

## 1. Análise do fenómeno físico das condensações [1]

A ocorrência de condensações internas dá origem ao aparecimento não programado de água nos elementos construtivos, podendo resultar no desenvolvimento de diversas formas de degradação de gravidade variável.

A ocorrência de condensações em elementos construtivos é um fenómeno que depende da sua constituição, das condições climáticas existentes e dos mecanismos de comportamento do ar húmido. Sempre que, em determinadas condições, o ar contacta com superfícies mais frias e a sua humidade absoluta atinge o limite de saturação para a temperatura em causa, ocorrerão condensações.

O comportamento do ar húmido depende da temperatura e da quantidade de vapor de água que contenha, a qual se designa por humidade absoluta  $H_a$  podendo ser expressa em  $g/m^3$  ou  $kg/kg$ . Este vapor de água, existente por unidade de volume ou de massa de ar, exerce uma determinada pressão, que se designa por **pressão parcial  $P_p$**  (expressa em Pa), a qual será tanto maior quanto mais vapor de água existir. Mas a quantidade de vapor de água que a unidade de ar pode conter é finita, o que significa que acima desse valor o ar já não tem mais capacidade para absorver vapor de água, condensando as quantidades em excesso. A este valor limite da humidade absoluta atribui-se a designação de limite de saturação  $W_s$  ao qual corresponde uma pressão limite designada por **pressão de saturação  $P_s$** .

O conceito de **humidade relativa  $H_r$** , de utilização frequente, apenas traduz a relação percentual entre a quantidade de vapor de água que existe por unidade de ar e o respectivo limite de saturação, ou a relação equivalente entre a pressão parcial e a pressão de saturação.

$$H_r = \frac{H_a}{W_s} \times 100 = \frac{P_p}{P_s} \times 100$$

A questão é, contudo, um pouco mais complicada na medida em que o limite de saturação (e a respectiva pressão de saturação) não é constante, antes variando na razão directa da temperatura. É assim que se explica que o ar aumenta de humidade relativa quando arrefece (já que diminui o limite de saturação), e diminui a humidade relativa quando aquece, em qualquer dos casos mantendo-se constante a humidade absoluta. Nestas condições, sempre que o ar contacta com zonas mais frias dos elementos de construção, o valor da humidade absoluta pode ultrapassar o limite de saturação, ocorrendo condensações.

Deve referir-se que as condensações tanto podem surgir à superfície dos elementos, situação em que se designam como superficiais, como no seu interior, designando-se então como internas.

As relações existentes entre as humidades absoluta e relativa e a temperatura do ar podem ser expressas através de um diagrama específico, designado por **diagrama psicrométrico**, como o exemplo da Figura 1.

Este diagrama permite entender mais facilmente os conceitos referidos, apresentando em abcissas os valores da temperatura do ar (em  $^{\circ}C$ ), em ordenadas os valores da humidade absoluta (em  $g/m^3$ ) e da pressão de saturação (em Pa) e um conjunto de curvas de humidade relativa (em %).

As linhas horizontais representam pontos com igual humidade absoluta e as verticais pontos com igual temperatura; cada uma das curvas do diagrama é constituída por pontos de igual humidade relativa.

Valores mais exactos das pressões de saturação (em Pa) podem ser obtidos através da expressão seguinte:

$$P_s = 611 \times e^{\left(\frac{a \cdot t}{t' + t}\right)} \quad (1)$$

em que  $t$  é a temperatura (em °C) e  $t'$  e  $a$  são constantes que assumem valores diferentes para temperaturas positivas ou negativas:

para  $t < 0$

$$a = 22,44 \quad t' = 272,44$$

para  $t \geq 0$

$$a = 17,08 \quad t' = 234,18$$

A humidade absoluta pode ser determinada em  $\text{g/m}^3$  a partir dos valores da pressão parcial  $P_p$  (ou de saturação em Pa) e da temperatura  $t$  (em °C) através da expressão:

$$H_a = \frac{P_p}{t + 273}$$

Em condições de regime permanente é possível determinar a temperatura superficial interior  $\theta_i$  de qualquer elemento construtivo, desde que sejam conhecidos o seu coeficiente de transmissão térmica  $K$  (em  $\text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$ ) e as temperaturas dos dois ambientes que esse elemento separe, usando a equação

$$\theta_i = t_i - \frac{1}{h_i} \times K \times (t_i - t_e) \quad (2)$$

em que  $1/h_i$  é a resistência térmica superficial interior (em  $\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}$ ), a qual assume o valor tabelado de 0,10 para fluxos de calor ascendentes, como é o caso das coberturas em condições de Inverno. De igual forma, a temperatura superficial exterior pode ser calculada a partir da equação seguinte

$$\theta_e = t_e - \frac{1}{h_e} \times K \times (t_i - t_e) \quad (3)$$

em que  $1/h_e$  é a resistência térmica superficial exterior que assume o valor tabelado de 0,04 para as condições referidas.

Observando a equação da temperatura superficial interior facilmente se conclui que em condições de inverno o valor dessa temperatura é sempre menor do que o da temperatura ambiente, sendo função do valor do coeficiente de transmissão térmica e das temperaturas ambientes existentes. Logo, por mais satisfatórias que possam ser as condições termo-higrométricas do ar ambiente interior existe o risco de esse ar poder condensar sobre a superfície do elemento se a sua temperatura for suficientemente baixa.

Um exemplo numérico permite compreender melhor o conceito. Considere-se uma cobertura plana com  $K = 2,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$  que separa dois ambientes com temperaturas de 0 °C e 20 °C. Nessas condições a temperatura superficial interior será

$$\theta_i = 20 - 0,10 \times 2,5 \times (20 - 0) = 15 \text{ °C}$$

à qual corresponde a pressão de saturação  $P_s = 1708 \text{ Pa}$  (calculada pela expressão 1).

Como para a temperatura ambiente de 20 °C corresponde uma pressão de saturação  $P_s=2343$  Pa, facilmente se determina que ocorrerão condensações superficiais quando a humidade relativa interior atinja o valor de

$$H_r = \frac{1708}{2343} = 73\%$$

Sempre que existam diferenças de pressão de vapor de água entre os dois ambientes que o elemento de construção separe ocorrerão inevitavelmente fenómenos de difusão de vapor através desse elemento. Existindo um diferencial de temperaturas, a cada ponto do interior do elemento corresponderá uma temperatura diferente e, conseqüentemente, uma determinada pressão de saturação. Se em qualquer zona interior do elemento a pressão parcial, correspondente à difusão de vapor de água através do elemento, superar a respectiva pressão de saturação ocorrerão condensações nessa zona. Os fenómenos de difusão de vapor de água através de um elemento de construção dependem das pressões parciais em cada um dos dois ambientes com ele confinantes e das características de permeabilidade de cada um dos vários materiais que o constituam.

Define-se **permeabilidade ao vapor de água** de um material  $\pi$  como a quantidade de vapor que atravessa a unidade de superfície por espessura unitária desse material, por unidade de tempo e quando a diferença de pressões entre as duas faces do material é também unitária (em kg/m.s.Pa).

Para materiais que são usados com espessuras constantes usa-se frequentemente a noção de **permeância**  $\pi/e$  definida como o quociente da permeabilidade pela espessura em causa (em kg/m<sup>2</sup>.s.Pa).

O inverso da permeância designa-se por **resistência à difusão**  $R_D$  (em m<sup>2</sup>.s.Pa/kg). Frequentemente são também usadas as noções de **factor de resistência à difusão**  $\mu$ , definida como a relação adimensional entre a permeabilidade ao vapor de água do ar e a permeabilidade do material, que em unidades SI assume a forma

$$\mu = \frac{1,852 \times 10^{-10}}{\pi}$$

e ainda a noção de **espessura da camada de ar de difusão equivalente**  $S_D$  que corresponde a uma grandeza de carácter prático destinada a substituir uma camada do material com uma dada espessura por uma camada de ar de espessura tal que tenham a mesma permeância. Em unidades SI esta grandeza pode ser calculada através da expressão:

$$S_D = \frac{1,852 \times 10^{-10}}{\pi/e} = \mu e$$

A análise da ocorrência de condensações internas em elementos construtivos homogéneos é bastante simplificada na medida em que a variação da temperatura no interior do elemento é linear entre os valores das temperaturas superficiais interior e exterior, calculadas de acordo com as equações (2) e (3). Conhecido o valor da temperatura em cada ponto do elemento construtivo é fácil determinar a respectiva pressão de saturação segundo a equação (1). De forma semelhante, a variação das pressões parciais no interior do elemento é linear entre os valores das pressões nos ambientes interior e exterior, as quais são função das temperaturas e humidades relativas, como se referiu anteriormente. Se em algum ponto o valor da pressão parcial for igual ou superior à pressão de saturação, ocorrerão condensações nesse ponto.

No caso de elementos construtivos heterogêneos a análise torna-se um pouco mais complexa, na medida em que apenas ocorrem variações lineares de temperatura e pressão parcial no interior de cada uma das camadas homogêneas que o constituam. Assim, a dificuldade consiste em determinar os valores das temperaturas e pressões parciais em cada um dos pontos de separação entre camadas, a partir dos quais as variações lineares permitem calcular os valores no interior de cada camada.

Em regime unidireccional permanente pode demonstrar-se que o fluxo de calor que atravessa um elemento de construção corrente é constante. Conhecido o valor desse fluxo de calor  $q$  através do elemento sabe-se que em cada ponto interior o valor do fluxo é semelhante. Ora o fluxo de calor  $q$  pode ser facilmente determinado através da equação seguinte

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

em que  $R_i$  é a resistência térmica de cada uma das  $n$  camadas que constituam o elemento e os símbolos têm os significados já referidos. Logo, tendo em conta a constância do fluxo de calor, pode considerar-se que

$$q = \frac{\theta_i - \theta_1}{\frac{e_1}{\lambda_1}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{e_2}{\lambda_2}} = \dots = \frac{\theta_n - \theta_e}{\frac{e_n}{\lambda_n}} = \frac{\theta_i - \theta_e}{\sum R_T}$$

o que possibilita calcular facilmente os valores das várias temperaturas interiores nas zonas de separação das camadas de espessura  $e_i$  e condutibilidade térmica  $\lambda_i$  (cujo quociente é a resistência térmica dessa camada). Tal como anteriormente, a partir dos valores das temperaturas é possível calcular as respectivas pressões de saturação através da equação (1). De forma semelhante o fluxo de vapor é constante através do elemento construtivo, pelo que se pode utilizar a igualdade

$$g = \frac{P_1 - P_1}{\frac{e_1}{\pi_1}} = \frac{P_1 - P_2}{\frac{e_2}{\pi_2}} = \dots = \frac{P_n - P_e}{\frac{e_n}{\pi_n}} = \frac{P_1 - P_e}{\sum R_D}$$

em que  $P$  são as pressões parciais nos vários pontos. Por definição, ocorrerão condensações se, em qualquer ponto, o valor da pressão parcial for igual ou superior à pressão de saturação correspondente.

Frequentemente a análise é conduzida de forma gráfica através da representação do elemento construtivo em corte, com as várias camadas à escala em função das respectivas espessuras (que assim constituem o eixo das ordenadas). Para a representação à escala das temperaturas usa-se um dos dois eixos das abcissas e para as pressões o outro eixo. Desta forma é facilmente visualizável a ocorrência de condensações, através da eventual intersecção das curvas das pressões parciais e de saturação (fig. 1). As zonas em que essas condensações ocorram podem ser determinadas imediatamente por simples leitura no eixo das ordenadas

Por vezes a representação gráfica é feita substituindo a espessura de cada camada pela respectiva espessura da camada de ar de difusão equivalente. Neste caso, para efeitos de

determinação das pressões parciais, o elemento pode ser considerado como sendo constituído por um único material - o ar -, o que permite que a variação seja linear entre os valores das pressões nos ambientes interior e exterior. Esta simplificação contrasta com a maior dificuldade em determinar as zonas de ocorrência de eventuais condensações, na medida em que o eixo das abcissas deixa de estar reportado à espessura das várias camadas.

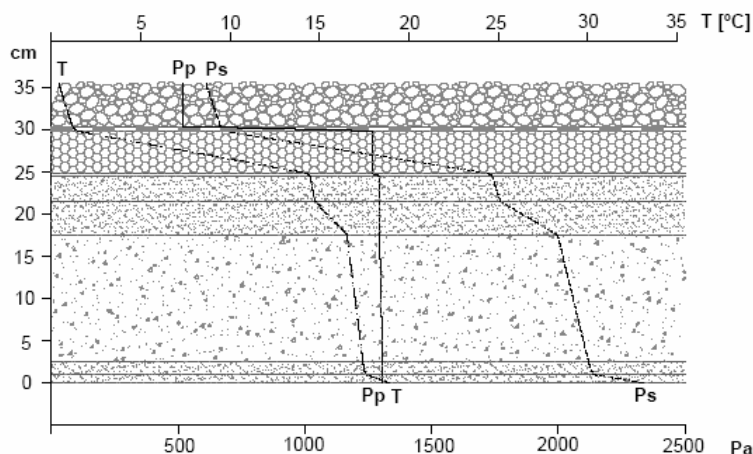


Figura 1 - Exemplo da análise gráfica das condensações internas numa cobertura plana

## 2. Diagrama Psicrométrico

Como anteriormente se referiu, o ar tem a capacidade de armazenar água sob a forma de vapor. Quanto maior for a temperatura do ar, maior será a sua capacidade de armazenamento. A quantidade de vapor de água contida no ar, designa-se por *humidade absoluta do ar* e exprime-se em g/kg de ar seco ou em  $\text{g/m}^3$ .

Quando a uma determinada temperatura, o ar armazenou a quantidade máxima de vapor que é possível, diz-se que o ar está saturado.

Os **Diagramas Psicrométricos** (Figura. 2.), exprimem relações entre temperaturas ambiente, humidades absolutas e relativas, assim como a pressão do vapor de água em mm de Hg.

O ponto de orvalho é o ponto a partir do qual a condensação começa.

Considerando que a temperatura ambiente num determinado compartimento é de  $20^\circ\text{C}$  e que há uma humidade relativa  $\text{HR}=50\%$ , por observação no diagrama psicrométrico, verifica-se que esta situação corresponde a uma humidade absoluta de aproximadamente 7,5 g de vapor por kg de ar seco.

Se este ambiente arrefece, chegando por exemplo a uma temperatura de  $9^\circ\text{C}$ , a humidade relativa é agora de 100%, embora com a mesma quantidade de vapor. Este é o ponto de orvalho, isto é, o ponto a partir do qual a condensação de inicia.

As condensações podem ocorrer à superfície dos elementos de construção (paredes, pavimentos ou tectos), ou no interior desses elementos e são sempre situações a evitar.

- Condensação superficial - o cálculo das temperaturas nas superfícies interiores das paredes exteriores, pavimentos em contacto com o exterior, ou coberturas, faz-se de acordo com a expressão da página anterior. É necessário verificar depois se há, ou não, condensação superficial.

- Condensação no interior de um elemento de construção - se uma parede é permeável ao vapor e separa dois ambientes em que a pressão de vapor é muito diferente, há fluxo de vapor do ambiente de maior pressão para o ambiente de menor pressão.

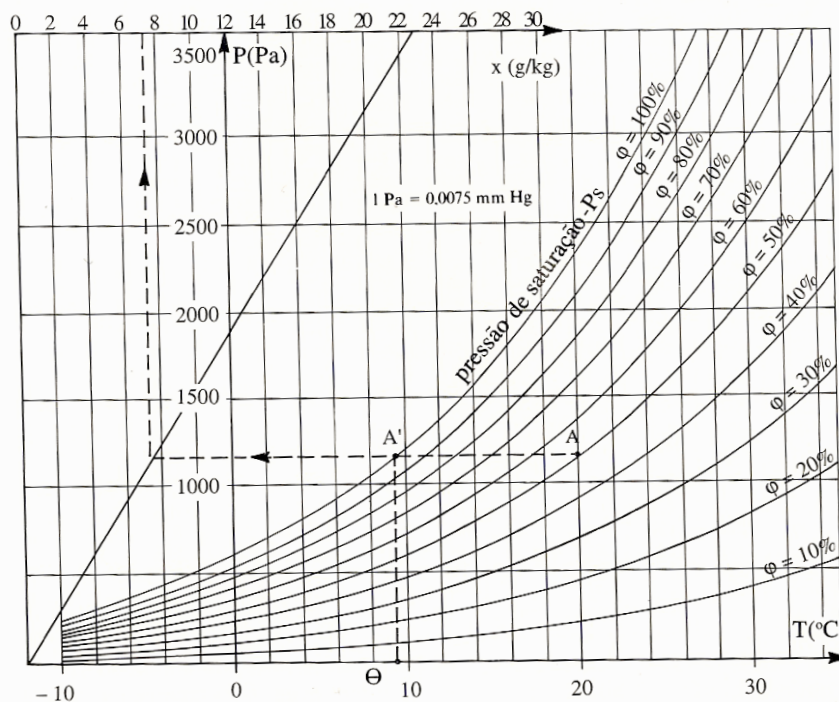


Figura 2 - Diagrama psicrométrico

Este fluxo de vapor entre dois planos paralelos de um mesmo material é:

- directamente proporcional à diferença de pressão entre os dois planos ( $p_1 - p_2$ ), expressa em mm de Hg;
- inversamente proporcional à distância entre os dois planos ( $e$ ), expressa em metros.

O fluxo de vapor é dado pela seguinte expressão:

$$\phi_v = \pi \times \frac{p_1 - p_2}{e} \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$$

$\pi$  é uma constante, característica do material utilizado, que se designa por coeficiente de permeabilidade ao vapor, expressa em g/m.h.mmHg

Designa-se *permeância* a relação  $\pi/e$ , e resistência à difusão do vapor a relação  $e/\pi$ .

Um processo de evitar a condensação no interior de uma parede é utilizar, de forma criteriosa uma **barreira pára vapor**.

Os materiais utilizados como barreiras pára vapor, são materiais finos, de fraca resistência térmica mas muito pouco permeáveis ao vapor, como por exemplo folhas de alumínio, feltros betuminosos ou folhas de polietileno.

As **barreiras pára vapor** devem colocar-se do **lado mais quente da parede**, onde as pressões de vapor são maiores.

### 3. Condensações superficiais

A uma dada temperatura da ambiência interior o ar não pode conter uma quantidade de vapor de água superior à pressão de saturação. Por exemplo, se a temperatura for de 18,6 °C a pressão de saturação é de 2142 N/m<sup>2</sup> como se pode verificar na tabela.

No Inverno a face interior das paredes e coberturas está a uma temperatura  $\theta_i$  inferior à temperatura  $T_i$  do ar ambiente.

Se esse diferencial ( $T_i - \theta_i$ ) for elevado ou se a humidade relativa interior for elevada, há fortes riscos de condensação, como se ilustra na Figura 3.

Fundamentalmente há dois processos para evitar as condensações superficiais interiores:

- Melhoria do isolamento térmico;
- Melhoria da ventilação dos edifícios

Tabela 1 - Pressão de Saturação (Pa=N/m<sup>2</sup>) para temperaturas compreendidas entre -10°C e 25°C [3]

°C	Temperatura									
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
+ 25	3168	3186	3205	3224	3244	3262	3282	3301	3321	3341
+ 24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149
+ 23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
+ 22	2657	2660	2676	2692	2709	2725	2742	2758	2776	2792
+ 21	2486	2502	2517	2533	2548	2564	2580	2596	2612	2628
+ 20	2338	2352	2366	2381	2396	2410	2426	2441	2456	2472
+ 19	2197	2210	2224	2238	2252	2266	2280	2294	2309	2324
+ 18	2064	2076	2089	2102	2116	2129	2142	2156	2169	2182
+ 17	1937	1949	1961	1974	1986	2000	2013	2025	2037	2050
+ 16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
+ 15	1705	1716	1727	1739	1749	1760	1772	1783	1795	1807
+ 14	1599	1608	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1695
+ 13	1497	1507	1517	1527	1537	1547	1557	1568	1577	1588
+ 12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1477	1488
+ 11	1312	1321	1331	1339	1348	1357	1365	1375	1384	1393
+ 10	1228	1246	1244	1252	1261	1269	1277	1287	1295	1304
+ 9	1148	1156	1164	1172	1179	1187	1195	1203	1212	1220
+ 8	1072	1080	1087	1095	1103	1109	1117	1125	1132	1140
+ 7	1001	1008	1016	1023	1029	1036	1044	1051	1059	1065
+ 6	935	941	948	955	961	968	975	981	988	995
+ 5	872	879	884	891	897	903	902	916	923	928
+ 4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867
+ 3	757	763	768	775	780	785	791	796	801	808
+ 2	705	711	716	721	727	732	736	741	747	752
+ 1	657	661	667	671	676	681	685	681	696	701
+ 0	611	615	620	624	628	633	637	643	647	652
- 0	611	605	600	596	591	587	581	576	572	567
- 1	563	557	553	548	544	539	535	531	525	521
- 2	517	513	508	504	500	496	492	488	484	480
- 3	476	472	468	464	460	456	452	448	444	440
- 4	437	433	429	425	423	419	415	412	408	404
- 5	401	397	395	391	388	384	381	377	375	371
- 6	368	365	361	359	356	352	349	347	344	340
- 7	337	335	332	329	327	323	320	317	315	312
- 8	309	307	304	301	299	296	293	291	288	285
- 9	283	281	279	276	273	271	269	267	264	261
- 10	260	257	255	252	251	248	245	244	241	240

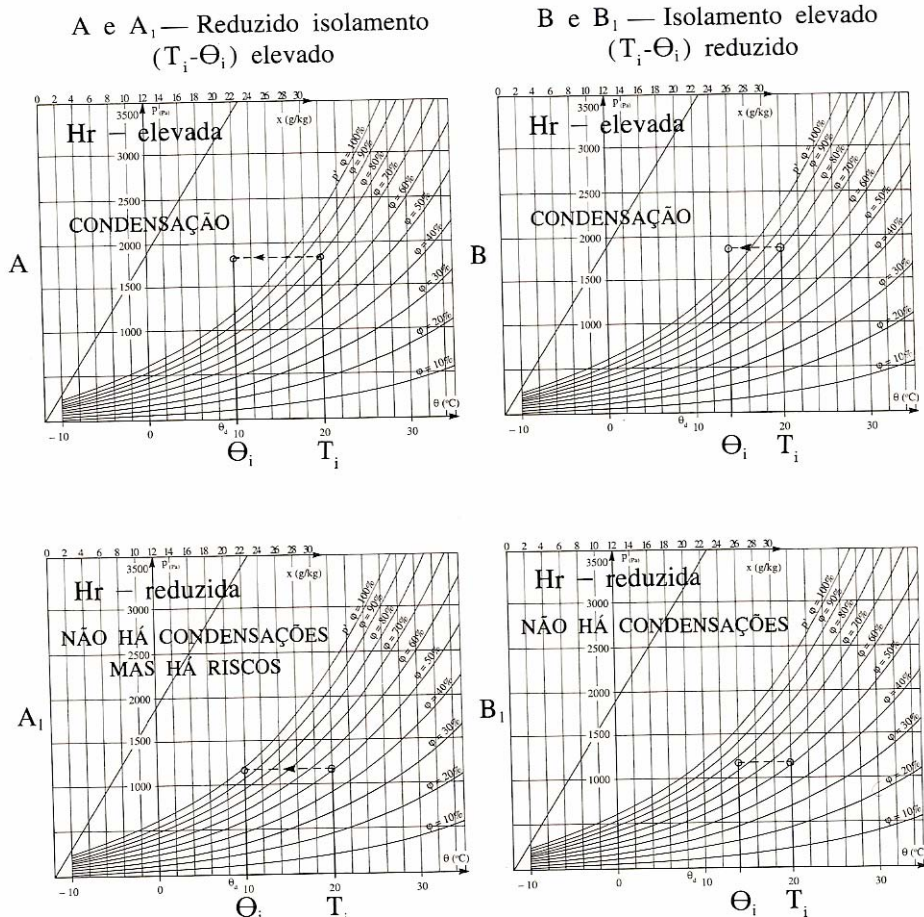


Figura 3 - Risco de ocorrência de condensações superficiais [3]

#### 4. Difusão de vapor através dos elementos de construção

Para estudar o comportamento à humidade da envolvente dos edifícios é necessário analisar as diversas formas de manifestação, nomeadamente as condensações internas resultantes da difusão do vapor de água entre o interior e o exterior dos edifícios:

A transferência de humidade, em fase de vapor, deve-se a vários mecanismos nos quais a envolvente pode intervir:

- Transferência de humidade com o ar interior em consequência da ocupação e utilização dos edifícios e da renovação do ar por ventilação;
- Transferência de humidade através de paredes e coberturas resultantes do gradiente de pressão de vapor entre as ambiências interior e exterior.



## 5. MÉTODO DE GLASER - Metodologia para a determinação dos riscos de condensação no interior de elementos de construção

A modelização completa da transferência de humidade em materiais porosos é extremamente complexa (fig. 4.) e de difícil aplicação em Engenharia Civil, sendo, por isso, correntemente aplicado o Método simplificado de Glaser que permite quantificar os fluxos de vapor de água e as condensações internas.

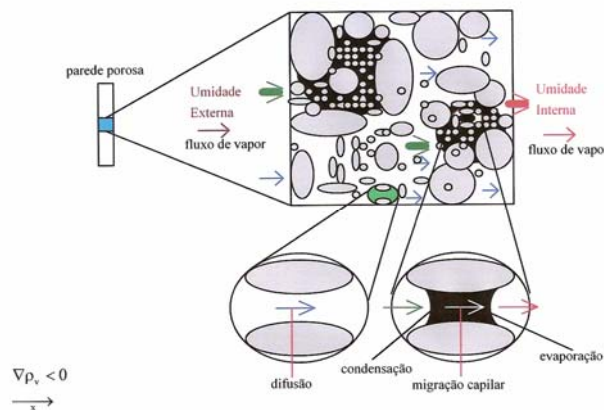


Figura 4 - Transferência de humidade numa parede porosa [2]

A quantificação do fluxo de humidade que atravessa um elemento de construção, constituído por materiais homogéneo, de faces planas e paralelas é dada pela Lei de Fick:

$$g = \sum_j \frac{\pi_j}{e_j} \cdot (P_i - P_e)$$

em que:

- g - fluxo de humidade por unidade de superfície ( $\text{g/h.m}^2$  ou  $\text{kg/m}^2.\text{s}$ )
- $\pi_j$  - coeficiente de permeabilidade ao vapor ( $\text{g/m.h.mmHg}$  ou  $\text{kg/m.s.Pa}$ )
- $P_i - P_e$  - pressão de vapor interior ou exterior ( $\text{mmHg}$  ou  $\text{Pa}$ )
- $e_j$  - espessura (m)

Quanto ao fluxo de calor será dado pela Lei de Fourier:

$$q = \sum_j \frac{\lambda_j}{e_j} \cdot (T_i - T_e)$$

em que:

- q - fluxo de calor por unidade de superfície ( $\text{W/m}^2$ )
- $\lambda_j$  - coeficiente de condutibilidade térmica ( $\text{W/m.}^\circ\text{C}$ )
- $T_i - T_e$  - Temperatura interior e temperatura exterior ( $^\circ\text{C}$ )
- $e_j$  - espessura (m)

A aplicação do Método de Glaser exige o conhecimento dos seguintes parâmetros:

- condições climáticas interiores e exteriores ( $T_i$ ,  $P_i$ ,  $T_e$ ,  $P_e$ )
- propriedades dos materiais que constituem as diferentes camadas ( $\pi_j$ ,  $\lambda_j$ )
- resistências superficiais interior e exterior ( $1/h_i$ ,  $1/h_e$ )

A grande vantagem deste método é que permite uma fácil resolução gráfica que passa pelas seguintes fases (Figura 5).

**1.ª FASE** - Representar a parede num sistema de eixos ( $R$ ,  $p$ ), em que  $R = \sum e_j / \pi_j$  a resistência à difusão e  $P$  a pressão de vapor;

**2.ª FASE** - Calcular a curva de temperatura instalada na parede e a curva das pressões de saturação;

**3.ª FASE** - Comparar a curva de pressões de saturação com a curva das pressões de vapor geradas pelas condições limite.

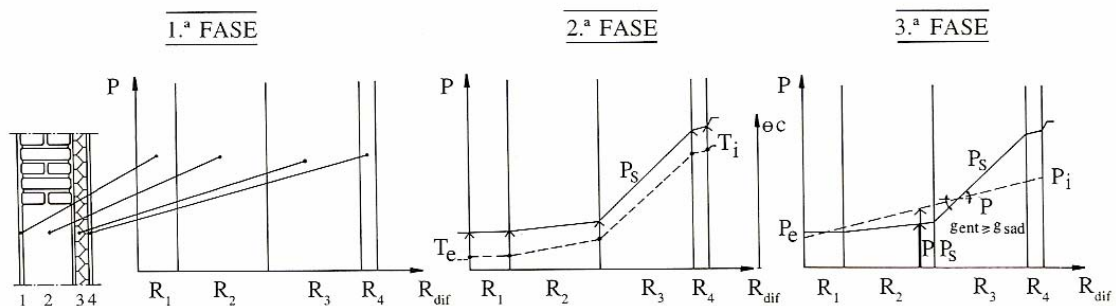


Figura 5 - Verificação gráfica da existência das condensações internas [3]

Quando o segmento de recta  $P_i$ - $P_e$  das pressões geradas pelas condições limite não interceptar a curva das pressões de saturação  $P_s$ , não haverá lugar a condensações no interior do elemento.

Quando, pelo contrário, a curva de pressões de saturação intercepta a curva de pressões de vapor haverá lugar a condensações.

A determinação da zona de condensações internas faz-se tendo em atenção as seguintes condições:

- Qualquer que seja o ponto no interior da parede  $P \leq P_s$ ;
- Como se admite que não há lugar à produção de humidade no interior do elemento, a densidade do fluxo não pode aumentar, isto é,  $g_{said} \leq g_{ent}$

Para determinar a quantidade de água que depois se deposita no interior de um elemento, pode-se aplicar a Lei de Fick admitindo que o fluxo condensado é igual à diferença dos fluxos de entrada e de saída na zona de condensação.

## 6. Influência das condições climáticas interiores nas condensações internas

A quantificação dos fluxos de humidade que se deslocam e eventualmente se depositam num dado elemento de construção depende das características higrométricas dos materiais que constituem as diferentes camadas e das condições climáticas interiores e exteriores.

A humidade de um local interior ventilado resulta do equilíbrio entre a produção de vapor no interior e o ritmo de ventilação, podendo definir-se um parâmetro designado por higrometria ( $W/n.V$ ), que traduz o aumento da humidade interior em relação à humidade exterior e consequentemente define o gradiente de pressão de vapor a que se encontra submetida a envolvente.

A relação entre a humidade interior e exterior pode traduzir-se pela seguinte expressão:

$$W_i = W_e + \frac{W}{n.V} \cdot 0,825 \text{ (g/kg)}$$

em que:

- $W_i$  - humidade absoluta do ar interior, g/kg
- $W_e$  - humidade absoluta do ar exterior, g/kg
- $W$  - produção de vapor no interior, g/h
- $n$  - número de renovação horária,  $h^{-1}$
- $V$  - volume interior,  $m^3$

A produção de humidade ( $W$ ) e o caudal de ventilação ( $n.V$ ) nos edifícios são variáveis de acordo com a sua utilização. Daí que os edifícios possam ser classificados de acordo com a sua higrometria ( $W/n.V$ ), Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação da higrometria dos locais interiores

Higrometria	Tipo de locais
Fraca $\frac{W}{n.V} < 2,5 \text{ g/m}^3$	Escritórios Escolas
Média $2,5 \leq \frac{W}{n.V} < 5,0 \text{ g/m}^3$	Habitacões (não sobreocupada e correctamente ventilada)
Forte $5,0 \leq \frac{W}{n.V} < 7,5 \text{ g/m}^3$	Habitacões (com ventilação reduzida) Indústrias
Muito Forte $\frac{W}{n.V} \geq 7,5 \text{ g/m}^3$	Piscinas Certos locais industriais

Em função da utilização dos edifícios, as condições climáticas interiores são diferentes, o que gera diferentes fluxos de humidade a atravessarem os elementos da envolvente. Será, portanto, necessário atender à higrometria dos locais no dimensionamento dos diferentes elementos de construção.

Quadro 2 - Características higrótérmicas de alguns materiais de construção

Materiais	Condutibilidade Térmica $\lambda$ (W/m.°C)	Permeabilidade $\pi^{***}$ (g/m.h.mmHg)
Polistireno extrudido	0,027-0,033	$70 \times 10^{-5}$
Polistireno expandido	0,040	$300 \times 10^{-5}$
Aglomerado negro de cortiça	0,045	$500 \times 10^{-5}$
Lã mineral	0,040-0,045	$7\ 000 \times 10^{-5}$
Ar em repouso (lâmina de ar não ventilada)	0,071-0,250*	$10\ 400 \times 10^{-5}$
Betão	1,75	$300 \times 10^{-5}$
Betão celular	0,25	$2\ 000 \times 10^{-5}$
Alvenaria de tijolo vazado	0,50*	$500 \times 10^{-5}$ **
Alvenaria de tijolo maciço	1,00*	$900 \times 10^{-5}$ **
Alvenaria de bloco de cimento	1,00*	$650 \times 10^{-5}$ **
Reboco à base de ligantes hidráulicos	1,15	$70 \times 10^{-5}$
Reboco à base de gesso	0,35	$1\ 050 \times 10^{-5}$
Alvenaria de granito	3,0*	$320 \times 10^{-5}$

\* Condutibilidade equivalente

\*\* Permeabilidade equivalente (tem consideração os alvéolos dos blocos e a argamassa das juntas)

\*\*\*  $1\text{g/m.h.mmHg} - 0,208 \times 10^{-8} \text{ kg/m.s.Pa}$

O teor de humidade que os materiais de isolamento térmico apresentam condiciona de uma forma significativa a sua condutibilidade térmica ( $\lambda$ ).

Na figura seguinte apresentam-se valores de  $\lambda$  em função do teor de humidade para os vários materiais de isolamento. O poliestireno extrudido evidencia claramente o melhor comportamento humidade.

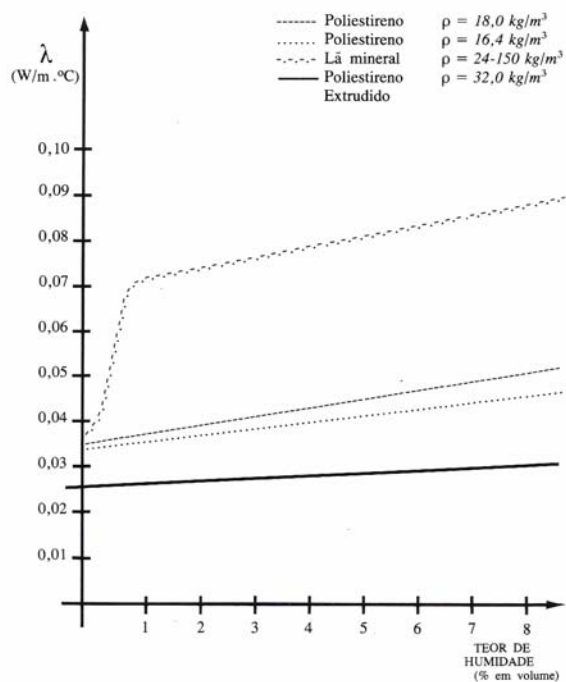


Figura 6 - Variação da condutibilidade térmica com o teor de humidade para vários materiais de isolamento térmico

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Henriques, Fernando M.A., Rato, Vasco M. (2003), "Avaliação do risco de ocorrência de condensações internas em coberturas planas", Cadernos Edifícios n.º 3, LNEC, Lisboa
- [2] Mendes, Nathan (1997), "Modelos para a previsão da transferência de calor e humidade em elementos porosos das edificações", Tese para obtenção de Grau de Doutor, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis.
- [3] Abrantes, Victor, Freiras, Vasco P. (1993), "O isolamento térmico da envolvente dos edifícios face ao novo regulamento", ISBN:972-95969-0-5, Odivelas