

HUMIDADE NA CONSTRUÇÃO

—

HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO

Vasco Peixoto de Freitas
Paulo da Silva Pinto

ESTRUTURAÇÃO

- I. INTRODUÇÃO
- II. FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA HUMIDADE
- III. FACTORES QUE CONDICIONAM AS CONDENSAÇÕES
- IV. QUANTIFICAÇÃO DAS CONDENSAÇÕES
- V. CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO DA ENVOLVENTE DE FORMA A EVITAR CONDENSAÇÕES

I

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO



INTRODUÇÃO

**Preocupação crescente com a
qualidade da envolvente dos edifícios**



**Deficiente comportamento
do “produto final”**

INTRODUÇÃO

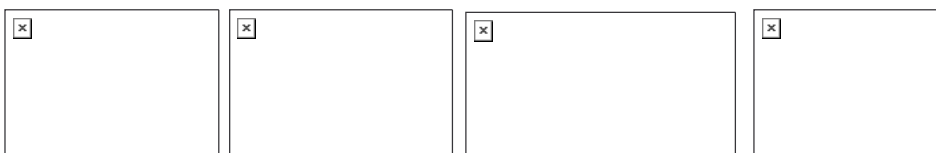
- **Ausência de compatibilização das exigências**
- **Ausência de pormenorização construtiva a uma escala adequada**
- **Ausência de dimensionamento das soluções do ponto de vista da Física das Construções**

INTRODUÇÃO

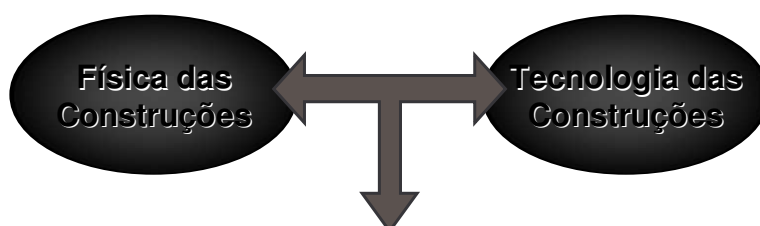
HUMIDADE



Principal causa das patologias



INTRODUÇÃO



- **Estudo da transferência de humidade**
- **Definição da composição adequada**

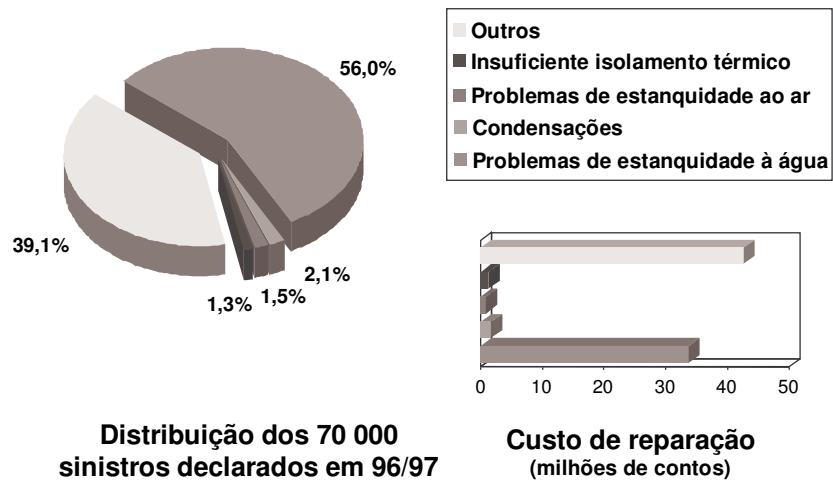
II

FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA HUMIDADE

FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA HUMIDADE

- Infiltrações
- Fugas nas canalizações
- Humidade ascensional
- Higroscopicidade
- **Humidade de condensação**

FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA HUMIDADE



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 11

III

MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 12

MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

PROBLEMA COMPLEXO

- Fase vapor
 - Difusão
 - Movimentos convectivos
- Fase líquida
 - Capilaridade
 - Gravidade
 - Gradientes de pressão

CAPILARIDADE

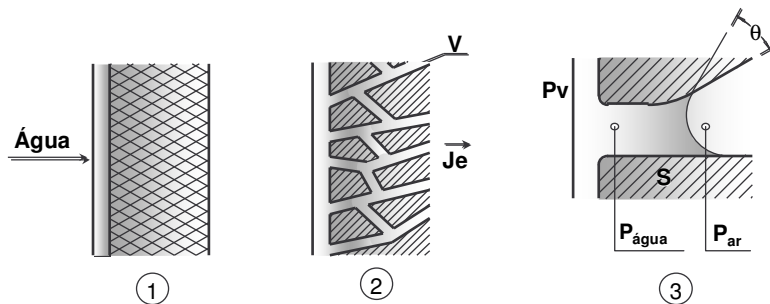
ADSORÇÃO / DESADSORÇÃO

CONDENSAÇÃO

GRAVIDADE + PRESSÕES EXTERIORES

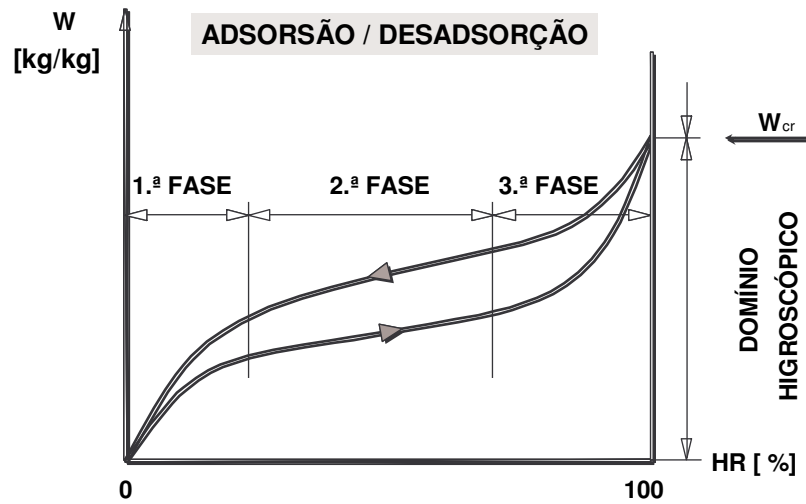
MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

CAPILARIDADE



$$P_c = P_{ar} - P_{água} = \sigma \cos \theta \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \left[\text{N/m}^2 \right]$$

MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

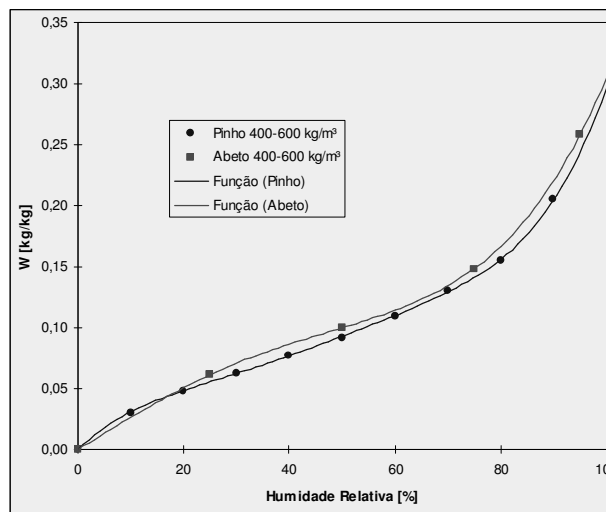


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 15

MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

ADSORSÃO

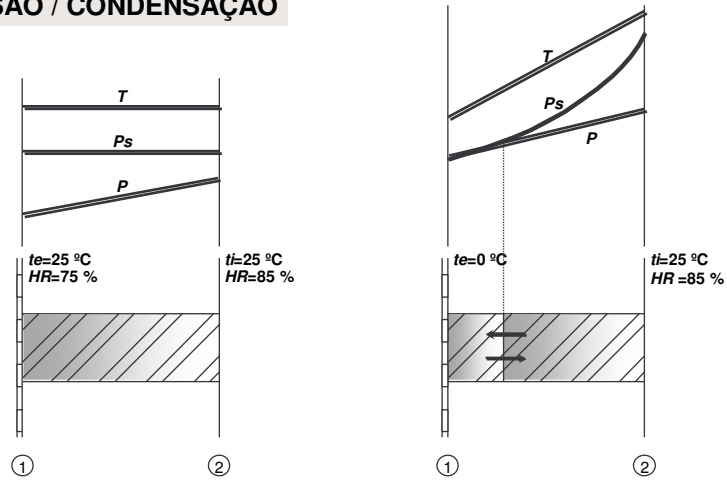


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 16

MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

DIFUSÃO / CONDENSAÇÃO



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 17

IV

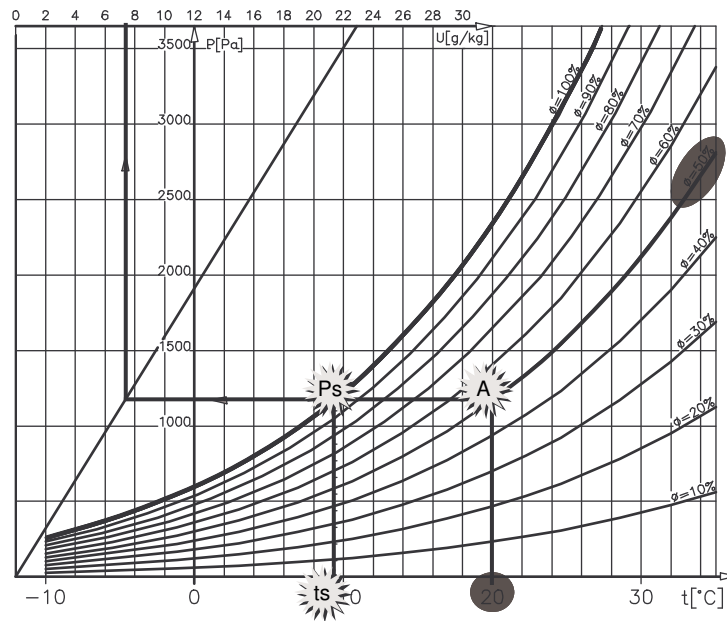
FACTORES QUE CONDICIONAM AS CONDENSAÇÕES

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 18

DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

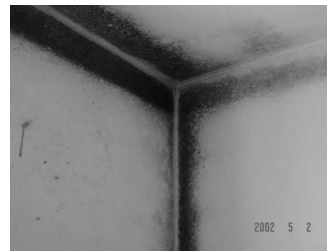
$$\theta_i \geq t_s$$



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 19

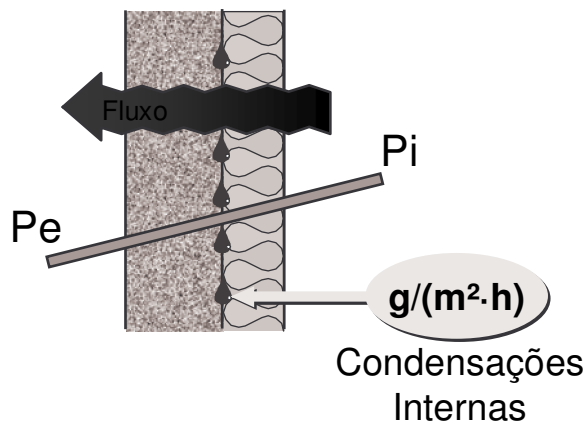
CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 20

CONDENSAÇÕES INTERNAS



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 21

FACTORES QUE CONDICIONAM AS CONDENSAÇÕES

- **Factores que condicionam a humidade relativa e a difusão de vapor**

- Produção de vapor
- Inércia higríca
- Ventilação
- Condições climáticas exteriores
- Temperatura interior
 - Aquecimento
 - Isolamento térmico
 - Pontes térmicas
 - Orientação

Diferentes condições climáticas no interior

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 22

FACTORES QUE CONDICIONAM AS CONDENSAÇÕES

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

Higrometria		
	$\frac{W}{n \cdot V}$	(g/m ³)
Fraca	$\leq 2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Escolas, Ginásios
Média	$2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ a $5,0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Edifícios de habitação não sobreocupados e correctamente ventilados
Forte	$5,0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ a $7,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Edifícios de habitação com ventilação deficiente, Indústrias
Muito forte	$\geq 7,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Piscinas, certos locais industriais com grande produção de vapor

IV

QUANTIFICAÇÃO DAS CONDENSAÇÕES

QUANTIFICAÇÃO DAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

$$\theta_i \geq t_s$$

$$\theta_i = t_i - \frac{K}{h_i}(t_i - t_e)$$

θ_i : Temperatura da superfície interior do elemento, em °C

t_s : Temperatura de ponto de orvalho, em °C

t_i : Temperatura da ambiência interior, em °C

K : Coeficiente de transmissão térmica do elemento, em W/(m².°C)

h_i : Condutância térmica superficial interior, em W/(m².°C)

t_e : Temperatura da ambiência exterior, em °C

QUANTIFICAÇÃO DAS CONDENSAÇÕES INTERNAS

• Modelos matemáticos

• Modelo de *Luikov e Philip-De Vries*

Wufi



TrHum98

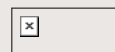


• Modelo de *Glaser*

Glasta



Condensa 2000



MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

MASSA

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w \frac{\partial w}{\partial x} + D_t \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

CALOR

$$\rho^* C^* \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda^* \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

W	— Teor de humidade	kg/kg
T	— Temperatura	°C
D_w	— Coeficiente de difusividade hídrica	m ² /s
D_t	— Coeficiente de difusividade higrotérmica	m ² /(s·K)
ρ^*	— Massa volúmica equivalente	kg/m ³
C^*	— Capacidade calorífica equivalente	J/(kg·K)
λ^*	— Condutibilidade térmica equivalente	W/(m·K)

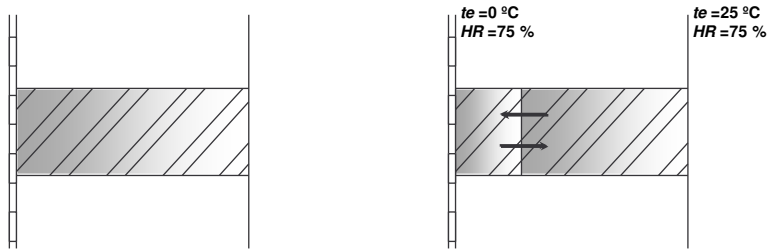
MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98



MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

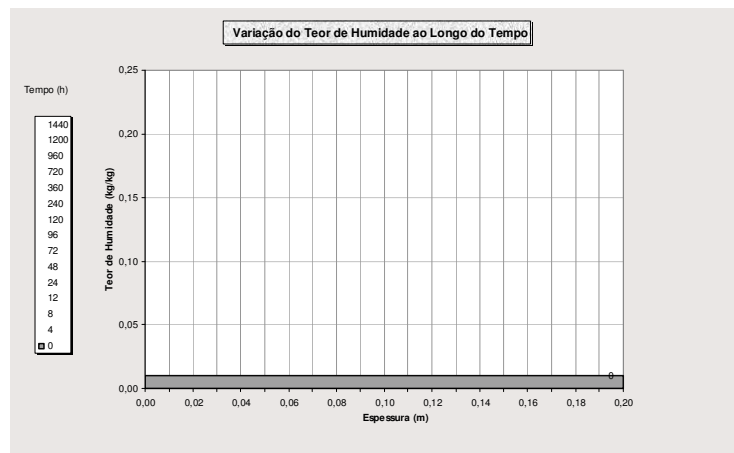


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 29

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

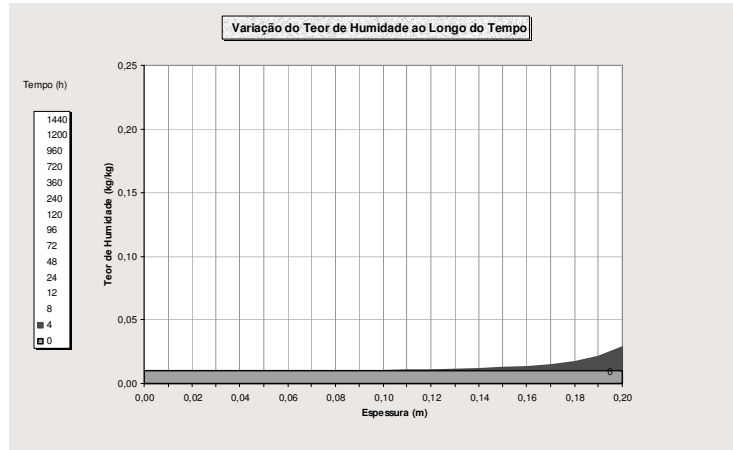


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 30

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

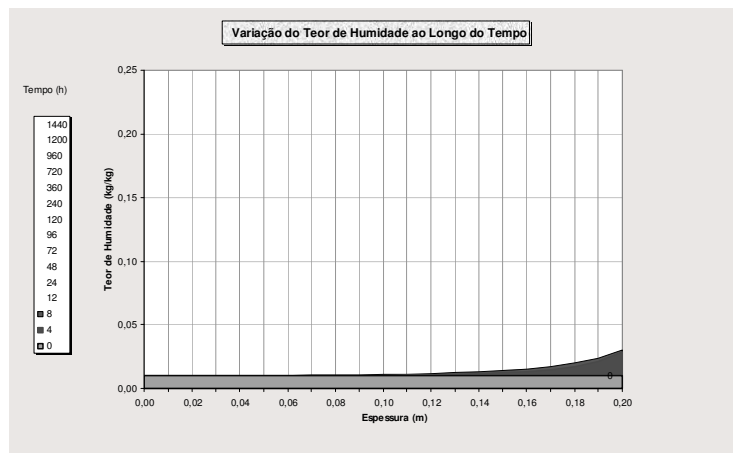


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 31

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

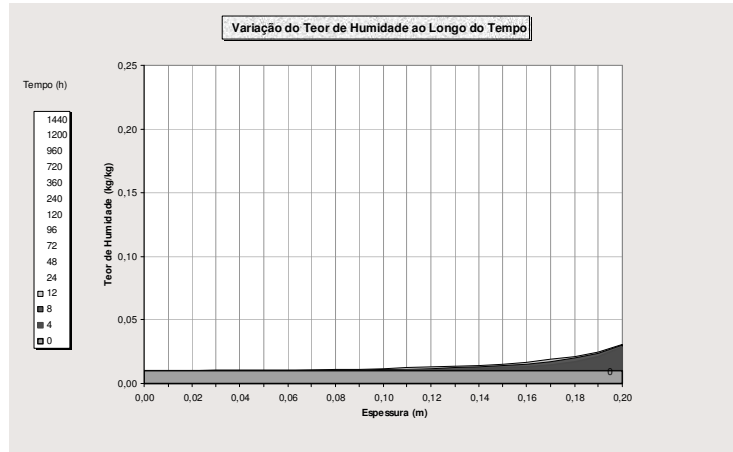


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 32

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

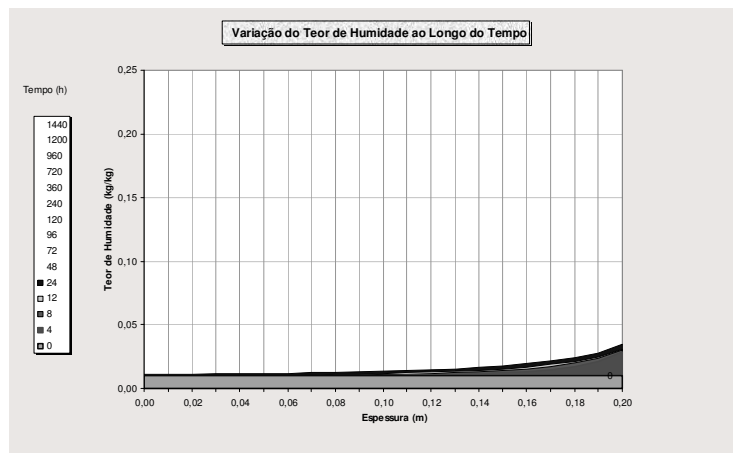


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 33

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

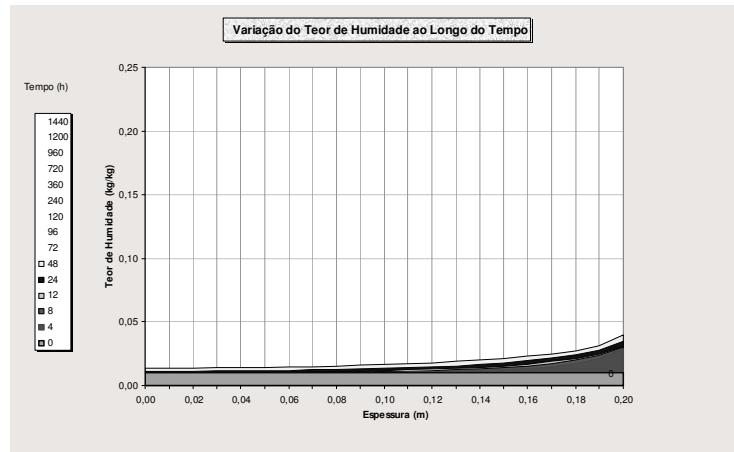


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 34

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

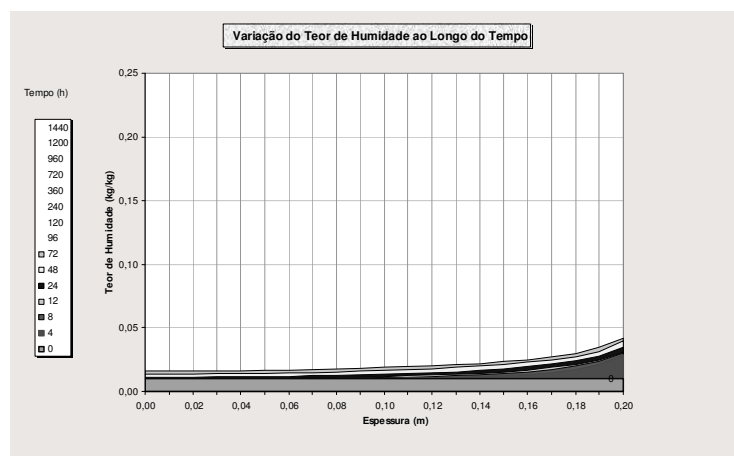


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 35

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

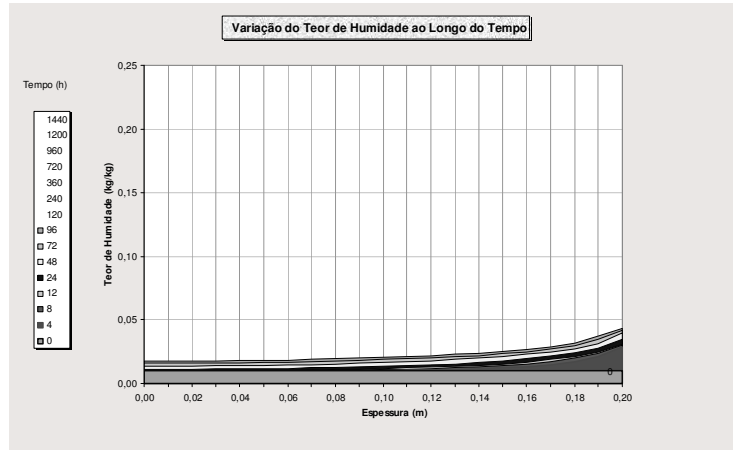


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 36

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

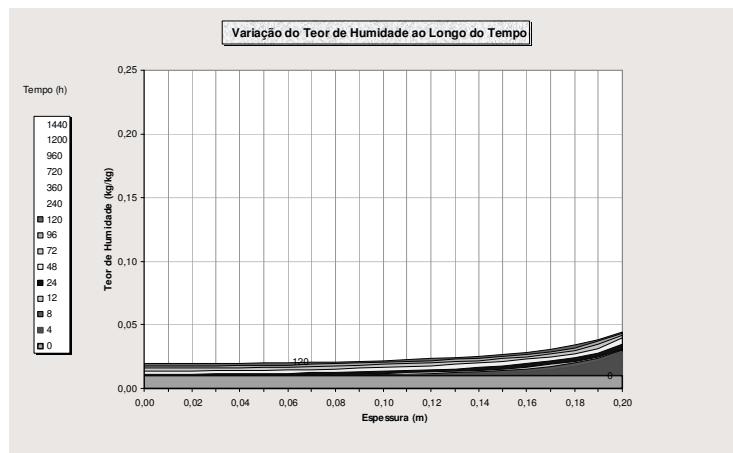


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 37

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

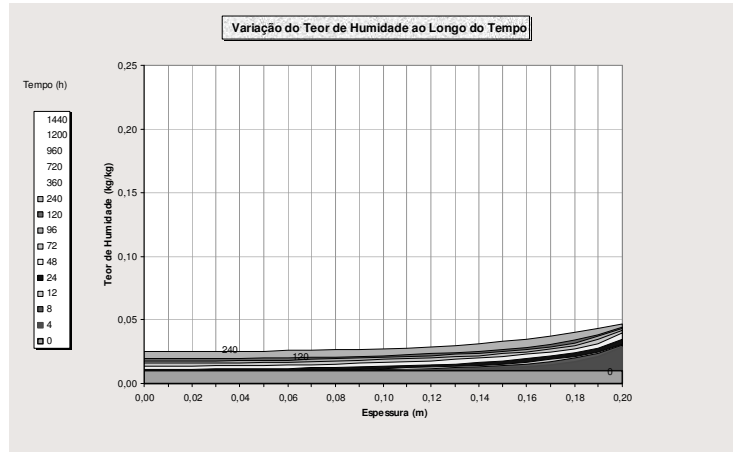


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 38

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

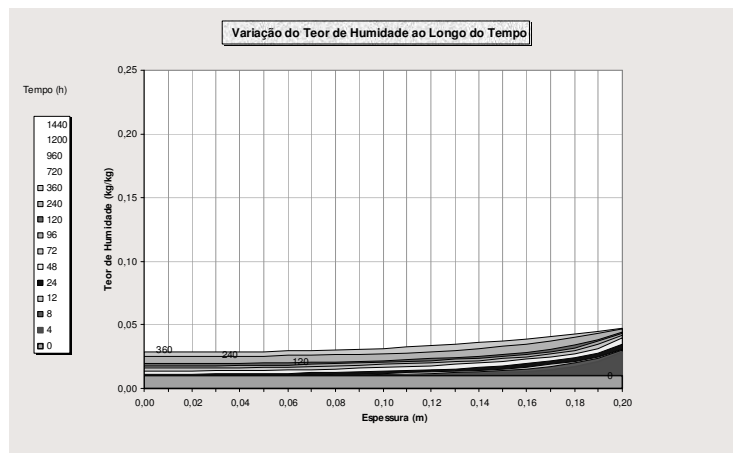


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 39

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

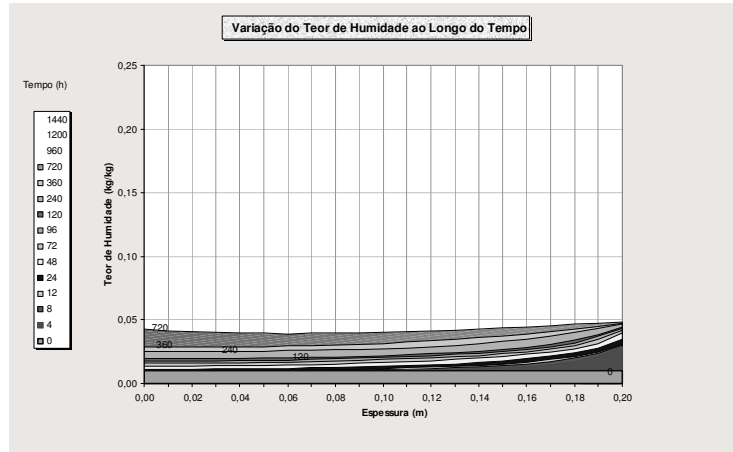


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 40

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

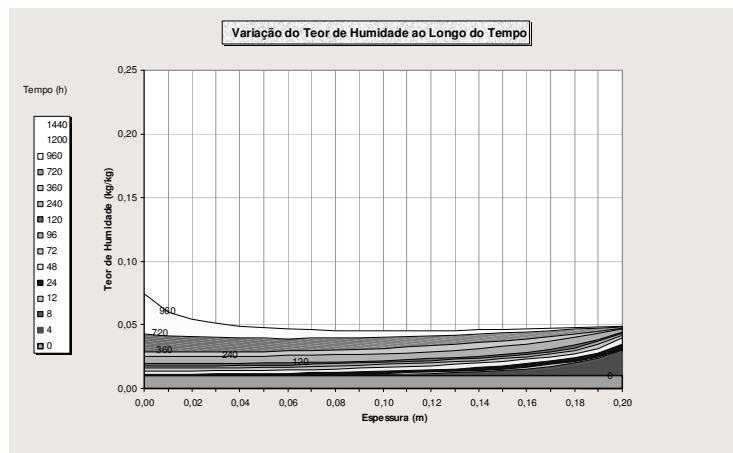


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 41

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

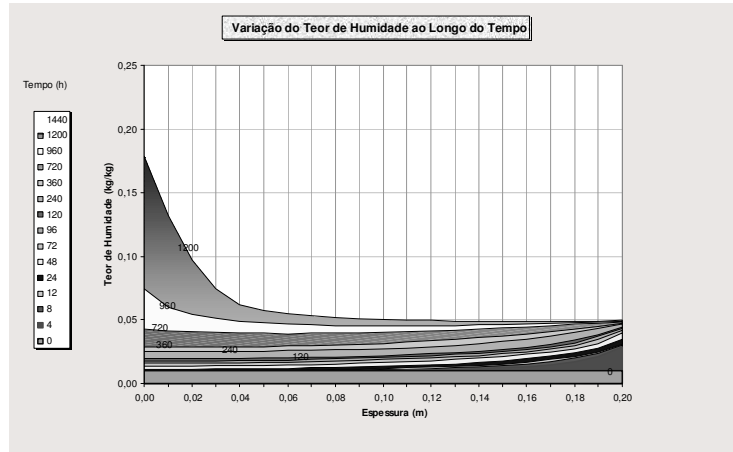


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 42

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98



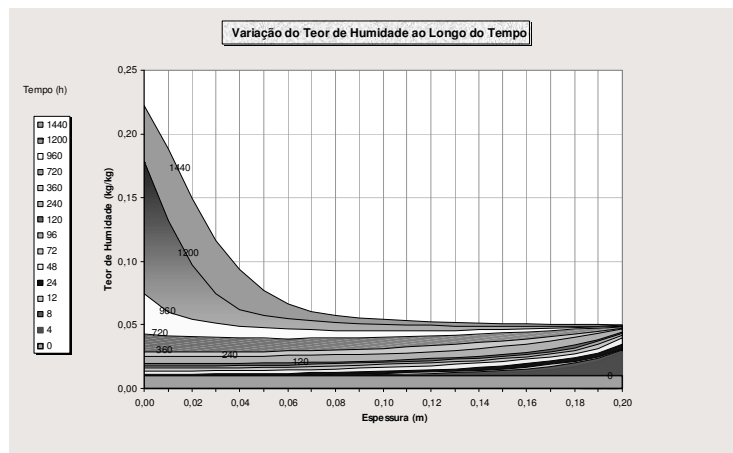
Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 43

MODELO DE LUIKOV E PHILIP-DE VRIES

TRHum98

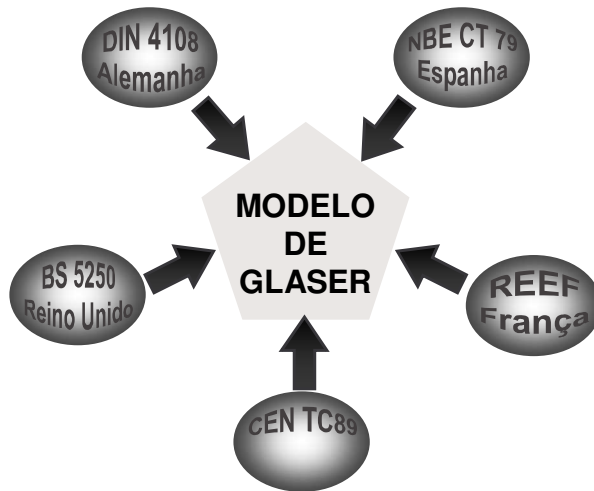
Repetir simulação



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 44

MODELO DE GLASER



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 45

MODELO DE GLASER

LEI DE FICK

$$g = -\pi(T, HR) \frac{dP}{dx}$$

kg/(m²·s) kg/(m·s·Pa) Pa/m

π constante



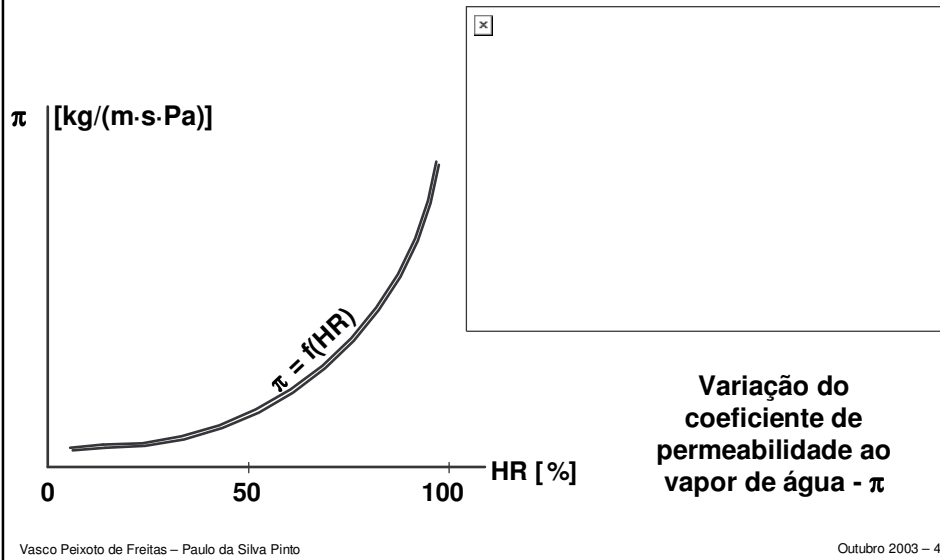
$$\frac{d\pi}{dT} = 0$$

$$\frac{d\pi}{dHR} = 0$$

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

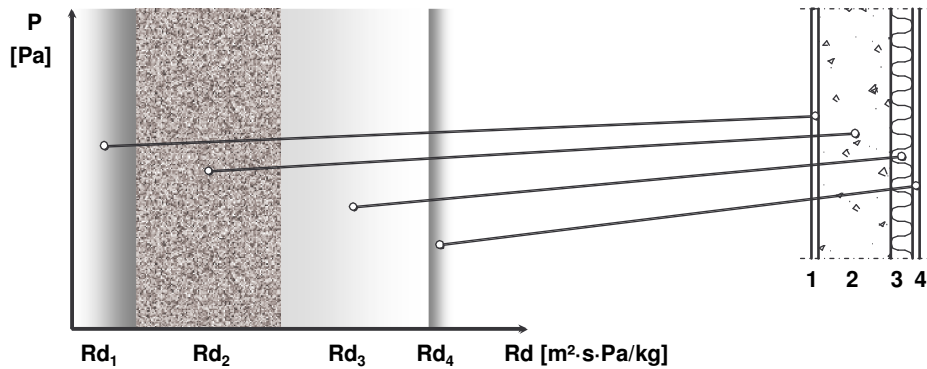
Outubro 2003 – 46

MODELO DE GLASER



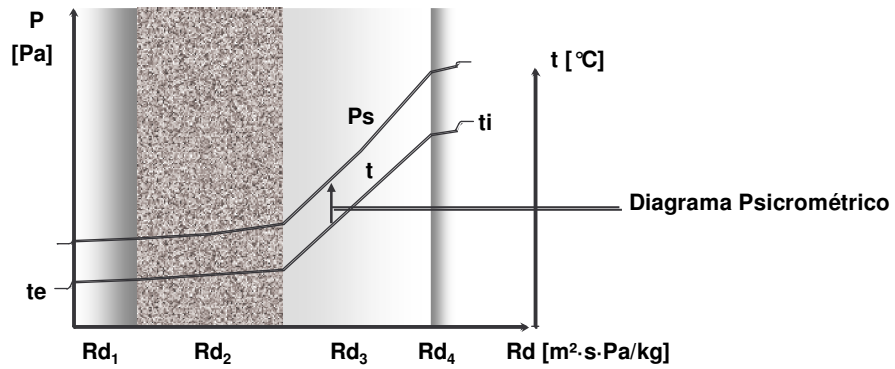
MODELO DE GLASER

RESOLUÇÃO GRÁFICA – 1.ª FASE



MODELO DE GLASER

2.ª FASE

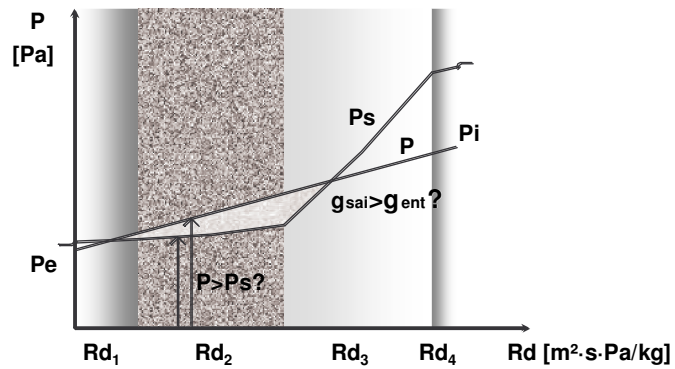


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 49

MODELO DE GLASER

3.ª FASE

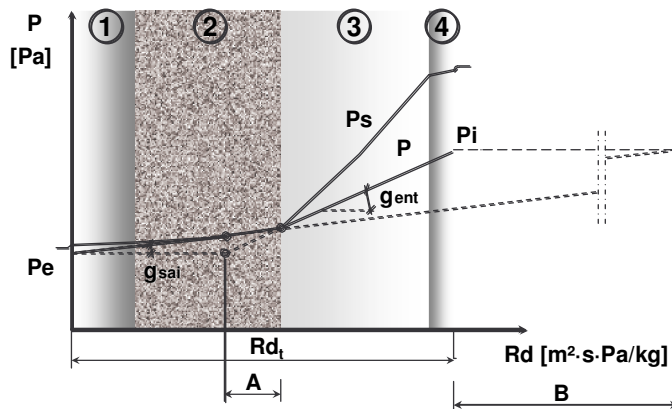


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 50

MODELO DE GLASER

4.ª FASE



LEGENDA

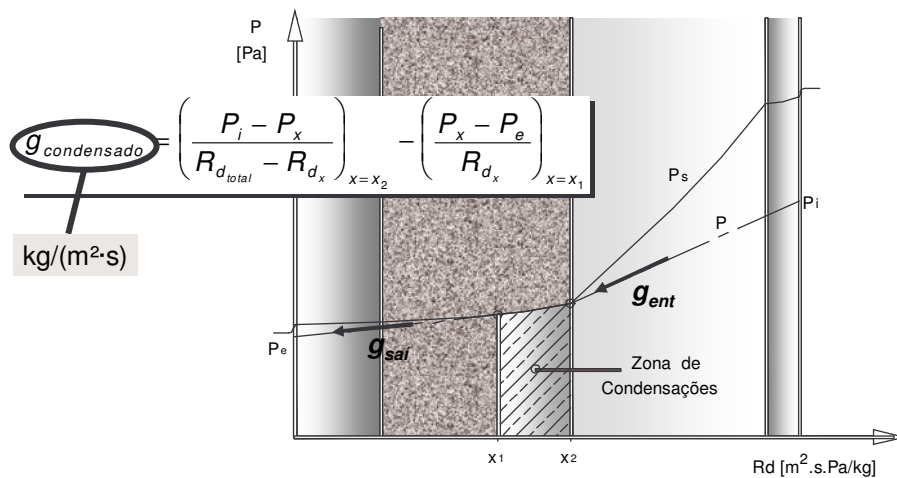
A – Valor máximo acumulado da resistência à difusão de vapor das camadas situadas no “lado frio” do elemento (camadas 1 e 2), para evitar a ocorrência de condensações.

B – Valor da resistência à difusão da barreira pára-vapor a colocar no “lado quente” do elemento (interior à camada 3), para evitar a ocorrência de condensações

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 51

MODELO DE GLASER



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 52

PROGRAMA CONDENSE 2000

CONDENSE - 2000

Quantificação de Condensações em Elementos de Construção

Continuar

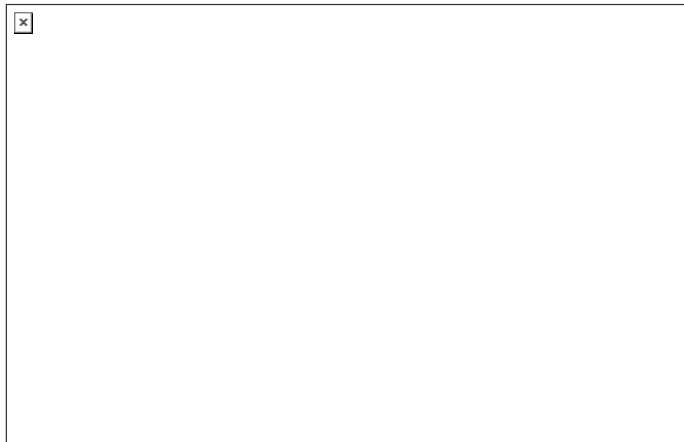
Sair

Desenvolvido por:

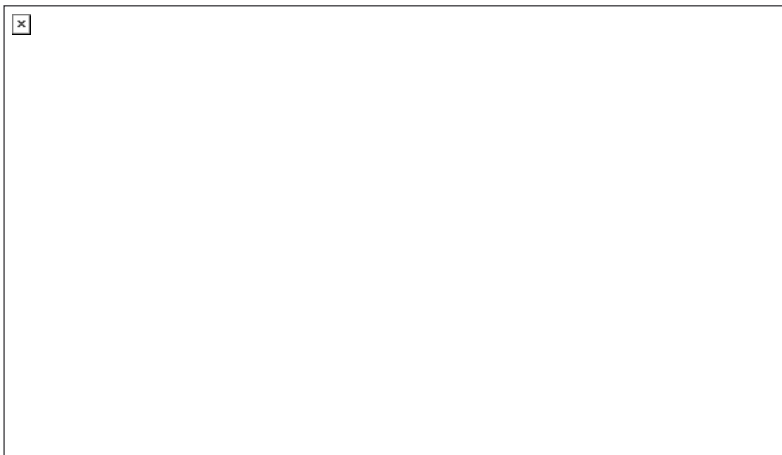
- Prof. Vasco Peixoto de Freitas
- Eng.º Armandino Miguel de Sousa Silva
- Eng.º J. Gabriel Silva

Março de 2000

PROGRAMA CONDENSE 2000



PROGRAMA CONDENSA 2000



COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE AO VAPOR RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR

NIT 002 - LFC 1998

N.º	MATERIAL	Factor de Resistência à difusão de vapor de água	Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água	
		μ	π	
		—	$\text{g}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{mmHg})\times 10^{-5}$	$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})\times 10^{-12}$
3.6	Betão normal	15 a 260	34 a 625	0,71 a 13,0
	Valor de referência	30	300	6,3
5.8	Lã mineral	1,0 a 1,9	4650 a 8900	97 a 185

$$\mu = \frac{\pi_{ar}}{\pi}$$

PERMEÂNCIA AO VAPOR DE ÁGUA ESPESSURA DA CAMADA DE AR DE DIFUSÃO

NIT 002 - LFC 1998

N.º	MATERIAL	Espeçura da camada de ar de difusão equivalente	Permeância ao vapor de água	
		S_d	$Pe = \pi/e$	
		m	$g/(m^2 \cdot h \cdot mmHg) \times 10^{-5}$	$kg/(m^2 \cdot s \cdot Pa) \times 10^{-12}$
2.1	Alvenaria de blocos de betão $e = 0,20$ m	2,7	3250	68

$$S_d = \mu \cdot e$$

PROGRAMA CONDENSA 2000

CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS

0
0

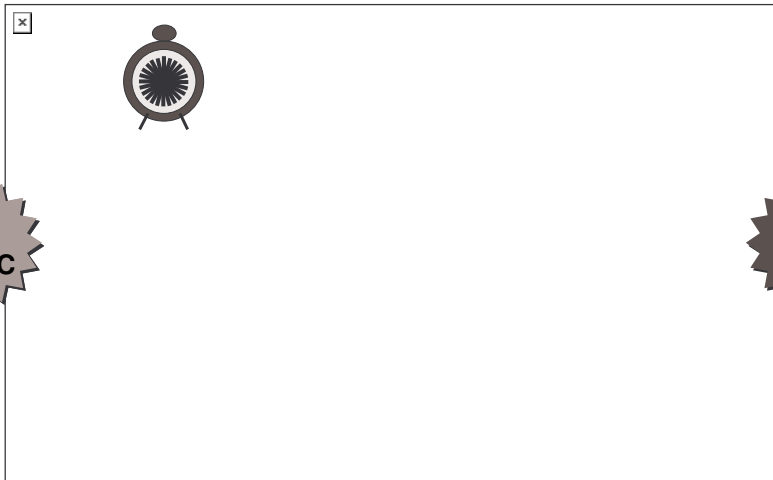
PROGRAMA CONDENSA 2000

QUADRO 3



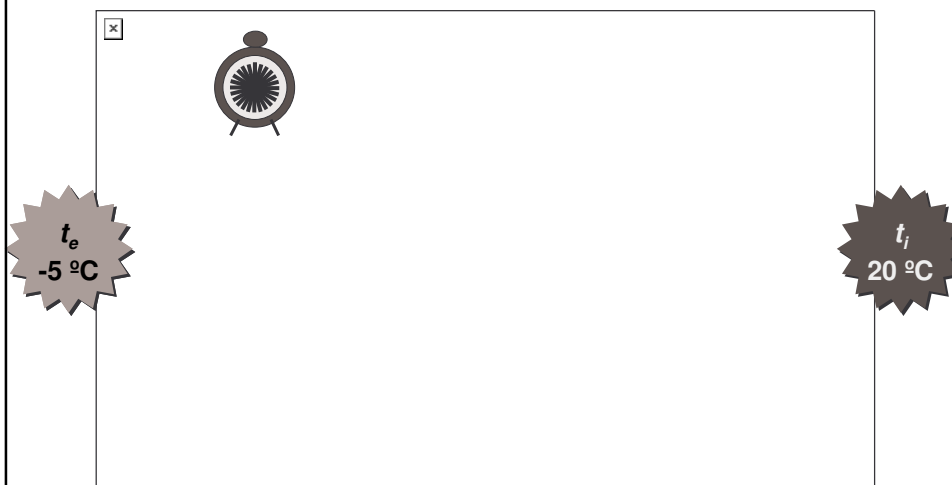
PROGRAMA CONDENSA 2000

SAÍDA GRÁFICA



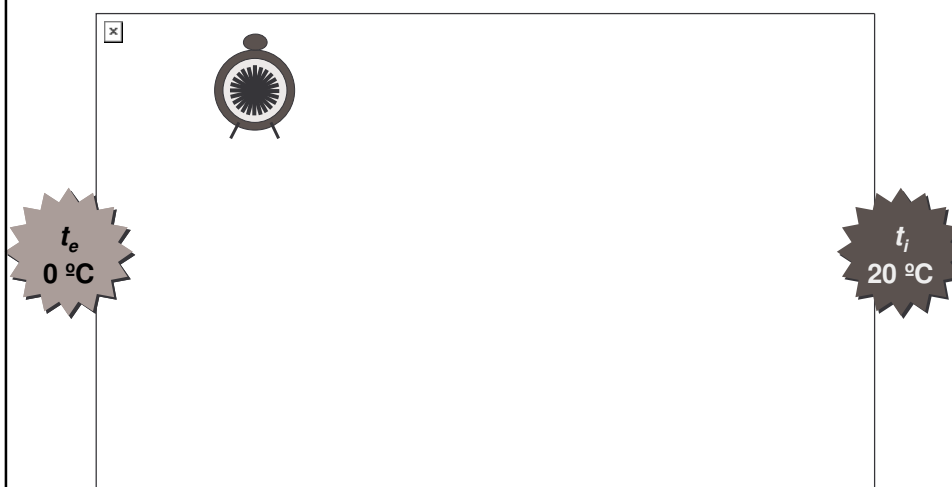
PROGRAMA CONDENSA 2000

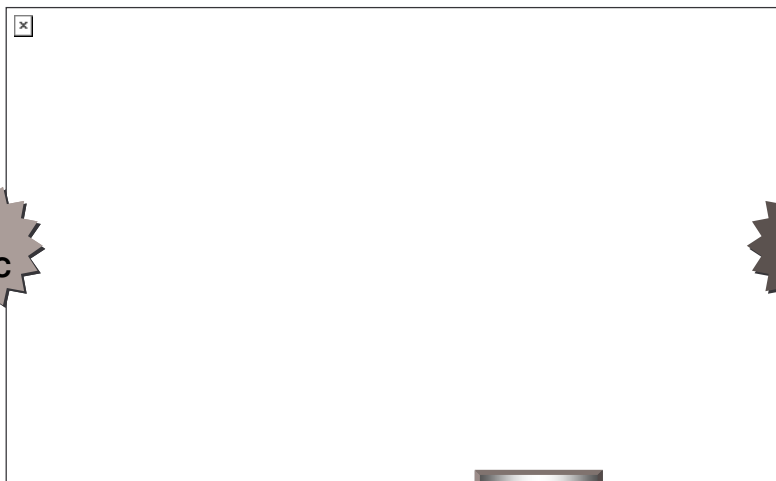
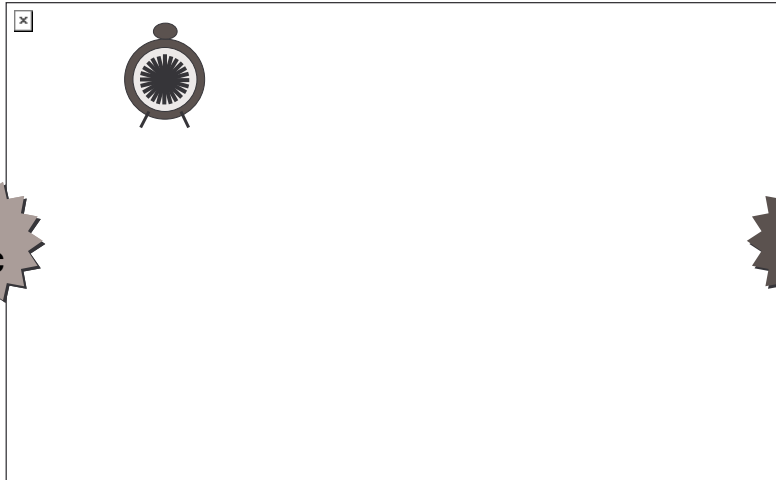
SAÍDA GRÁFICA



PROGRAMA CONDENSA 2000

SAÍDA GRÁFICA





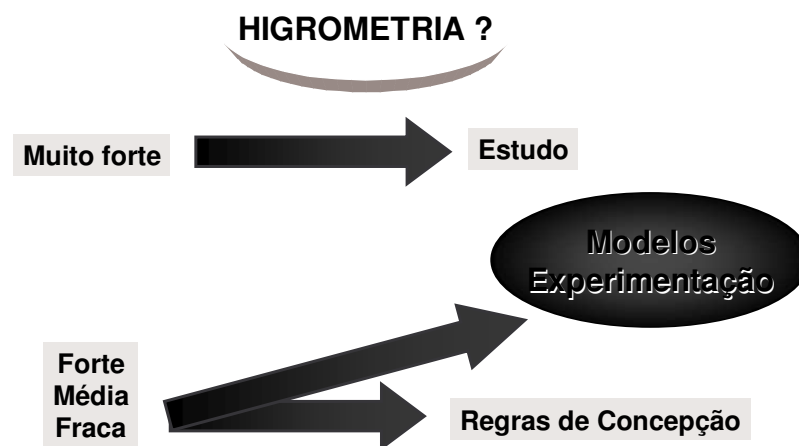
IV

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS DE FORMA A EVITAR CONDENSAÇÕES

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 65

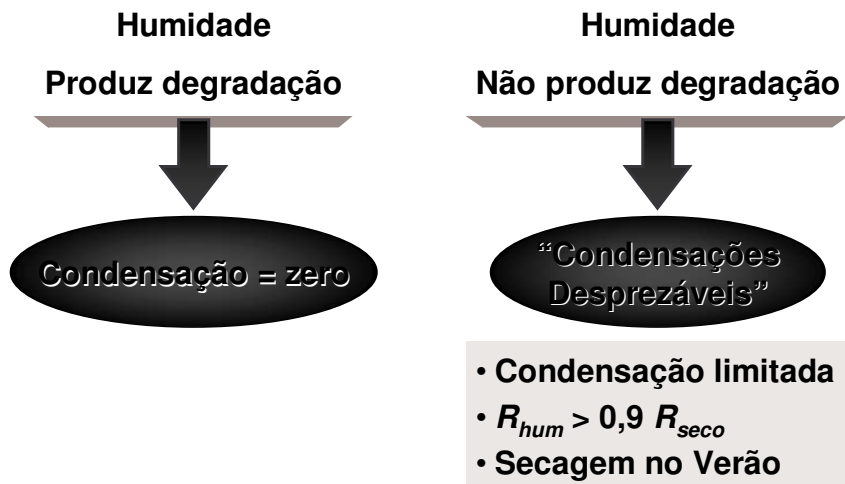
CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 66

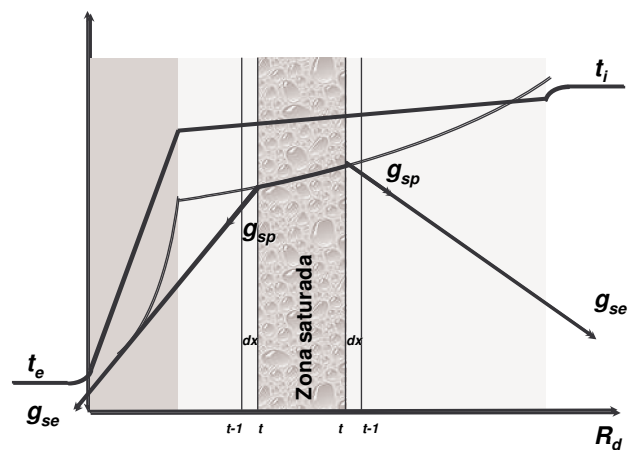
CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 67

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 68

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

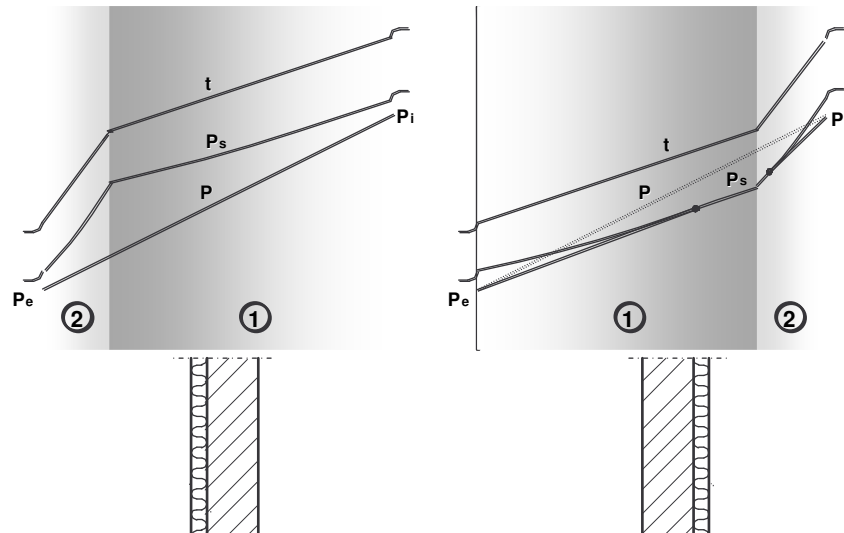
PRINCÍPIOS GERAIS

- Adequado controlo do clima interior dos edifícios (aquecimento e ventilação dos espaços);
- Do interior para o exterior de um elemento construtivo (admitindo que o fluxo de vapor se verifica do interior para o exterior), a resistência à difusão de vapor água das camadas deverá diminuir progressivamente. Mais especificamente, os componentes com elevada resistência à difusão de vapor (como é o caso das barreiras pára-vapor) deverão ser aplicados pelo interior das camadas de isolamento térmico, enquanto que pelo exterior se deverão aplicar componentes de elevada permeância ao vapor;

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 69

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS



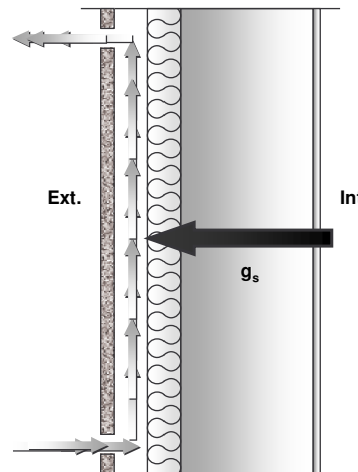
Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 70

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

PRINCÍPIOS GERAIS

- Os espaços de ar no interior dos elementos construtivos onde se possa verificar a acumulação de humidade deverão ser ventilados pelo exterior das camadas de isolamento térmico e de eventuais barreiras pára-vapor



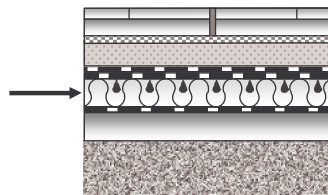
Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 71

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

PRINCÍPIOS GERAIS

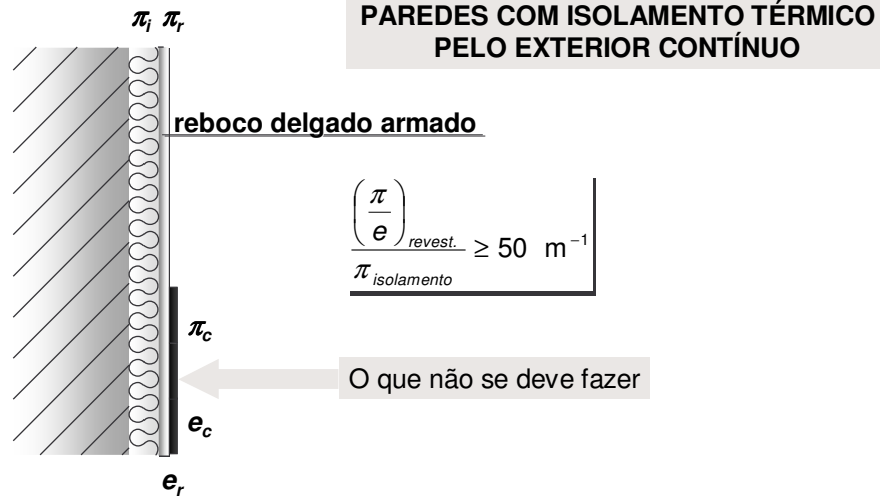
- Deve evitar-se a aplicação de componentes pouco permeáveis em planos distintos do elemento construtivo, na medida em que a humidade que possa atingir o espaço intermédio tem muitas dificuldades de secagem. As barreiras “inteligentes” permitem contornar este problema



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 72

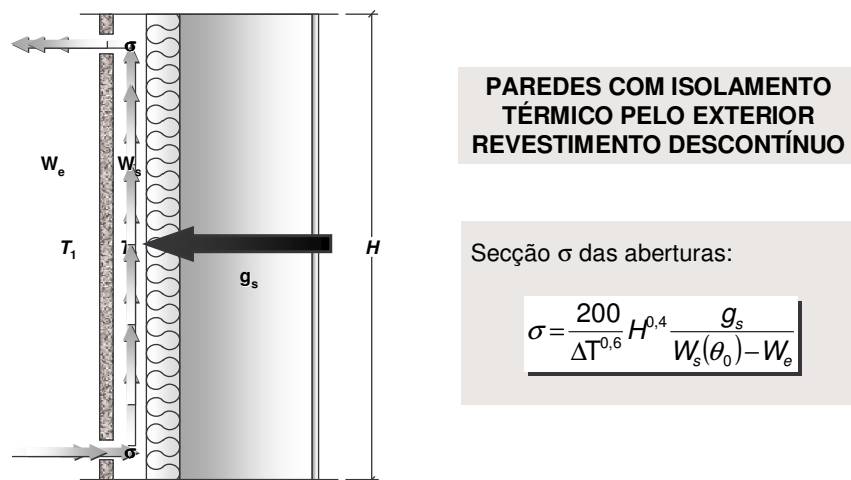
CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 73

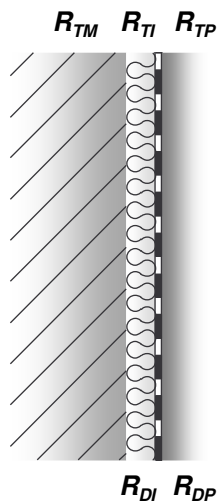
CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 74

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS



PAREDES COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR OU ENTRE PANOS

Regra 1 – Evitar a ocorrência de condensações na face interior do isolamento térmico

$$R_{TI} > 3 R_{TP}$$

Regra 2 – Evitar a ocorrência de condensações internas na espessura do isolamento térmico

$$\frac{1}{R_{DP}} < 0,060 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$$

Regra 3 – Evitar condensações no pano exterior de parede

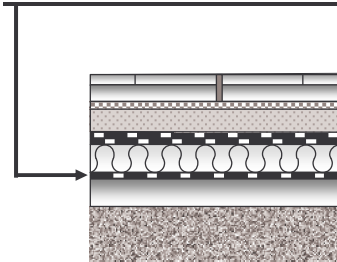
$$3 R_{TM} > R_{TI} + R_{TP}$$

...

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

COBERTURAS EM TERRAÇO TRADICIONAIS

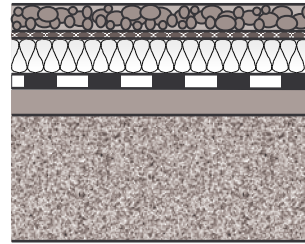
$$\frac{\pi}{e} < 0,001 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$$



CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

COBERTURAS EM TERRAÇO INVERTIDAS

- O sistema de impermeabilização funciona como barreira pára-vapor colocada pelo interior do isolamento térmico, ou seja, do “lado quente” durante o Inverno
- Atenção às camadas de forma de grande espessura pois podem apresentar uma resistência térmica elevada, funcionando de modo idêntico ao de uma cobertura tradicional. Além disso, é necessário garantir a sua adequada secagem antes da colocação do sistema de impermeabilização

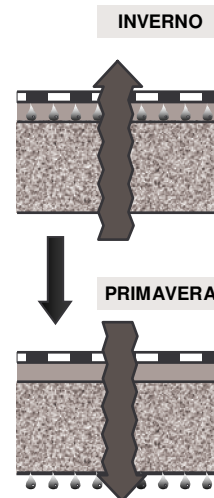
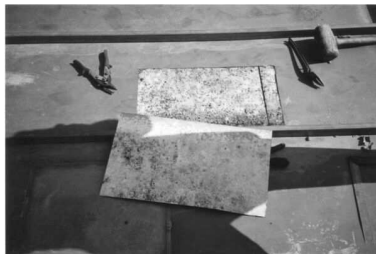


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 77

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

COBERTURAS EM ZINCO

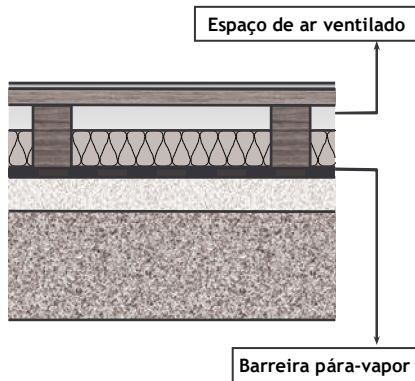


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

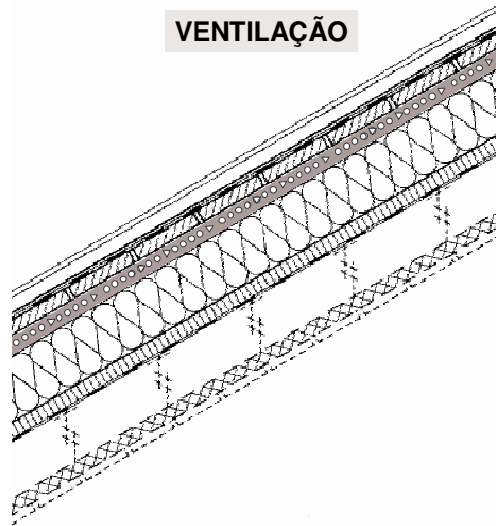
Outubro 2003 – 78

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

COBERTURAS EM ZINCO



VENTILAÇÃO

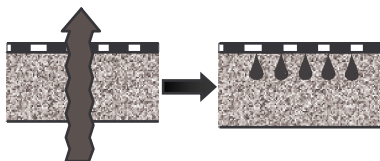


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 79

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

PAVIMENTOS TÉRREOS

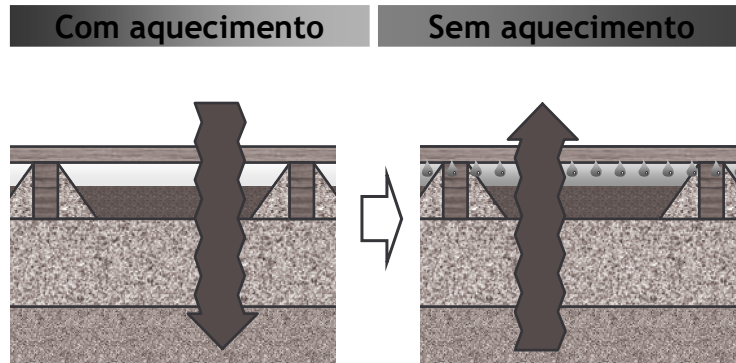


- Pavimentos com revestimento pouco permeável ao vapor e sensíveis à humidade (madeiras, elementos colados com colas acrílicas, ...)
- Colocar uma barreira pára-vapor de permeância não superior a $0,001 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$, entre o terreno e o revestimento de pavimento

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 80

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

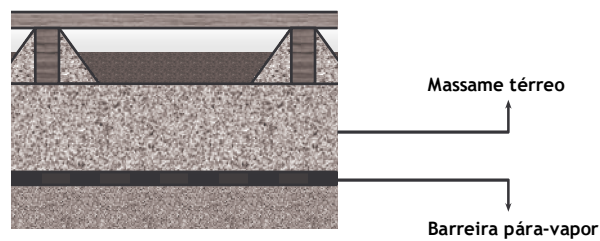


Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 81

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES INTERNAS

- Colocação de uma barreira pára-vapor sob o massame térreo



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 82

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

BARREIRAS PÁRA-VAPOR – componentes importantes no controlo das condensações internas, na medida em que restringem a difusão de vapor de água através dos elementos construtivos

É necessário compatibilizar as diferentes exigências na concepção deste tipo de componentes

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

DEFINIÇÃO

São componentes que dificultam a transferência de vapor de água, oferecendo uma resistência significativa à sua passagem

Segundo a ASHRAE, a sua permeância (P_e) não deverá ser superior a $57,2 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

MATERIAIS

- **MEMBRANAS** – rígidas (plásticos reforçados, alumínio ou outras chapas metálicas) ou flexíveis (como folhas metálicas, papéis, filmes e folhas de plástico ou feltros)



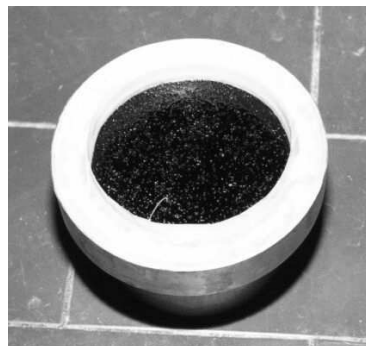
Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 85

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

MATERIAIS

- **PELÍCULAS DE REVESTIMENTO** – tintas, emulsões, ..., normalmente de composição betuminosa, resinosa ou polimérica, podendo aplicar-se a pincel, a rolo, com espátula, etc.



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 86

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

CARACTERIZAÇÃO

- A permeância ao vapor de água (P_e) é o parâmetro mais importante na caracterização de uma barreira pára-vapor
- O CSTC (Bélgica) define uma classificação de barreiras pára-vapor, que se apresenta no Quadro seguinte, em função da espessura da camada de ar de difusão equivalente (S_d), sendo:

$$S_d = \pi_{ar}/P_e$$

π_{ar} (coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar) $\cong 1,852 \times 10^{-10}$ kg/(m·s·Pa)

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

CARACTERIZAÇÃO

Classificação de barreiras pára-vapor, em função das suas características de permeabilidade ao vapor de água

Classe	S_d	P_e
E1	$2 \text{ m} < S_d \leq 5 \text{ m}$	$37 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) \leq P_e < 93 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
E2	$5 \text{ m} < S_d \leq 25 \text{ m}$	$7,4 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) \leq P_e < 37 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
E3	$25 \text{ m} < S_d \leq 200 \text{ m}$	$0,93 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) \leq P_e < 7,4 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
E4	$S_d > 200 \text{ m}$	$P_e < 0,93 \times 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

CARACTERIZAÇÃO

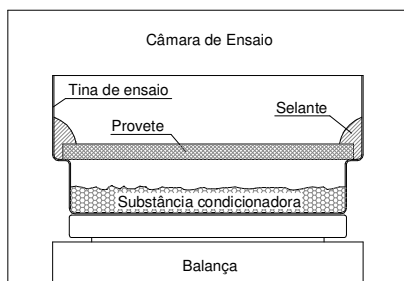
MATERIAL	S_d	P_e	
	m	$g/(m^2 \cdot h \cdot mmHg) \times 10^5$	$kg/(m^2 \cdot s \cdot Pa) \times 10^{12}$
Folha de alumínio e = 15 μm e = 100 μm	> 5,9 $\cong \infty$	< 1500 $\cong 0$	< 31 $\cong 0$
Folha de polietileno e = 50 μm e = 250 μm	19 a 20 74 a 110	435 a 460 82 a 120	9,1 a 9,6 1,7 a 2,5

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 89

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

ENSAIOS DE PERMEABILIDADE AO VAPOR



Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 90

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

Factores que influenciam a permeabilidade das barreiras pára-vapor:

- ◆ A existência de orifícios aumenta significativamente a sua permeância;
- ◆ As juntas, os pontos de atravessamento de tubagens ou outras zonas pontuais que necessitam de selagem, pelo que devem ser estanques e de fácil execução. Mesmo a classificação E1 apenas se pode atribuir nas situações em que seja garantida a continuidade da barreira pára-vapor e a conveniente estanquidade das juntas;
- ◆ A estanquidade ao ar, em particular para barreiras das classes E3 e E4.

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

Outros factores a equacionar na selecção de barreiras pára-vapor:

- Resistência mecânica, nomeadamente a esforços de tracção, punçoamento, etc.;
- Aderência;
- Elasticidade;
- Estabilidade higrotérmica;
- Resistência e reacção ao fogo;
- Resistência a outros agentes de deterioração;
- Facilidade de fabrico, aplicação e selagem das juntas.

BARREIRAS PÁRA-VAPOR

Elemento Construtivo	Resist. punçãoamento	Resist. abrasão	Resist. corte	Não corrosiva	Resist. "apodrecimento"	Resist. humidade	Notas
Paredes	Baixa	Baixa	Baixa				
Pavimentos térreos	Alta	Alta	Baixa		X	X	
Coberturas	Baixa	Alta	Média				
Câmaras frigoríficas	Alta	Alta	Alta	X	X	X	Sem retracção

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 93

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

How to solve the problem in Portugal?

- It is important to reflect upon the causes that lie behind condensation
- Define regulations to be complied
- Construction industry
- Take into consideration the actual conditions in which the buildings are used.

Vasco Peixoto de Freitas – Paulo da Silva Pinto

Outubro 2003 – 94

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

PARAMETERS REGULATING SURFACE CONDENSATION

- Indoor temperature
- Indoor relative humidity
- Production of vapour indoors
- Ventilation
- Hygroscopicity of indoor coatings/hygroscopic inertia

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

PARAMETERS REGULATING SURFACE CONDENSATION

- Vapour permeability of painted surfaces
- Thermal insulation of the envelope
- Treatment of thermal bridges
- Outdoor climate conditions (temperature and relative humidity)
- Solar radiation

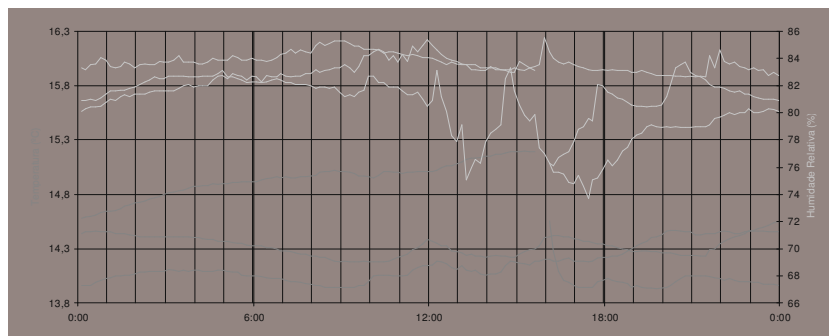
CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

PARAMETERS REGULATING SURFACE CONDENSATION

**It is extremely complex to define
a matrix that establishes a
connection between all of them so
as to establish a configuration
that does not lead to condensation**

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

- In Portugal dwellings are not heated in a continuous way
- In winter most residential buildings have indoor temperatures of around 15 °C and relative humidity exceeding 85 %



CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

PRODUCTION OF VAPOUR

- Varies greatly from one building to another
- Vapour amounting to some 10 kg a day
- Two people in a bedroom can produce over 1 kg of water vapour during one night

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

VENTILATION

- No indoor heating → minimise ventilation
- Windows → low permeability to air
- Natural extractions are not dimensioned according to technical recommendations
- When in the presence of mechanical air extraction systems, they are quite often connected to the lighting system, which allows them to work for a very brief period of time

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

VENTILATION

- In kitchens, individual extractors lose very significant amounts of charge
- They cause acoustic discomfort
- They run for only a few hours



CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

HYGROSCOPICITY OF INDOOR COATINGS/HYGROSCOPIC INERTIA

- In Portugal, turn-of-the-century constructions have no problems with condensation
- Their indoor surfaces are covered with gypsum and lime, even without heating, insulation or treatment of thermal bridges

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

VAPOUR PERMEABILITY OF INDOOR PAINTED SURFACES

- There is an ever-greater use of painting or varnishing systems that make it difficult for vapour exchanges to occur between the air and materials
- We consider that this technological course of action is highly negative
- It reduces the hygroscopic inertia in constructions

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

THERMAL INSULATION OF THE ENVELOPE

- RCCTE was a very positive contribution when into effect in the early 1990's
- Thermal insulation is a necessary condition, but not a sufficient condition, for preventing condensation
- The technology using double walls with hollow bricks, combined with reinforced concrete porticoed structures, makes continuous thermal insulation difficult

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

THERMAL BRIDGES

- The treatment of thermal bridges is important, but under no circumstances must it produce instability in the façades with resulting cracks and water infiltration
- In buildings where indoor relative humidity hovers around 95 %, there are no acceptable criteria for treating thermal bridges

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

OUTDOOR CLIMATE CONDITIONS

- Buildings and their envelope have to be thought out as a function of where they are to be put up
- The enclosures of buildings in Bragança, Porto and Lisbon need to be put up differently

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

SOLAR RADIATION

- The effect of solar radiation is very significant for non steady-state heat transfer
- The indoor temperature of the elements is different for walls facing north and south.
- The criteria to be met by the walls must take this requirement into consideration
- The criterion for treating a thermal bridge facing north and south is not the same

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

ORDERING CAUSES IN A HIERARCHICAL FASHION WHICH REGULATE SURFACE CONDENSATION

Design parameters

- Thermal insulation
- Ventilation system
- Nature of indoor coverings
- Orientation

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

ORDERING CAUSES IN A HIERARCHICAL FASHION WHICH
REGULATE SURFACE CONDENSATION

User parameters

- Indoor temperature
- Production of vapour
- Use of a ventilation system

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

ORDERING CAUSES IN A HIERARCHICAL FASHION WHICH
REGULATE SURFACE CONDENSATION

- The design and construction of buildings alone cannot do away with the problem of condensation
- The vital parameter for controlling condensation in Portugal is the indoor relative humidity, which does not depend only on the building's envelope

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

ORDERING CAUSES IN A HIERARCHICAL FASHION WHICH REGULATE SURFACE CONDENSATION

- The project and construction of buildings in this sphere needs to be centred on ventilation, thermal insulation and hygroscopicity of coverings
- Users need to concern themselves mostly with ventilation and artificial dehumidification

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

HOW TO SOLVE THE PROBLEM OF CONDENSATION IN PORTUGAL

- *Indoor temperature* — In winter, the indoor temperature needs to be higher than or equal to 20 °C. Only with continuous heating systems is it possible to reach this temperature
- *Indoor relative humidity* — Indoor relative humidity should be less than 70 %, as this value is easily reached with indoor temperatures at 20 °C

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

HOW TO SOLVE THE PROBLEM OF CONDENSATION IN PORTUGAL

- *Production of vapour* — The production of vapour and ventilation should lead to a hygrometry that is under 4 g/m^3 . If the production of vapour is 800 g/h , then the ventilation flow has to be greater than or equal to $200 \text{ m}^3/\text{h}$
- *Ventilation* — The ventilation flow should be in the range of 0,7 to 0,8 renewals per hour. A 250 m^3 3-bedroom apartment should have a continuous flow of around $200 \text{ m}^3/\text{h}$

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

HOW TO SOLVE THE PROBLEM OF CONDENSATION IN PORTUGAL

- *Hygroscopicity/hygroscopic inertia* — Studies that have already been conducted do not allow for a quantification of a minimum value for the hygroscopicity of coverings; however, hygroscopic inertia should be maximised
- *Thermal insulation* — The coefficients of heat transfer for walls and roofs depend on the climate of the area where the building is located. For Porto, the U-coefficient for walls and roofs should be less than or equal to $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ and $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, respectively

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

HOW TO SOLVE THE PROBLEM OF CONDENSATION IN PORTUGAL

- *Thermal bridges* — The treatment of thermal bridges is quite complex in double walls, which is why we consider it acceptable not to treat the thickness of the slabs, as long as the ratio between the thickness and the piedroit is less than 7 % and the wall is around 0,40 m thick. The beams and pillars should have U-coefficients that are less than $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

HOW TO SOLVE THE PROBLEM OF CONDENSATION IN PORTUGAL

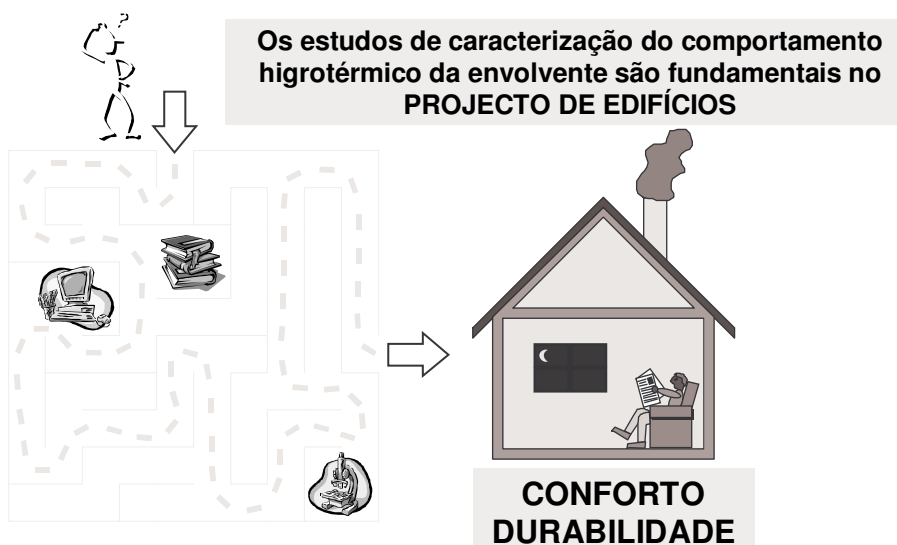
- *Outdoor climate* — The ventilation, thermal insulation and treatment of thermal bridges depend on the outdoor climate. However, the change in parameters that was previously proposed is not very significant
- *Solar radiation* — The requirement for the treatment of thermal bridges depends on the direction in which the façade faces

CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO FACE ÀS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

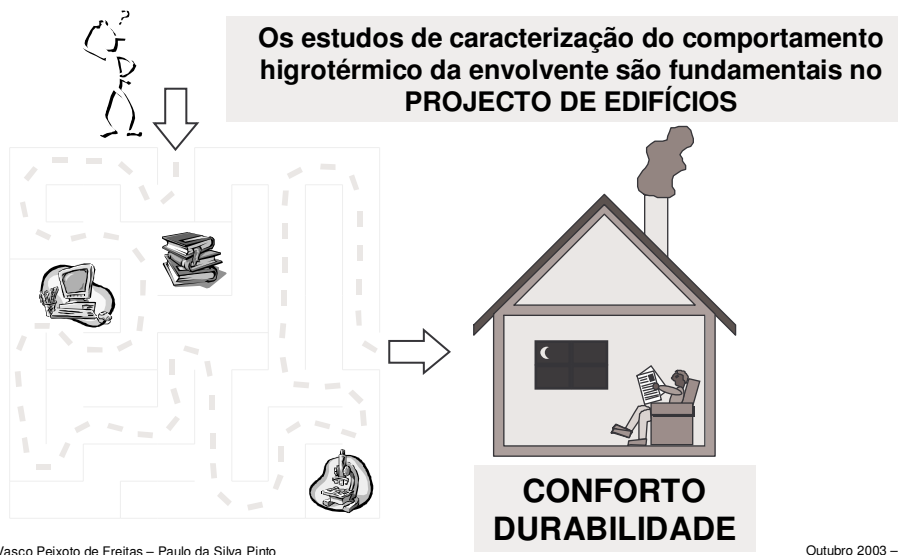
HOW TO SOLVE THE PROBLEM OF CONDENSATION IN PORTUGAL

- In Portugal, since there is no heating, and given the low indoor temperature ($t \leq 15 \text{ }^\circ\text{C}$), the problem cannot be resolved without using artificial dehumidification, which is the only way to reduce indoor relative humidity

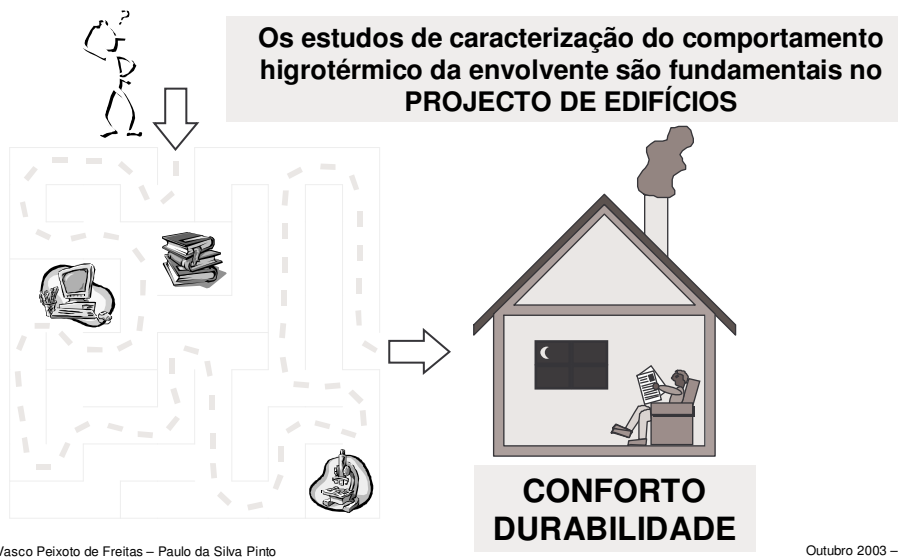
CONCLUSÕES



CONCLUSÕES



CONCLUSÕES



CONCLUSÕES

