

# Condensações

UNE EN ISO 13788

## ÍNDICE

1. PISO 0.....	9
1.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque.....	9
1.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	9
1.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	9
1.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	10
1.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	12
1.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	14
1.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	16
1.2. Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque.....	17
1.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	17
1.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	17
1.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	18
1.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	20
1.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	22
1.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	23
1.3. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso.....	24
1.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	24
1.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	24
1.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	25

1.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	27
1.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	29
1.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	30
1.4. Betão armado + Poliestireno extrudido (XPS).....	31
1.4.1. Resultados do cálculo de condensações.....	31
1.4.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	31
1.4.3. Descrição do elemento construtivo.....	32
1.4.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	34
1.4.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	36
1.4.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	37
 2. PISO 1.....	38
2.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque.....	38
2.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	38
2.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	38
2.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	39
2.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	41
2.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	43
2.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	45
2.2. Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque.....	46
2.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	46
2.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	46

2.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	47
2.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	49
2.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	51
2.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	52
2.3. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso.....	53
2.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	53
2.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	53
2.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	54
2.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	56
2.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	58
2.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	59
 3. PISO 2.....	60
3.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque.....	60
3.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	60
3.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	60
3.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	61
3.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	63
3.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	65
3.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	67
3.2. Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque.....	68
3.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	68

3.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	68
3.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	69
3.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	71
3.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	73
3.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	74
3.3. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso.....	75
3.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	75
3.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	75
3.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	76
3.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	78
3.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	80
3.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	81
3.4. Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Teto falso).....	82
3.4.1. Resultados do cálculo de condensações.....	82
3.4.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	82
3.4.3. Descrição do elemento construtivo.....	83
3.4.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	85
3.4.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	87
3.4.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	89
4. PISO 3.....	90

4.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque.....	90
4.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	90
4.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	90
4.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	91
4.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	93
4.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	95
4.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	97
4.2. Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque.....	98
4.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	98
4.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	98
4.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	99
4.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	101
4.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	103
4.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	104
4.3. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso.....	105
4.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	105
4.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	105
4.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	106
4.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	108
4.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	110
4.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	111

4.4. Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Teto falso).....	112
4.4.1. Resultados do cálculo de condensações.....	112
4.4.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	112
4.4.3. Descrição do elemento construtivo.....	113
4.4.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	115
4.4.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	117
4.4.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	119
4.5. Linóleo + Laje maciça + ETICS.....	120
4.5.1. Resultados do cálculo de condensações.....	120
4.5.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	120
4.5.3. Descrição do elemento construtivo.....	121
4.5.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	124
4.5.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	125
4.5.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	127
 5. PISO 4.....	128
5.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque.....	128
5.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	128
5.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	128
5.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	129
5.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	131

5.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	133
5.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	135
5.2. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso.....	136
5.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	136
5.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	136
5.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	137
5.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	139
5.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	141
5.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	142
5.3. Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Reboco).....	143
5.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	143
5.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	143
5.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	144
5.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	146
5.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	148
5.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.	150

## Condensações

### 1. PISO 0

#### 1.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque

##### 1.1.1. Resultados do cálculo de condensações

###### 1.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.888 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W/m}^2\text{-K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{-K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

###### 1.1.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

#### 1.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo

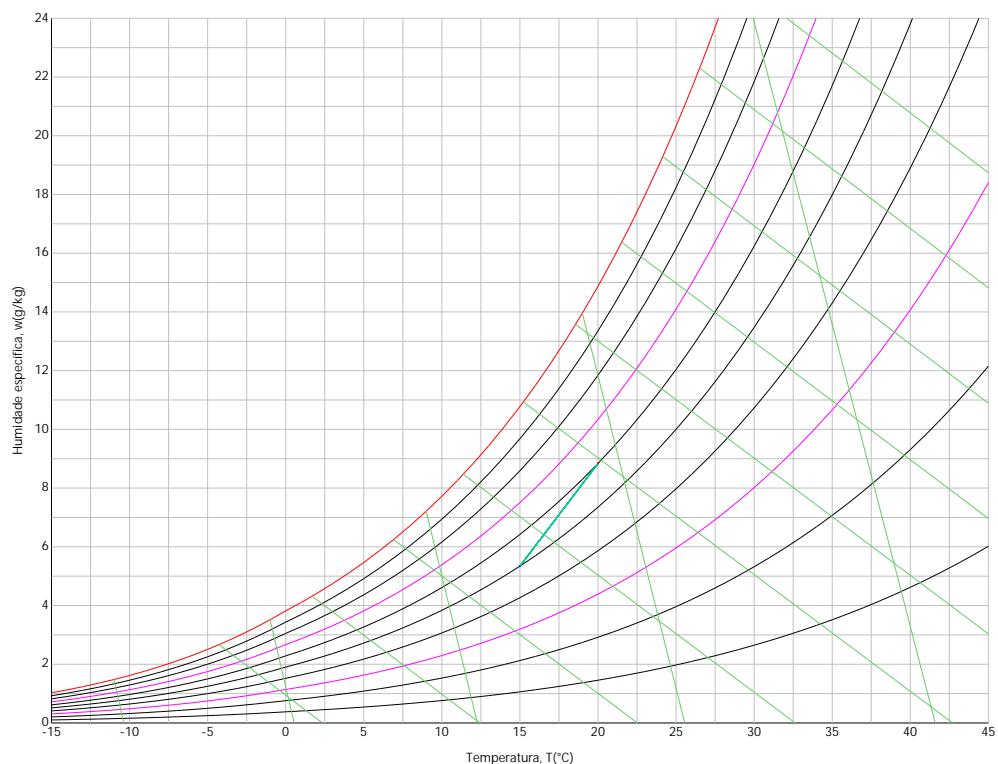
As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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

## Condensações

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

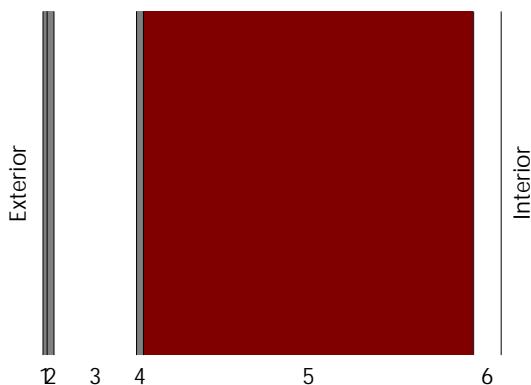
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 1.1.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$	0.04					
1	Argamassa decorativa	0.3	1.000	0.00300	10	0.03
2	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
3	Poliestireno expandido (EPS)	6.0	0.042	1.42857	20	1.2
4	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
5	Alvenaria de bloco de termoargila	24.0	0.421	0.57007	10	2.4
6	Estuque projectado	2.0	0.430	0.04651	1	0.02
$R_{si}$	0.13					

onde:

e: Espessura, cm.

I : Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

$m$ : Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	33.3
Resistência térmica total, $R_T$	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	2.2282
Espessura de ar equivalente total, $S_{dT}$	m	3.75
Transmitância térmica, U	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0.449
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.888

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$S_{dT}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

### 1.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

## Condensações

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{Rsi,\min}$  fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,\min}$ (°C)	$f_{Rsi,\min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

## Condensações

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.888 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.1.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.09	1714.281	852.204	49.7	--	--
Interface 1-2	15.10	1715.024	856.603	49.9	--	--
Interface 2-3	15.11	1716.262	863.936	50.3	--	--
Interface 3-4	18.31	2103.834	1039.926	49.4	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.315	1047.259	49.7	--	--
Interface 5-6	19.60	2280.264	1399.238	61.4	--	--
Face interior	19.71	2295.084	1402.171	61.1	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0	--	--

onde:

## Condensações

q: Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

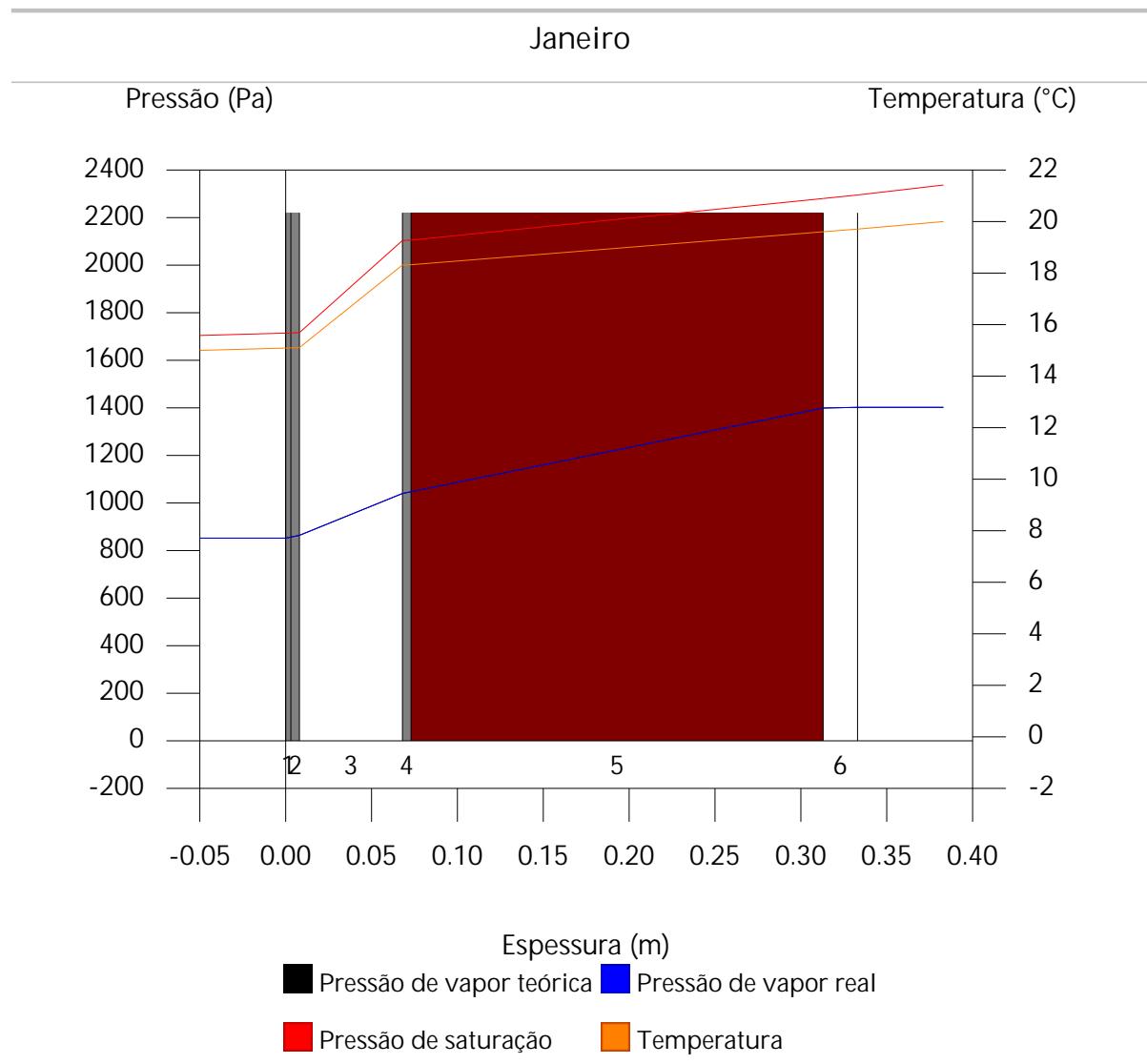
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Condensações

### 1.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 1.2. Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque

#### 1.2.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 1.2.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.892 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.431 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 1.2.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

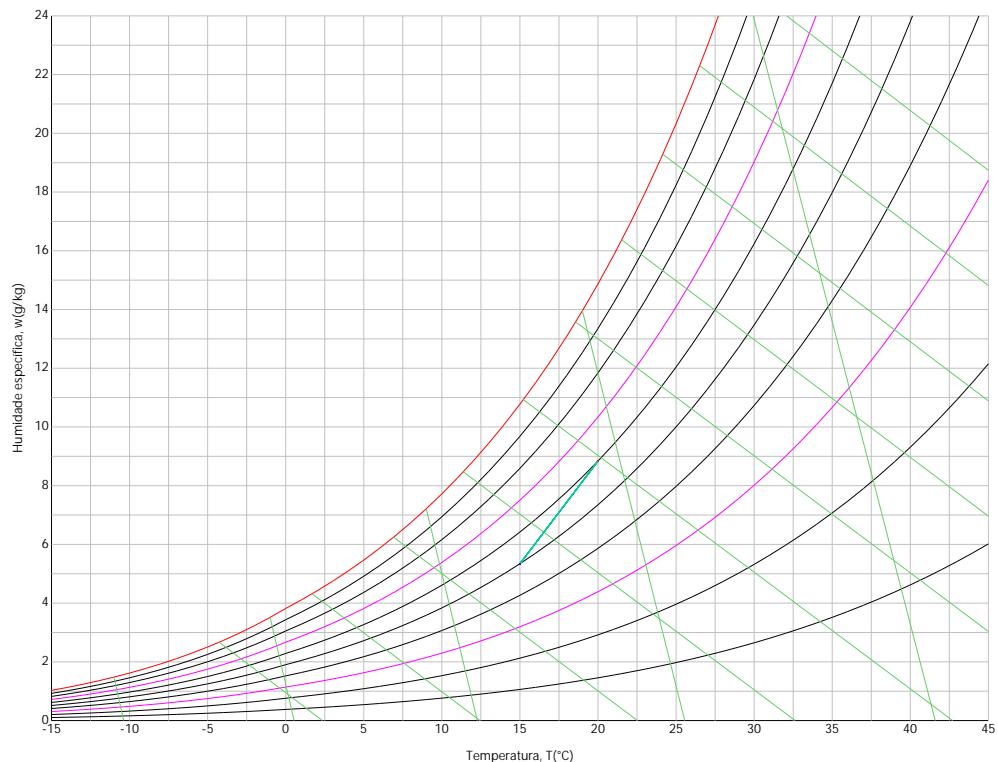
#### 1.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

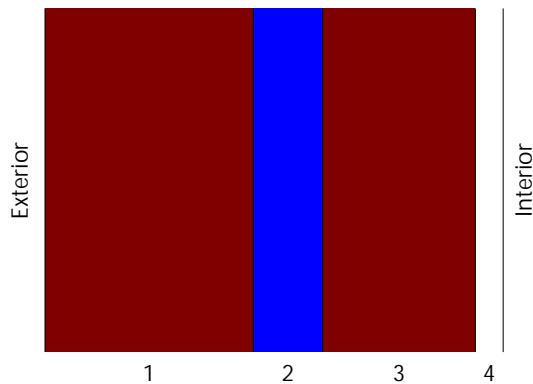
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 1.2.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

		e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$	0.13					
1 Tijolo cerâmico furado (15 cm)		15.0	0.385	0.38961	1	0.15
2 Poliestireno extrudido (XPS)		5.0	0.037	1.35135	1	0.05
3 Tijolo cerâmico furado (11 cm)		11.0	0.407	0.27027	1	0.11
4 Estuque projectado		2.0	0.430	0.04651	1	0.02
$R_{si}$	0.13					

onde:

e: Espessura, cm.

I : Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	33.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	2.3177
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.33
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.431
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.892

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.431 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 1.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.892 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.2.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque	q (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	j (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.28	1735.424	852.204	49.1	--	--
Interface 1-2	16.12	1831.364	1102.189	60.2	--	--
Interface 2-3	19.04	2201.112	1185.517	53.9	--	--
Interface 3-4	19.62	2282.433	1368.839	60.0	--	--
Face interior	19.72	2296.690	1402.171	61.1	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

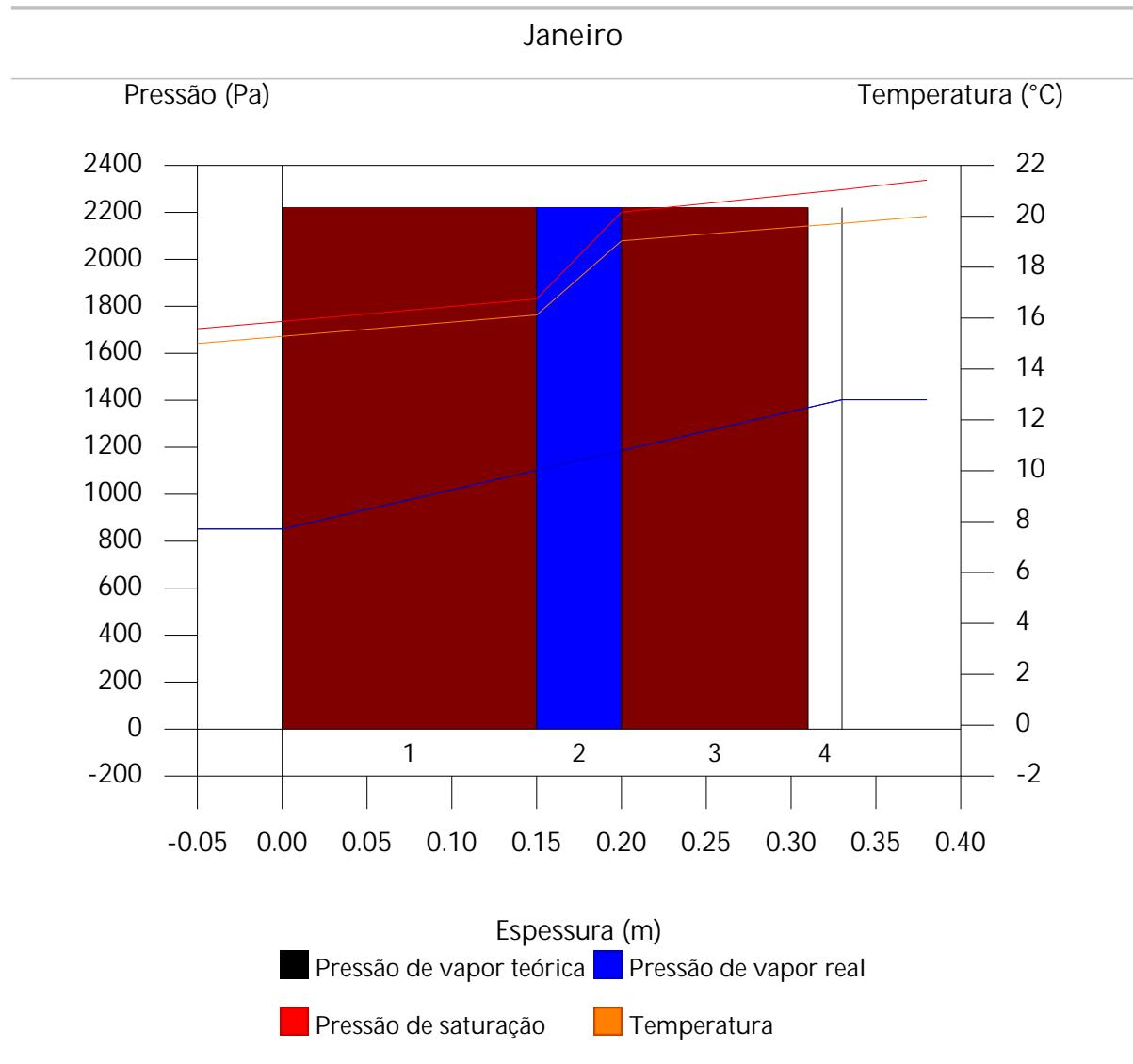
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 1.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 1.3. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso

#### 1.3.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 1.3.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.838 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 1.3.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

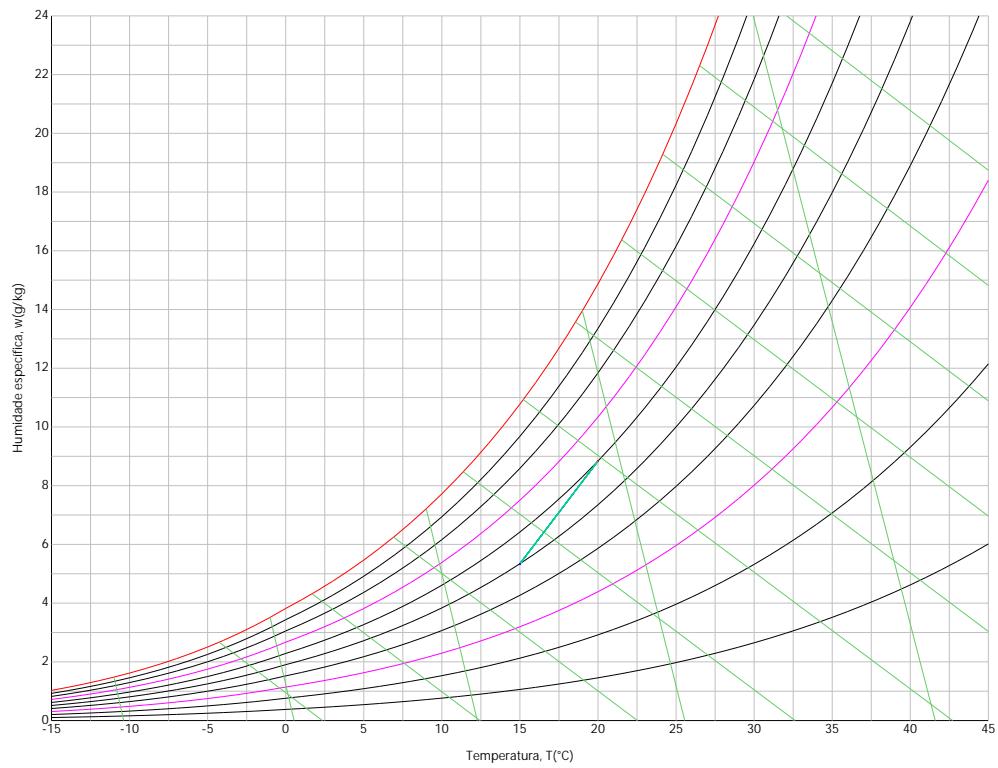
#### 1.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

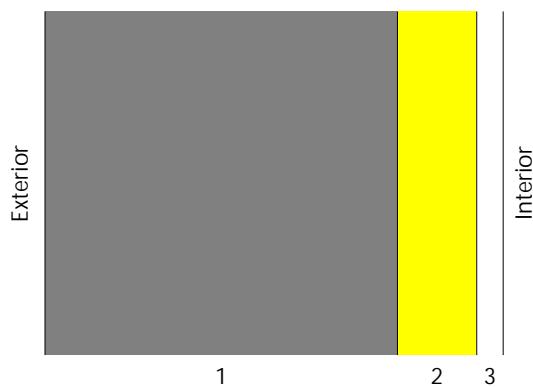
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 1.3.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
<b>R<sub>se</sub></b>	0.13				
1 Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
2 Lã de rocha (MW)	4.5	0.040	1.12500	1	0.045
3 Placa de gesso laminado	1.5	0.250	0.06000	4	0.06
<b>R<sub>si</sub></b>	0.13				

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	26.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	1.5450
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.30
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.647
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.838

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 1.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.838 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.3.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.42	1751.122	852.204	48.7	--	--
Interface 1-2	15.74	1787.816	1212.838	67.8	--	--
Interface 2-3	19.39	2249.471	1293.980	57.5	--	--
Face interior	19.58	2276.781	1402.171	61.6	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

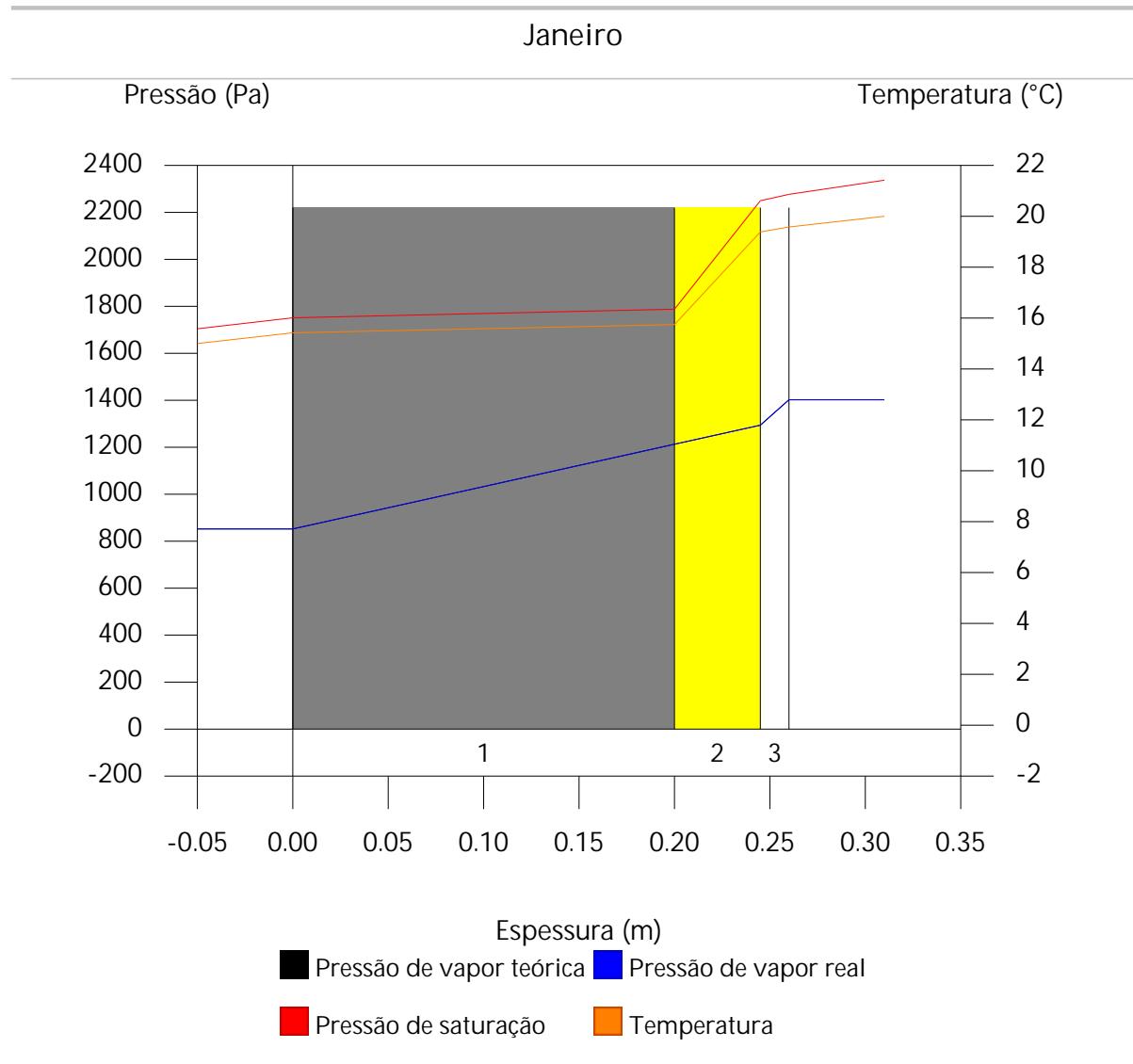
g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 1.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 1.4. Betão armado + Poliestireno extrudido (XPS)

#### 1.4.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 1.4.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.846 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.614 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 1.4.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

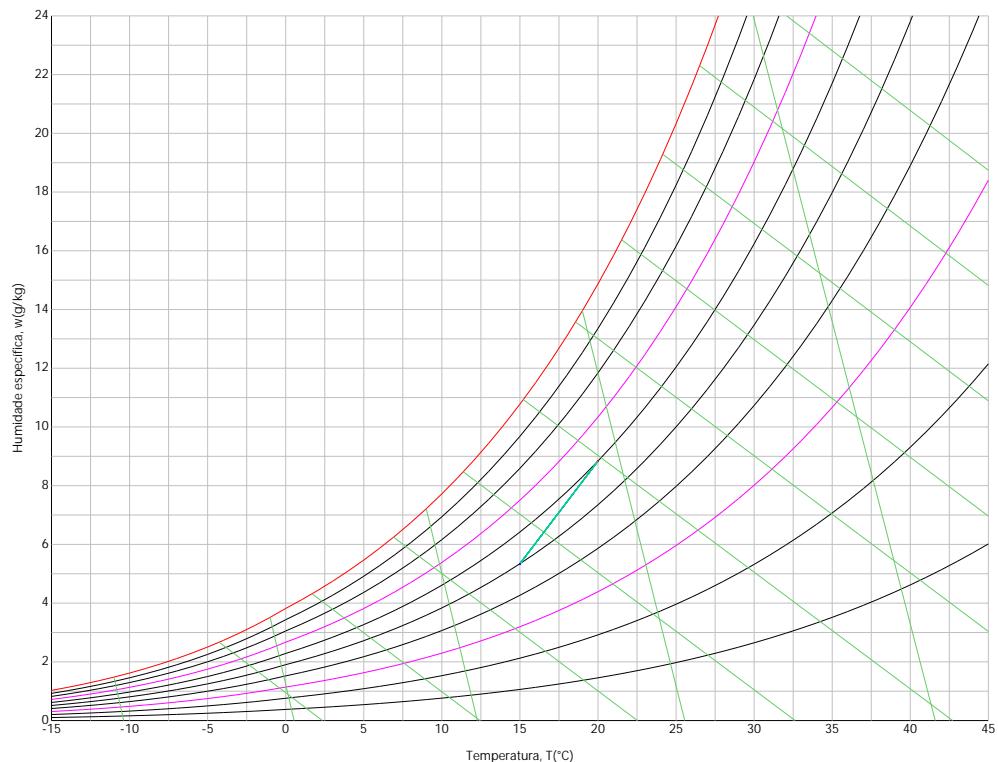
#### 1.4.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

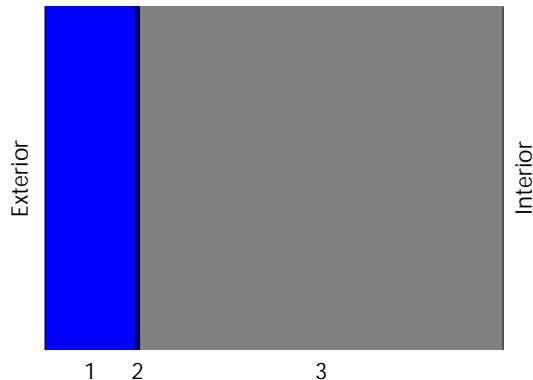
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 1.4.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

		e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
	R <sub>se</sub>			0.00		
1	Poliestireno extrudido (XPS)	5.0	0.037	1.35135	1	0.05
2	Filme de polietileno	0.2	0.330	0.00606	100000	200
3	Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
	R <sub>si</sub>			0.17		

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>.K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>.K/W.

R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>.K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	25.2
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	1.6274
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	200.25
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.614
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.846

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.614 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 1.4.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.846 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.4.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Betão armado + Poliestireno extrudido (XPS)	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Interface 1-2	19.15	2217.040	852.341	38.4	--	--
Interface 2-3	19.17	2219.614	1401.621	63.1	--	--
Face interior	19.48	2262.457	1402.171	62.0	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

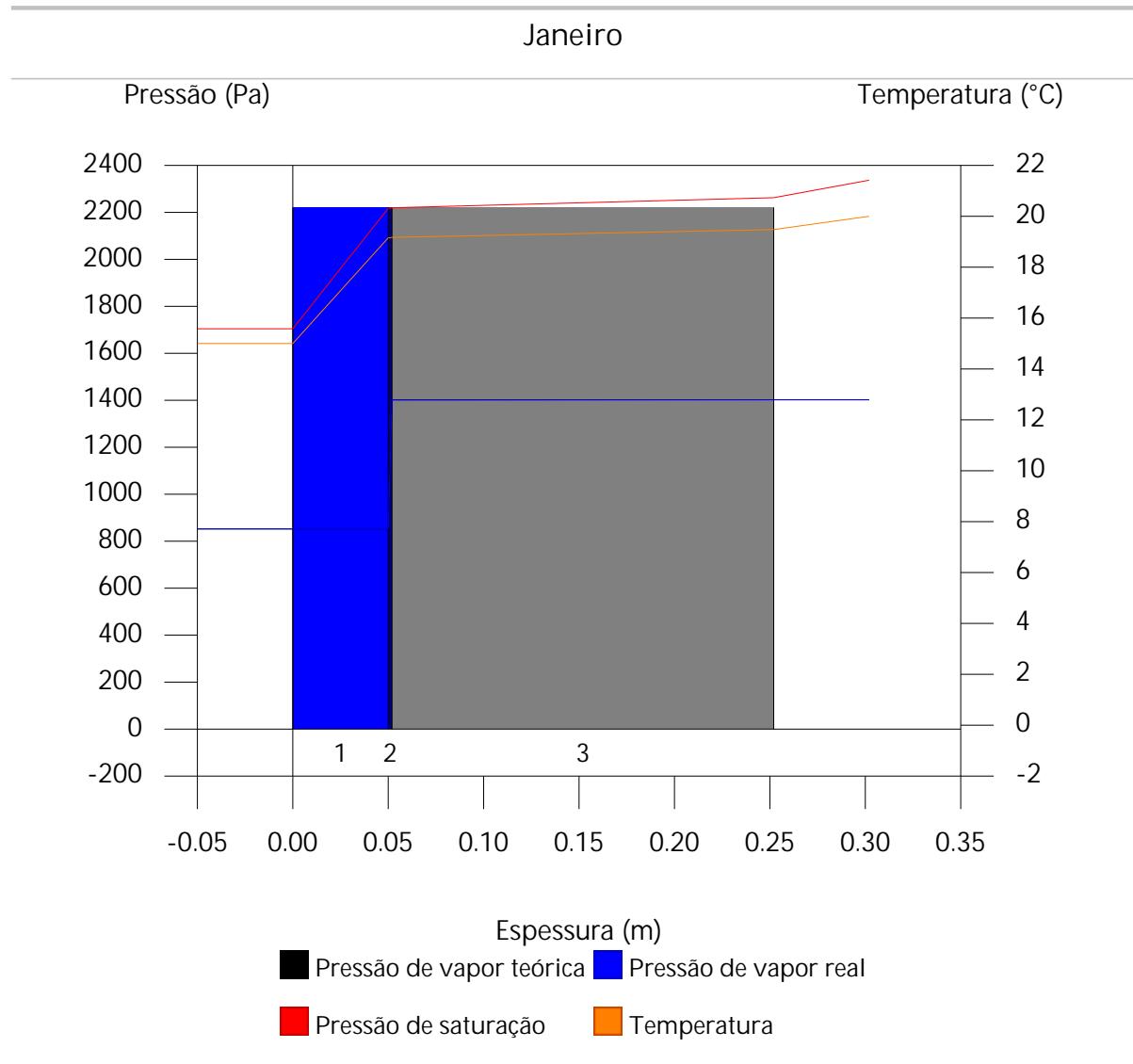
g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 1.4.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 2. PISO 1

#### 2.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque

##### 2.1.1. Resultados do cálculo de condensações

###### 2.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.888 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W/m}^2\text{-K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{-K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

###### 2.1.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

#### 2.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo

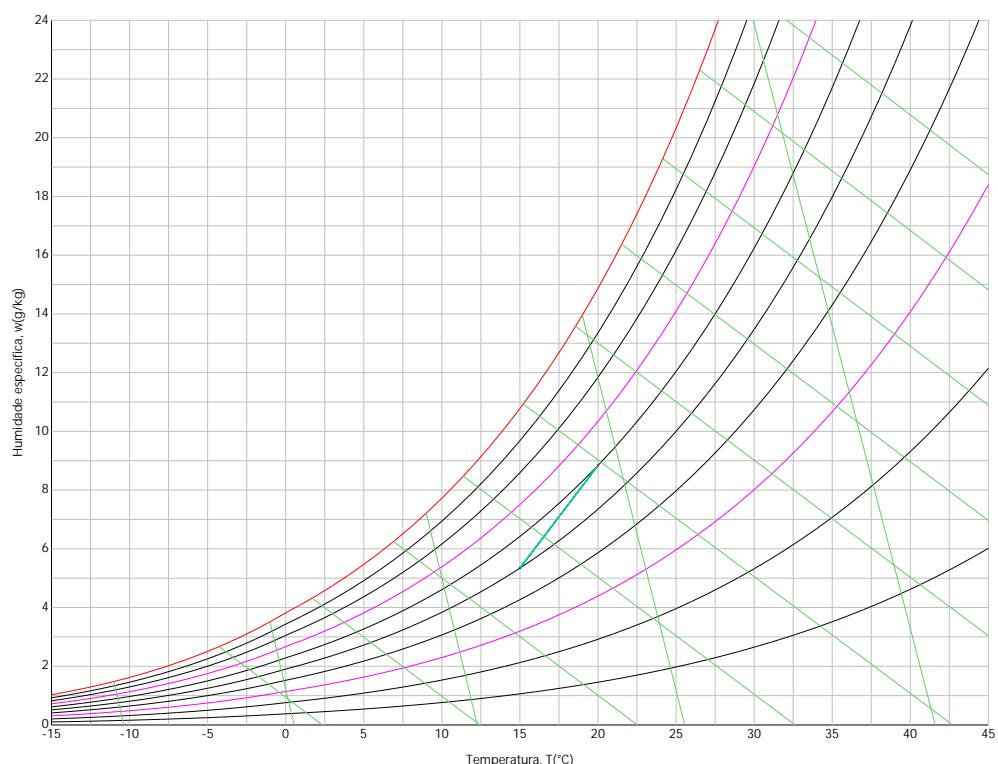
As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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

## Condensações

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

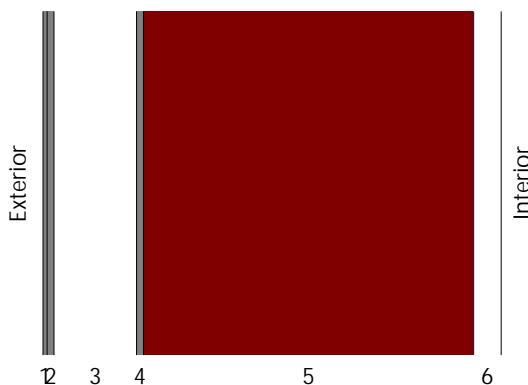
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 2.1.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$	0.04					
1	Argamassa decorativa	0.3	1.000	0.00300	10	0.03
2	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
3	Poliestireno expandido (EPS)	6.0	0.042	1.42857	20	1.2
4	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
5	Alvenaria de bloco de termoargila	24.0	0.421	0.57007	10	2.4
6	Estuque projectado	2.0	0.430	0.04651	1	0.02
$R_{si}$	0.13					

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

$m$ : Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	33.3
Resistência térmica total, $R_T$	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	2.2282
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	3.75
Transmitância térmica, U	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0.449
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.888

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

### 2.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

## Condensações

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{Rsi,\min}$  fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,\min}$ (°C)	$f_{Rsi,\min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

## Condensações

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.888 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 2.1.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.09	1714.281	852.204	49.7	--	--
Interface 1-2	15.10	1715.024	856.603	49.9	--	--
Interface 2-3	15.11	1716.262	863.936	50.3	--	--
Interface 3-4	18.31	2103.834	1039.926	49.4	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.315	1047.259	49.7	--	--
Interface 5-6	19.60	2280.264	1399.238	61.4	--	--
Face interior	19.71	2295.084	1402.171	61.1	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0	--	--

onde:

## Condensações

q: Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

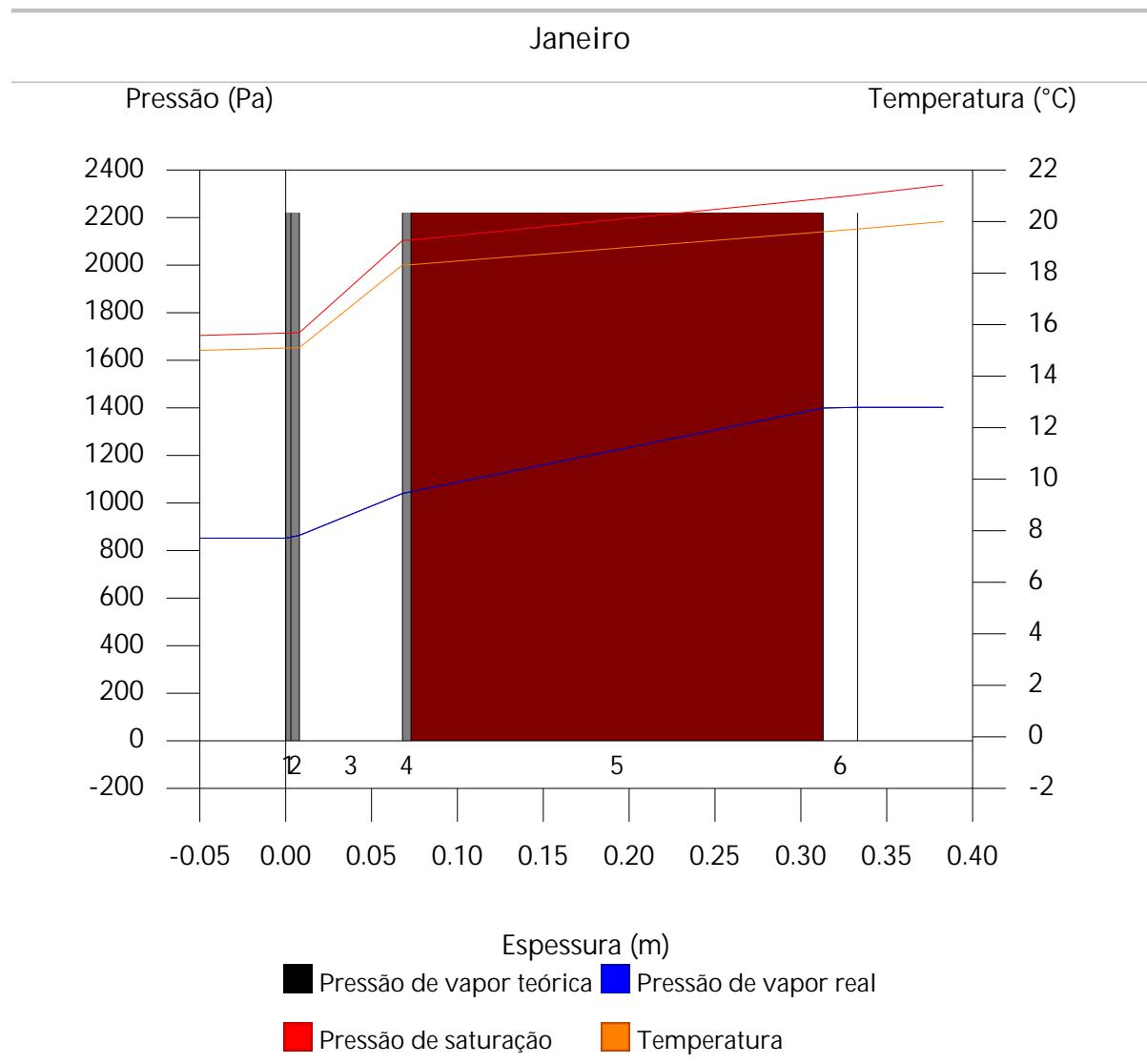
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Condensações

### 2.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 2.2. Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque

#### 2.2.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 2.2.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.892 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.431 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 2.2.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

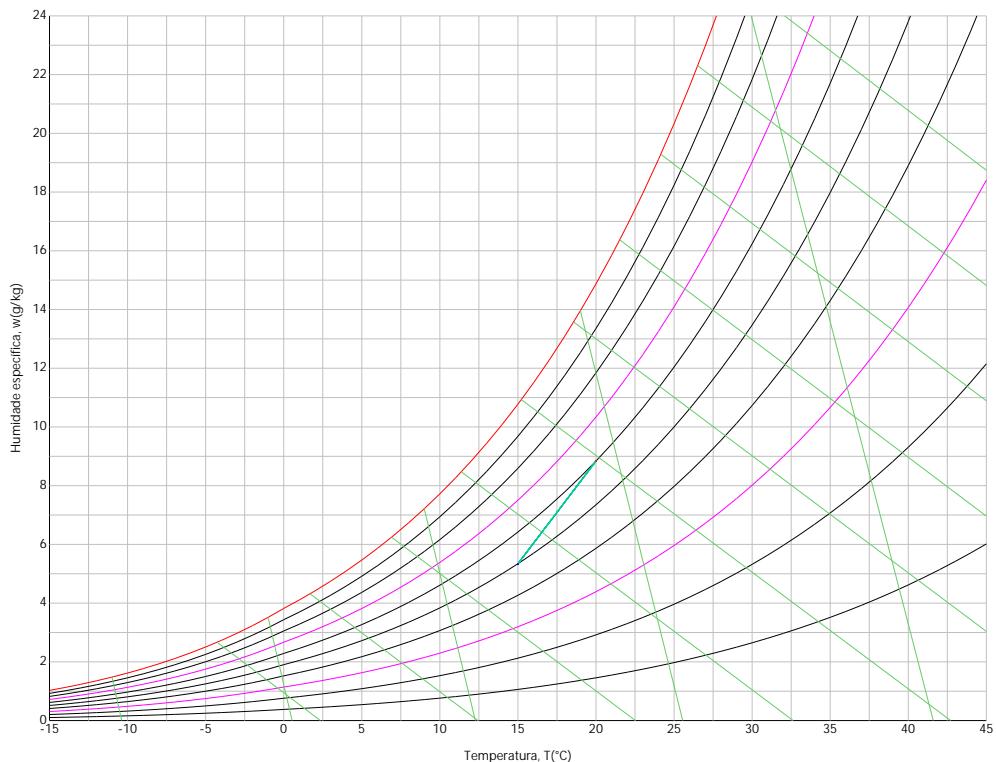
#### 2.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

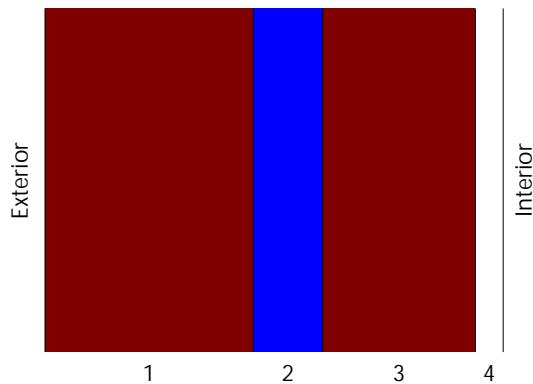
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 2.2.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

		e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$	0.13					
1 Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15.0	0.385	0.38961	1	0.15	
2 Poliestireno extrudido (XPS)	5.0	0.037	1.35135	1	0.05	
3 Tijolo cerâmico furado (11 cm)	11.0	0.407	0.27027	1	0.11	
4 Estuque projectado	2.0	0.430	0.04651	1	0.02	
$R_{si}$	0.13					

onde:

e: Espessura, cm.

I : Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	33.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	2.3177
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.33
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.431
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.892

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.431 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 2.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.892 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 2.2.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque	q (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	j (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.28	1735.424	852.204	49.1	--	--
Interface 1-2	16.12	1831.364	1102.189	60.2	--	--
Interface 2-3	19.04	2201.112	1185.517	53.9	--	--
Interface 3-4	19.62	2282.433	1368.839	60.0	--	--
Face interior	19.72	2296.690	1402.171	61.1	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

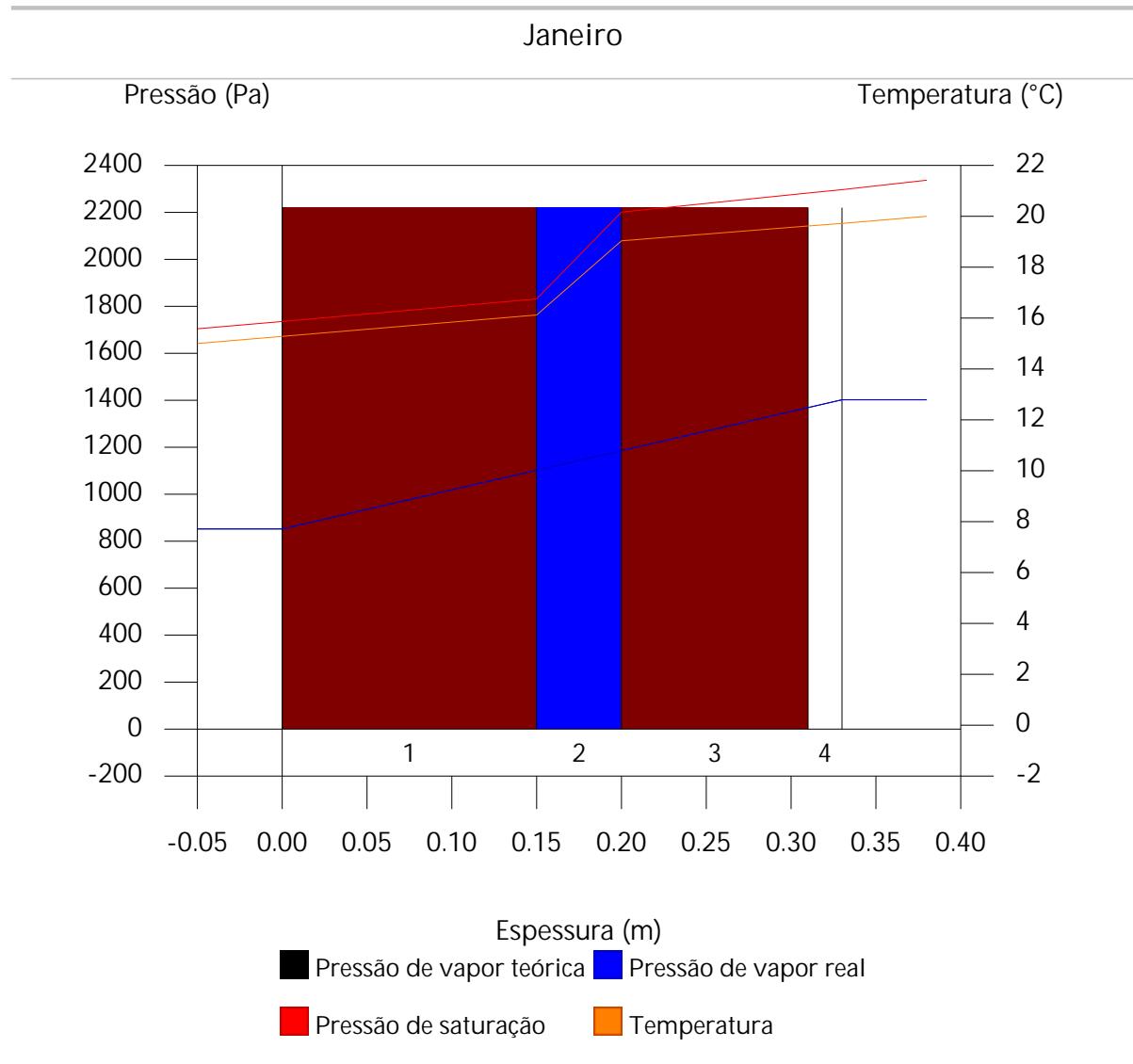
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 2.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 2.3. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso

#### 2.3.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 2.3.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.838 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 2.3.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

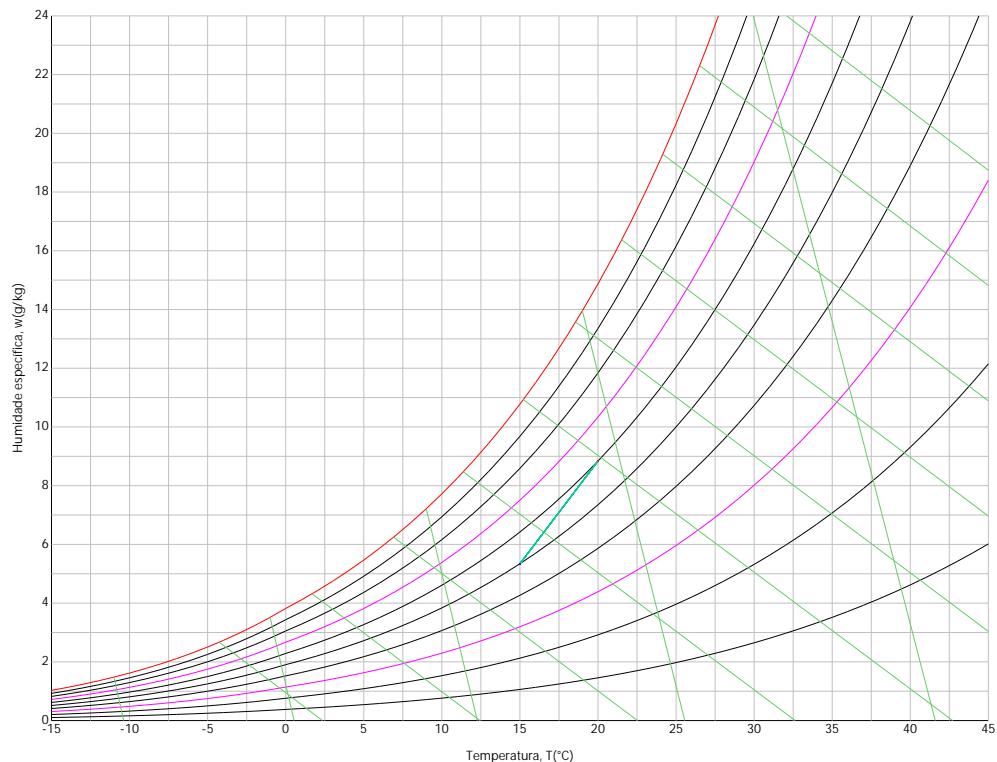
#### 2.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

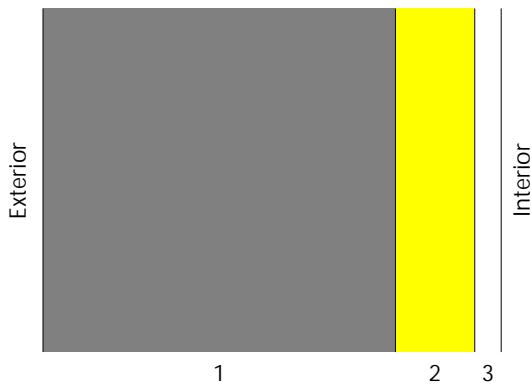
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 2.3.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
<b>R<sub>se</sub></b>	0.13				
1 Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
2 Lã de rocha (MW)	4.5	0.040	1.12500	1	0.045
3 Placa de gesso laminado	1.5	0.250	0.06000	4	0.06
<b>R<sub>si</sub></b>	0.13				

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	26.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	1.5450
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.30
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.647
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.838

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 2.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.838 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 2.3.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.42	1751.122	852.204	48.7	--	--
Interface 1-2	15.74	1787.816	1212.838	67.8	--	--
Interface 2-3	19.39	2249.471	1293.980	57.5	--	--
Face interior	19.58	2276.781	1402.171	61.6	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

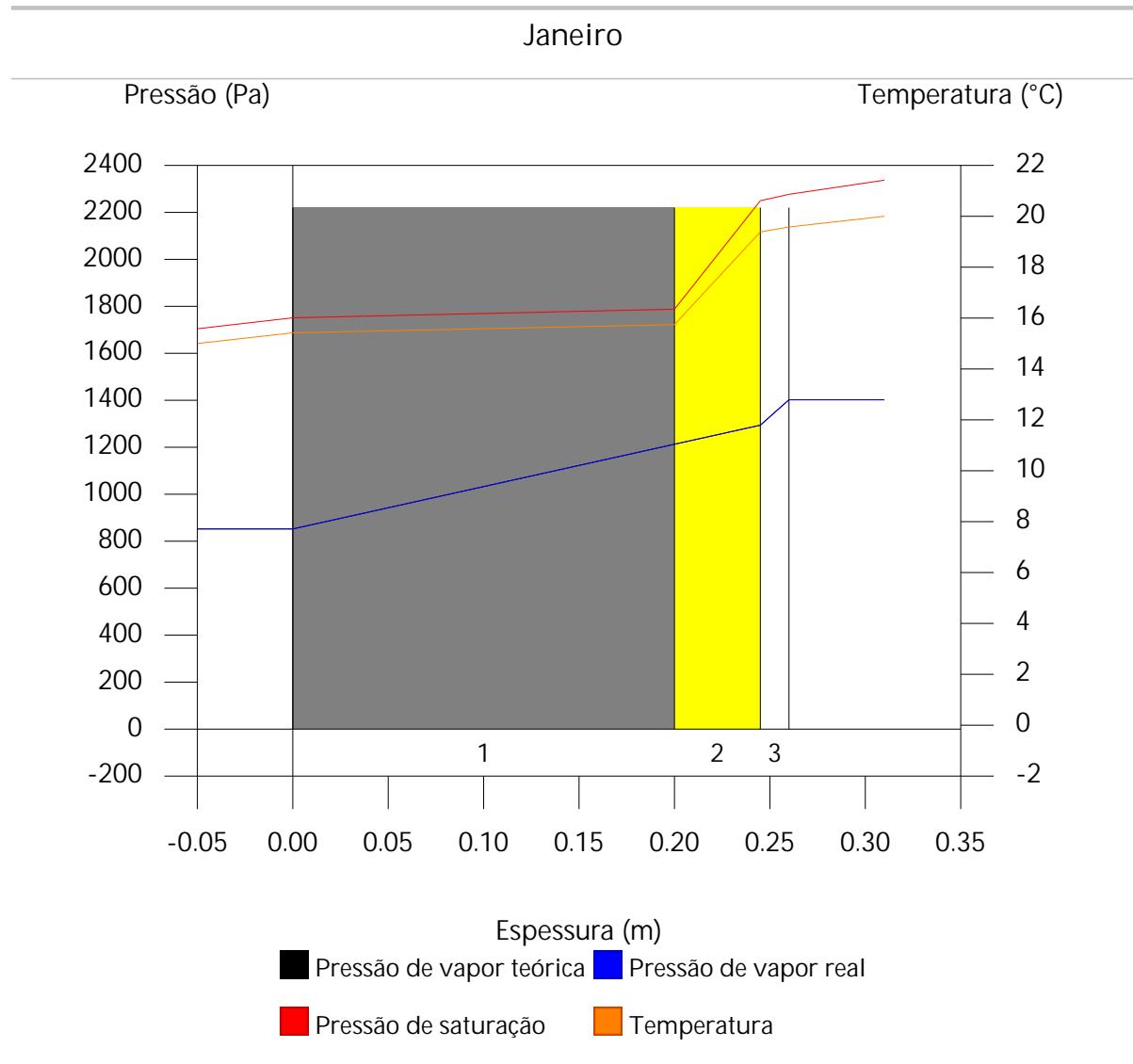
g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 2.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 3. PISO 2

#### 3.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque

##### 3.1.1. Resultados do cálculo de condensações

###### 3.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.888 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W/m}^2\text{-K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{-K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

###### 3.1.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

#### 3.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo

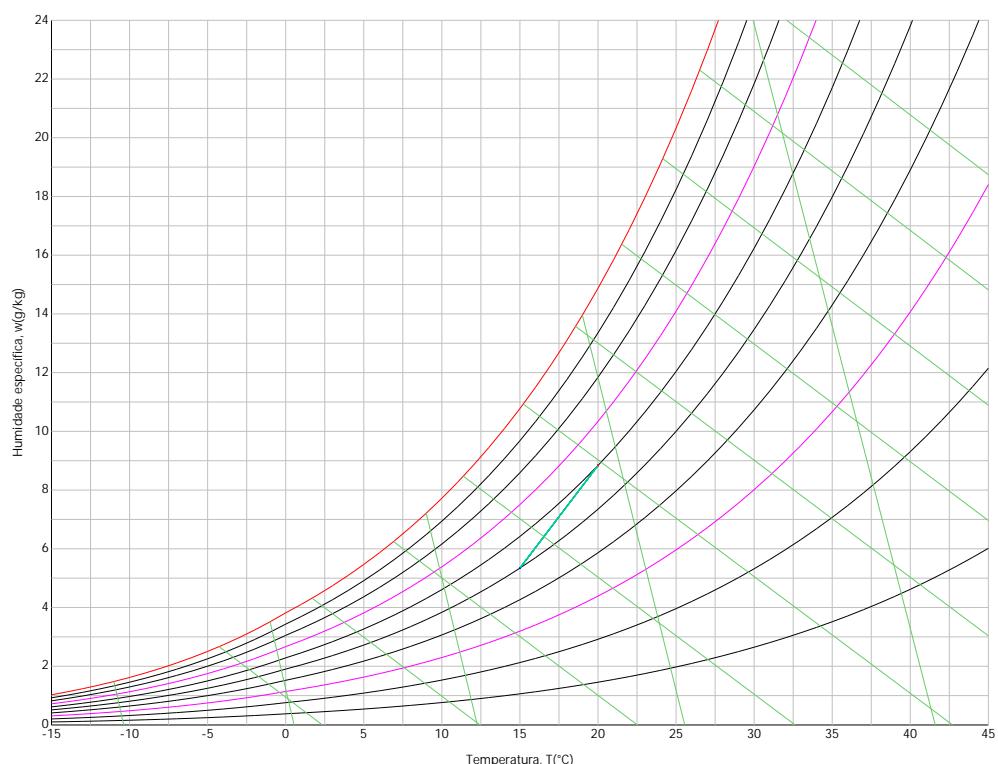
As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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

## Condensações

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

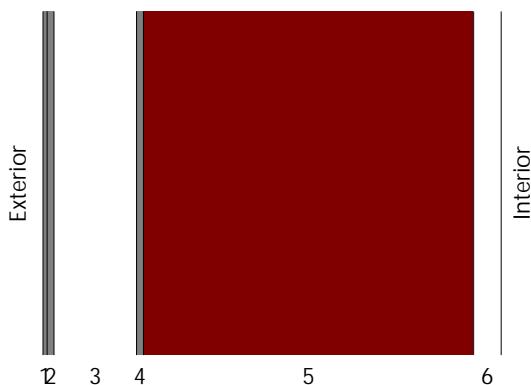
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 3.1.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque		e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$						0.04
1	Argamassa decorativa	0.3	1.000	0.00300	10	0.03
2	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
3	Poliestireno expandido (EPS)	6.0	0.042	1.42857	20	1.2
4	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
5	Alvenaria de bloco de termoargila	24.0	0.421	0.57007	10	2.4
6	Estuque projectado	2.0	0.430	0.04651	1	0.02
$R_{si}$						0.13

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

$m$ : Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	33.3
Resistência térmica total, $R_T$	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	2.2282
Espessura de ar equivalente total, $S_{dT}$	m	3.75
Transmitância térmica, U	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0.449
Factor de resistência superficial interior, $f_{RSi}$	--	0.888

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$S_{dT}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

$f_{RSi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

### 3.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

## Condensações

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{Rsi,\min}$  fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,\min}$ (°C)	$f_{Rsi,\min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

## Condensações

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.888 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 3.1.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.09	1714.281	852.204	49.7	--	--
Interface 1-2	15.10	1715.024	856.603	49.9	--	--
Interface 2-3	15.11	1716.262	863.936	50.3	--	--
Interface 3-4	18.31	2103.834	1039.926	49.4	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.315	1047.259	49.7	--	--
Interface 5-6	19.60	2280.264	1399.238	61.4	--	--
Face interior	19.71	2295.084	1402.171	61.1	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0	--	--

onde:

## Condensações

q: Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

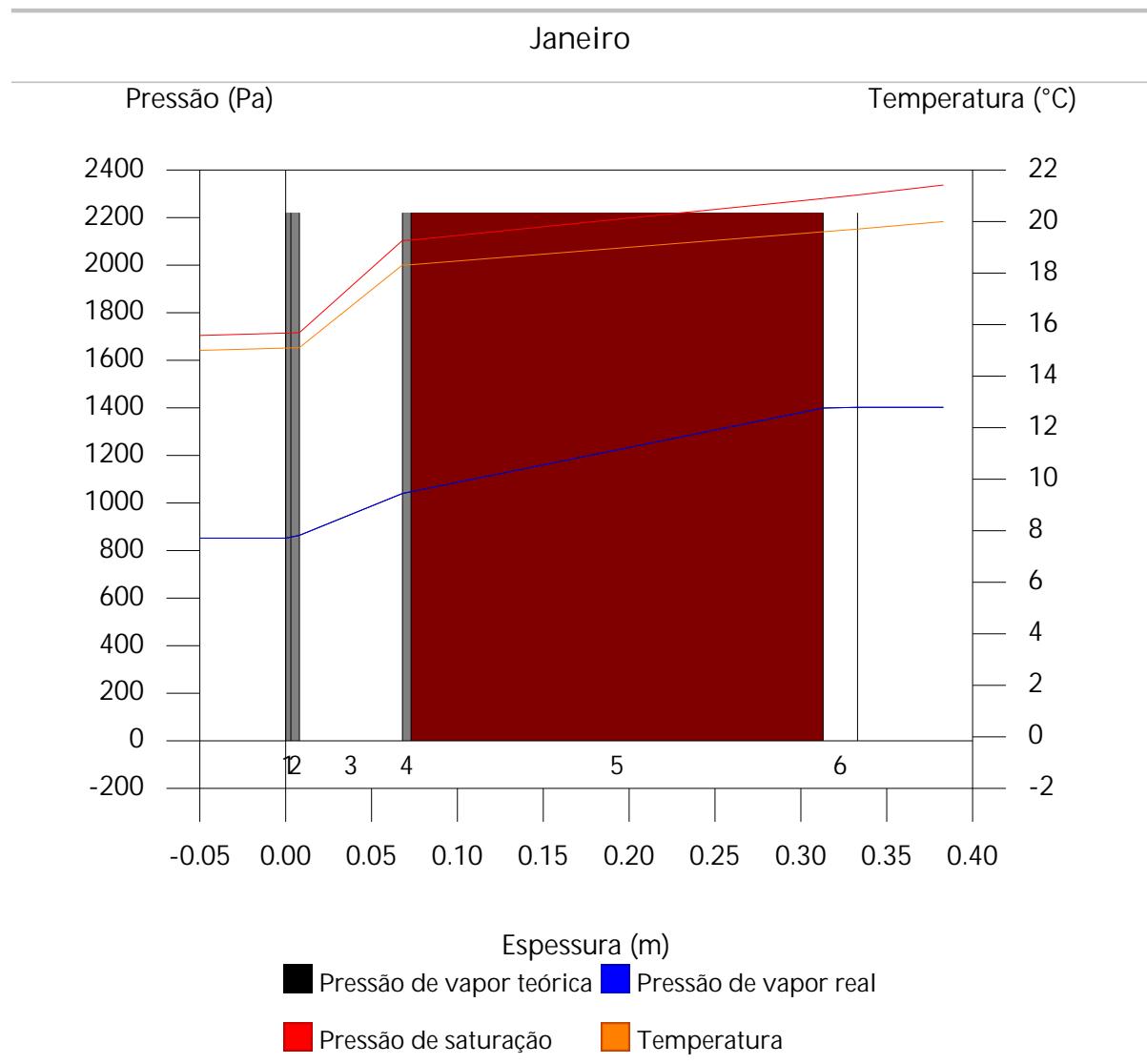
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Condensações

### 3.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 3.2. Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque

#### 3.2.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 3.2.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.892 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.431 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 3.2.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

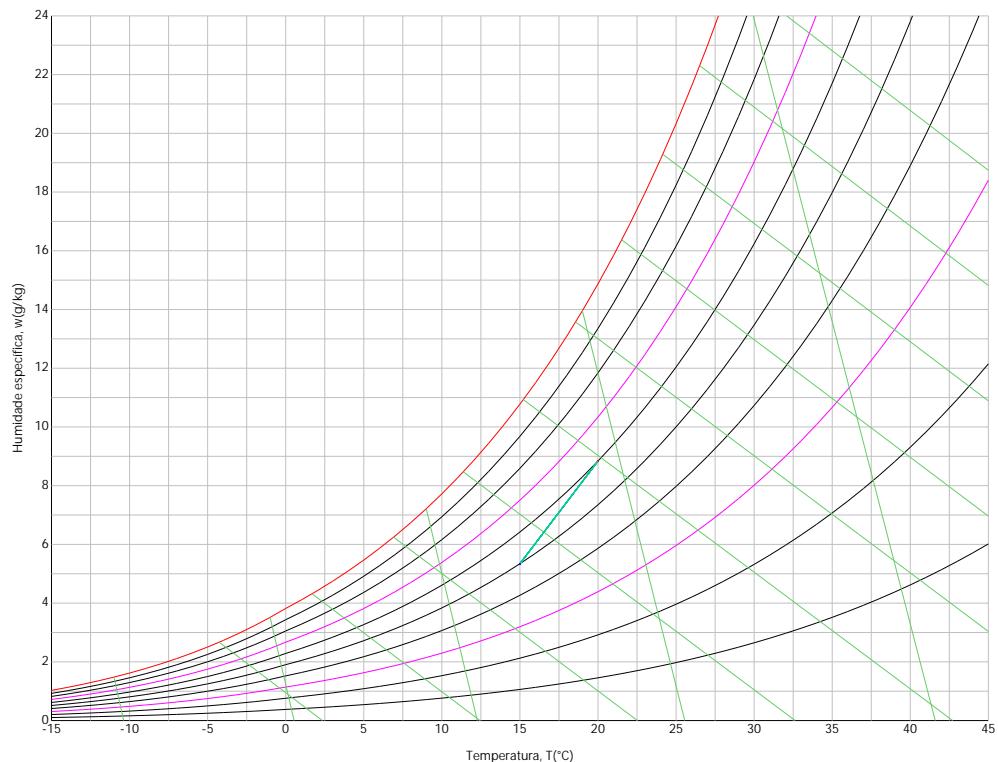
#### 3.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

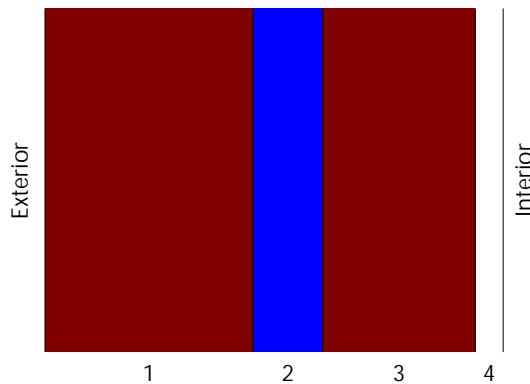
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 3.2.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$	0.13				
1 Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15.0	0.385	0.38961	1	0.15
2 Poliestireno extrudido (XPS)	5.0	0.037	1.35135	1	0.05
3 Tijolo cerâmico furado (11 cm)	11.0	0.407	0.27027	1	0.11
4 Estuque projectado	2.0	0.430	0.04651	1	0.02
$R_{si}$	0.13				

onde:

e: Espessura, cm.

I : Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	33.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	2.3177
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.33
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.431
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.892

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.431 W/m^2 \cdot K$  e  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

### 3.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.892 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 3.2.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque	q (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	j (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.28	1735.424	852.204	49.1	--	--
Interface 1-2	16.12	1831.364	1102.189	60.2	--	--
Interface 2-3	19.04	2201.112	1185.517	53.9	--	--
Interface 3-4	19.62	2282.433	1368.839	60.0	--	--
Face interior	19.72	2296.690	1402.171	61.1	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

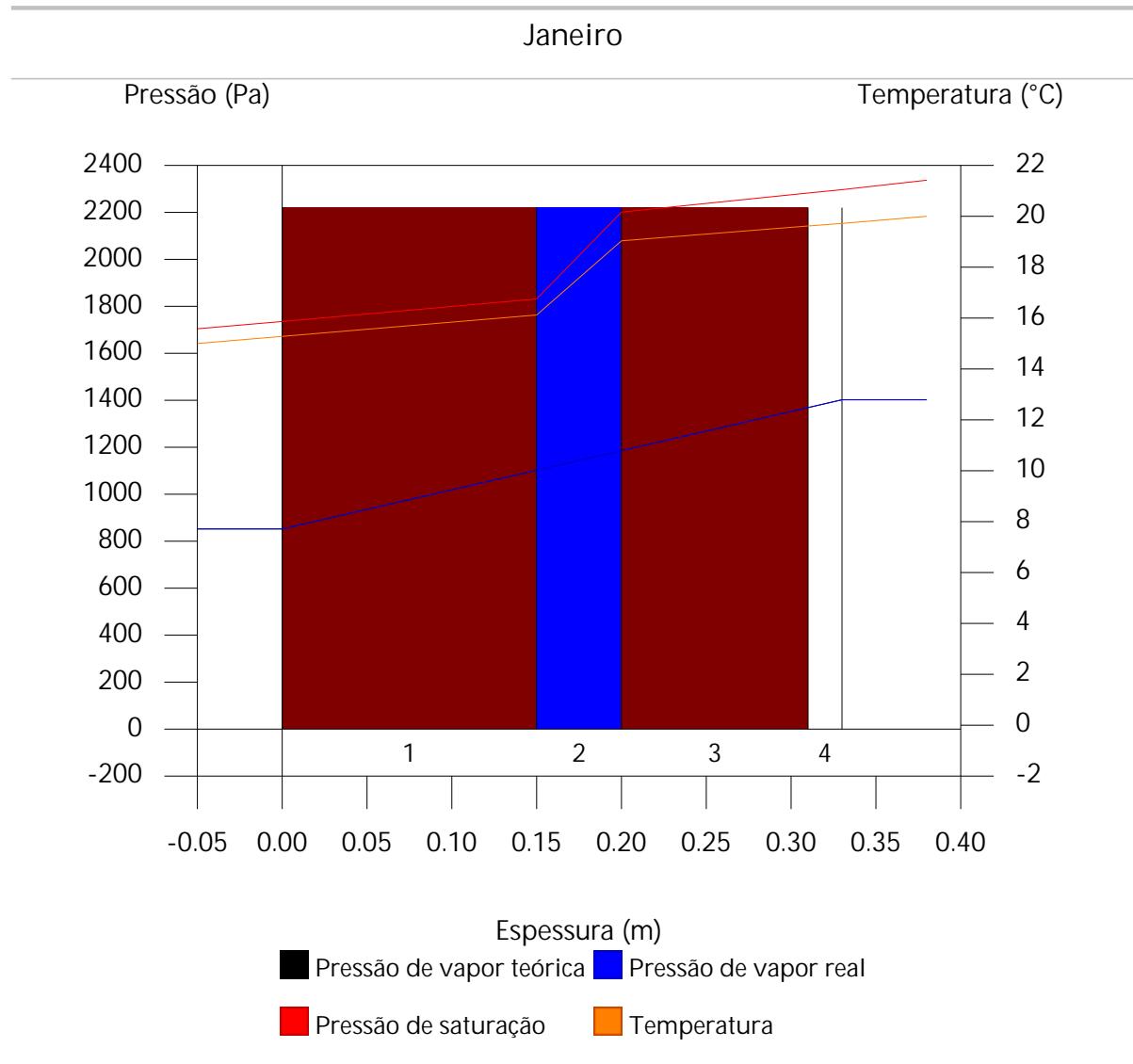
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 3.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 3.3. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso

#### 3.3.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 3.3.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.838 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 3.3.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

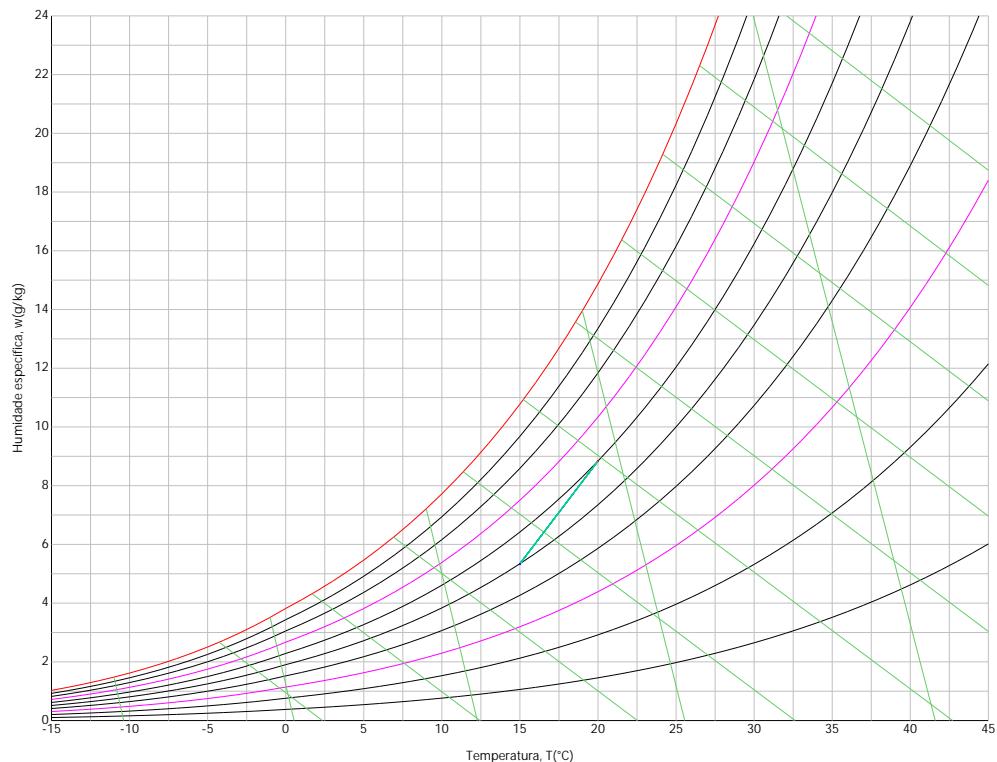
#### 3.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

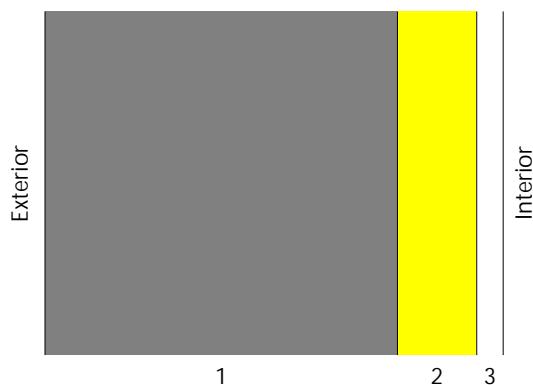
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 3.3.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$	0.13				
1 Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
2 Lã de rocha (MW)	4.5	0.040	1.12500	1	0.045
3 Placa de gesso laminado	1.5	0.250	0.06000	4	0.06
$R_{si}$	0.13				

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	26.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	1.5450
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.30
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.647
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.838

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 3.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.838 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 3.3.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.42	1751.122	852.204	48.7	--	--
Interface 1-2	15.74	1787.816	1212.838	67.8	--	--
Interface 2-3	19.39	2249.471	1293.980	57.5	--	--
Face interior	19.58	2276.781	1402.171	61.6	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

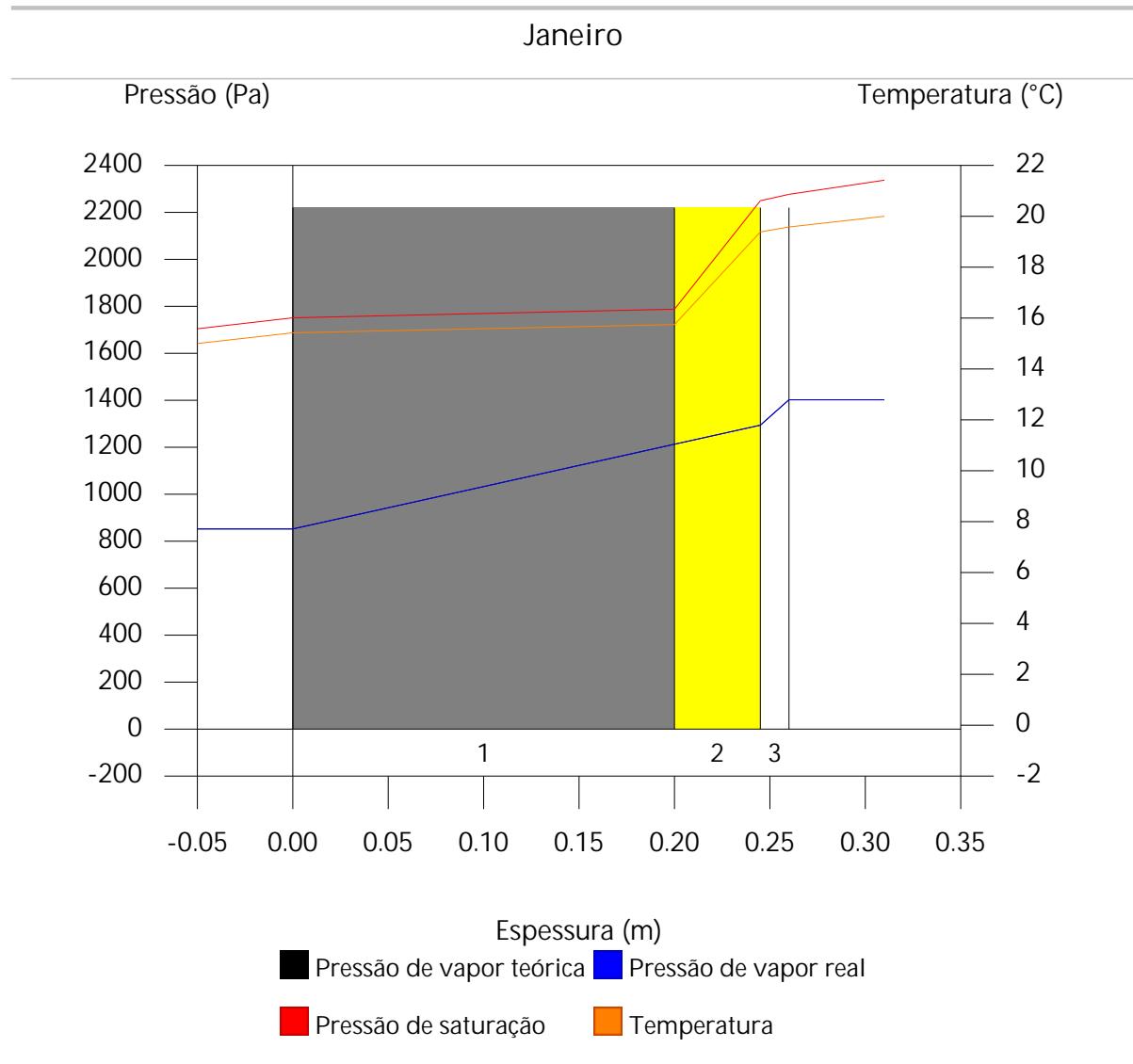
g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 3.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 3.4. Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Teto falso)

#### 3.4.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 3.4.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.916 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.336 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

##### 3.4.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

#### 3.4.2. Condições higrotérmicas de cálculo

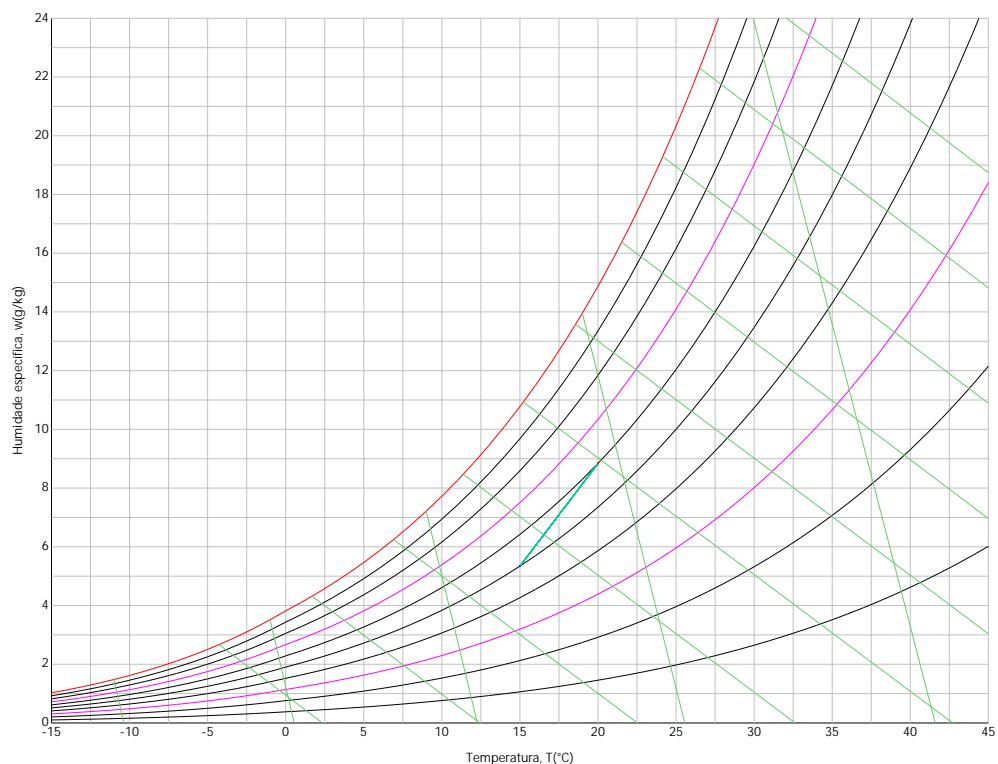
As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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

## Condensações

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

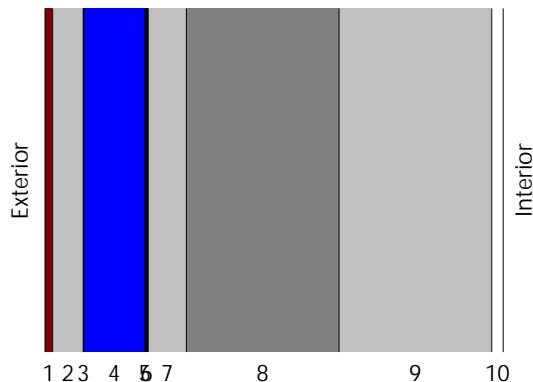
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 3.4.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Teto falso)		e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$		0.04				
1	Pavimento grés rústico	1.0	2300.000	0.00000	30	0.3
2	Argamassa de cimento	4.0	1.350	0.02963	1	0.04
3	Geotêxtil de poliéster	0.1	0.038	0.02105	1	0.0008
4	Poliestireno extrudido (XPS)	8.0	0.037	2.16216	1	0.08
5	Geotêxtil de poliéster	0.1	0.038	0.02105	1	0.0008
6	Impermeabilização asfáltica monocamada colada	0.4	0.230	0.01565	50000	180
7	Formação de pendentes com argila expandida descarregada a seco	5.0	0.190	0.26316	4	0.2
8	Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
9	Caixa de ar	20.0		0.16000		0.01
10	Placa de gesso laminado	1.5	0.250	0.06000	4	0.06
$R_{si}$		0.10				

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

## Condensações

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	60.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	2.9727
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	180.89
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.336
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.916

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.336 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 3.4.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_R$

$si,\min$

## Condensações

fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,mín}$ (°C)	$f_{Rsi,mín}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

## Condensações

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.916 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 3.4.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

#### Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Teto falso)	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.07	1711.803	852.204	49.8	--	--
Interface 1-2	15.07	1711.804	853.116	49.8	--	--
Interface 2-3	15.12	1717.301	853.237	49.7	--	--
Interface 3-4	15.15	1721.216	853.240	49.6	--	--
Interface 4-5	18.79	2167.439	853.483	39.4	--	--
Interface 5-6	18.82	2172.239	853.485	39.3	--	--
Interface 6-7	18.85	2175.814	1400.742	64.4	--	--
Interface 7-8	19.29	2236.695	1401.350	62.7	--	--
Interface 8-9	19.46	2260.218	1401.958	62.0	--	--
Interface 9-10	19.73	2298.305	1401.988	61.0	--	--
Face interior	19.83	2312.731	1402.171	60.6	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

## Condensações

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

$j$  : Humidade relativa, %.

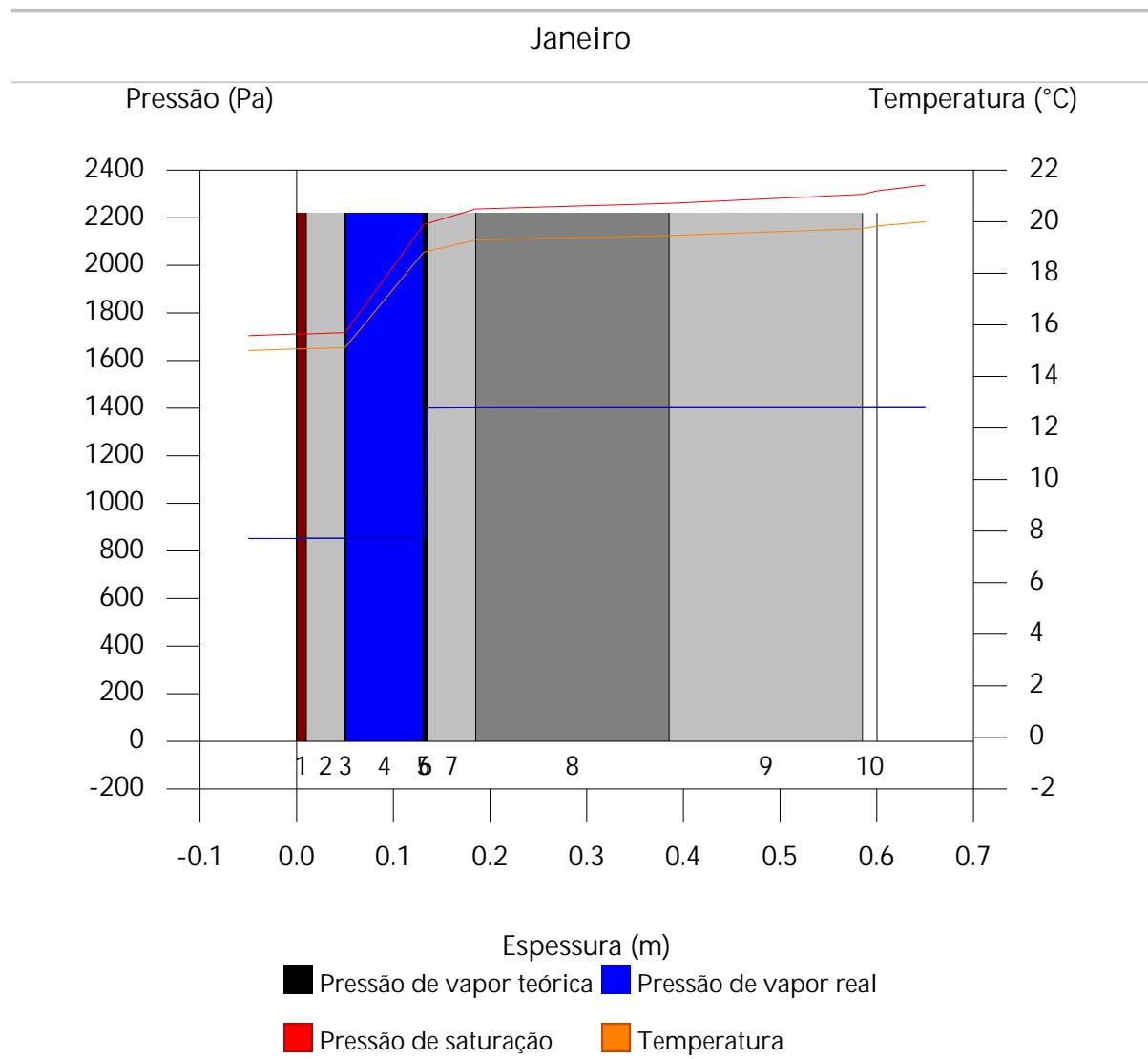
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Condensações

### 3.4.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 4. PISO 3

#### 4.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque

##### 4.1.1. Resultados do cálculo de condensações

###### 4.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.888 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W/m}^2\text{-K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{-K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

###### 4.1.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

#### 4.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo

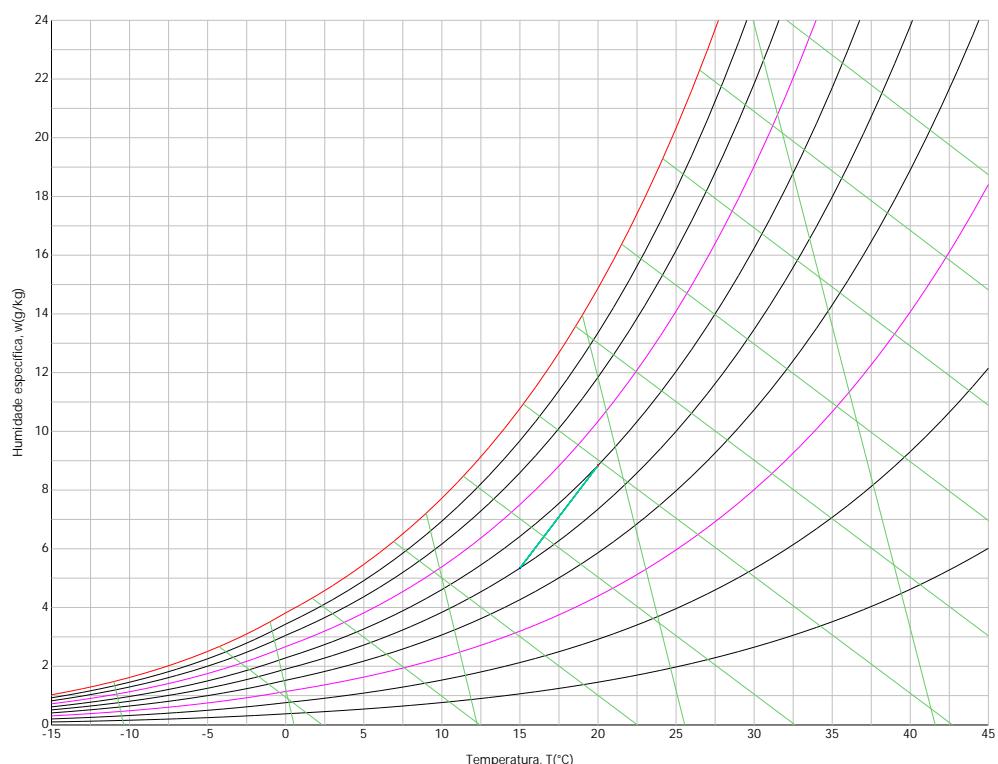
As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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

## Condensações

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

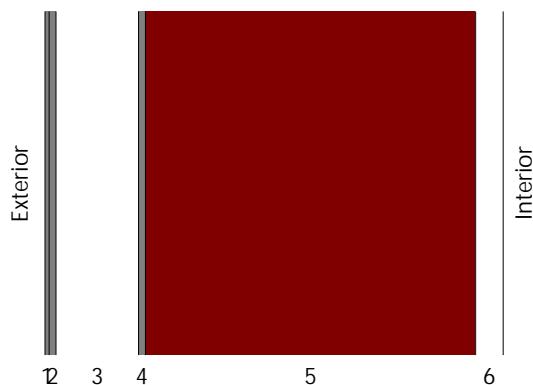
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 4.1.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$	0.04					
1	Argamassa decorativa	0.3	1.000	0.00300	10	0.03
2	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
3	Poliestireno expandido (EPS)	6.0	0.042	1.42857	20	1.2
4	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
5	Alvenaria de bloco de termoargila	24.0	0.421	0.57007	10	2.4
6	Estuque projectado	2.0	0.430	0.04651	1	0.02
$R_{si}$	0.13					

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

$m$ : Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	33.3
Resistência térmica total, $R_T$	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	2.2282
Espessura de ar equivalente total, $S_{dT}$	m	3.75
Transmitância térmica, U	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0.449
Factor de resistência superficial interior, $f_{RSi}$	--	0.888

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$S_{dT}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

$f_{RSi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

### 4.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

## Condensações

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{Rsi,\min}$  fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,\min}$ (°C)	$f_{Rsi,\min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

## Condensações

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.888 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 4.1.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.09	1714.281	852.204	49.7	--	--
Interface 1-2	15.10	1715.024	856.603	49.9	--	--
Interface 2-3	15.11	1716.262	863.936	50.3	--	--
Interface 3-4	18.31	2103.834	1039.926	49.4	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.315	1047.259	49.7	--	--
Interface 5-6	19.60	2280.264	1399.238	61.4	--	--
Face interior	19.71	2295.084	1402.171	61.1	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0	--	--

onde:

## Condensações

q: Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

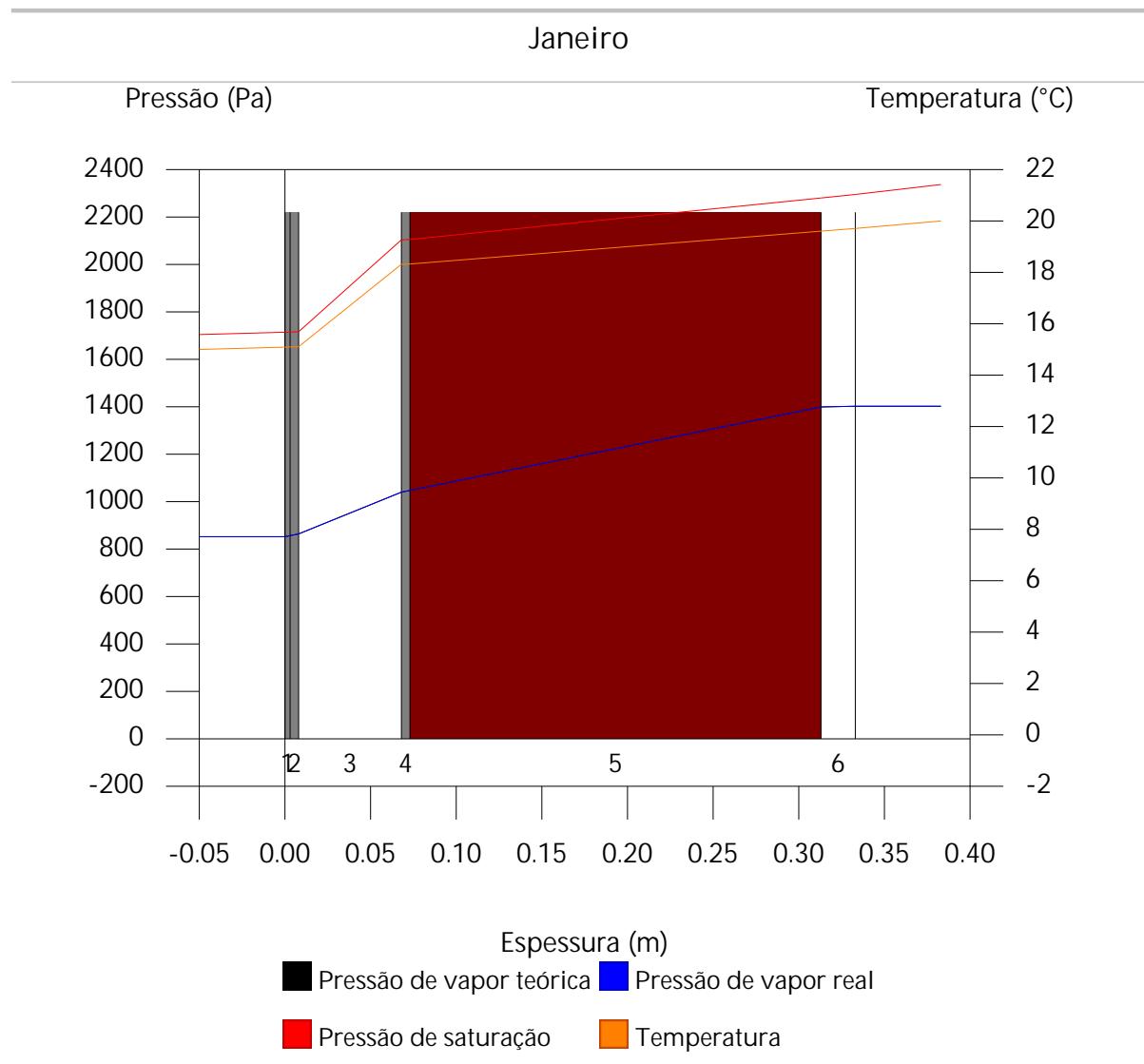
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Condensações

### 4.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 4.2. Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque

#### 4.2.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 4.2.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.892 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.431 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 4.2.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

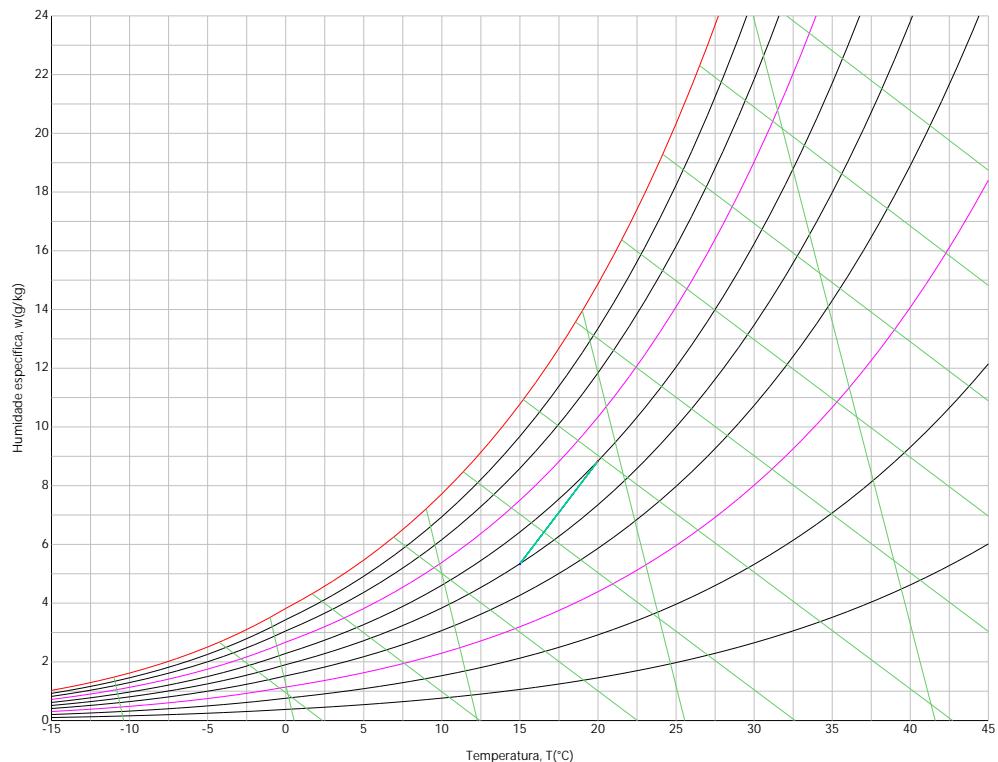
#### 4.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

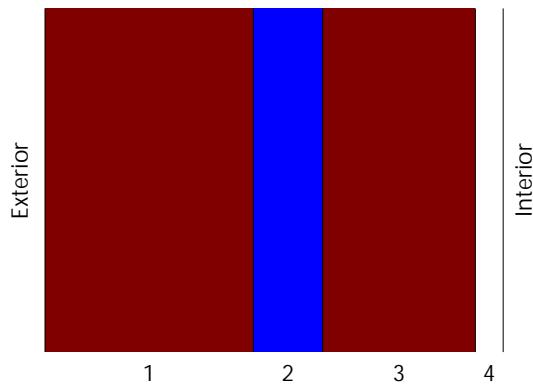
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 4.2.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$	0.13				
1 Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15.0	0.385	0.38961	1	0.15
2 Poliestireno extrudido (XPS)	5.0	0.037	1.35135	1	0.05
3 Tijolo cerâmico furado (11 cm)	11.0	0.407	0.27027	1	0.11
4 Estuque projectado	2.0	0.430	0.04651	1	0.02
$R_{si}$	0.13				

onde:

e: Espessura, cm.

I : Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	33.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	2.3177
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.33
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.431
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.892

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.431 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 4.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.892 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 4.2.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Tijolo furado (15) + XPS (5) + Tijolo furado (11) + Estuque	q (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	j (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.28	1735.424	852.204	49.1	--	--
Interface 1-2	16.12	1831.364	1102.189	60.2	--	--
Interface 2-3	19.04	2201.112	1185.517	53.9	--	--
Interface 3-4	19.62	2282.433	1368.839	60.0	--	--
Face interior	19.72	2296.690	1402.171	61.1	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

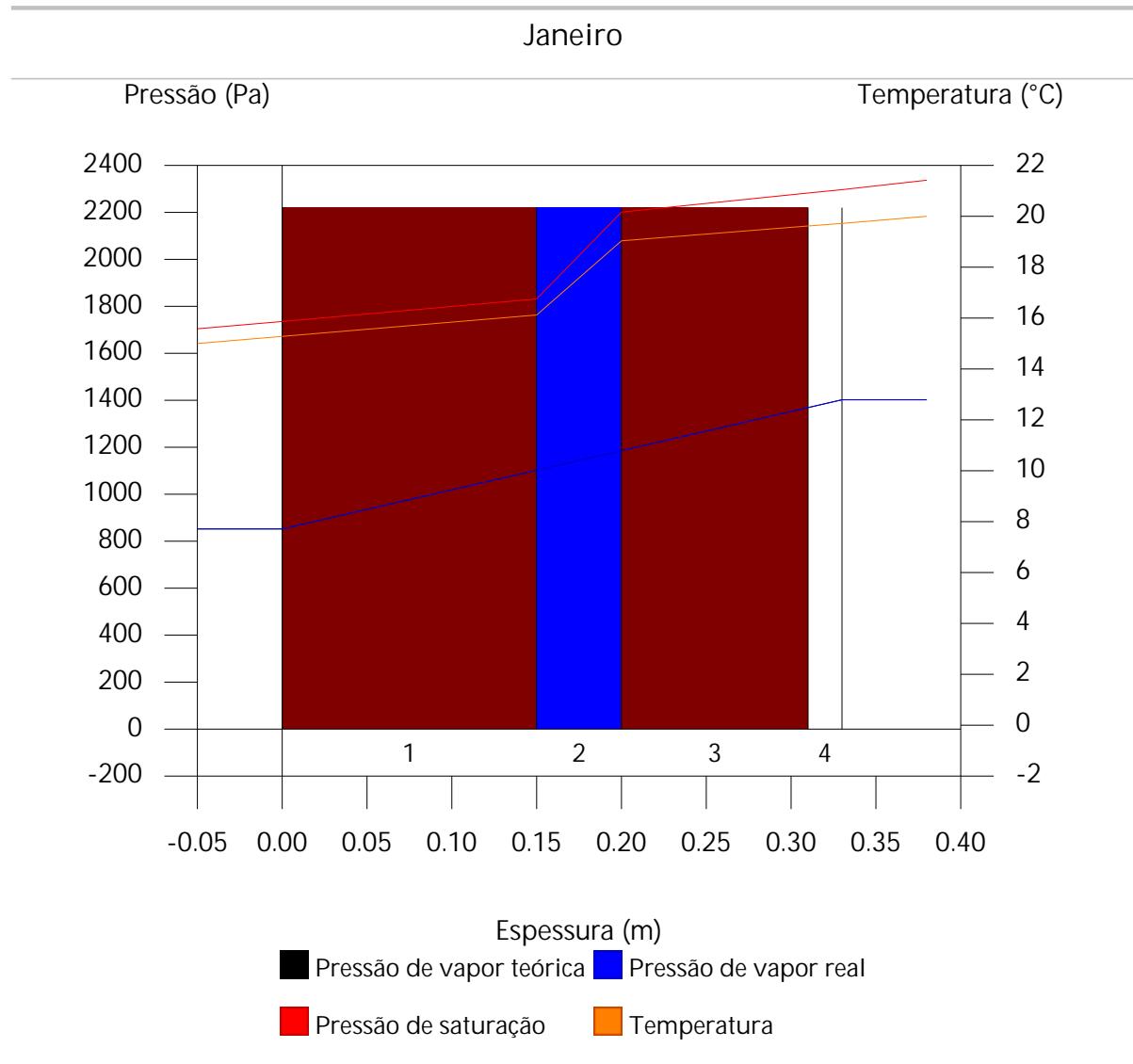
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de umidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 4.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 4.3. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso

#### 4.3.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 4.3.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.838 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 4.3.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

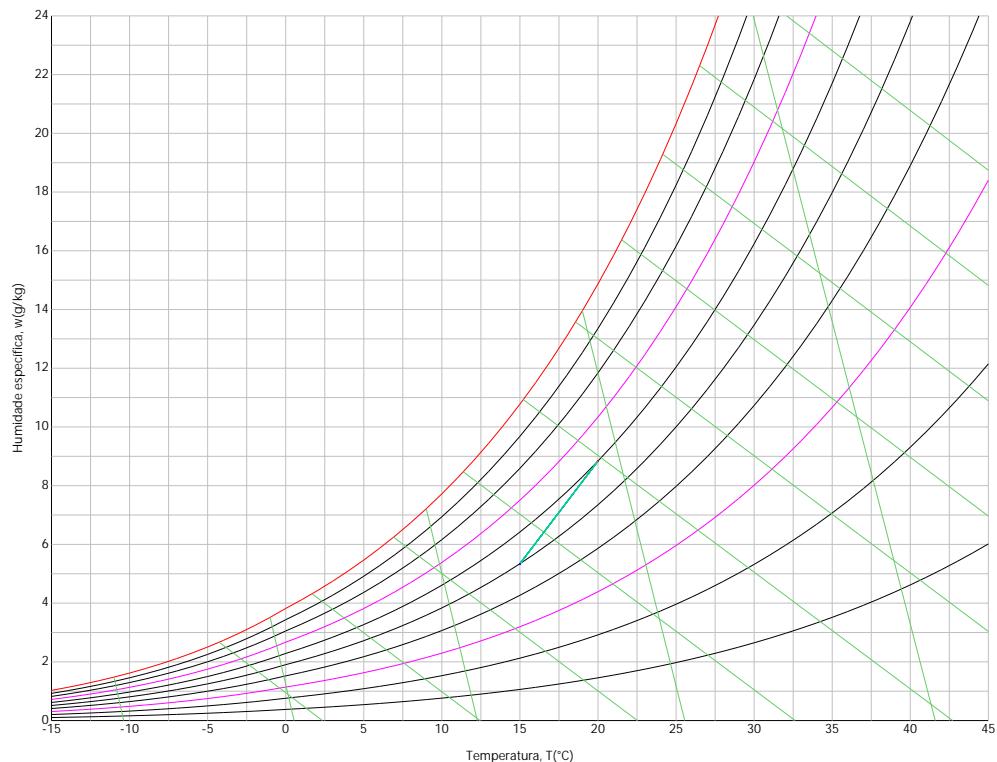
#### 4.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

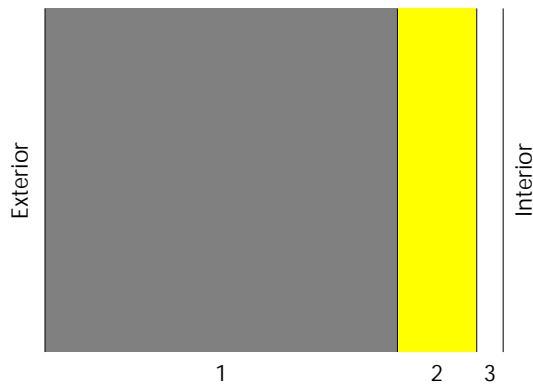
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 4.3.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
<b>R<sub>se</sub></b>	0.13				
1 Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
2 Lã de rocha (MW)	4.5	0.040	1.12500	1	0.045
3 Placa de gesso laminado	1.5	0.250	0.06000	4	0.06
<b>R<sub>si</sub></b>	0.13				

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	26.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	1.5450
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.30
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.647
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.838

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 4.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.838 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 4.3.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.42	1751.122	852.204	48.7	--	--
Interface 1-2	15.74	1787.816	1212.838	67.8	--	--
Interface 2-3	19.39	2249.471	1293.980	57.5	--	--
Face interior	19.58	2276.781	1402.171	61.6	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

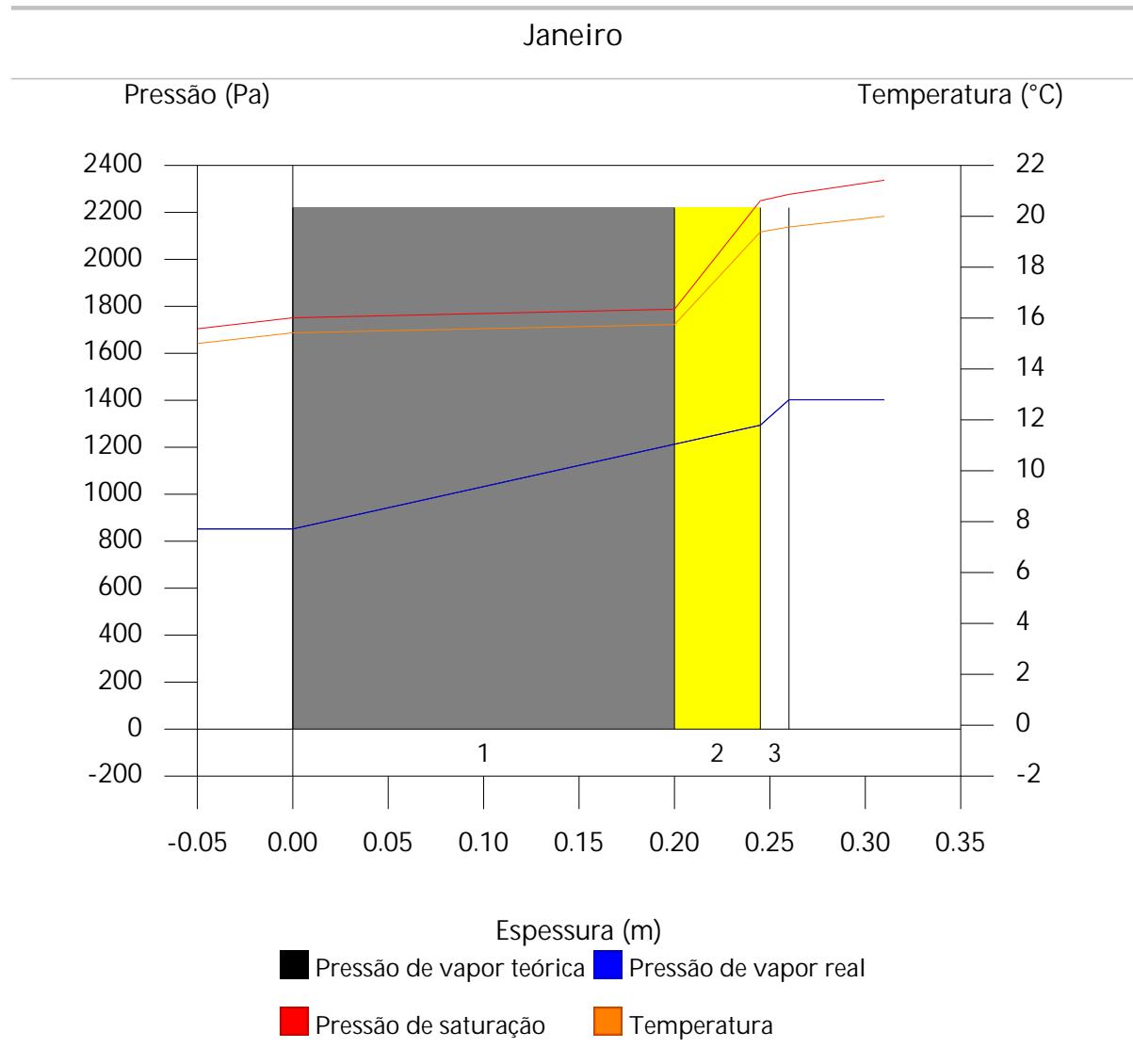
g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 4.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 4.4. Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Teto falso)

#### 4.4.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 4.4.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.916 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.336 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

##### 4.4.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

#### 4.4.2. Condições higrotérmicas de cálculo

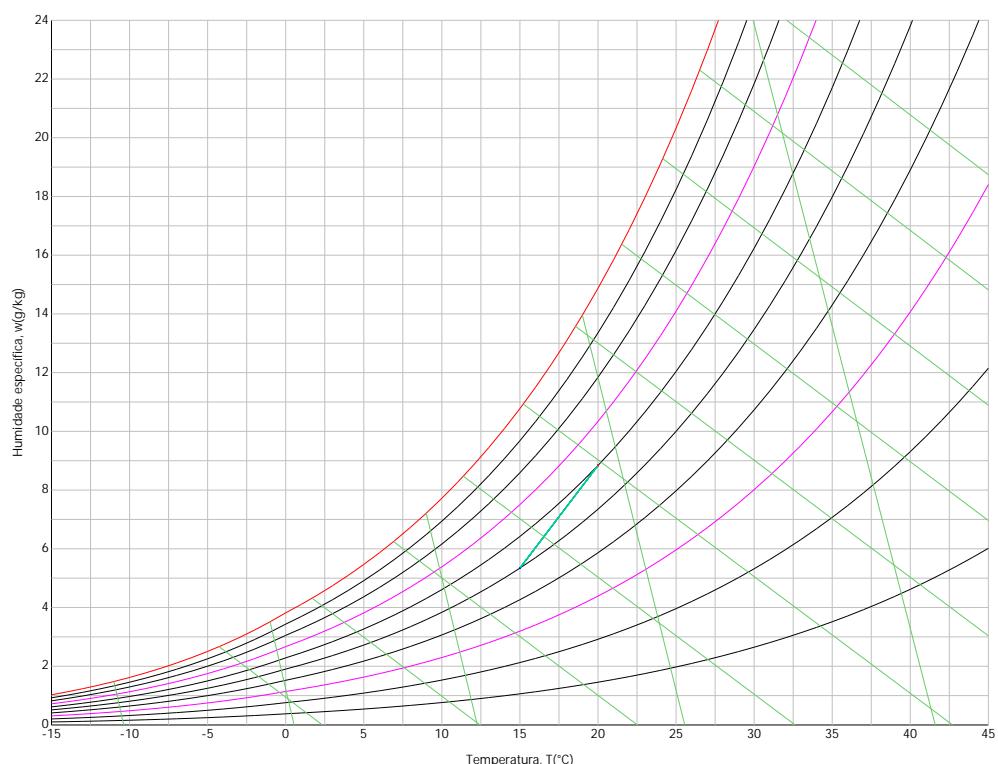
As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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

## Condensações

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

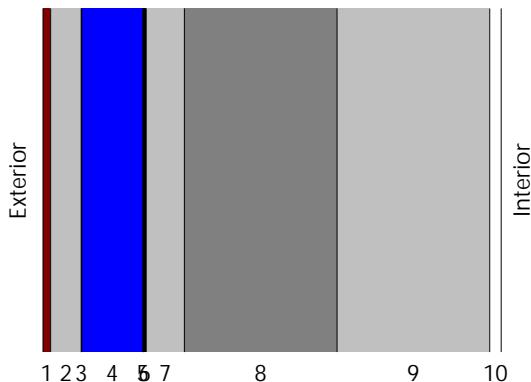
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 4.4.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Teto falso)		e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$		0.04				
1	Pavimento grés rústico	1.0	2300.000	0.00000	30	0.3
2	Argamassa de cimento	4.0	1.350	0.02963	1	0.04
3	Geotêxtil de poliéster	0.1	0.038	0.02105	1	0.0008
4	Poliestireno extrudido (XPS)	8.0	0.037	2.16216	1	0.08
5	Geotêxtil de poliéster	0.1	0.038	0.02105	1	0.0008
6	Impermeabilização asfáltica monocamada colada	0.4	0.230	0.01565	50000	180
7	Formação de pendentes com argila expandida descarregada a seco	5.0	0.190	0.26316	4	0.2
8	Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
9	Caixa de ar	20.0		0.16000		0.01
10	Placa de gesso laminado	1.5	0.250	0.06000	4	0.06
$R_{si}$		0.10				

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

## Condensações

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	60.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	2.9727
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	180.89
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.336
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.916

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.336 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 4.4.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_R$

$si,\min$

## Condensações

fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,mín}$ (°C)	$f_{Rsi,mín}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

## Condensações

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.916 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 4.4.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Teto falso)	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.07	1711.803	852.204	49.8	--	--
Interface 1-2	15.07	1711.804	853.116	49.8	--	--
Interface 2-3	15.12	1717.301	853.237	49.7	--	--
Interface 3-4	15.15	1721.216	853.240	49.6	--	--
Interface 4-5	18.79	2167.439	853.483	39.4	--	--
Interface 5-6	18.82	2172.239	853.485	39.3	--	--
Interface 6-7	18.85	2175.814	1400.742	64.4	--	--
Interface 7-8	19.29	2236.695	1401.350	62.7	--	--
Interface 8-9	19.46	2260.218	1401.958	62.0	--	--
Interface 9-10	19.73	2298.305	1401.988	61.0	--	--
Face interior	19.83	2312.731	1402.171	60.6	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

## Condensações

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

$j$  : Humidade relativa, %.

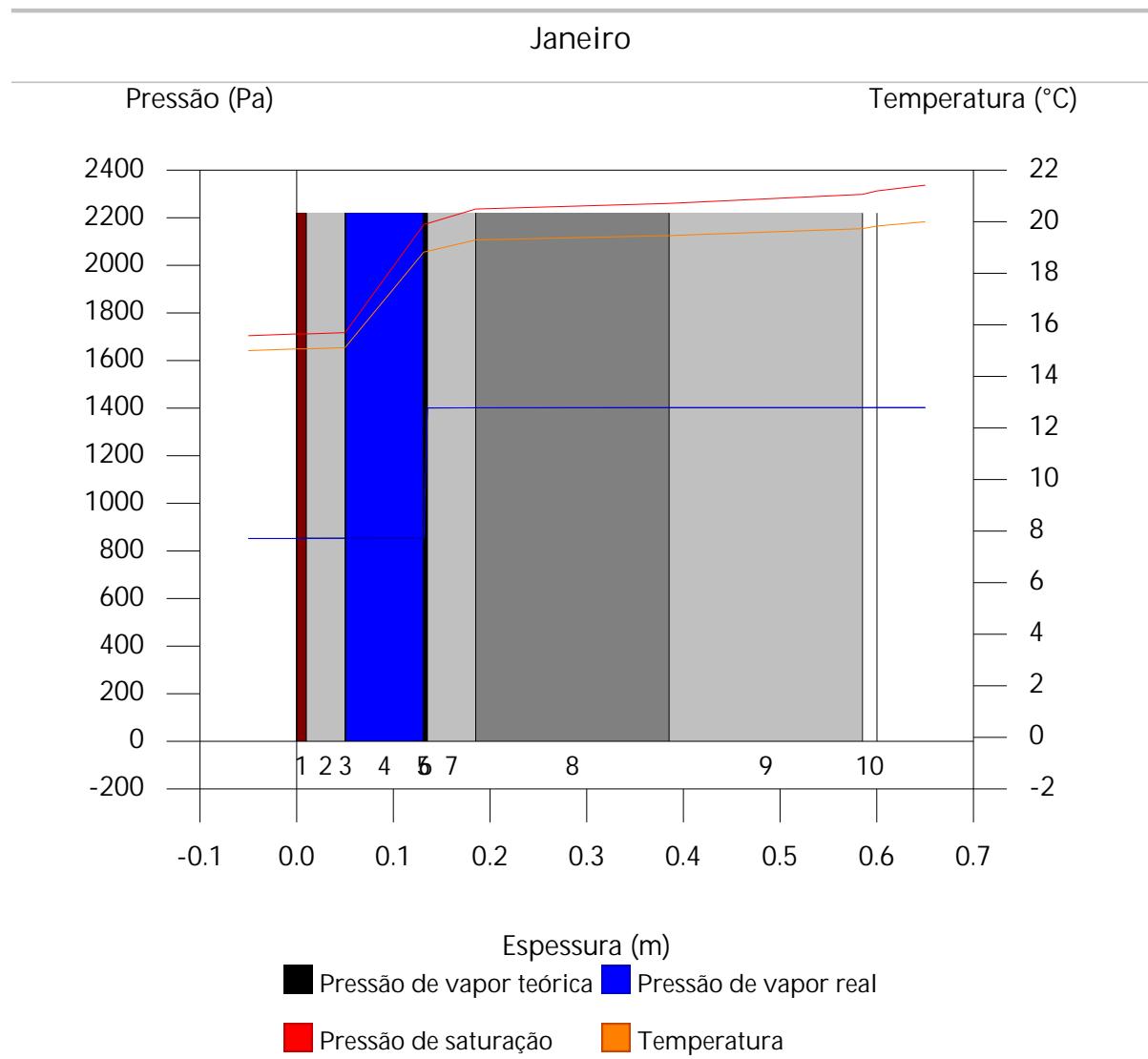
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Condensações

### 4.4.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 4.5. Linóleo + Laje maciça + ETICS

#### 4.5.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 4.5.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.875 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.500 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 4.5.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

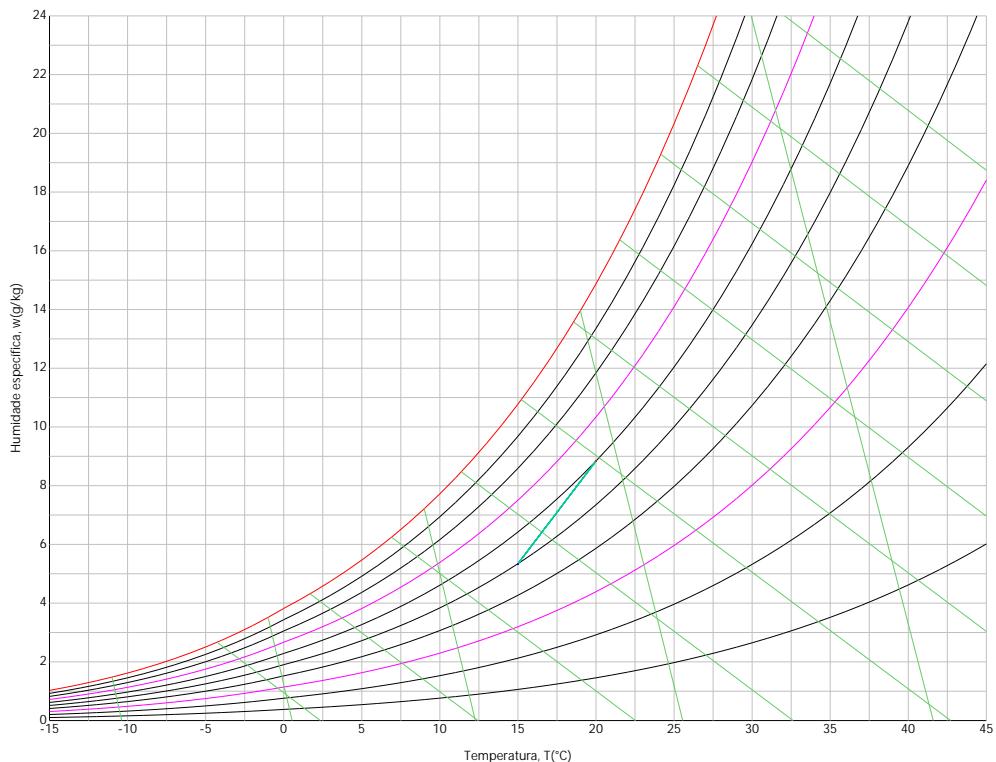
#### 4.5.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

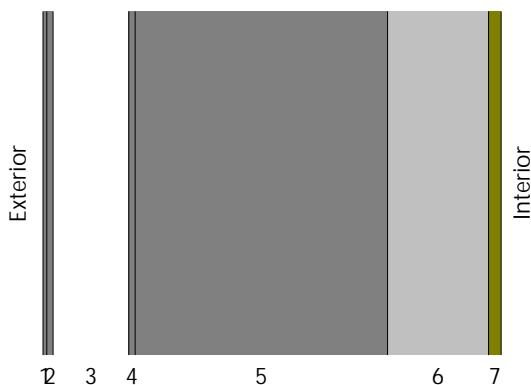
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 4.5.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Linóleo + Laje maciça + ETICS		e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$		0.17				
1	Argamassa decorativa	0.3	1.000	0.00300	10	0.03
2	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
3	Poliestireno expandido (EPS)	6.0	0.042	1.42857	20	1.2
4	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
5	Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
6	Betão cavernoso	8.0	1.350	0.05926	1	0.08
7	Linóleo	1.0	0.170	0.05882	1	0.01
$R_{si}$		0.17				

onde:

e: Espessura, cm.

I : Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

## Condensações

R: Resistência térmica do material,  $m^2 \cdot K/W$ .

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandezas	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	36.3
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	1.9997
Espessura de ar equivalente total, $S_{dT}$	m	1.62
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.500
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.875

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{dT}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.500 W/m^2 \cdot K$  e  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

## Condensações

4.5.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{Rsi,mín}$  fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,mín}$ (°C)	$f_{Rsi,mín}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

## Condensações

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_{i_s}$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.875 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 4.5.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

## Condensações

Linóleo + Laje maciça + ETICS	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.43	1751.612	852.204	48.7	--	--
Interface 1-2	15.43	1752.455	862.388	49.2	--	--
Interface 2-3	15.45	1753.861	879.363	50.1	--	--
Interface 3-4	19.02	2198.498	1286.746	58.5	--	--
Interface 4-5	19.03	2200.213	1303.720	59.3	--	--
Interface 5-6	19.28	2234.760	1371.617	61.4	--	--
Interface 6-7	19.43	2255.456	1398.776	62.0	--	--
Face interior	19.57	2276.165	1402.171	61.6	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0	--	--

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

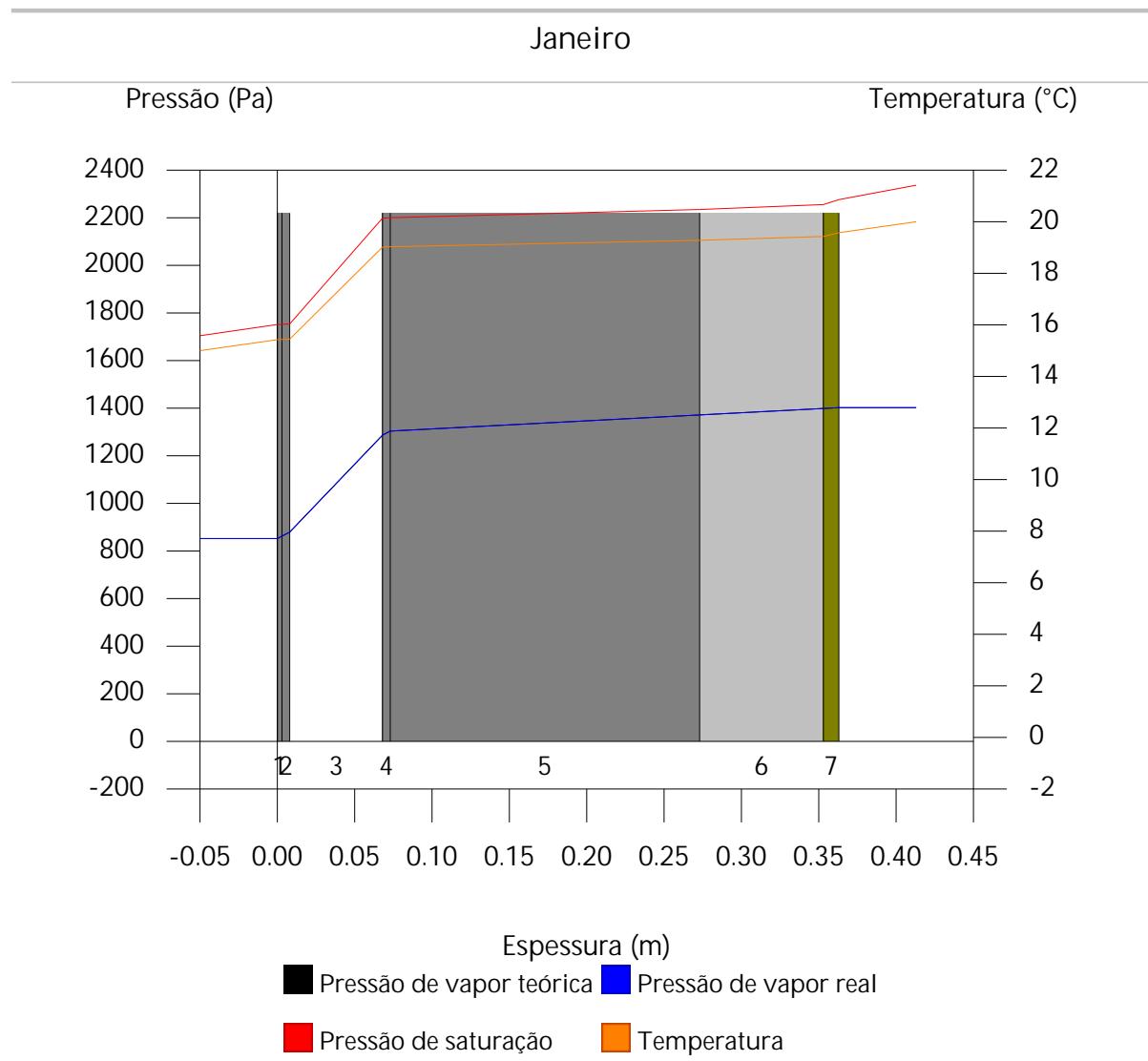
g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de umidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Condensações

### 4.5.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 5. PISO 4

#### 5.1. ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque

##### 5.1.1. Resultados do cálculo de condensações

###### 5.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.888 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W/m}^2\text{-K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{-K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

###### 5.1.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

#### 5.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo

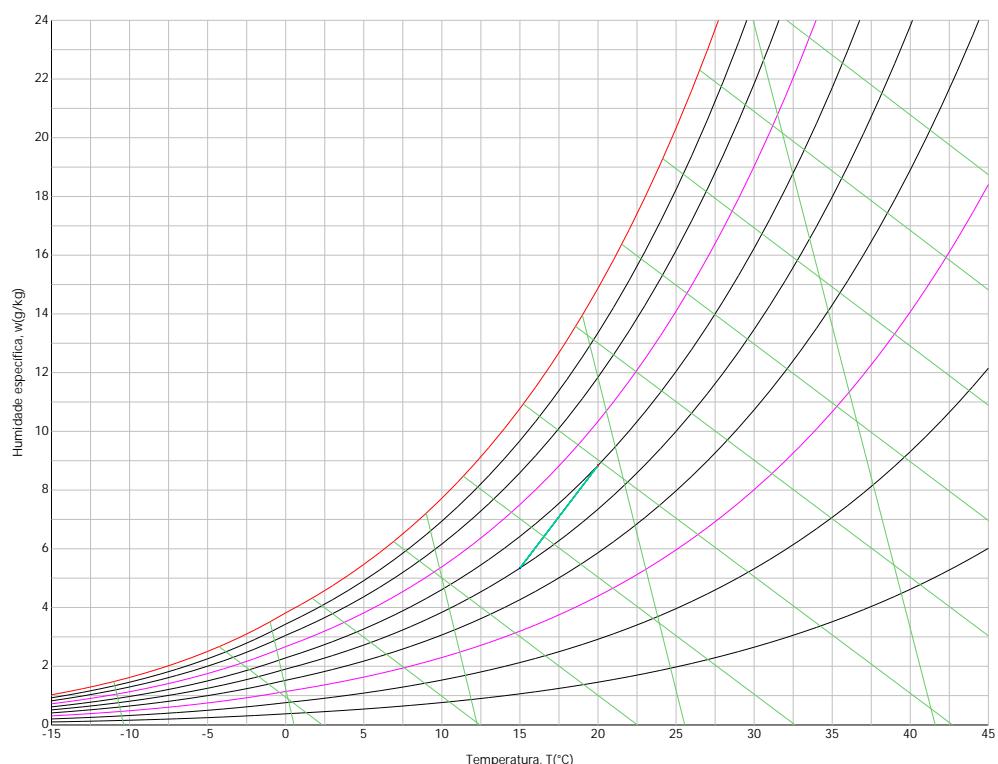
As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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

## Condensações

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

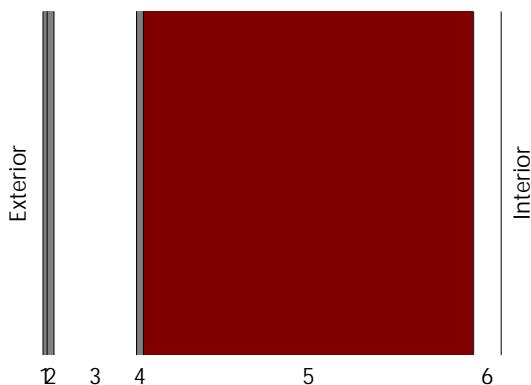
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 5.1.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque		e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
$R_{se}$						0.04
1	Argamassa decorativa	0.3	1.000	0.00300	10	0.03
2	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
3	Poliestireno expandido (EPS)	6.0	0.042	1.42857	20	1.2
4	Argamassa base	0.5	1.000	0.00500	10	0.05
5	Alvenaria de bloco de termoargila	24.0	0.421	0.57007	10	2.4
6	Estuque projectado	2.0	0.430	0.04651	1	0.02
$R_{si}$						0.13

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

$m$ : Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

$S_d$ : Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	33.3
Resistência térmica total, $R_T$	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	2.2282
Espessura de ar equivalente total, $S_{dT}$	m	3.75
Transmitância térmica, U	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0.449
Factor de resistência superficial interior, $f_{RSi}$	--	0.888

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

$S_{dT}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

$f_{RSi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.449 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

### 5.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

## Condensações

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{Rsi,\min}$  fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,\min}$ (°C)	$f_{Rsi,\min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

## Condensações

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.888 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 5.1.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

ETICS (6) + BTérmico (24) + Estuque	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.09	1714.281	852.204	49.7	--	--
Interface 1-2	15.10	1715.024	856.603	49.9	--	--
Interface 2-3	15.11	1716.262	863.936	50.3	--	--
Interface 3-4	18.31	2103.834	1039.926	49.4	--	--
Interface 4-5	18.32	2105.315	1047.259	49.7	--	--
Interface 5-6	19.60	2280.264	1399.238	61.4	--	--
Face interior	19.71	2295.084	1402.171	61.1	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0	--	--

onde:

## Condensações

q: Temperatura, °C.

$P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

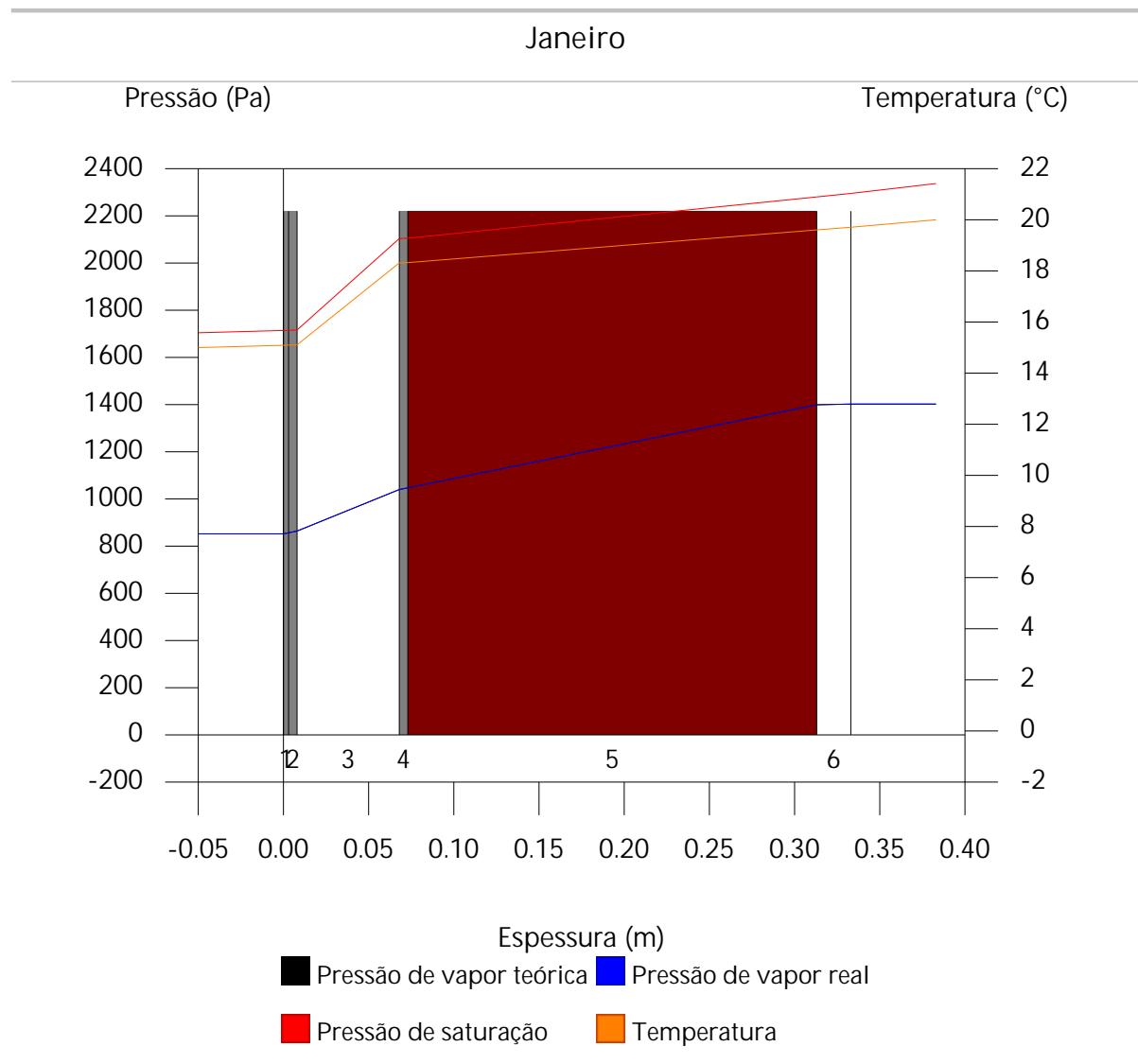
$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Condensações

### 5.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 5.2. Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso

#### 5.2.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 5.2.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.838 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 5.2.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

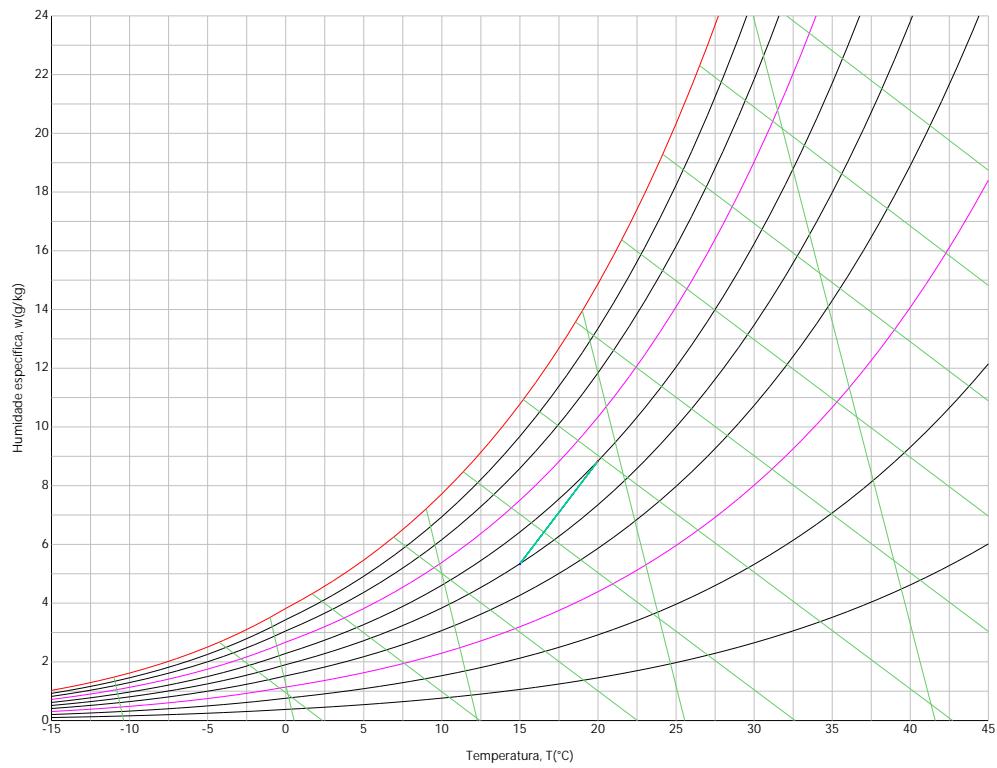
#### 5.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\varphi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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
Humidade relativa, $\varphi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

## Condensações

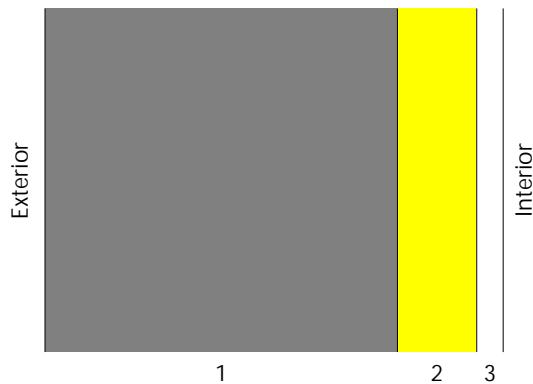
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 5.2.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
<b>R<sub>se</sub></b>	0.13				
1 Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
2 Lã de rocha (MW)	4.5	0.040	1.12500	1	0.045
3 Placa de gesso laminado	1.5	0.250	0.06000	4	0.06
<b>R<sub>si</sub></b>	0.13				

onde:

e: Espessura, cm.

I: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

## Condensações

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	26.0
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	1.5450
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.30
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.647
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.838

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.647 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 5.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_{R_{si,min}}$  fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

## Condensações

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.838 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 5.2.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Betão armado + Lã de rocha + Placa de gesso	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.42	1751.122	852.204	48.7	--	--
Interface 1-2	15.74	1787.816	1212.838	67.8	--	--
Interface 2-3	19.39	2249.471	1293.980	57.5	--	--
Face interior	19.58	2276.781	1402.171	61.6	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

P<sub>n</sub>: Pressão do vapor de água, Pa.

j : Humidade relativa, %.

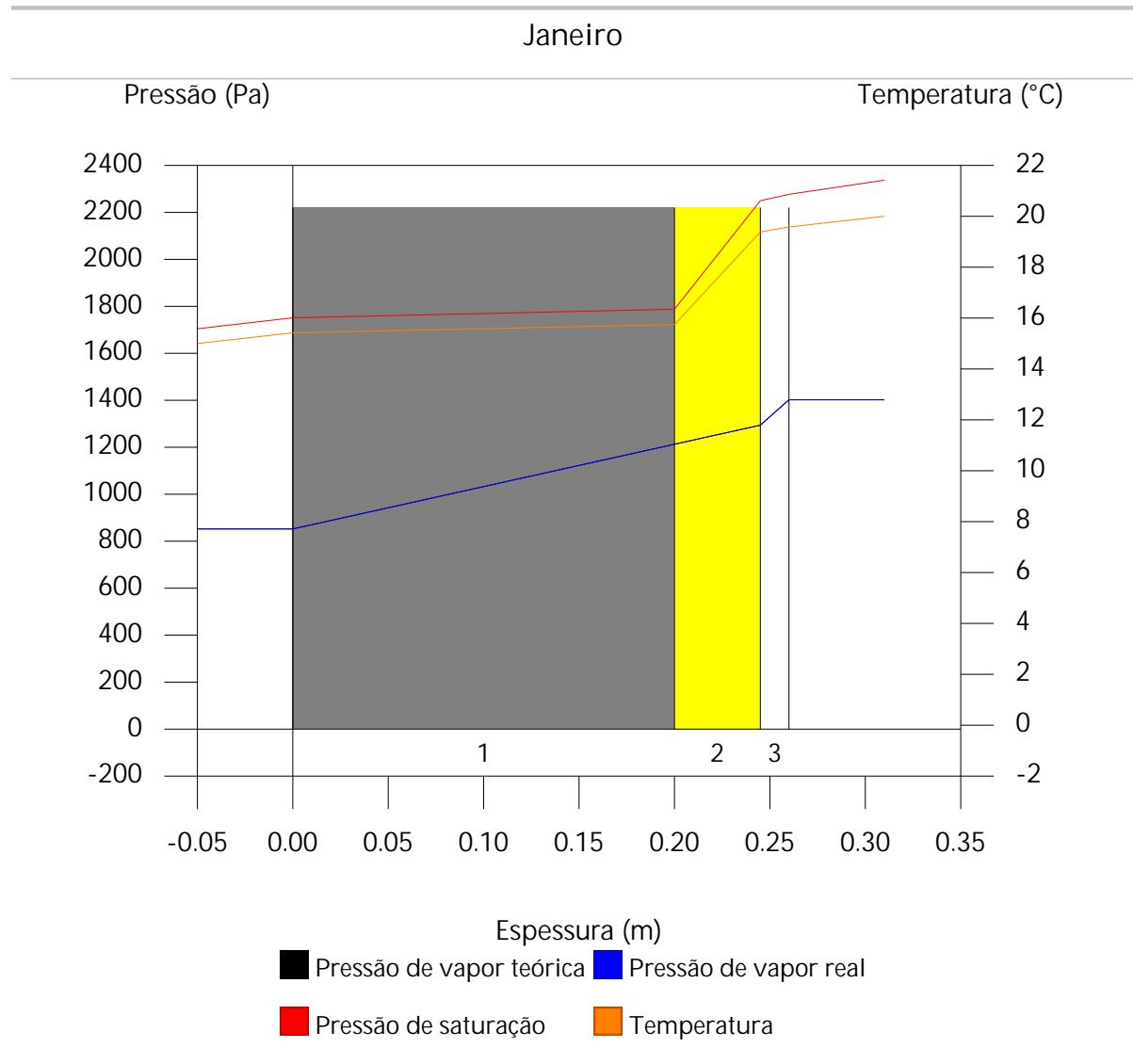
g<sub>c</sub>: Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).

M<sub>a</sub>: Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

## Condensações

>> Representação gráfica (Janeiro)

### 5.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## Condensações

### 5.3. Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Reboco)

#### 5.3.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 5.3.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.910 \quad f_{Rsi,min} = 0.338$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.361 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

##### 5.3.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

#### 5.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo

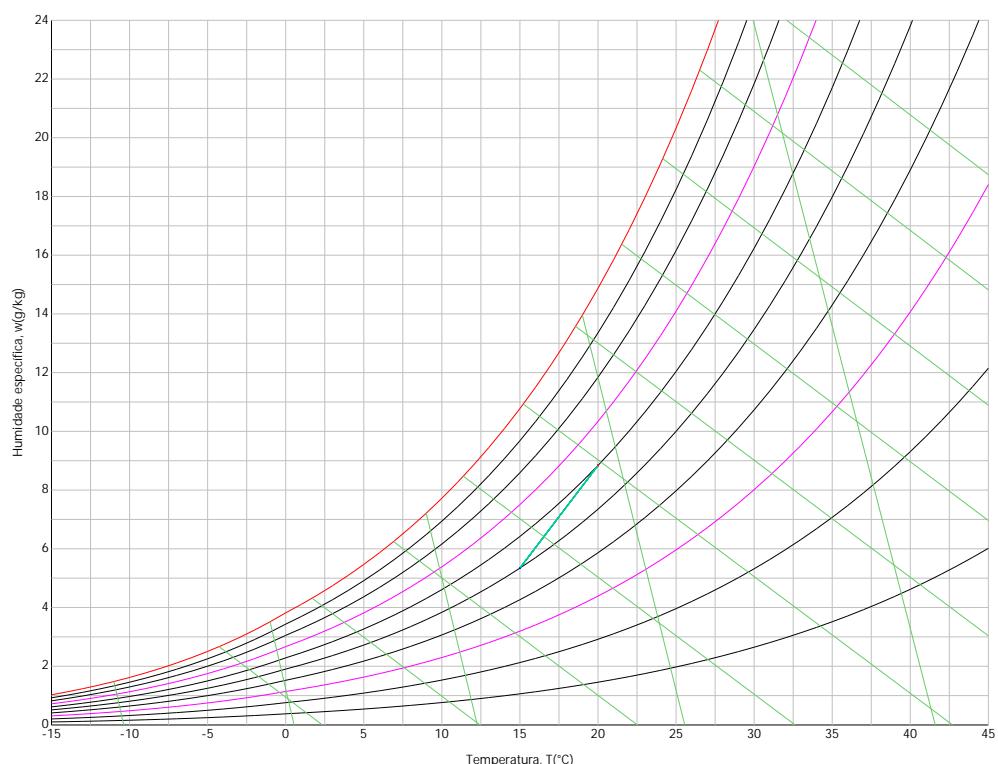
As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°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

## Condensações

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

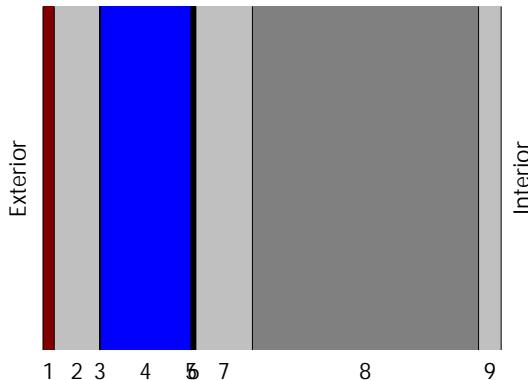
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 99 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 5.3.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:

## Condensações



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

	e (cm)	I (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
<b>R<sub>se</sub></b>	0.04				
1 Pavimento grés rústico	1.0	2300.000	0.00000	30	0.3
2 Argamassa de cimento	4.0	1.350	0.02963	1	0.04
3 Geotêxtil de poliéster	0.1	0.038	0.02105	1	0.0008
4 Poliestireno extrudido (XPS)	8.0	0.037	2.16216	1	0.08
5 Geotêxtil de poliéster	0.1	0.038	0.02105	1	0.0008
6 Impermeabilização asfáltica monocamada colada	0.4	0.230	0.01565	50000	180
7 Formação de pendentes com argila expandida descarregada a seco	5.0	0.190	0.26316	4	0.2
8 Betão armado	20.0	2.000	0.10000	1	0.2
9 Reboco tradicional	2.0	1.300	0.01538	1	0.02
<b>R<sub>sl</sub></b>	0.10				

onde:

e: Espessura, cm.

I : Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).

R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.

m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.

S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.

## Condensações

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior do elemento,  $m^2 \cdot K/W$ .

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, $e_T$	cm	40.5
Resistência térmica total, $R_T$	$m^2 \cdot K/W$	2.7681
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	180.84
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.361
Factor de resistência superficial interior, $f_{Rsi}$	--	0.910

onde:

$E_T$ : Espessura total do elemento, cm.

$R_T$ : Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais  $R_{se}$  e  $R_{si}$ ,  $m^2 \cdot K/W$ .

$S_{d,T}$ : Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.

U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.361 W/m^2 \cdot K$  e  $R_{si} = 0.25 m^2 \cdot K/W$ .

### 5.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de  $j_{si,cr} \leq 0.8$ .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de  $f_R$

$si,min$

## Condensações

fica da seguinte forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,mín}$ (°C)	$f_{Rsi,mín}$
Janeiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Fevereiro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Março	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Abril	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Maio	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Junho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Julho	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Agosto	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Setembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Outubro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Novembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338
Dezembro	15.0	50.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.338

onde:

$q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.

$j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.

$q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.

$j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.

$P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.

## Condensações

$q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.910 > f_{Rsi,min} = 0.338$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 5.3.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Cobertura plana invertida (Pavimento + Poliestireno extrudido + Laje maciça + Reboco)	q (°C)	P <sub>sat</sub> (Pa)	P <sub>n</sub> (Pa)	j (%)	g <sub>c</sub> (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	M <sub>a</sub> (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0	--	--
Face exterior	15.07	1712.351	852.204	49.8	--	--
Interface 1-2	15.07	1712.352	853.116	49.8	--	--
Interface 2-3	15.13	1718.257	853.238	49.7	--	--
Interface 3-4	15.16	1722.464	853.240	49.5	--	--
Interface 4-5	19.07	2205.665	853.483	38.7	--	--
Interface 5-6	19.11	2210.900	853.486	38.6	--	--
Interface 6-7	19.14	2214.799	1400.893	63.3	--	--
Interface 7-8	19.61	2281.262	1401.502	61.4	--	--
Interface 8-9	19.79	2306.972	1402.110	60.8	--	--
Face interior	19.82	2310.949	1402.171	60.7	--	--
Ar interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0	--	--

onde:

q: Temperatura, °C.

P<sub>sat</sub>: Pressão de saturação do vapor de água, Pa.

## Condensações

$P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.

$j$  : Humidade relativa, %.

$g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).

$M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

## Condensações

### 5.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas

