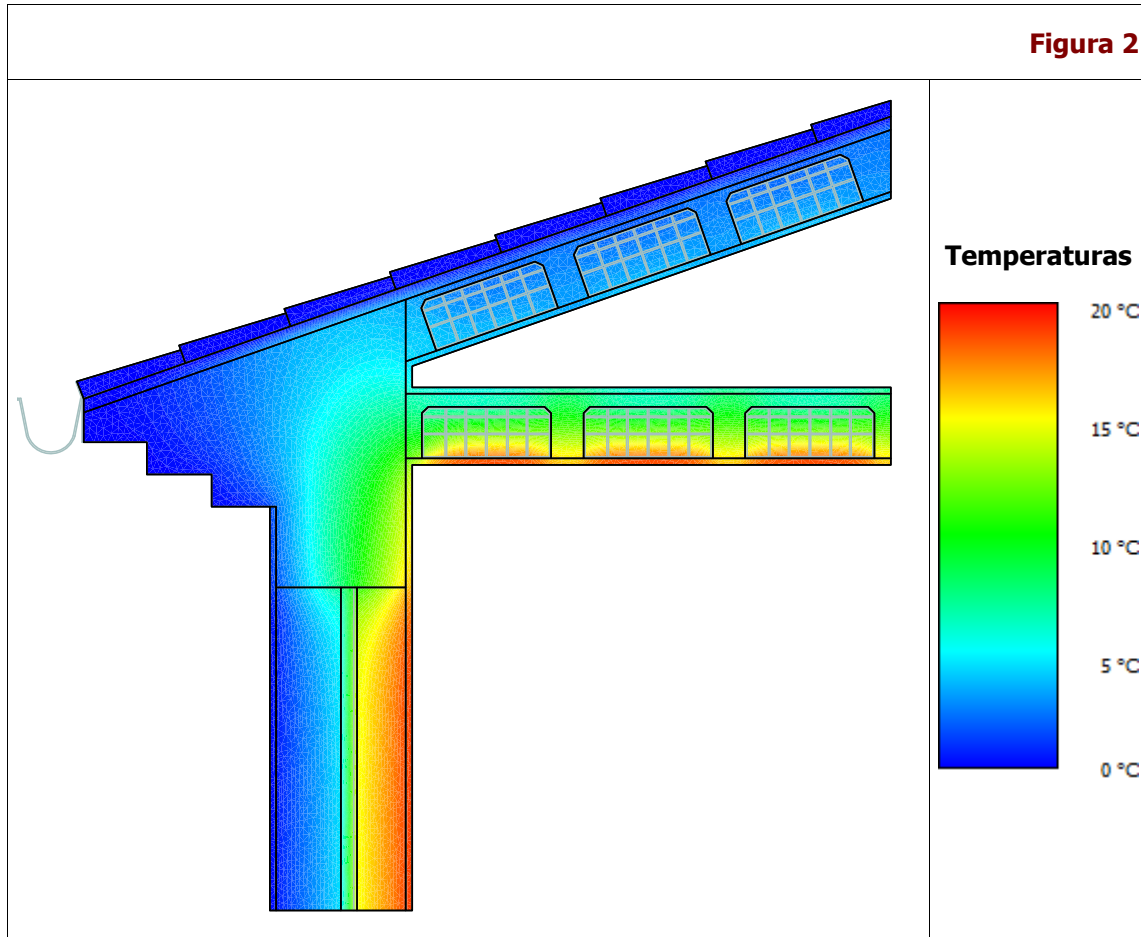


Curvas de temperatura

A figura 2 mostra a representação das curvas de nível da ponte térmica calculada.

A tabela à direita mostra a escala cromática relativa ao intervalo de temperatura definido na fronteira. As temperaturas mínimas e máximas referem-se às temperaturas calculadas na face, na fronteira com o ambiente interior e exterior, levando em conta também a transferência térmica por coeficiente de convecção.

As curvas são definidas com um passo de 0.25 °C.



Condições ao contorno externas - Dados climáticos

Na tabela seguinte são mostrados os dados climáticos, em termos de temperatura e umidade relativas, utilizados para a avaliação da temperatura e do mês crítico para a formação de mofo sobre as superfícies internas

	Jan	Fev	Març	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T[°C]	1.2	3.1	8.3	11.9	18.0	22.1	23.6	22.6	19.1	12.3	6.8	2.6
UR[%]	83.2	80.4	80.6	66.6	65.3	60.4	54.1	72.6	74.6	82.0	93.0	88.2

Condições ao contorno

Na tabela a seguir são listadas todas as zonas de fronteira com as relativas temperaturas e coeficientes de convecções.

A fim de realizar o cálculo é necessário definir, pelo menos, um ambiente INTERIOR e um EXTERIOR: o cálculo da transmitância térmica linear é feito a partir do ambiente INTERIOR.

Tabela 2

Zonas	btr	Temperatura [°C]
EXTERIOR	-	0.00
Sotao	0.80	4.00
Interior (respeito ao qual é calculado a PT)	-	20.00

Condições ao contorno internas - Avaliação risco formação mofos

Na tabela seguinte são listadas as temperaturas e umidade relativas da zona interna.

	Jan	Fev	Març	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T[°C]	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
UR[%]	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0

Características térmicas materiais

Na tabela seguinte é proposta uma lista de todos os materiais utilizados para a estrutura da ponte, com o seu valor relativo de condutividade térmica.

Tabela 3

Material	Condutividade térmica [W/mK]
Blocos semi-cheios de alvenaria de 150	0.3330
Bloco semi-cheio de alvenaria de 200	0.4250
Poliestireno expandido sinterizado	0.0400
Reboco de cal e betão	0.7000
Betão de agregados naturais	1.0100
Tijolos perfurados ligeiros	0.1300
Telhas de barro	0.9900
Painel de fibra de vidro	0.0420
Argamassa de gesso	0.2900

Características terreno

A tabela a seguir mostra as características do TERRENO, se estiver presente.

A avaliação do coeficiente de transferência térmica dos pavimentos no terreno é feito de acordo com a *EN ISO 13370*.

Tabela 4

Descrição	Símbolo	Valor	Unid. de medida
Condutividade térmica	k	1.5000	[W/mK]
Dimensão característica	B'	0.00	[m]
Espessura equivalente	dt	0.00	[m]
Transmitância equivalente do pavimento	Ug	0.00	[W/m²K]

Dimensão característica $B' = (2 * \text{Área pavimento}) / \text{Perímetro pavimento}$

Fluxos térmicos

Na tabela seguinte, para cada fronteira da ponte térmica, é exibido o fluxo térmico com a zona de fronteira e do coeficiente de convecção relativa de cada face.

Tabela 5

Fachada	Zona associada	Fluxo [W/m]	Coefficiente de convecção [W/m²K]
0	EXTERIOR	-0.49	25.0
5	Sotao	2.83	7.7
6	Sotao	-0.44	7.7
7	Sotao	-21.67	7.7
11	Interior (respeito ao qual é calculado a PT)	24.22	7.7
12	Interior (respeito ao qual é calculado a PT)	23.40	7.7
18	EXTERIOR	-16.81	25.0
19	EXTERIOR	-2.67	25.0
20	EXTERIOR	-0.85	25.0
21	EXTERIOR	-1.23	25.0
22	EXTERIOR	-0.36	25.0
23	EXTERIOR	-0.47	25.0
24	EXTERIOR	-0.09	25.0
25	EXTERIOR	-0.01	25.0
26	EXTERIOR	-0.01	25.0
27	EXTERIOR	-0.19	25.0
28	EXTERIOR	-0.02	25.0
29	EXTERIOR	-0.79	25.0
30	EXTERIOR	-0.04	25.0
31	EXTERIOR	-1.20	25.0
32	EXTERIOR	-0.04	25.0
33	EXTERIOR	-0.88	25.0
34	EXTERIOR	-0.03	25.0
35	EXTERIOR	-0.73	25.0
36	EXTERIOR	-0.03	25.0
37	EXTERIOR	-0.70	25.0
38	EXTERIOR	-0.03	25.0
39	EXTERIOR	-0.67	25.0
40	EXTERIOR	-0.02	25.0

Resultados finais

Na tabela final são mostrados os valores de cálculo relativos da estrutura completa.

O resultado da simulação numérica é o fluxo térmico (F) que passa através da estrutura, expresso em W/m, devido à diferença de temperatura entre a ambiente INTERIOR e o ambiente EXTERIOR.

O fluxo térmico equivalente (F_spt), sempre expresso em W/m, em relação à estrutura sem ponte térmica, foi avaliado por referência à mesma diferença de temperatura entre o interior e exterior e ao comprimento equivalente (L) definida para comparação.

Da diferença entre estes dois valores são calculados a transmitância térmica linear (kl) e o coeficiente de acoplamento (L2D).

Tabela 6

U [W/mK]	Compri. associado [mm]
1.80	1.48
0.42	1.38

Tabela 7

Descrição	Símbolo	Valor	Unid. de medida
Transmitância térmica linear	kl	-0.85	[W/mK]
Fluxo térmico total	F	47.62	[W/m]
Coeficiente de acoplamento	L2D	2.38	[W/mK]
Comprimento equivalente	L	2.86	[m]
Fluxo térmico (sem ponte térmica)	F_spt	54.01	[W/m]

Verificação formação mofos

Na tabela final são mostrados os valores mensais para a avaliação do mês crítico, do fator de temperatura crítica e da temperatura crítica, conforme a **EN ISO 13788**.

Fator de temperatura crítica	$f_{RSi,max}$	[-]	0.82
Temperatura formação mofo	T_{min}	[°C]	16.69

Por meio da avaliação resulta:

- mês crítico: **Janeiro**
- temperatura mínima sobre a face interna: **13.66°C**

A ponte térmica foi sujeita a risco de formação mofos.

	<i>condições externas</i>		<i>condições internas</i>						
	T_e	Φ_e	T_i	Φ_i	$p_{sat}(\theta_i)$	p_i	$p_{sat}(\theta_{si})$	$T_{si,min}$	f_{RSi}
Jan	1.2	83.2%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	0.82
Fev	3.1	80.4%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	0.8
Març	8.3	80.6%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	0.72
Abr	11.9	66.6%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	0.59
Mai	18.0	65.3%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	-0.66
Jun	22.1	60.4%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	2.58
Jul	23.6	54.1%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	1.92
Ago	22.6	72.6%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	2.27
Set	19.1	74.6%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	-2.68
Out	12.3	82%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	0.57
Nov	6.8	93%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	0.75
Dez	2.6	88.2%	20.0	65%	2337	1519	1519	16.69	0.81

LEGEND

A

T_e	Temperatura exterior média mensal	[°C]
Φ_e	Umidade relativa externa média mensal	[%]
T_i	Temperatura interior média mensal	[°C]
Φ_i	Umidade relativa interna média mensal	[%]
$p_{sat}(\theta_i)$	Pressão de saturação interna	[Pa]
p_i	Pressão de vapor interna	[Pa]
$p_{sat}(\theta_{si})$	Pressão de saturação interna mínima aceitável	[Pa]
$T_{si,min}$	Temperatura superficial mínima aceitável	[°C]
f_{RSi}	Fator de temperatura	[-]

Projetista

(timbre e assinatura)