

Nº 178734

Treinamento da norma ABNT NBR 13281-1

Alexandre Cordeiro dos Santos

*Palestra apresentada no Minicurso ministrado
à equipe da Votorantim Cimentos. 105 slides*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública..**REPRODUÇÃO PROIBIDA**

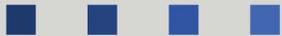
TREINAMENTO DA NORMA ABNT NBR 13281-1

Alexandre Cordeiro dos Santos

Outubro/2023

INTRODUÇÃO

- **Ref.: Orçamento IPT/FIPT - Nº 3209/23**
- **Objetivo:** Treinamento técnico de equipe da Votorantim (ABNT NBR 13281-1: 2023);
- **Datas:** 23.10 a 25.10.2023, das 09:00 as 16:30h;
- **Carga horária:** Aprox. 24 horas;
- **Foco:** Norma ABNT NBR 13281: 2023 - Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos;
- a) Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade (W);
- b) Determinação do fator de resistência à difusão de vapor de água (μ);
- c) Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear);
- d) Determinação do módulo de elasticidade dinâmico.



INTRODUÇÃO

Aspectos gerais da nova norma

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
13281

Segunda edição
30.09.2005

Válida a partir de
31.10.2005

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
13281-1

Primeira edição
15.02.2023

Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos

Mortars applied on walls and ceilings — Requirements

Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios
Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos

Inorganic mortars — Requirements and test methods
Part 1: Mortars applied on walls and ceilings

4 Requisitos e critérios de caracterização e de desempenho para argamassas inorgânicas para revestimentos

Tabela 1 – Requisitos classificatórios e informativos

| Argamassa para revestimento de paredes e tetos ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET | |
|--|--|
| Requisitos classificatórios | Requisitos informativos |
| Estado fresco | Retenção de água (4.1.1) |
| | Densidade de massa no estado fresco (4.1.2) |
| Estado endurecido | Teor de ar incorporado (4.1.2) |
| | Tempo de uso (4.1.3) |
| Estado endurecido | Densidade de massa no estado endurecido (4.2.2.1) |
| | Resistência à tração na flexão (4.2.2.2) |
| Estado endurecido | Módulo de elasticidade dinâmico (4.2.1.3) |
| | Coefficiente de absorção de água por capilaridade (4.2.2.3) |
| Estado endurecido | Variação dimensional (retração ou expansão linear) (4.2.1.4) |
| | Fator de resistência à difusão de vapor de água (4.2.2.4) |

Tabela 6 – Módulo de elasticidade dinâmico

| Classe | Módulo de elasticidade dinâmico (Ed) MPa | Método de ensaio |
|--------|---|------------------|
| E1 | 12 000 < Ed ≤ 14 000 | ABNT NBR 15630 |
| E2 | 9 500 < Ed ≤ 12 000 | |
| E3 | 7 000 < Ed ≤ 9 500 | |
| E4 | Ed ≤ 7 000 | |

Valores de módulo de elasticidade dinâmico (Ed) maiores que 14 000 MPa não são aceitos para argamassas inorgânicas para revestimento (fora de norma).

Tabela 7 – Variação dimensional (retração ou expansão linear)

| Classe | Variação dimensional (ε _i) mm/m | Método de ensaio |
|--------|---|------------------|
| VD1 | - 1,10 > ε _i ≥ - 1,20 (retração entre 1,11 e 1,20) | ABNT NBR 15261 |
| VD2 | - 0,90 > ε _i ≥ - 1,10 (retração entre 0,91 e 1,10) | |
| VD3 | - 0,70 > ε _i ≥ - 0,90 (retração entre 0,71 e 0,90) | |
| VD4 | 0,0 ≥ ε _i ≥ - 0,70 (retração entre 0 e 0,70) | |
| VD5 | ε _i > 0,00 (expansão) | |

Tabela 8 – Critérios para os requisitos de módulo de elasticidade dinâmico e de variação dimensional

| Requisito | Classe | Critério por tipo de argamassa | | | |
|-------------------------------------|--------|--------------------------------|-----------|-----------|-----|
| | | ARV-I | ARV-II | ARV-III | AET |
| Módulo de elasticidade dinâmico MPa | E | E1 a E4 | E2 a E4 | E3 a E4 | E4 |
| Variação dimensional mm/m | VD | VD1 a VD4 | VD2 a VD4 | VD3 a VD4 | VD4 |

Tabela 12 – Fator de resistência à difusão de vapor de água (μ)

| Classe | Fator de resistência à difusão μ | Método de ensaio |
|--------|----------------------------------|------------------------|
| DV0 | μ > 30 | EN ISO 12572 e Anexo B |
| DV1 | 20 < μ ≤ 30 | |
| DV2 | μ ≤ 20 | |

Tabela 11 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade

| Classe | Coefficiente de absorção de água por capilaridade (W _k) ^a kg/(m ² .h ^{0,5}) | Método de ensaio |
|--------|--|------------------------|
| W1 | W _k ≥ 8,5 | EN ISO 15148 e Anexo A |
| W2 | 7,0 ≤ W _k < 8,5 | |
| W3 | 5,5 ≤ W _k < 7,0 | |
| W4 | 4,0 ≤ W _k < 5,5 | |
| W5 | 2,5 ≤ W _k < 4,0 | |
| W6 | 1,0 ≤ W _k < 2,5 | |
| W7 | W _k < 1,0 | |

^a O coeficiente de absorção de água (W) é determinado para um tempo específico de ensaio, em horas (h), conforme estabelecido na EN ISO 15148.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Referência normativa:

Procedimento de moldagem de corpos de prova conforme Anexo A da norma ABNT NBR 13281-1.

Ensaio realizado conforme a norma EN ISO 15148: 2016 - “Higrothermal Performance of Buildings Materials and Products: Determination of Water Absorption Coefficient by Partial Immersion”.

Princípio do método:

A absorção de água por **imersão parcial** é determinada medindo a **variação da massa** do corpo de prova, cuja **superfície inferior está em contato com a água**, durante um **período de ensaio** que geralmente é de pelo menos **24 horas**.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Anexo A (normativo)

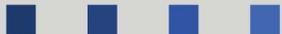
Procedimento de moldagem de corpos de prova para determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade

A.1 Princípio

Este Anexo apresenta os procedimentos para a moldagem de corpos de prova para a realização do ensaio de determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade (ver Tabela 11).

A.2 Condições ambientais do laboratório

O laboratório deve apresentar temperatura do ar de (23 ± 2) °C e umidade relativa do ar de (60 ± 5) %.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A.3 Aparelhagem

A.3.1 Molde

O molde é composto por fôrma cilíndrica, com as seguinte dimensões:

a) na aquisição:

- diâmetro interno: $(100 \pm 0,5)$ mm;
- altura: $(100 \pm 0,5)$ mm;

b) em uso:

- diâmetro interno: (100 ± 1) mm;
- altura: (100 ± 1) mm.

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

As laterais e a base do molde devem ser de aço ou outro material não absorvente, que não reaja com o cimento Portland, e suficientemente resistentes para manter a sua forma durante a operação de moldagem. O molde deve ser aberto em seu extremo superior e permitir fácil desmoldagem, sem danificar os corpos de prova. A base, colocada no extremo inferior do molde, deve ser rígida e plana, bem como deve ter dimensões suficientes para a sua moldagem, com tolerância de planeza de 0,05 mm.

O conjunto constituído pelo molde e sua base deve ser estanque. Quando as juntas não forem estanques, devem ser vedadas com um material com características adequadas, que não reaja com o cimento Portland, para evitar perda de água.

Não podem ser aceitos moldes cilíndricos com geratrizes abertas desencontradas. Para evitar esse problema, os moldes podem ter um dispositivo que evite o desencontro das geratrizes abertas.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Periodicamente, dependendo das condições e da frequência de uso dos moldes, ou sempre que for verificada alguma anomalia, deve ser realizado o controle geométrico, sendo verificadas as dimensões, com exatidão de 0,1 mm, e as condições de perpendicularidade e planeza das laterais e base dos moldes, respectivamente, com exatidão de 0,05 mm.

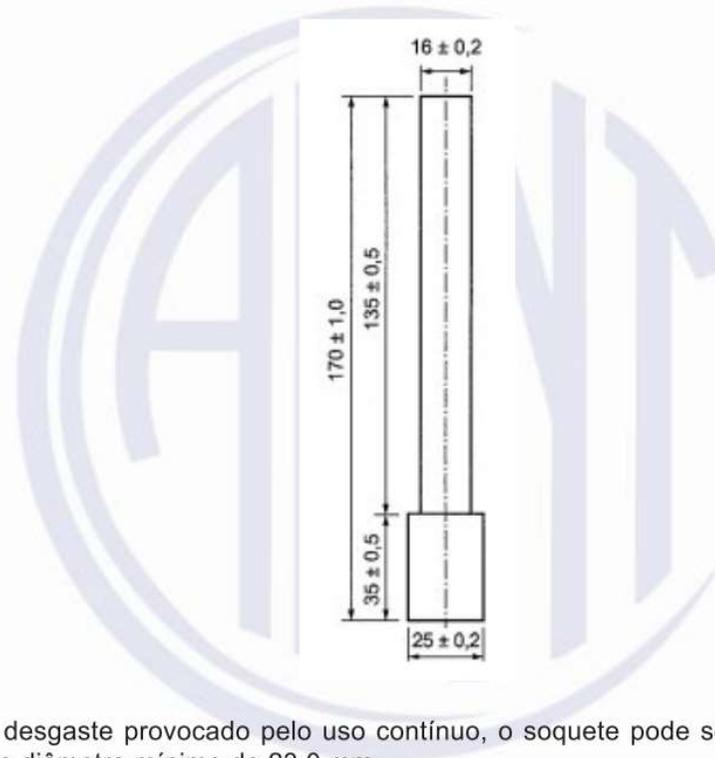
A.3.2 Soquete

O soquete deve ser de aço conforme a ABNT NBR NM 87, não corrosível no ambiente do uso de cimento Portland, ou de aço inoxidável. Na aquisição, o soquete deve apresentar as dimensões mostradas na Figura A.1.



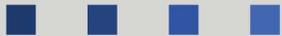
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Dimensões em milímetros



NOTA Com o desgaste provocado pelo uso contínuo, o soquete pode ser utilizado até que a base de socamento atinja o diâmetro mínimo de 23,0 mm.

Figura A.1 – Soquete metálico



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A.3.3 Aparelhagem

A aparelhagem necessária para o ensaio é a seguinte:

- a) paquímetro com escala em milímetros e resolução de no mínimo 0,1 mm;
- b) régua metálica, não flexível, com borda longitudinal biselada, com 1 mm a 2 mm de espessura;
- c) espátula metálica com lâmina com aproximadamente 25 mm de largura e 200 mm de comprimento;
- d) cronômetro com resolução de 1 s;
- e) balança semianalítica com resolução de 0,01 g;
- f) estufa ventilada;



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

- g) material selante, por exemplo, cera de abelha, cera de parafina ou resina sintética (silicone);
- h) desmoldante de origem mineral, vegetal ou sintética, e não reativo com o cimento Portland.

A.4 Procedimento

A.4.1 Preparo dos moldes

Os moldes devem ser providenciados antes de ser efetuada a mistura da argamassa inorgânica.

Aplicar uma fina camada de desmoldante sobre a superfície interna da fôrma e sobre a base do molde. Se necessário, remover o excesso de desmoldante com pano (ou papel) absorvente, limpo e seco.

Iniciar a montagem de forma a assegurar a estanqueidade do encaixe da base com a fôrma cilíndrica.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A.4.2 Preparo e mistura da argamassa

Preparar a argamassa conforme a ABNT NBR 16541 ou conforme orientação do fabricante.

A.4.3 Moldagem dos corpos de prova

Moldar no mínimo cinco corpos de prova.

A moldagem deve ser feita imediatamente após o preparo da argamassa e com a maior rapidez possível.

Manter as fôrmas firmes e, com auxílio de espátula ou colher de pedreiro, colocar a argamassa nos moldes, formando três camadas com alturas aproximadamente iguais.

Em cada camada, aplicar, com a espátula, 25 golpes ao longo de toda a área da argamassa. Cada golpe corresponde à entrada e à saída da espátula na posição vertical.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Após o adensamento da última camada dos corpos de prova, deixar um leve excesso de argamassa acima da borda superior do molde.

Após a execução e golpeamento da última camada, aplicar cinco golpes com o soquete, a intervalos regularmente distribuídos ao redor da parede externa das fôrmas.

Rasar o excesso de argamassa, nivelando a superfície com a régua metálica.

A.4.4 Cura

A face rasada dos corpos de prova moldados deve estar isenta de óleo ou outros materiais aderidos.

A desmoldagem e a cura dos corpos de prova devem considerar as condições descritas na Tabela A.1.

Remover o corpo de prova de argamassa do molde com cuidado, para não danificá-lo.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Tabela A.1 – Desmoldagem e cura dos corpos de prova

| Tipo de argamassa | Tempo de cura (nas condições ambientais descritas em A.2) | | |
|--|--|--|------------------------------|
| | Dentro do molde ^a dias | Tolerância para desmoldagem h | Fora do molde dias |
| Argamassas de cal e argamassas mistas (cal e cimento) em que a quantidade de cal é maior que 50 % da massa total de ligantes | 5 | Até 4 | 23 |
| Argamassas de cimento e outras argamassas mistas | 2 | | 26 |
| Argamassas com outros ligantes hidráulicos | 2 | | 26 |
| Argamassas estabilizadas | 5 | | 23 |

^a Em alguns casos, pode ser necessário um período de cura superior dentro do molde, desde que o tempo total de cura não ultrapasse 28 dias.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A.4.5 Secagem dos corpos de prova

Após os períodos de desmoldagem e cura estabelecidos na Tabela A.1, secar os corpos de prova até a obtenção de massa constante, a uma temperatura de $(65 \pm 7) ^\circ\text{C}$. A massa constante é atingida quando, durante o processo de secagem, em duas pesagens sucessivas com intervalo de 24 h, a perda de massa entre as duas determinações for inferior a 0,2 % da massa total. Para essa secagem, recomenda-se o uso de estufa ventilada.

A.5 Montagem dos conjuntos de corpos de prova para o ensaio

Após a secagem dos corpos de prova, selar suas laterais com o material selante e aguardar a secagem.

Realizar o ensaio de acordo com a EN ISO 15148. A face do corpo de prova a ser colocada em contato com a água é a que foi rasada com a régua metálica.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A.6 Cálculo e expressão dos resultados

Os cálculos para a obtenção do coeficiente de absorção de água por capilaridade (W_h) devem ser realizados de acordo com a EN ISO 15148.

Recomenda-se realizar no mínimo duas determinações do diâmetro ortogonal efetivo da face de cada corpo de prova que esteve em contato com a água. A média das determinações deve ser considerada no cálculo do coeficiente de absorção de água por capilaridade (W_h).

O cálculo do coeficiente de absorção de água por capilaridade (W_h) médio, expresso com uma casa decimal, deve ser realizado descartando-se os valores que se afastarem $\pm 20\%$ da média. O ensaio deve ser refeito, caso não haja o mínimo de três valores válidos.

Para qualquer efeito de arredondamentos, atender ao estabelecido na ABNT NBR 5891.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Detalhe dos corpos de prova para o ensaio, conforme Anexo A da NBR 13281-1

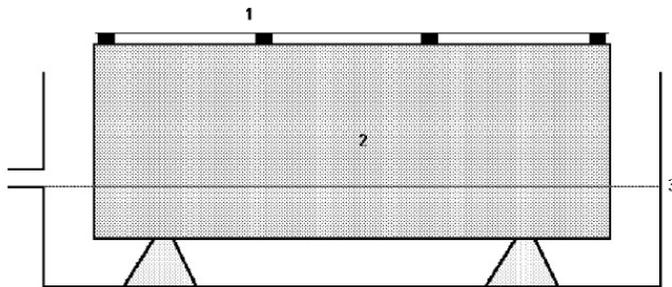


Moldes com dimensões, quando em uso, de diâmetro (100 ± 1) mm e altura diâmetro (100 ± 1) mm



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Detalhe do ensaio



Exemplo: Recipiente para realização do ensaio de absorção de água por capilaridade

Legenda:

- 1 Grade para fixar amostras flutuantes (se necessário);
- 2 Corpo de prova;
- 3 Nível de água.



O nível da água deve ser mantido constante durante o ensaio a (5 ± 2) mm acima do ponto mais alto da base da amostra.



Tempos pesagens: 5 min; 20 min; 1 h; 2 h; 4 h; **6h**; 8 h e 24h

As operações de secagem e pesagem devem ser realizadas o mais rápido possível, de preferência dentro de um minuto e a amostra devolvida à água imediatamente em seguida.

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Detalhe do ensaio

Como o método de cálculo do resultado depende da forma da curva resultante e a precisão dos resultados depende quase inteiramente do manuseio e secagem das amostras, os cálculos e gráficos especificados no item 8 da norma EN ISO 15148 deverá ser feita imediatamente após a pesagem. Será então possível avaliar se são necessárias pesagens adicionais para atingir a precisão exigida.

Certos materiais podem apresentar efeitos transitórios não lineares no início do ensaio.

Se aparecer água na superfície superior das amostras, o ensaio deve ser encerrado.

Se o aumento observado na massa do corpo de prova em contato com água for inferior a 1 g/m^2 da área da face após 8 horas, o ensaio pode ser encerrado e o material relatado como resistente à água líquida (**obs.:** em argamassas dificilmente isso pode acontecer).



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Cálculo e expressão de resultados

Conforme item 8 da norma EN ISO 15 148, calcule a área da base do corpo de prova "A" em m².

Calcule a diferença entre a massa em cada pesagem e a massa inicial por área:

$$\Delta m_t = (m_t - m_i)/A$$

Gráfico: represente os valores em relação à raiz quadrada dos tempos de pesagem, \sqrt{t} .

O gráfico resultante será de dois tipos: "Tipo A" ou "Tipo B."



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Tipo A

Conforme mostrado na Figura 2, após um curto período inicial de estabilização, uma linha reta pode ser traçada através dos valores de Δm_t contra \sqrt{t} . Estenda esta linha de volta ao tempo zero, onde ela corta o eixo vertical em $\Delta m'_0$. O coeficiente de absorção de água, A_w ou W_w é então calculado a partir da Equação:

$$A_w = \frac{\Delta m'_{t_f} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}}$$

Onde:

$\Delta m'_{t_f}$: é o valor de Δm na reta no instante t_f , em kg/m^2 ;

$\Delta m'_0$: é o valor de Δm na reta no instante após estabilização, em kg/m^2

t_f : é a duração do ensaio, geralmente 1 dia (86400 s), em segundos.

Ou

$$W_w = \frac{\Delta m'_{t_f} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}}$$

Onde t_f é a duração do ensaio, geralmente 1 dia (24 h), em horas.

Se o gráfico resultante mostrar uma linha reta com uma diminuição repentina na inclinação, como mostrado na Figura 3, isso indica que apareceu água líquida na superfície superior da amostra. A_w e W_w podem então ser calculados com um valor de t_f inferior a um dia, conforme mostrado na Figura 3. O valor de t_f deve ser citado no relatório de ensaio.



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Tipo B

Conforme mostrado na Figura 4, o gráfico de Δm_t contra \sqrt{t} não fornece uma linha reta, mas uma curva. Neste caso o valor de Δm_t 24 h após o início do ensaio será tomado como Δm_{t_f} e A_w ou W_w calculado a partir de:

$$A_w, 24 = \frac{\Delta m_{t_f}}{\sqrt{86\,400}} \text{ em kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$$

ou

$$W_w, 24 = \frac{\Delta m_{t_f}}{\sqrt{24}} \text{ em kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$$

Se a água líquida aparecer na superfície superior da amostra antes de 24 horas, o tempo deverá ser citado no relatório de ensaio e nenhum A_w ou W_w será relatado.

NOTA: A forma de um gráfico tipo B fornece informações adicionais sobre o desempenho do material (por exemplo, avaliação de teores e/ou tipo de hidrofugantes).



DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

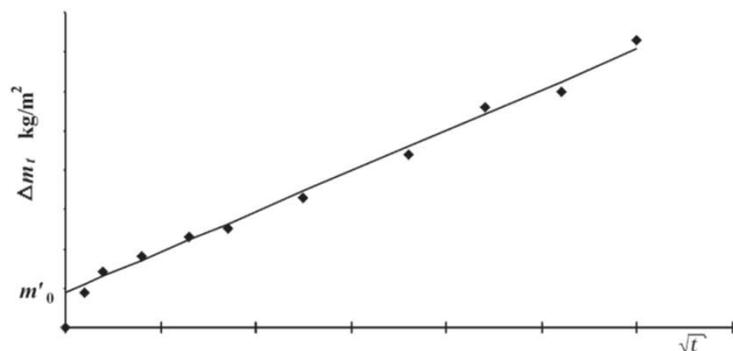


Figura 2 — Gráfico tipo A **sem água** líquida na superfície superior

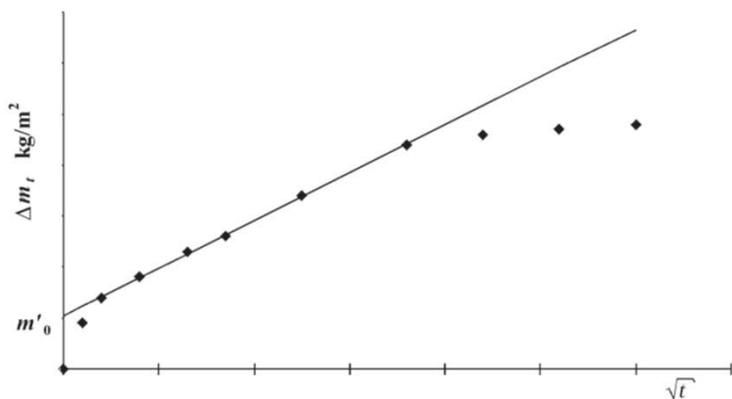


Figura 3 — Gráfico tipo A **com água** líquida na superfície superior

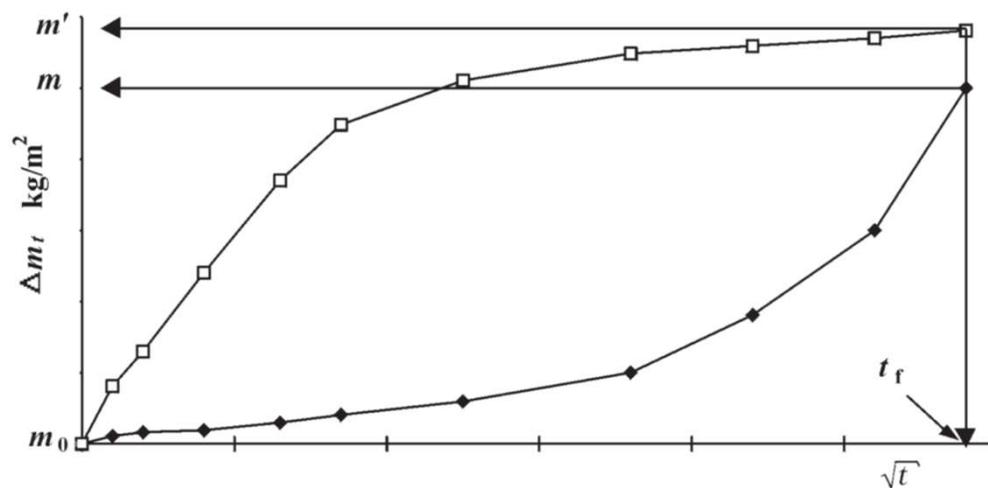


Figura 4 — Gráfico Tipo B

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

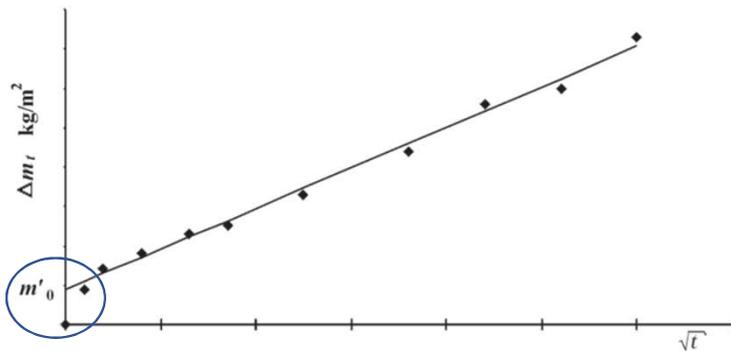


Figura 2 — Gráfico tipo A sem água líquida na superfície superior

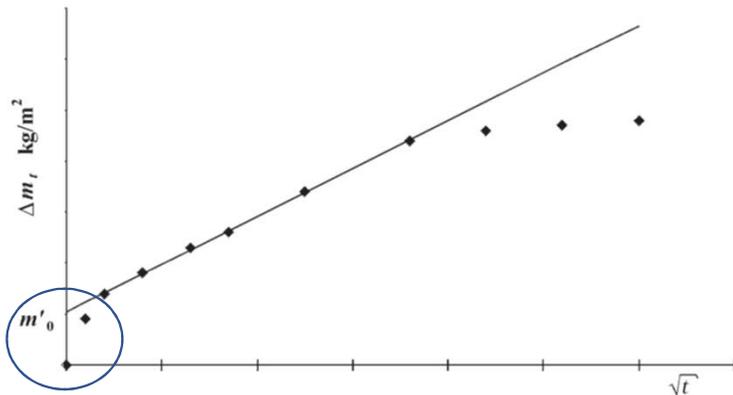


Figura 3 — Gráfico tipo A com água líquida na superfície superior

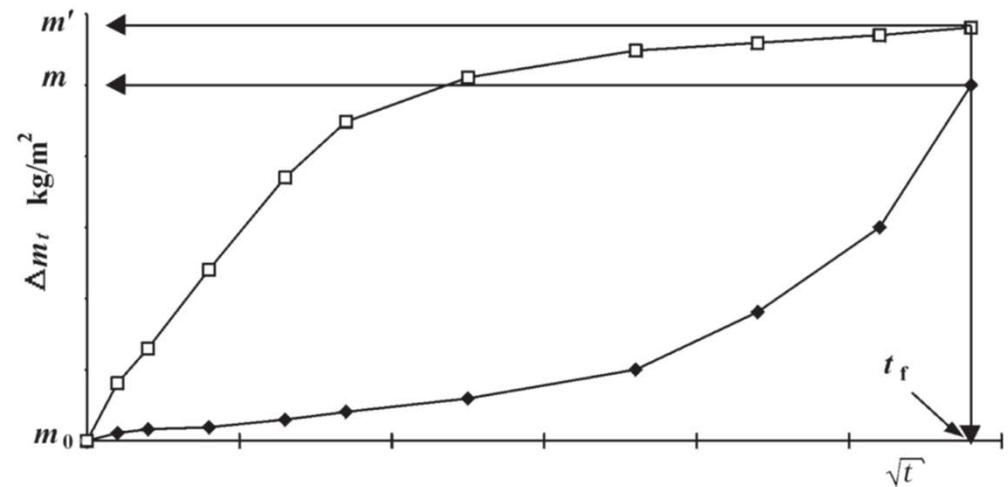


Figura 4 — Gráfico Tipo B

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Exemplo real de uma amostra com gráfico Tipo A:

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|---|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| variação de massa / área (g/m²) | CP 1 | - | 924 | 1221 | 1628 | 2861 | 3480 | 5525 | 9418 | 13356 |
| | CP 2 | - | 1027 | 1364 | 1818 | 3159 | 3831 | 6018 | 10023 | 13960 |
| | CP 3 | - | 1073 | 1437 | 1929 | 3415 | 4174 | 6607 | 11036 | 15244 |
| | CP 4 | - | 932 | 1239 | 1644 | 2820 | 3433 | 5472 | 9392 | 13265 |
| | CP 5 | - | 853 | 1157 | 1583 | 2783 | 3392 | 5446 | 9517 | 13515 |
| | Média | - | 962 | 1284 | 1720 | 3008 | 3662 | 5814 | 9877 | 13868 |
| Δm | (Kg/m²) | - | 0,962 | 1,284 | 1,720 | 3,008 | 3,662 | 5,814 | 9,877 | 13,868 |
| w | (Kg/m²/h ^{1/2}) | - | 1,924 | 1,815 | 1,720 | 2,127 | 1,831 | 2,055 | 2,0 | 2,002 |

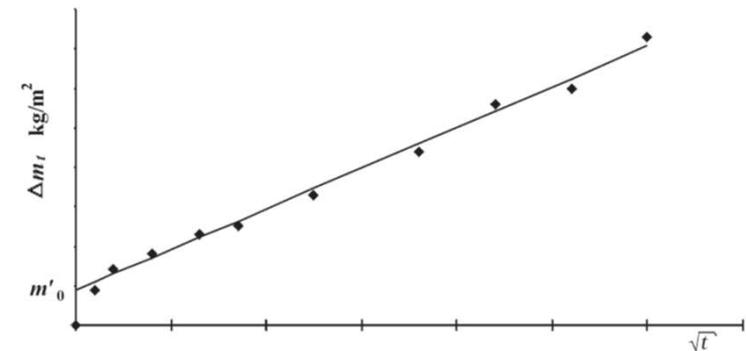
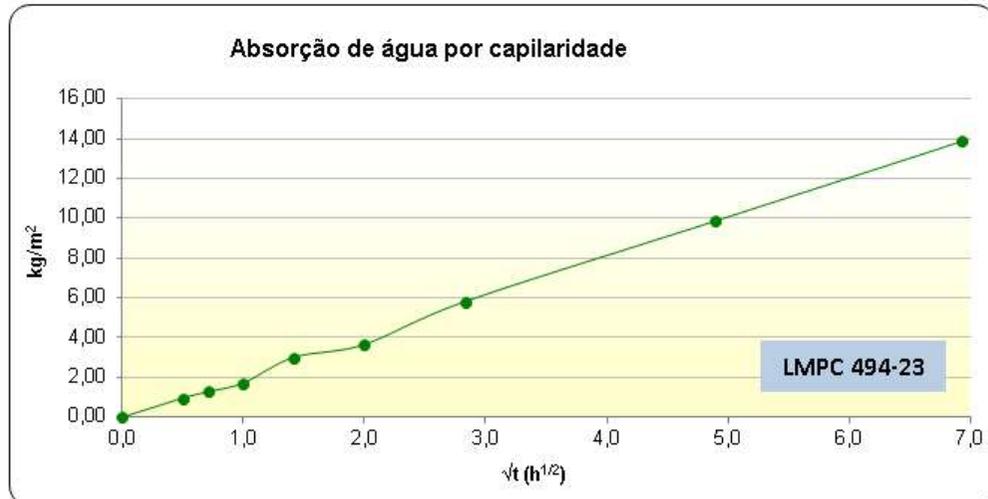


Figura 2 — Gráfico tipo A sem água líquida na superfície superior

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Exemplo real de uma amostra com gráfico Tipo A:

| | | | | | | | | | | |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| variação de massa / Área (g/m ²) | CP 1 | - | 4141 | 10366 | 13072 | 15142 | 20758 | 21895 | 21922 | 22057 |
| | CP 2 | - | 4145 | 10624 | 13443 | 15570 | 21359 | 22146 | 22188 | 22326 |
| | CP 3 | | | | | | | | | |
| | CP 4 | | | | | | | | | |
| | CP 5 | | | | | | | | | |
| | Média | - | 4143 | 10495 | 13257 | 15356 | 21059 | 22021 | 22055 | 22192 |
| Δm (Kg/m ²) | - | 4,143 | 10,495 | 13,257 | 15,356 | 21,059 | 22,021 | 22,055 | 22,192 | |
| w (Kg/m ² /h ^{1/2}) | - | 10,148 | 10,495 | 10,825 | 10,859 | 10,53 | 8,990 | 7,798 | 4,530 | |

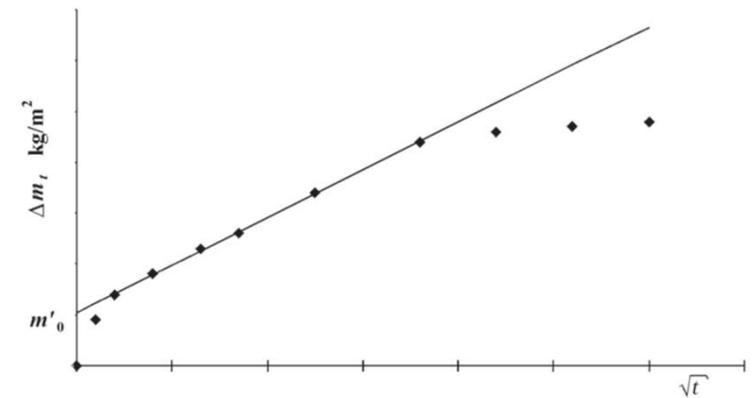
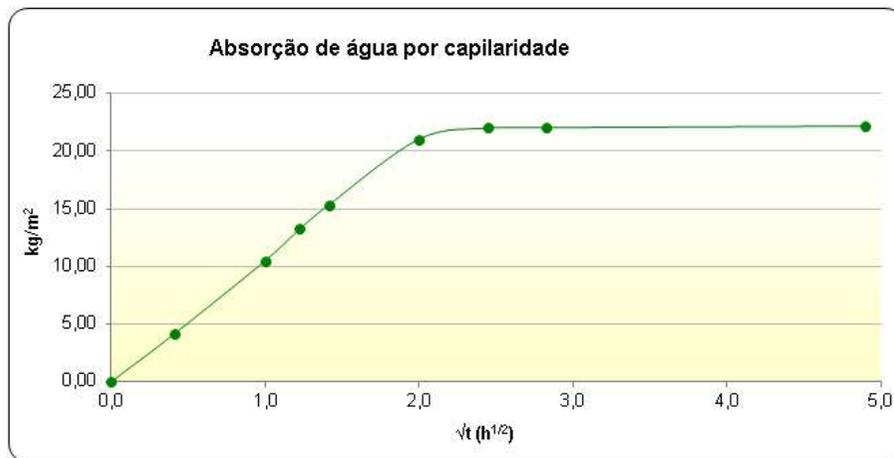


Figura 3 — Gráfico tipo A com água líquida na superfície superior

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Exemplo real de uma amostra com gráfico Tipo B:

| | | | | | | | | | | |
|--|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|
| Acréscimo de massa (m - m ₀) | CP 1 | - | 2,00 | 2,85 | 4,05 | 5,21 | 6,43 | 7,53 | 9,45 | 10,65 |
| | CP 2 | - | 1,69 | 2,43 | 3,42 | 4,47 | 5,68 | 6,76 | 8,62 | 9,62 |
| | CP 3 | - | 1,76 | 2,52 | 3,48 | 4,53 | 5,61 | 6,60 | 8,38 | 9,30 |
| | Média | - | 1,82 | 2,60 | 3,65 | 4,74 | 5,91 | 6,96 | 8,82 | 9,86 |
| Δm | (Kg/m ²) | - | 0,091 | 0,130 | 0,182 | 0,237 | 0,295 | 0,348 | 0,441 | 0,493 |
| w | (Kg/m ² /h ^{1/2}) | - | 0,182 | 0,184 | 0,182 | 0,167 | 0,148 | 0,123 | 0,090 | 0,071 |

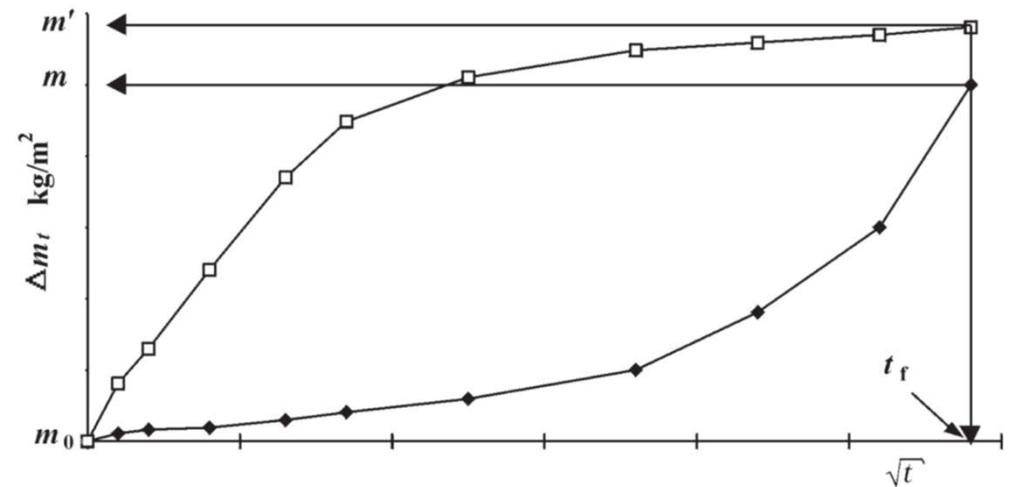
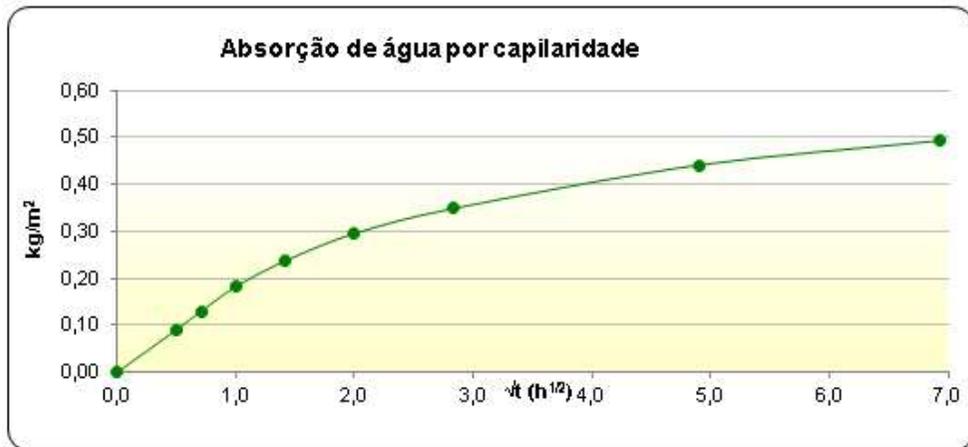


Figura 4 — Gráfico Tipo B

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Outro exemplo real de uma amostra com gráfico Tipo B:

| | | | | | | | | | | |
|--|-------|---|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| variação de massa / Área (g/m ²) | CP 1 | - | 3968 | 4936 | 6361 | 9676 | 11063 | 14749 | 19676 | 20652 |
| | CP 2 | - | 4121 | 5178 | 6722 | 10316 | 11797 | 15747 | 20480 | 21070 |
| | CP 3 | - | 3844 | 4846 | 6253 | 9598 | 10989 | 14702 | 19527 | 20725 |
| | CP 4 | - | 4103 | 5164 | 6622 | 10035 | 11469 | 15241 | 20062 | 21044 |
| | CP 5 | - | 4048 | 5106 | 6531 | 9862 | 11237 | 14902 | 19527 | 20660 |
| | Media | - | 4017 | 5046 | 6498 | 9898 | 11311 | 15068 | 19854 | 20830 |
| Δm (Kg/m ²) | | - | 4,017 | 5,046 | 6,498 | 9,898 | 11,311 | 15,068 | 19,854 | 20,830 |
| w (Kg/m ² /h ^{1/2}) | | - | 8,033 | 7,136 | 6,498 | 6,999 | 5,656 | 5,327 | 4,1 | 3,007 |

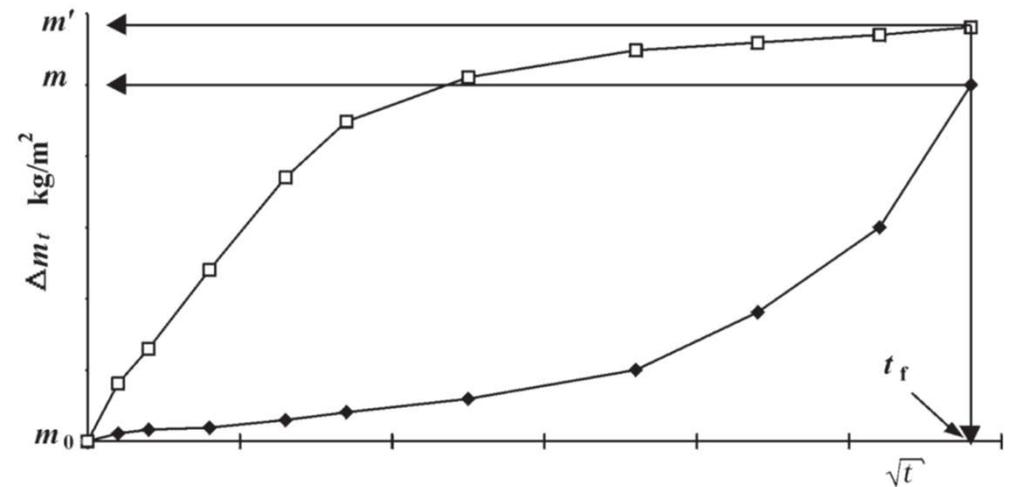
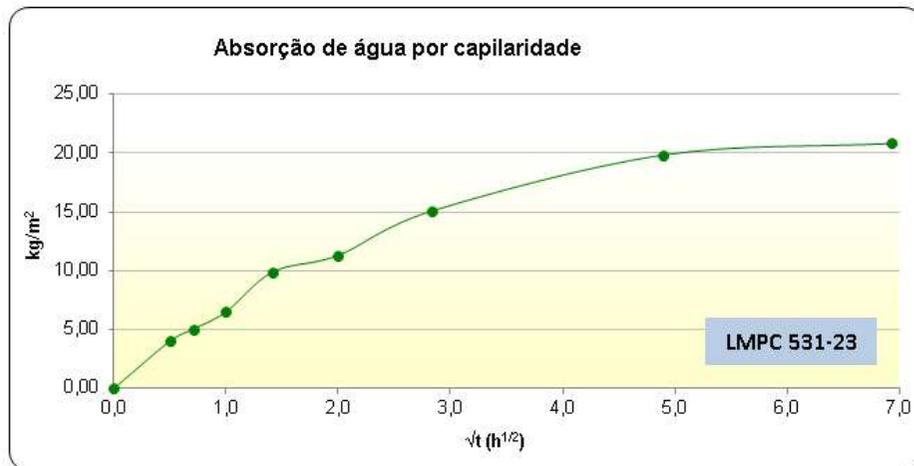


Figura 4 — Gráfico Tipo B

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Outro exemplo real de uma amostra com gráfico Tipo B:

| | | | | | | | | | | |
|--|--|---|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| variação de massa / Área (g/m ²) | CP 1 | - | 74 | 112 | 163 | 242 | 358 | 515 | 1096 | 2133 |
| | CP 2 | - | 77 | 114 | 162 | 230 | 370 | 508 | 1115 | 2211 |
| | CP 3 | - | 83 | 125 | 169 | 249 | 379 | 539 | 1086 | 2058 |
| | CP 4 | - | 74 | 113 | 167 | 243 | 365 | 517 | 1050 | 1903 |
| | CP 5 | - | 71 | 109 | 157 | 237 | 356 | 510 | 1009 | 1784 |
| | Média | - | 76 | 115 | 164 | 240 | 366 | 518 | 1071 | 2018 |
| Δm | (Kg/m ²) | - | 0,076 | 0,115 | 0,164 | 0,240 | 0,366 | 0,518 | 1,071 | 2,018 |
| w | (Kg/m ² /h ^{1/2}) | - | 0,151 | 0,162 | 0,164 | 0,170 | 0,183 | 0,183 | 0,22 | 0,291 |

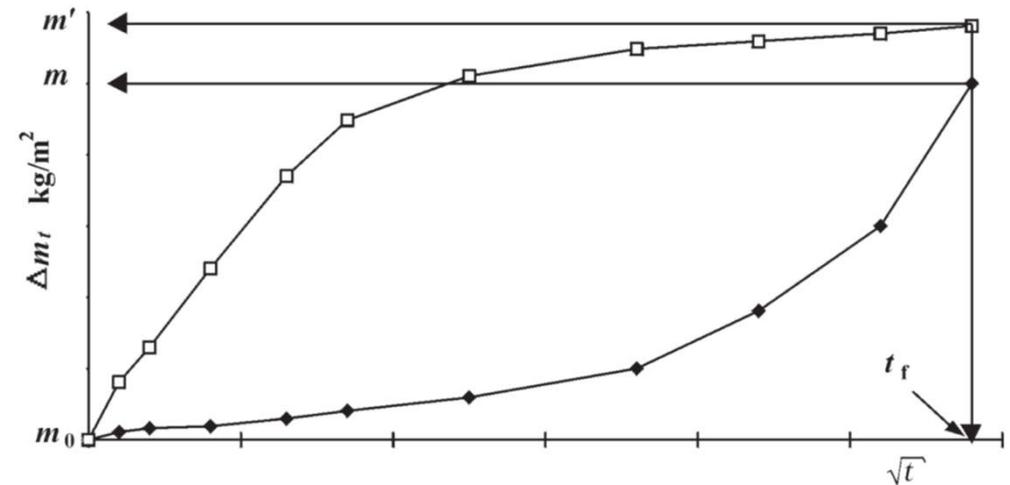
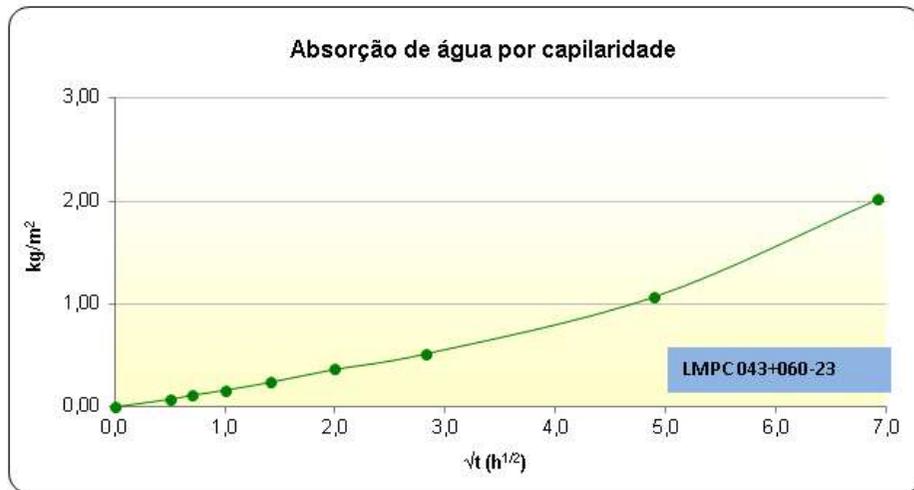


Figura 4 — Gráfico Tipo B

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Critério de classificação do coeficiente de absorção de água por capilaridade da norma ABNT NBR 13281-1:2023

Tabela 11 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade

| Classe | Coeficiente de absorção de água por capilaridade (W_h) ^a kg/(m ² .h ^{0,5}) | Método de ensaio |
|--------|---|------------------------|
| W1 | $W_h \geq 8,5$ | EN ISO 15148 e Anexo A |
| W2 | $7,0 \leq W_h < 8,5$ | |
| W3 | $5,5 \leq W_h < 7,0$ | |
| W4 | $4,0 \leq W_h < 5,5$ | |
| W5 | $2,5 \leq W_h < 4,0$ | |
| W6 | $1,0 \leq W_h < 2,5$ | |
| W7 | $W_h < 1,0$ | |

^a O coeficiente de absorção de água (W) é determinado para um tempo específico de ensaio, em horas (h), conforme estabelecido na EN ISO 15148.

A classe do coeficiente de absorção de água por capilaridade das argamassas para revestimento (ver Tabela 11) deve ser informada pelo fabricante na embalagem e/ou na ficha técnica. No caso de argamassas para revestimento produzidas em canteiro de obras, o responsável legal e/ou técnico pela obra deve realizar o ensaio e indicar a classe do coeficiente de absorção de água por capilaridade (ver Tabela 11) da argamassa, mantendo o seu registro nos controles da obra.



EXERCÍCIO

- Calcule W_{8h} e W_{24h} a partir dos seguintes dos dados da tabela abaixo e informe se o tipo de gráfico é A ou B

$$A = 0,02 \text{ m}^2$$

$$m_i = 625,61 \text{ g}$$

$$m_{8h} = 634,60 \text{ g}$$

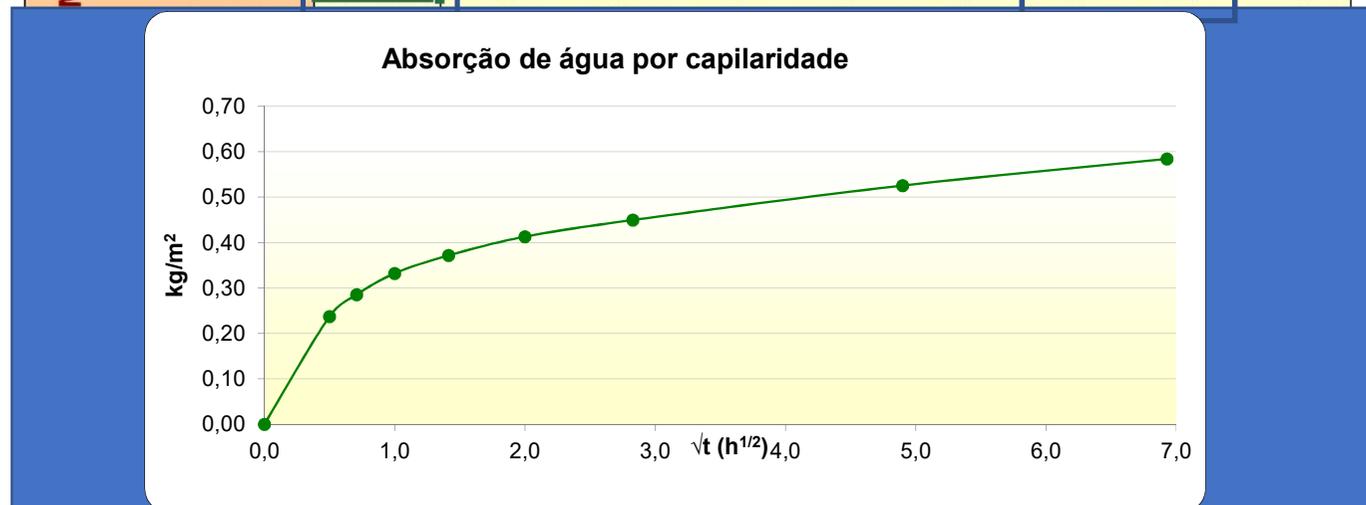
$$m_{24h} = 636,11 \text{ g}$$

$$\Delta m t = (m t - m_i) / A$$

$$W_w = \frac{\Delta m'_f - \Delta m'_0}{\sqrt{t f}}$$

$$W_w, 24 = \frac{\Delta m t f}{\sqrt{24}} \text{ em kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$$

| Tempo (h) | (min) | Massa inicial | 0,25 15 | 0,5 30 | 1 60 | 2 120 | 4 240 | 8 480 | 24 1440 | 48 2880 |
|-----------|-------|---------------|------------|-----------|---------|----------|----------|----------|------------|------------|
| Massa (g) | CP 7 | 654,21 | 659,30 | 660,22 | 661,14 | 662,00 | 662,83 | 663,66 | 665,21 | 666,31 |
| | CP 8 | 629,54 | 634,01 | 634,99 | 635,99 | 636,76 | 637,63 | 638,33 | 639,72 | 640,83 |
| | CP 9 | 593,07 | 597,73 | 598,70 | 599,60 | 600,35 | 601,12 | 601,80 | 603,41 | 604,73 |



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Referência normativa:

Procedimento de moldagem de corpos de prova conforme **Anexo B** da norma ABNT NBR 13281-1.

Ensaio realizado conforme a norma EN ISO 12572: 2016 - “Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties – Cup method”.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Princípio do método:

O corpo de prova é selado nas laterais, posteriormente colocado com a face rasada no lado aberto de um recipiente contendo um dessecante (copo seco).

Após preparo, o conjunto (corpo de prova + recipiente + dessecante + material selante) é então colocada em um ambiente com temperatura e umidade câmara de teste controlada.

Devido à diferente pressão parcial de vapor entre o copo de teste e o câmara, um fluxo de vapor ocorre através de amostras permeáveis.

Pesagens periódicas da montagem são feito para determinar a taxa de transmissão de vapor de água no estado estacionário.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Anexo B (normativo)

Procedimentos de moldagem de corpos de prova para determinação da permeabilidade ao vapor de água

B.1 Princípio

Este Anexo apresenta os procedimentos para a moldagem de corpos de prova para a realização do ensaio de determinação das propriedades de permeabilidade ao vapor de água (ver Tabela 12).



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

B.2 Condições ambientais do laboratório

O laboratório deve apresentar temperatura do ar de (23 ± 2) °C e umidade relativa do ar de (60 ± 5) %.

B.3 Dimensões dos corpos de prova

A área exposta da superfície livre do corpo de prova deve ser de pelo menos $0,005 \text{ m}^2$.

NOTA Recomenda-se adotar corpos de prova com espessura de no mínimo 15 mm. Essa dimensão pode ser alterada em função das características da argamassa e da capacidade de medida da balança a ser utilizada.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

B.4 Aparelhagem

B.4.1 Molde

O molde é composto por fôrma cilíndrica ou quadrada.

As laterais e a base do molde devem ser de aço ou outro material não absorvente, que não reaja com o cimento Portland, e suficientemente resistentes para manter sua forma durante a operação de moldagem. O molde deve ser aberto em seu extremo superior e permitir fácil desmoldagem, sem danificar os corpos de prova. A base, colocada no extremo inferior do molde, deve ser rígida e plana, bem como deve ter dimensões suficientes para a sua moldagem, com tolerância de planeza de 0,05 mm.

O conjunto constituído pelo molde e sua base deve ser estanque. Quando as juntas não forem estanques, devem ser vedadas com um material com características adequadas, que não reaja com o cimento Portland, para evitar perda de água.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Não podem ser utilizados moldes com geratrizes abertas desencontradas. Para evitar esse problema, os moldes podem ter um dispositivo que evite o desencontro das geratrizes abertas.

Periodicamente, dependendo das condições e frequência de uso dos moldes, ou sempre que for verificada alguma anomalia nos moldes, deve ser realizado o controle geométrico, sendo verificadas as dimensões, com exatidão de 0,1 mm, e as condições de perpendicularidade e planeza das laterais e base dos moldes, respectivamente, com exatidão de 0,05 mm.

B.4.2 Câmara climática

Câmara climática para realização do ensaio nas condições de contorno de $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $(85 \pm 5) \%$, conforme a EN ISO 12572:2016, Tabela 1.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

B.4.3 Aparelhagem

A aparelhagem necessária para o ensaio é a seguinte:

- a) paquímetro com escala em milímetros e resolução de no mínimo 0,1 mm;
- b) régua metálica, não flexível, com borda longitudinal biselada, com 1 mm a 2 mm de espessura;
- c) espátula metálica com lâmina com aproximadamente 25 mm de largura e 200 mm de comprimento;
- d) balança semianalítica com resolução de 0,01 g;
- e) discos de polietileno de baixa densidade (PEBD) (recomenda-se extrair os discos de embalagem ou filme de PEBD, transparentes, com espessura de aproximadamente 0,14 mm) compatíveis com a área do molde a ser adotado;

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

- f) recipiente para ensaio, de vidro, metal ou outro material impermeável;
- g) Dessecante, como cloreto de cálcio, CaCl_2 , tamanho de partícula < 3 mm ou perclorato de magnésio, $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ ou pentóxido de fósforo, P_2O_5 ou sílica-gel;
- h) material selante, por exemplo, cera de abelha, cera de parafina ou resina sintética (silicone);
- i) desmoldante de origem mineral, vegetal ou sintética, e não reativo com o cimento Portland.

B.5 Procedimento

B.5.1 Preparo dos moldes

Os moldes devem ser providenciados antes de ser efetuada a mistura da argamassa inorgânica.

Aplicar uma fina camada de desmoldante sobre a superfície interna e sobre a base do molde. Se necessário, remover o excesso de desmoldante com pano (ou papel) absorvente, limpo e seco.



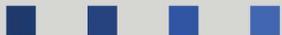
DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Posicionar o disco de PEBD na base do molde (parte interna do molde) para evitar o contato da argamassa com o resíduo de desmoldante da base do molde, tomando-se cuidado para que o disco de PEEDB fique totalmente plano.

Realizar a montagem do conjunto (molde e base) e assegurar a estanqueidade do encaixe da base com o molde.

B.5.2 Preparo e mistura da argamassa

Preparar a argamassa conforme a ABNT NBR 16541 ou conforme orientação do fabricante.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

B.5.3 Moldagem dos corpos de prova

Moldar no mínimo cinco corpos de prova.

A moldagem deve ser feita imediatamente após o preparo da argamassa e com a maior rapidez possível. Segurar firmemente o molde e introduzir uma porção de argamassa, visando preencher uniformemente todo o seu volume, em quantidade suficiente para exceder a altura da borda superior do molde.

Com a espátula metálica, aplicar dez golpes em pontos uniformemente distribuídos em toda a área da argamassa, deixando um leve excesso de argamassa acima da borda superior do molde.

Após o adensamento, rasar o excesso de argamassa, nivelando a superfície com a régua metálica.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Os corpos de prova devem permanecer nos moldes em ambiente de laboratório (conforme B.2) durante as primeiras (48 ± 6) h, contadas a partir do início da mistura da argamassa. Em seguida os corpos de prova devem ser desmoldados e mantidos também nas condições descritas em B.2, até a secagem.

B.5.4 Cura

As duas faces dos corpos de prova moldados devem estar isentas de óleo ou outros materiais aderidos.

A desmoldagem e a cura dos corpos de prova devem considerar as condições descritas na Tabela B.1.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Tabela B.1 – Desmoldagem e cura dos corpos de prova

| Tipo de argamassa | Tempo de cura (nas condições ambientais descritas em B.2) | | |
|--|--|-------------------------------------|--------------------------|
| | Dentro do molde ^a dias | Tolerância para desmoldagem h | Fora do molde dias |
| Argamassas de cal e argamassas mistas (cal e cimento) em que a quantidade de cal é maior que 50 % da massa total de ligantes | 5 | Até 4 | 23 |
| Argamassas de cimento e outras argamassas mistas | 2 | | 26 |
| Argamassas com outros ligantes hidráulicos | 2 | | 26 |
| Argamassas estabilizadas | 5 | | 23 |

^a Em alguns casos, pode ser necessário um período de cura superior dentro do molde, desde que o tempo total de cura não ultrapasse 28 dias.

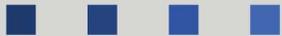


DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Após os tempos estabelecidos na Tabela B.1, remover os corpos de prova de argamassa dos moldes com cuidado para não danificá-lo, descartando o disco PEBD.

B.5.5 Secagem dos corpos de prova

Após os períodos de desmoldagem e cura estabelecidos na Tabela B.1, secar os corpos de prova até a obtenção de massa constante, a uma temperatura de $(65 \pm 7) ^\circ\text{C}$. A massa constante é atingida quando, durante o processo de secagem, em duas pesagens sucessivas com intervalo de 24 h, a perda de massa entre as duas determinações for inferior a 0,2 % da massa total. Para essa secagem, recomenda-se o uso de estufa ventilada.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

B.6 Montagem dos conjuntos de corpos de prova

Após a secagem dos corpos de prova, prover a montagem dos conjuntos: recipiente de vidro, metal ou outro material impermeável + dessecante + corpo de prova de argamassa, conforme estabelecido na EN ISO 12572. Calcular a espessura média do corpo de prova, selar as laterais com o material selante e calcular a área média exposta conforme a EN ISO 12572. Colocar uma camada de dessecante com espessura mínima de 15 mm no fundo de cada recipiente para ensaio. Colocar no topo do recipiente para ensaio a face do corpo de prova que foi rasada com a régua metálica voltada para o dessecante, deixando um espaço de ar entre o dessecante e o corpo de prova de (15 ± 5) mm. Na montagem final do conjunto para ensaio, vedar o espaço vazio entre o corpo de prova e a parede interna do recipiente de ensaio com o material selante.

Para a montagem dos conjuntos (corpo de prova + recipiente + dessecante + material selante), é importante observar e seguir a EN ISO 12572:2016, Figura B.1.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

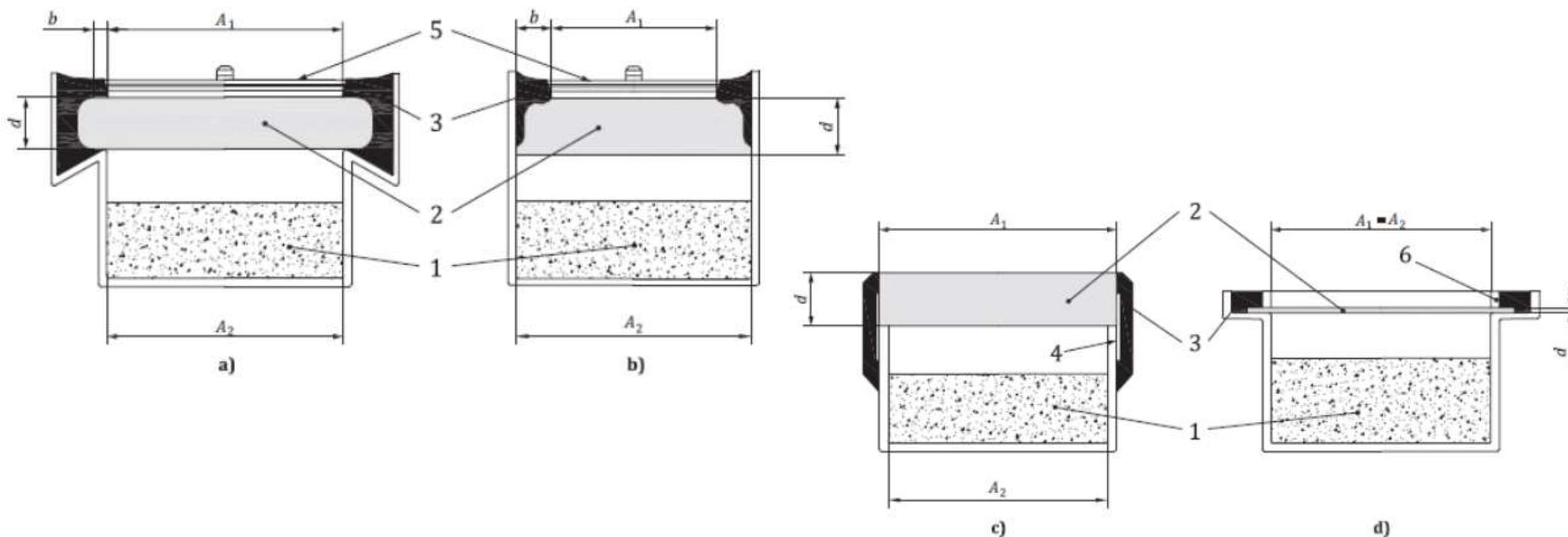


Figura B.1 – Exemplos de montagem dos conjuntos de corpos de prova

Realizar o ensaio de acordo com a EN ISO 12572.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Legenda

1 dessecante/solução salina saturada

2 corpo de prova

3 selante

4 fita adesiva

5 delimitador de área exposta

6 anel limitante

A_1 área exposta superior

A_2 área exposta inferior

b largura da borda da máscara

d espessura do corpo de prova

NOTA A média da área exposta é obtida por: $A = (A_1 + A_2)/2$.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

B.7 Cálculo e expressão dos resultados

Os cálculos para a obtenção do fator de resistência à difusão do vapor de água (μ) devem ser realizados de acordo com a EN ISO 12572.

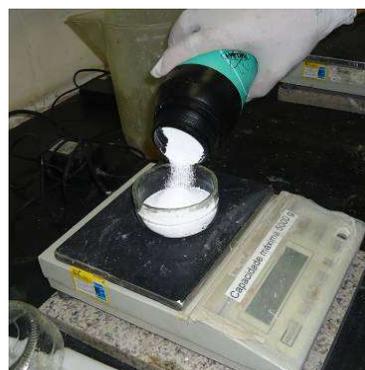
O cálculo do fator de resistência à difusão do vapor de água (μ) médio deve ser realizado descartando-se os valores que se afastarem $\pm 20\%$ da média. O ensaio deve ser refeito, caso não haja o mínimo de três valores válidos.

Para arredondamento, atender ao estabelecido na ABNT NBR 5891.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Detalhe dos corpos de prova para o ensaio, conforme Anexo B da NBR 13281-1



A área exposta da superfície livre do corpo de prova deve ser de pelo menos $0,005 \text{ m}^2$



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Detalhe do ensaio

Após montagem total do conjunto (corpo de prova + recipiente + dessecante + material selante), selecione as condições ambientais do ensaio conforme Tabela 1 da norma EN ISO 12572.

Table 1 — Test conditions

| Set | Condition °C - % RH | Temperature °C | Tolerances | | | |
|-----|---------------------|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | Relative humidity ^a | | | |
| | | | Dry state | | Wet state | |
| | | | Set point | Tolerance | Set point | Tolerance |
| A | 23 - 0/50 | 23 ± 1 | 0 | +5 | 50 | ±5 |
| B | 23 - 0/85 | 23 ± 1 | 0 | +5 | 85 | ±5 |
| C | 23 - 50/93 | 23 ± 1 | 50 | ±5 | 93 | ±5 |
| D | 38 - 0/93 | 38 ± 1 | 0 | +5 | 93 | ±3 |
| E | 23 - 50/100 | 23 ± 1 | 50 | ±5 | 100 | |

NOTE 1 "Dry cup" tests (condition A) give information about the performance of materials at low humidities when moisture transfer is dominated by vapour diffusion. "Wet cup" tests (condition C) give guidance about the performance of materials under high humidity conditions. At higher humidities, the material pores start to fill with water; this increases the transport of liquid water and reduces vapour transport. Tests in this area therefore give some information about liquid water transport within materials. This is discussed further in ISO 15148.

NOTE 2 Condition E is used for low resistance specimens ($S_d \leq 0,1$ m).

^a Saturated salt solutions, which regulate the relative humidity in the cup at some value less than 100 %, are used because, with many materials, there is a danger of condensation occurring on the underside of the sample, which disrupts the vapour flow. In the case of very low resistance materials with $S_d < 0,1$ m, the vapour flow rates are so high that a) condensation is unlikely and b) the saturated salt solution might not remain in equilibrium for the duration of the rest. In this case, that distilled water should be used in the test cup. Further information about the use of saturated salt solutions is given in 9.6.

| Set | Condition °C - % RH | Temperature °C | Tolerances | | | |
|-----|---------------------|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | Relative humidity ^a | | | |
| | | | Dry state | | Wet state | |
| | | | Set point | Tolerance | Set point | Tolerance |
| A | 23 - 0/50 | 23 ± 1 | 0 | +5 | 50 | ±5 |
| B | 23 - 0/85 | 23 ± 1 | 0 | +5 | 85 | ±5 |
| C | 23 - 50/93 | 23 ± 1 | 50 | ±5 | 93 | ±5 |
| D | 38 - 0/93 | 38 ± 1 | 0 | +5 | 93 | ±3 |
| E | 23 - 50/100 | 23 ± 1 | 50 | ±5 | 100 | |

Outros conjuntos de temperatura e umidade relativa poderão ser acordados entre as partes quando necessário para condições especiais de aplicação.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

EXEMPLO 1 Este é um exemplo de dessecantes que produzem as umidades relativas do ar especificadas a 23°C.

Dessecantes

Cloreto de cálcio, CaCl_2 - tamanho de partícula <3 mm 0%

Perclorato de magnésio, $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ 0%

Pentóxido de fósforo, P205 0%

Gel de sílica 0%

EXEMPLO 2 Este é um exemplo de soluções aquosas saturadas que produzem as umidades relativas do ar especificadas a 23°C.

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

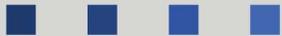
EXEMPLO 2 Este é um exemplo de soluções aquosas saturadas que produzem as umidades relativas do ar especificadas a 23°C.

Soluções aquosas

| | |
|--|-----|
| Dicromato de sódio, $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 52% |
| Nitrato de magnésio, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ | 53% |
| Cloreto de potássio, KCl | 85% |
| Dihidrogenofosfato de amônio, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ | 93% |
| Nitrato de potássio, KNO_3 | 94% |

Mais detalhes sobre soluções adequadas podem ser encontrados na ISO 12571:2013, Anexos A e B.

Devem ser feitas verificações regulares, especialmente durante testes longos, para garantir que as soluções saturadas permanecem como uma mistura de líquido com uma grande quantidade de substância não dissolvida.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Procedimento de ensaio

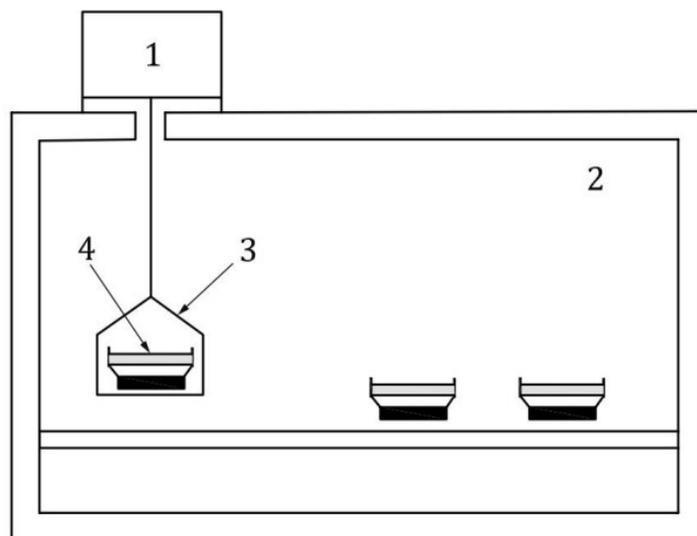
Coloque os conjuntos de ensaios na câmara climatizada: **T = 23 ± 1 °C e UR = 85 ± 5 %** (câmara climática automatizada ou câmara com solução aquosa, por exemplo com Cloreto de Potássio KCl). Pese cada conjunto de teste em intervalos de tempo selecionados (por exemplo, 24 horas).

As pesagens devem ser realizadas em um ambiente com **temperatura dentro de ±2 °C** da condição de ensaio, **sempre que possível dentro da câmara climatizada**. A Figura 5 mostra um arranjo para câmaras pequenas da norma EN ISO 12572 .

A temperatura e a umidade relativa dentro da câmara de teste devem ser registradas continuamente.

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Exemplo de câmara climática onde é possível pesagem interna da EN ISO 12572



Legenda:

- 1 Balança;
- 2 câmaras de teste em ambiente controlado com porta de acesso ao 'porta-luvas';
- 3 plataforma de pesagem suspensa;
- 4 corpo de prova durante pesagem.

Figura 5 — Exemplo de disposição de balança e conjuntos de teste para procedimentos de pesagem

Alternativamente: Como o laboratório deve apresentar **temperatura de $(23 + 2)$ °C e umidade relativa do ar de $(60 + 5)$ %**, a **pesagem fora da câmara nessas condições é permitida**, pois, quando fora da câmara, devem ser feitas ambiente com **temperatura dentro de ± 2 °C da condição de ensaio na câmara**.



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

A **pressão barométrica** (pressão atmosférica do ar ao nível do barômetro) no **laboratório de ensaio deve ser medida diariamente** durante o ensaio **ou obtida a partir de uma estação meteorológica próxima** (por exemplo, site do INMET).

O instrumento utilizado para medir a pressão atmosférica é o **barômetro**.



Link das pressões no INMET: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fportal.inmet.gov.br%2Fuploads%2Fnormais%2F15-Press%25C3%25A3o-atmosf%25C3%25A9rica-ao-n%25C3%25ADvel-do-bar%25C3%25B4metro-NCB_1981-2010.xls&wdOrigin=BROWSELINK

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Detalhes da Pressão atmosférica, que por sua vez influencia os resultados de permeabilidade ao vapor de água:

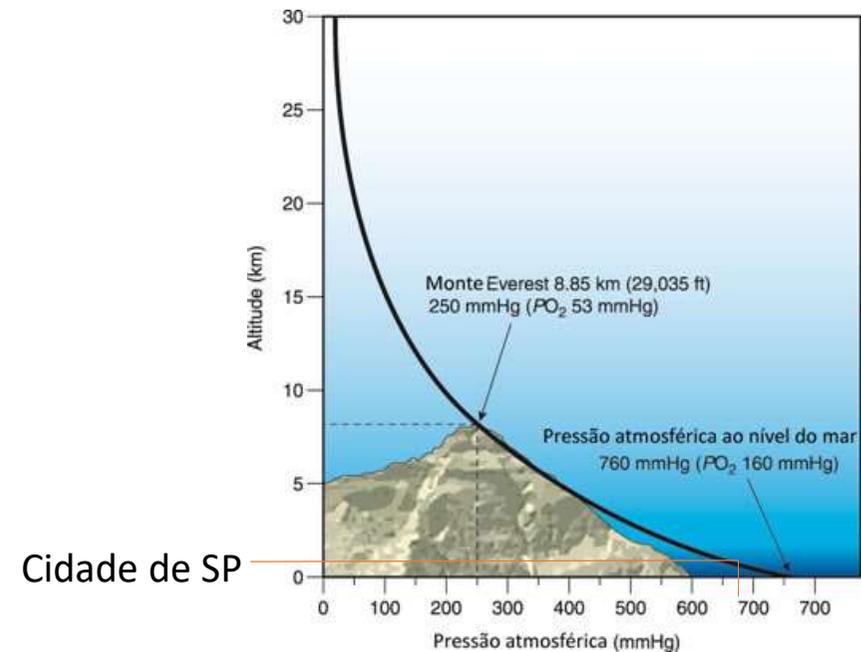
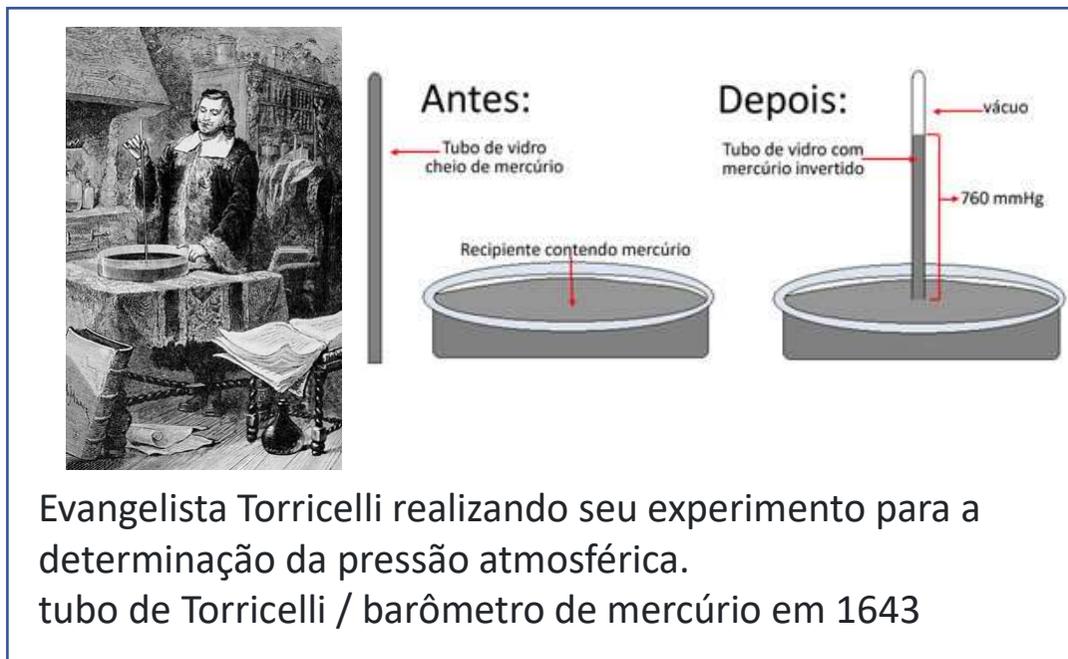
- É o **peso que o ar exerce sobre a superfície terrestre**;
- Está diretamente **relacionada à força da gravidade** e à **influência** que essa realiza sobre as **moléculas gasosas** que compõem a atmosfera.
- Sofre **variações conforme as altitudes** e as condições de **temperatura do ar**.
- Quanto **maior a altitude** de um dado relevo, em relação **ao nível do mar**, **menor será a pressão atmosférica**.

Figura 6 — Permeabilidade do ar ao vapor de água em função da pressão barométrica



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

A pressão ao nível do mar (P_0) média da Terra: 1 atm = 760 mmHg = 1013mb = 1013,25 hPa



Fonte: <https://www.preparaenem.com/quimica/a-pressao-atmosferica.htm>

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Cálculo e expressão de resultados

Taxa de variação em massa

Para cada conjunto de pesagens sucessivas das amostras, calcule a taxa de variação de massa, $\Delta\dot{m}_{12}$.

onde
$$\Delta\dot{m}_{12} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1}$$

$\Delta\dot{m}_{12}$ é a variação de massa por tempo para uma única determinação, em kg/s;

m_1 é a massa do conjunto de teste no tempo t_1 , em kg;

m_2 é a massa do conjunto de teste no instante t_2 , em kg;

t_1 and t_2 os tempos sucessivos de pesagens, em s.

Calcule G, a média de cinco determinações sucessivas de $\Delta\dot{m}_{12}$, para cada corpo de prova

O valor final de G é obtido quando cada uma das últimas cinco determinações sucessivas de $\Delta\dot{m}_{12}$ está dentro $\pm 5\%$ de G.

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Densidade da taxa de fluxo de vapor de água

A densidade da vazão de vapor d'água, g , é dada pela Fórmula:

$$g = \frac{G}{A}$$

A é a área exposta (média aritmética das áreas de superfície livre superior e inferior livre) do corpo de prova, em m².

Permeância ao vapor de água

A permeância ao vapor de água, W , é dada pela Fórmula:

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p}$$

O valor de Δp_v deve ser calculado a partir da **média das temperaturas e umidades relativas medidas** ao longo do ensaio (ver Fórmula a seguir)

$$p = \phi \cdot 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}}$$

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Exemplo:

| Δp_v (Pa) |
|-------------------|
| 2386,64 |

| Medida | Data (dd/mm) | Horário (hh:mm) | Temp. (°C) | U.R. (%) |
|--------|--------------|-----------------|------------|----------|
| 1ª | 07/12 | 10:00 | 23 | 85 |
| 2ª | 08/12 | 10:00 | 23 | 85 |
| 3ª | 09/12 | 10:00 | 23 | 85 |
| 4ª | 10/12 | 10:00 | 23 | 85 |
| 5ª | 11/12 | 10:00 | 23 | 85 |
| 6ª | 14/12 | 10:00 | 23 | 85 |
| 7ª | 15/12 | 10:00 | 23 | 85 |

temperaturas e umidades relativas medidas ao longo do ensaio para calculo da pressão Δp_v



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Ou também pode adotar o valor de Δp para condição adotada no ensaio.

A Tabela 2 resume os valores de Δp para as cinco condições de ensaios especificadas na Tabela 1 da norma.

Tabela 2 — Valores de Δp para cada condição de ensaio

| Set | Condition °C - % RH | Δp Pa |
|-----|------------------------|---------------|
| A | 23 - 0/50 | 1 404 |
| B | 23 - 0/85 | 2 387 |
| C | 23 - 50/93 | 1 207 |
| D | 38 - 0/93 | 6 157 |
| E | 23 - 50/100 | 1 404 |

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Resistência ao vapor de água

A resistência ao vapor de água, Z , é o inverso da permeância ao vapor de água ver Fórmula :

$$Z = \frac{1}{W}$$

Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água, δ , é dada pela Fórmula

$$\delta = W \cdot d \quad d: \text{ espessura do material}$$

Fator de resistência à difusão de vapor de água

O fator de resistência à difusão de vapor de água (μ) é definido pela Fórmula:

$$\mu = \frac{\delta_{\text{air}}}{\delta}$$

δ_{air} ou δ_{ar} : coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar;

δ : coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do próprio material.

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (μ)

O que é o fator de resistência à difusão de vapor de água (μ)?

O fator de resistência à difusão do vapor de água (μ) é (adimensional) é um valor característico de cada material, **obtido pela razão entre o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar (δ_{ar}) e o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do próprio material (δ)** e indica quantas vezes a resistência à difusão ao vapor de água do material é maior do que a resistência à difusão ao vapor de água (μ) de uma camada de ar em repouso, de igual espessura e sujeita às mesmas condições ambientais que a camada de material (BRITISH STANDARD INSTITUTION, 2001; FAUSTINO, 1997)



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Para calcular coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar (δ_a) utilizando a pressão barométrica média, p , durante o ensaio, utilize a Fórmula:

Com R_D , a constante gasosa do vapor d'água é 462 Nm/(mg.K).

$$\delta_a = \frac{0,086 p_0}{R_D \cdot T \cdot p} \left(\frac{T}{273} \right)^{1,81}$$

Pressão atmosférica ao nível do mar "P₀" = 1013,25 hPa

Pressão barométrica "P" em SP capital = 925,2 hPa

Pressão barométrica "P" em Curitiba = 913,1 hPa

Pega no site do INMET:
https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/Pressao-Atmosferica_NCB_1961-1990.xls



DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Pode-se presumir que a permeabilidade ao vapor de água do ar e do material varia igualmente com a pressão barométrica. O fator μ pode, portanto, ser considerado independente da pressão barométrica.

Logo, o valor de μ pode ser calculado mediante a Fórmula:

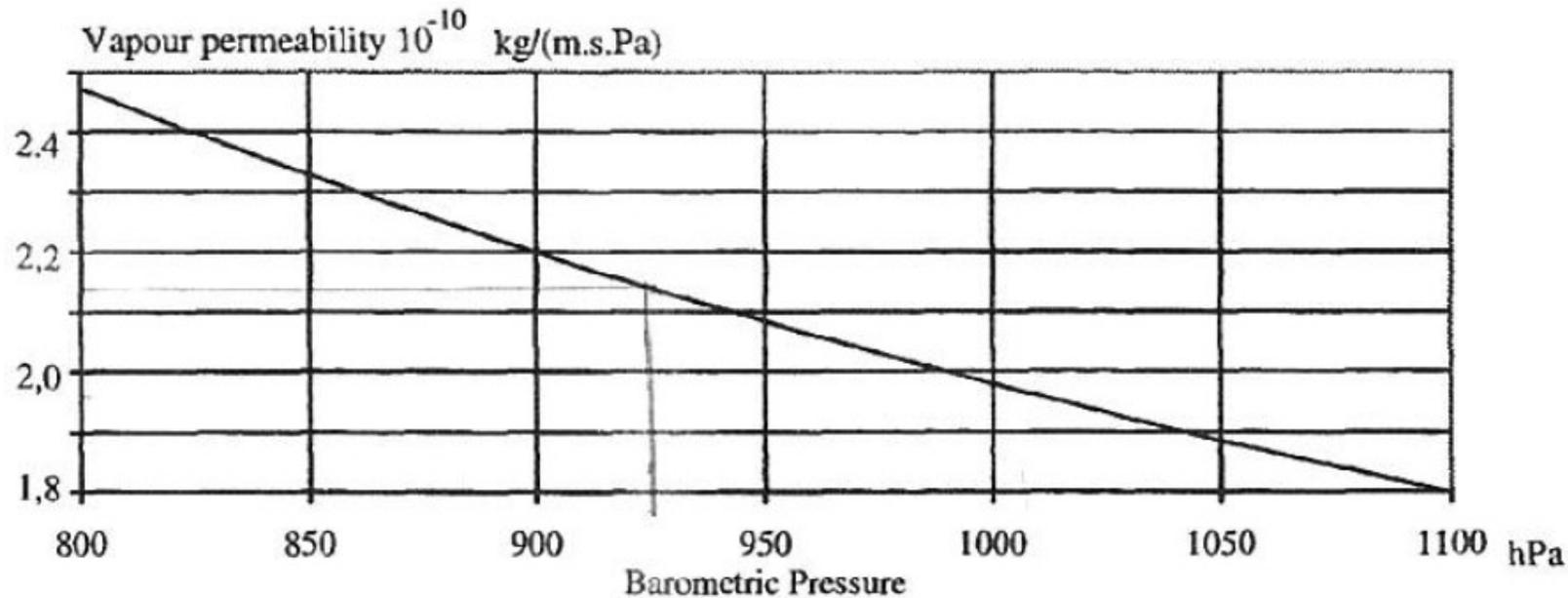
$$\mu = \frac{\Delta p \cdot \delta_{air}}{g \cdot d}$$

d : espessura do material;

O valor do coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar (δ_{air}) deve corresponder à pressão barométrica real (veja tabela a seguir)

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Os valores de coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar δ_{ar} a 23 °C também podem ser obtidos conforme a referida norma, Figura 6.



*Pressão barométrica "P"
em SP = 925,2 hPa*

Figura 6— Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar em função da pressão barométrica a 23°C

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Espessura da camada de ar equivalente à difusão de vapor de água

A espessura da camada de ar equivalente à difusão de vapor de água, S_d , é dada pelas Fórmulas:

$$s_d = \mu \cdot d$$

ou

$$s_d = \delta_a \cdot Z$$

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (M)

Exemplo real de uma amostra no ensaio de determinação do fator de resistência à difusão de vapor de água:



Caso o material seja composto (não homogêneo), deve-se preencher os seguintes dados:

| | | | | | |
|--|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Permeância (substrato) | W_m (kg/m ² .s.Pa) | 1,92E-09 | | | |
| Resist. ao vapor (substr.) | Z_m (Pa.s.m ² /kg) | 5,22E+08 | | | |
| Fluxo (substrato) | V_m (g/m ² .dia) | 396 | | | |
| Taxa de variação de massa | G (kg/s) | 2,27E-08 | 2,25E-08 | 2,21E-08 | 2,21E-08 |
| Permeabilidade | δ (kg/m.s.Pa) | 3,22E-11 | 3,18E-11 | 3,12E-11 | 3,12E-11 |
| Fator de resistência | μ | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Permeância total | W (kg/m ² .s.Pa) | 1,74E-09 | 1,72E-09 | 1,69E-09 | 1,69E-09 |
| Permeância total | US Perm (inch-pound) | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Permeância total | Metric perm | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Resist. ao vapor total | Z (Pa.s.m ² /kg) | 5,75E+08 | 5,81E+08 | 5,93E+08 | 5,93E+08 |
| Camada de ar equivalente | S_a (m) | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Permeância (filme) | W_f (kg/m ² .s.Pa) | 1,86E-08 | 1,67E-08 | 1,41E-08 | 1,41E-08 |
| Permeância (filme) | US Perm (inch-pound) | 326 | 293 | 247 | 247 |
| Permeância (filme) | Metric perm | 215 | 193 | 163 | 163 |
| Resist. ao vapor (filme) | Z_f (Pa.s.m ² /kg) | 5,37E+07 | 5,97E+07 | 7,10E+07 | 7,10E+07 |
| Veloc. Trans. de vapor do revest. | V (g.(m ² /dia) | 358 | 354 | 348 | 348 |
| Veloc. Trans. de vapor do revest aplico no | V_r (g.(m ² /dia) | 20510 | 13174 | 7927 | 7927 |

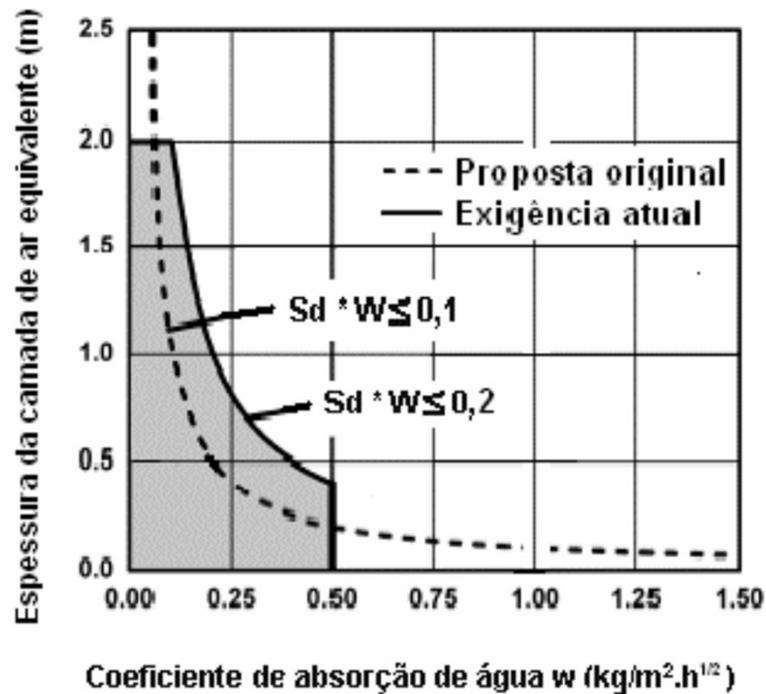
| Valores válidos | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Situação atual | OK! | OK! | OK! | OK! | OK! |
| Limite inferior | 2,1581E-08 | 2,1396E-08 | 2,0952E-08 | 2,0952E-08 | 2,0952E-08 |
| Limite superior | 2,3853E-08 | 2,3604E-08 | 2,3157E-08 | 2,3157E-08 | 2,3157E-08 |

| Média | | Desvio Padrão | Coef. Variação (%) |
|----------|-------------------------------|---------------|--------------------|
| 3,15E-11 | Material Homogêneo e Composto | 4,38E-13 | 1,4 |
| 7 | Material Homogêneo e Composto | 9,69E-02 | 1,4 |
| 1,70E-09 | Material Homogêneo e Composto | 2,37E-11 | 1,4 |
| 30 | Material Homogêneo e Composto | 0,00E+00 | 0,0 |
| 20 | Material Homogêneo e Composto | 0,00E+00 | 0,0 |
| 5,07E+08 | Material Homogêneo e Composto | 8,09E+06 | 1,4 |
| 0,01 | Material Homogêneo e Composto | 1,79E-03 | 12,7 |
| 1,59E-08 | Material Composto | 2,08E-09 | 13,08 |
| 272 | Material Composto | 3,62E+01 | 13,30 |
| 179 | Material Composto | 2,38E+01 | 13,25 |
| 6,38E-07 | Material Composto | 8,09E+06 | 12,68 |
| 352 | Material Homogêneo | 4,88 | 1,39 |
| 11493 | Material Composto | 5,53E+03 | 48,11 |



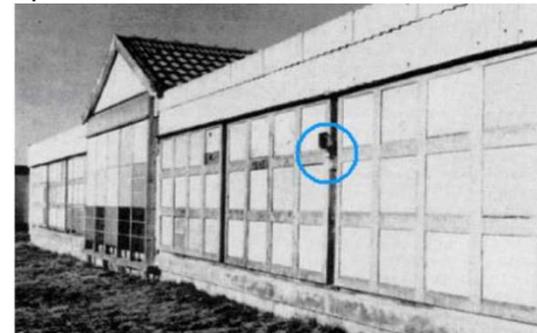
CONCEITUAÇÃO: CAPILARIDADE X DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA

Limites toleráveis de resistência à difusão do vapor de água e do coeficiente de absorção de água



Fonte: Adaptado de Künzle, Künzle e HOLM (2004)

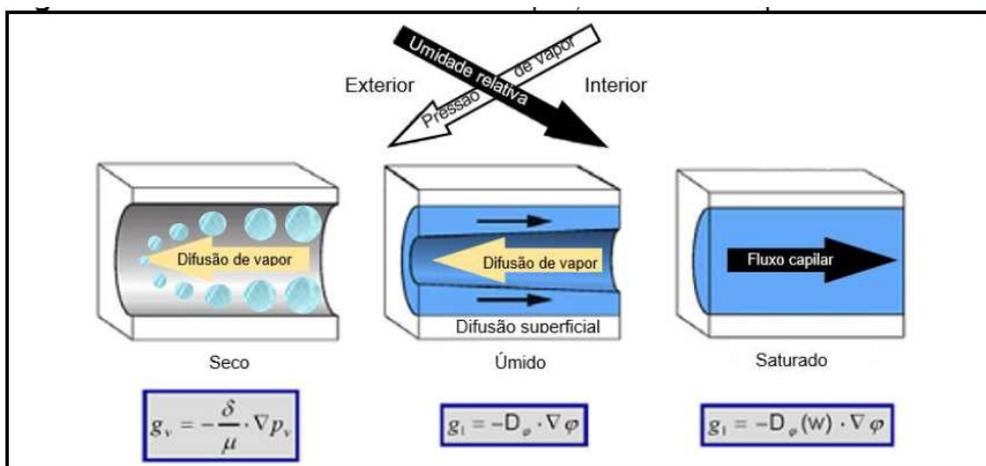
Fachada Oeste, Centro Experimental do *Fraunhofer Institute for Building Physics*. O círculo em azul indica a localização do pluviômetro



Fonte: Adaptado de Künzle, Künzle e Holm (2004)

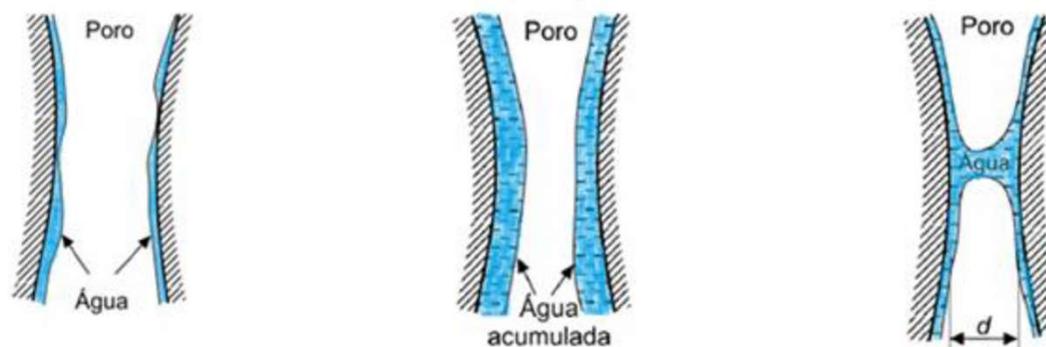
CONCEITUAÇÃO: CAPILARIDADE X DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA

Fenômenos de difusão de vapor, difusão de superfície e fluxo capilar



Fonte: Adaptado de WUFI - Bio (2005)

Etapas da fixação das moléculas de vapor de água nos poros de materiais higroscópicos



Fonte: adaptado de Couasnet (1989 apud RAMOS, 2007)

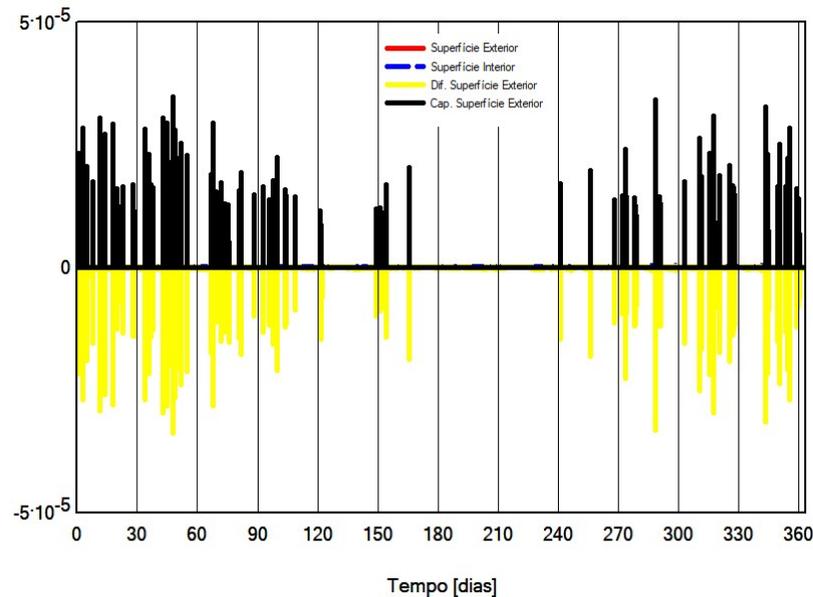
CONCEITUAÇÃO: EQUILÍBRIO HIGROTÉRMICO

Busca-se o equilíbrio higrotérmico

Relação: Capilaridade (W , $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$) x Camada de ar equivalente (S_d , m) $\leq 0,2 \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{h}^{1/2}$

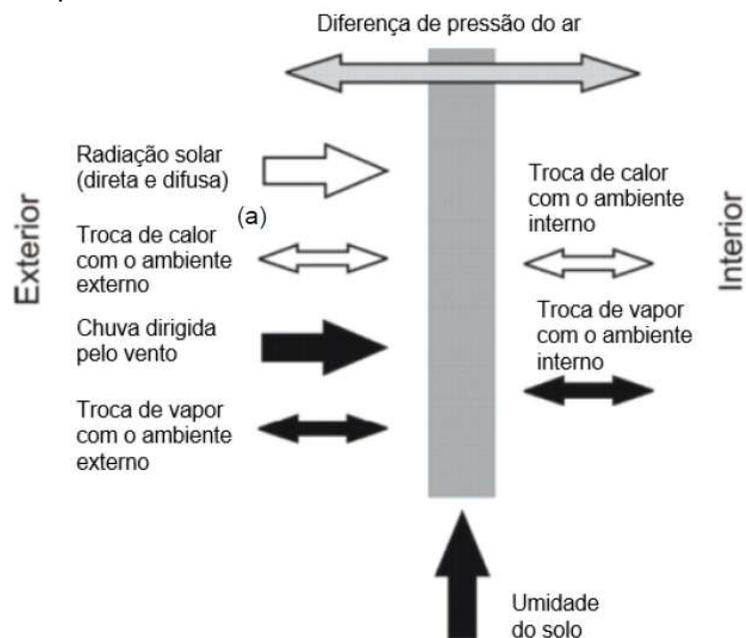
$$S_d = \mu \cdot e$$

$$\mu = S_d / e$$



CONCEITUAÇÃO: CAPILARIDADE X DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA

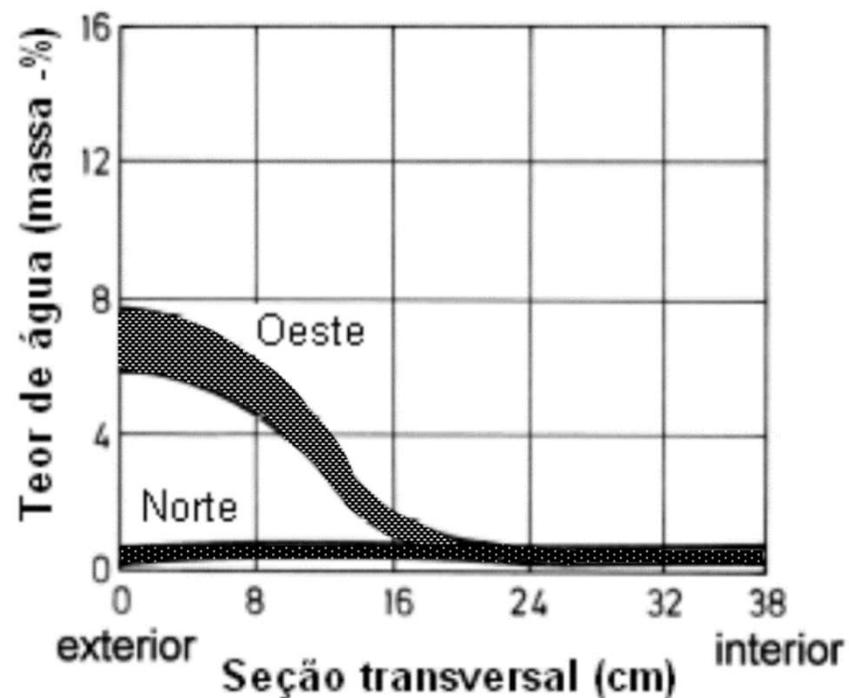
Agentes atmosféricos que influenciam no transporte higrotérmico numa parede externa



Fonte: Adaptado da norma da American Society for Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers (2009)

Legenda: (a): convectiva e por radiação de onda longa

Teor de umidade em uma parede de tijolos de argila e revestimento de argamassa mista de um edifício residencial

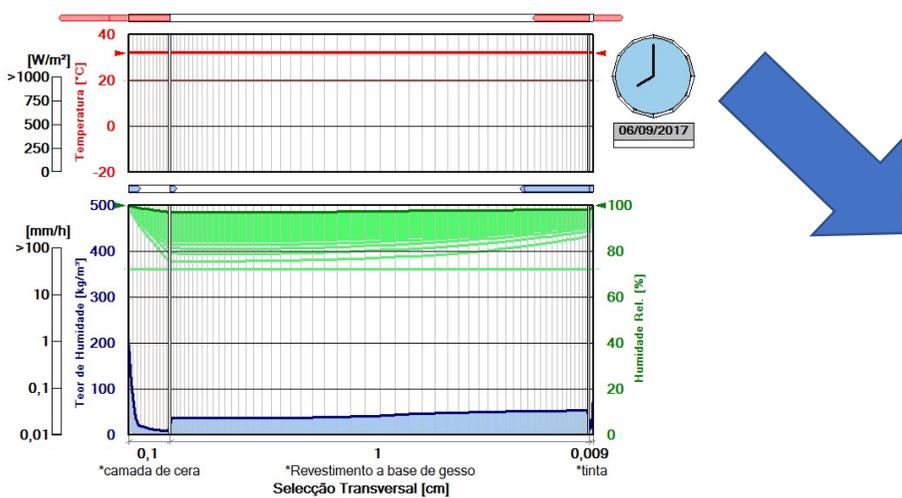


Fonte: Adaptado de Shüle (1966 apud KÜNZEL; KÜNZEL; HOLM, 2004).

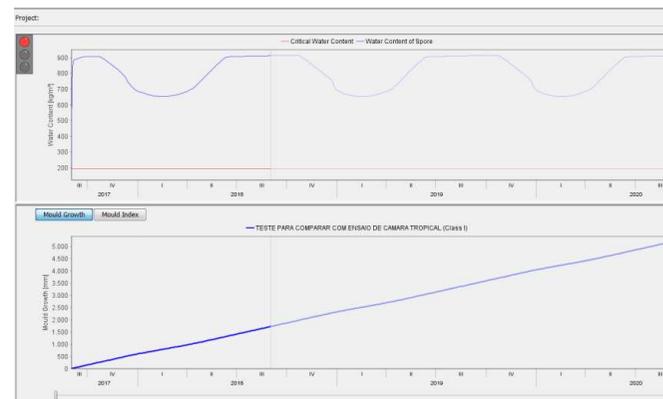
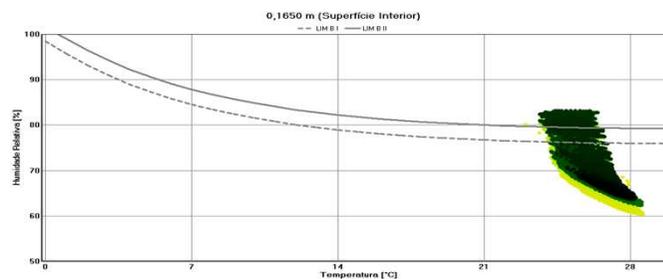
M
S·t

EXEMPLO DE USO: CAPILARIDADE E DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA

Premissas utilizadas para definir os valores de coeficientes de capilaridade para argamassas mais adequados ao clima do Brasil, POR EXEMPLO, MEDIANTE AO USO DE SIMULÇÕES HIGROTÉRMICAS



WUFI-Pro 5.3



WUFI-Bio



EXEMPLO DE PATOLOGIAS QUE PODEM ESTAR RELACIONADAS À UMIDADE NAS FACHADAS

PREVENÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DECORRENTES DA AÇÃO DA UMIDADE



DANOS MATERIAIS



EXEMPLO DE PATOLOGIAS QUE PODEM ESTAR RELACIONADAS À UMIDADE NAS FACHADAS

PREVENÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DECORRENTES DA AÇÃO DA UMIDADE



EXERCÍCIO

Calcule o fator de resistência à difusão de vapor de água (μ) a partir dos seguintes dados:

- $G = 2,27 \times 10^{-08}$ (kg/s)
- $A = 0,0055$ m²
- $d = 0,0185$ m
- $\Delta P_v = 2386,64$ Pa
- $\delta_{ar} = 2,2148 \times 10^{-10}$ kg/m.s.Pa (para a **pressão barométrica "P" em SP capital = 925,2 hPa**)

- $\mu = ?$

$$\mu = \frac{\Delta p \cdot \delta_{air}}{g \cdot d}$$

$$\mu = \frac{\delta_{air}}{\delta}$$



DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

Referência normativa:

Ensaio realizado conforme a norma ABNT NBR 15261: 2005 - “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear)”.

Princípio do método:

Esta Norma estabelece o método para determinação de variação dimensional (retração ou expansão linear) das argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos na fase de endurecimento e secagem, curadas em condições padronizadas.



DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

Detalhe dos corpos de prova para o ensaio, conforme ABNT NBR 15261



DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

Detalhe do ensaio

NBR 13276:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.

3 Condições ambientais do laboratório

3.1 Sala de moldagem

O laboratório deve apresentar temperatura do ar de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(60 \pm 5)\%$.

3.2 Câmara seca

3.2.1 Deve apresentar temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(50 \pm 5)\%$. A câmara deve ser ventilada ou provida de dispositivos que evitem evaporações diferenciais entre os corpos-de-prova, prejudicando a avaliação dos resultados.

3.2.2 A câmara deve também ser provida de dispositivos de armazenagem e apoio que deixem os corpos-de-prova livres, em todas as faces, pelo menos 20 mm. Os suportes devem ser horizontais e de material não absorvente, com superfície de contato não superior a 10 mm de largura, colocados no sentido transversal ao eixo do corpo-de-prova, constituindo apenas dois apoios.

3.2.3 Para controle efetivo das condições termoigrométricas da câmara, a temperatura e a umidade relativa do ar devem ser tomadas no mínimo duas vezes por jornada de trabalho.



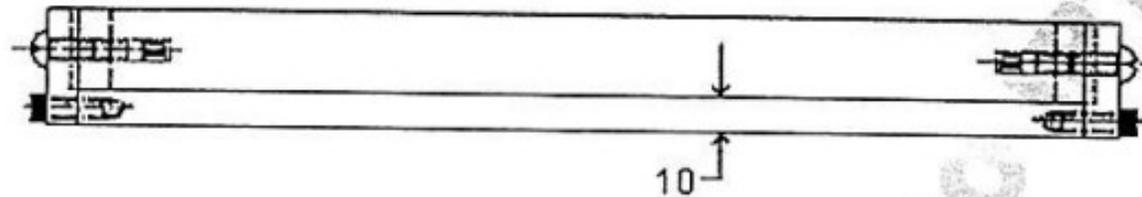
DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

Detalhe do ensaio

4 Aparelhagem

4.1 Moldes

4.1.1 Os moldes devem ser feitos de aço ou outro material rígido não absorvente pela argamassa e devem ser construídos de acordo com a figura 1, de modo a possibilitar a moldagem de corpos-de-prova prismáticos de 25 mm x 25 mm x 285 mm, com comprimento efetivo de 250 mm. O comprimento efetivo deve ser considerado como o comprimento entre as extremidades internas dos pinos de medida.



DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

Detalhe do ensaio

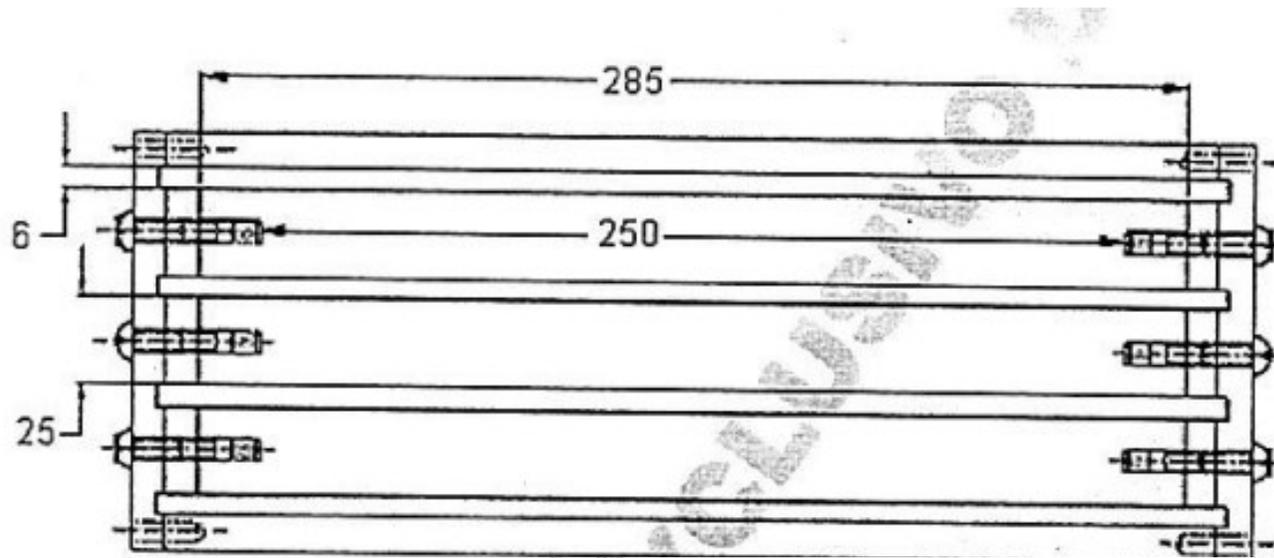
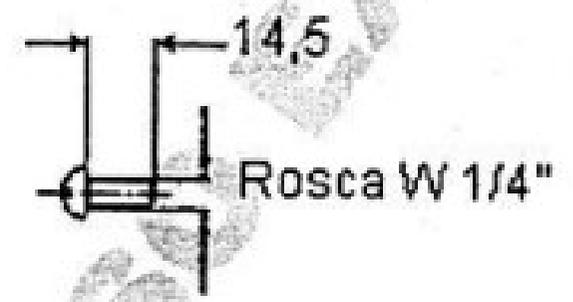
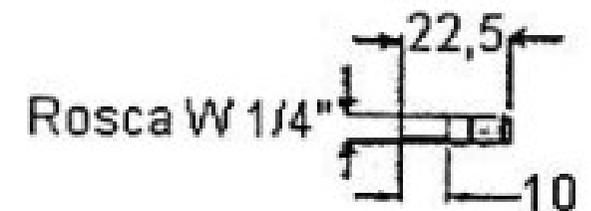


Figura 1 — Moldes



DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

Detalhe do ensaio

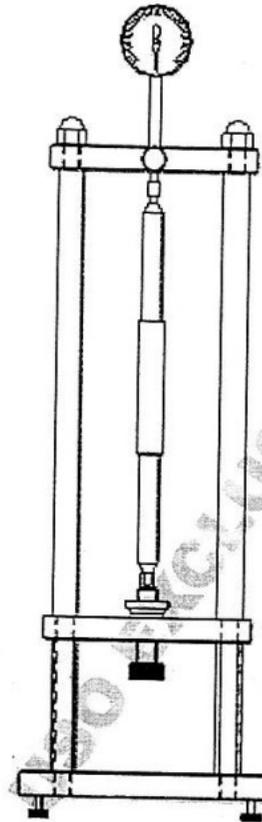
4.1.2 As paredes dos moldes devem ter no mínimo 8 mm de espessura e ser suficientemente rígidas para que os corpos-de-prova não sofram danos quando forem removidos dos compartimentos.

4.1.3 As extremidades de cada molde devem ser equipadas com dispositivos que fixem no local, durante a pega, os pinos de medida mostrados na figura 1. Os pinos devem ser de aço inoxidável tipo 316 AISI ou equivalente. Deve ser garantido o deslocamento livre dos pinos nas extremidades dos moldes, por ocasião da retração inicial da argamassa. Isto pode ser conseguido, por exemplo, retirando-se as fixações dos pinos, após a compactação da argamassa, assim que isso for possível. Esses pinos devem estar simetricamente colocados, coincidentes com o eixo do corpo-de-prova. A distância interna livre entre pinos deve ser de $(250,0 \pm 2,5)$ mm, sendo que cada pino deve penetrar no corpo-de-prova $(17,5 \pm 0,5)$ mm.

4.1.4 As juntas exteriores entre as partes do molde devem ser seladas para evitar a perda de água da argamassa.

DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

Aparelho comparador para medida da
variação de comprimento dos corpos de
prova



DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

4.2.2 Deve dispor de um relógio comparador com resolução de 0,001 mm. Os terminais do relógio comparador devem ter a superfície interna arredondada e polida para adaptar-se perfeitamente à forma dos pinos de medida dos corpos-de-prova.

4.2.3 O aparelho deve possuir espaço suficiente para que os corpos-de-prova sejam girados lentamente, a fim de precisar a leitura. Os corpos-de-prova devem ser colocados sempre na mesma posição, com um dos lados para cima e, após girados, deve-se ler o valor mais baixo apresentado.

4.2.4 O aparelho deve ser verificado sempre antes de cada série de leituras, com auxílio de barra padrão devidamente aferida (material certificado de referência). A barra de referência que é utilizada como padrão para fixação da escala deve ter comprimento total de $(300 \pm 1,5)$ mm. Deve ser de liga de aço com um coeficiente de dilatação térmica não maior que $(2 \times 10^{-6})^{\circ} \text{C}^{-1}$. A parte central, de cerca de 100 mm, deve ser coberta por um tubo de borracha com espessura de pelo menos 3 mm, para diminuir o efeito de mudança de temperatura durante o manuseio. Deve ser provida de uma marca que permita colocá-la sempre na mesma posição cada vez que o comprimento é tomado.

DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

4.3 Soquete

Soquete de material não absorvente, nas dimensões aproximadas de 150 mm de comprimento e face de compactação plana nas dimensões aproximadas de 13 mm x 25 mm.

4.4 Espátula

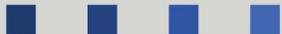
Espátula metálica, com lâmina de aproximadamente 25 mm de largura e 200 mm de comprimento.

4.5 Utensílios de uso geral em laboratório

5 Execução do ensaio

5.1 Corpos-de-prova

Devem ser moldados no mínimo três corpos-de-prova para representar cada condição.



DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

5.2 Preparação dos moldes

Aplicar uma fina camada de óleo mineral nas faces internas dos moldes e, se necessário, remover o excesso com pano (ou papel) absorvente, limpo e seco. Depois dessa operação, os pinos de medida devem ser colocados, tomando-se cuidado para mantê-los limpos e livres de óleo, a fim de garantir sua aderência à argamassa.

NOTA Para facilitar a desmoldagem, pode-se recobrir o fundo do molde com filme de PVC.

5.3 Preparação da argamassa

Preparar a argamassa conforme a NBR 13276.

5.4 Moldagem dos corpos-de-prova

5.4.1 Os moldes devem ser colocados sobre uma base nivelada, livre de choques e vibrações.

DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

5.4.2 A moldagem deve ser efetuada em duas camadas, aplicando-se 25 golpes em cada camada com o soquete descrito em 4.3. Deve-se tomar cuidado principalmente nos ângulos ao longo das superfícies e arestas dos moldes e em torno dos pinos de medida, para obter um corpo-de-prova homogêneo.

5.4.3 Após a compactação da segunda camada, retirar o excesso de argamassa e alisar a superfície com uma régua.

5.4.4 Terminada a moldagem, remover os parafusos, segurando a extremidade dos blocos, de forma a permitir sua livre movimentação.

5.4.5 Os corpos-de-prova devem permanecer nos moldes durante as primeiras (48 ± 6) h, contadas a partir do início da mistura, em ambiente de laboratório conforme 3.1, devidamente protegidos contra a perda de umidade (cobrir com filme PVC).

5.5 Procedimento

5.5.1 Logo após a desforma, identificar os corpos-de-prova, assinalando inclusive uma referência que permita colocá-los sempre na mesma posição no aparelho de medida. Determinar a massa dos corpos-de-prova e efetuar as leituras iniciais (L_0 e m_0), registrando os valores obtidos.

5.5.2 Armazenar os corpos-de-prova em câmara seca, conforme 3.2.



DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

5.5.3 Efetuar as leituras (L_i) e as determinações de massa (m_i) nas idades de 1 d, 7 d e 28 d a contar da leitura inicial ou outras idades estabelecidas.

6 Resultados

Na apresentação dos resultados devem constar os valores correspondentes às variações dimensionais (expansão ou retração) e de massa calculados como estabelecido em 6.1 a 6.3.

6.1 Variação dimensional

A variação dimensional deve ser calculada pela expressão a seguir:

$$\varepsilon_i = \frac{L_i - L_0}{0,25} \quad \text{onde:}$$

ε_i é a medida da variação dimensional, caracterizada como retração (quando negativa) ou expansão (quando positiva), na idade "i", arredonda ao centésimo mais próximo, em milímetros por metro;

L_i é a leitura efetuada na idade final, em milímetros;

L_0 é a leitura efetuada após a desforma, em milímetros;

i é a idade de leitura.



DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

6.2 Variação de massa

A variação de massa deve ser calculada pela equação a seguir:

$$\Delta m_i = \frac{m_i - m_0}{m_0} 100$$

onde:

Δm é a variação de massa, arredondada ao décimo mais próximo, em porcentagem;

m_i é a massa na idade final, em gramas;

m_0 é a massa após a desforma do corpo-de-prova, em gramas.

DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

6.3 Apresentação dos resultados

- 6.3.1 Calcular a variação dimensional média e a variação de massa média de no mínimo três corpos-de-prova.
- 6.3.2 O desvio absoluto máximo dos resultados obtidos de 6.1 e 6.2 é a diferença entre a variação média e a variação individual que mais se afaste desta média para mais ou para menos. O valor obtido deve ser arredondado ao centésimo mais próximo.
- 6.3.3 Quando o desvio absoluto máximo da variação dimensional for superior a 0,20 mm/m, calcula-se uma nova média, desconsiderando-se os valores discrepantes, identificando-os no relatório de ensaio, com asterisco. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo dois corpos-de-prova; caso contrário, o ensaio deve ser refeito.

EXEMPLO DE CÁLCULO NO LMPC

| Comprimento inicial (mm) | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
| CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 |
| 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |

| Data | Horário | Ref | A _i (milésimos de mm) | | | | | |
|----------|---------|------|----------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 |
| 16/10/13 | 09:30 | 4526 | 4380 | 4299 | 4170 | 4037 | | |
| 17/10/13 | 10:45 | 4522 | 4361 | 4285 | 4135 | 4002 | | |
| 23/10/13 | 10:15 | 4528 | 4158 | 4080 | 3940 | 3809 | | |
| 06/11/13 | 10:05 | 4524 | 4156 | 4076 | 3936 | 3810 | | |
| 13/11/13 | 09:40 | 4529 | 4151 | 4072 | 3932 | 3807 | | |

| Massa (g) | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|------|------|
| CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 |
| 344,92 | 340,18 | 339,45 | 342,99 | | |
| 328,27 | 325,04 | 321,87 | 322,25 | | |
| 315,34 | 310,91 | 309,90 | 312,88 | | |
| 315,57 | 311,05 | 310,09 | 313,20 | | |
| 315,68 | 311,19 | 310,27 | 313,31 | | |

| Média Inicial | Idade | Retração (mm/m) | | | | | | Média | Média Final |
|---------------|-------------------|-----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|--------------|
| | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 | | |
| | 1 dias e 1 horas | -0,06 | -0,04 | -0,12 | -0,12 | | | -0,09 | -0,09 |
| | 7 dias e 0 horas | -0,90 | -0,88 | -0,93 | -0,92 | | | -0,91 | -0,91 |
| | 21 dias e 0 horas | -0,89 | -0,88 | -0,93 | -0,90 | | | -0,90 | -0,90 |
| | 28 dias e 0 horas | -0,93 | -0,92 | -0,96 | -0,93 | | | -0,94 | -0,94 |

| Média | Variação de massa (%) | | | | | |
|-------------|-----------------------|-------|-------|-------|------|------|
| | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 |
| -5,1 | -4,80 | -4,50 | -5,20 | -6,00 | | |
| -8,7 | -8,60 | -8,60 | -8,70 | -8,80 | | |
| -8,6 | -8,50 | -8,60 | -8,60 | -8,70 | | |
| -8,6 | -8,50 | -8,50 | -8,60 | -8,70 | | |

| 1ª Verificação | Idade | Retração (mm/m) | | | | | | Média | OK |
|----------------|-------------------|-----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|----|
| | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 | | |
| | 1 dias e 1 horas | -0,06 | -0,04 | -0,12 | -0,12 | | | -0,09 | OK |
| | 7 dias e 0 horas | -0,90 | -0,88 | -0,93 | -0,92 | | | -0,91 | OK |
| | 21 dias e 0 horas | -0,89 | -0,88 | -0,93 | -0,90 | | | -0,90 | OK |
| | 28 dias e 0 horas | -0,93 | -0,92 | -0,96 | -0,93 | | | -0,94 | OK |

| 2ª Verificação | Idade | Retração (mm/m) | | | | | | Média | OK |
|----------------|-------------------|-----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|----|
| | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 | | |
| | 1 dias e 1 horas | -0,06 | -0,04 | -0,12 | -0,12 | | | -0,09 | OK |
| | 7 dias e 0 horas | -0,90 | -0,88 | -0,93 | -0,92 | | | -0,91 | OK |
| | 21 dias e 0 horas | -0,89 | -0,88 | -0,93 | -0,90 | | | -0,90 | OK |
| | 28 dias e 0 horas | -0,93 | -0,92 | -0,96 | -0,93 | | | -0,94 | OK |

| 3ª Verificação | Idade | Retração (mm/m) | | | | | | Média | OK |
|----------------|-------------------|-----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|----|
| | | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 | CP 6 | | |
| | 1 dias e 1 horas | -0,06 | -0,04 | -0,12 | -0,12 | | | -0,09 | OK |
| | 7 dias e 0 horas | -0,90 | -0,88 | -0,93 | -0,92 | | | -0,91 | OK |
| | 21 dias e 0 horas | -0,89 | -0,88 | -0,93 | -0,90 | | | -0,90 | OK |
| | 28 dias e 0 horas | -0,93 | -0,92 | -0,96 | -0,93 | | | -0,94 | OK |



DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Referência normativa:

Ensaio realizado conforme a norma ABNT NBR15630: 2008 - “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica”.

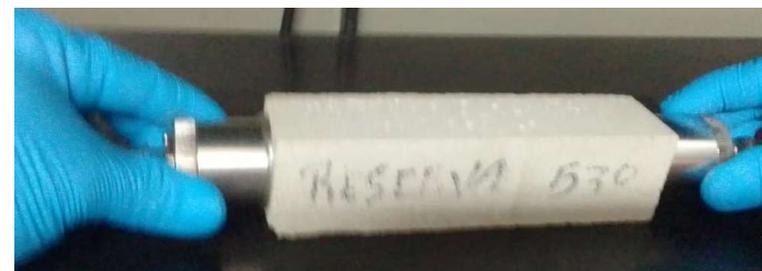
Princípio do método:

Esta Norma prescreve o método de ensaio não-destrutivo para determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultra-sônicos, em um corpo-de-prova de argamassa.



DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Detalhe dos corpos de prova para o ensaio, conforme ABNT NBR 15630



DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

TECNOLOGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - IPT - 60.633.674/0001-55 (Pedido 176847 Imf)

4 Aparelhagem e materiais

4.1 Generalidades

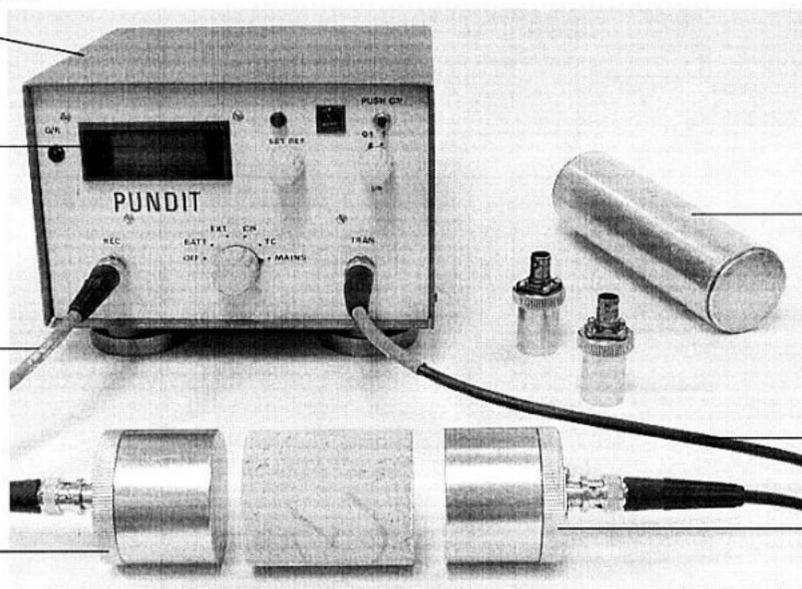
Os componentes do equipamento de ultra-som estão descritos em 4.2 a 4.7 (ver Figura 1).

Circuito gerador-receptor
(4.2)

Circuito medidor de
tempo (4.5)

Cabos coaxiais (4.6)

Transdutor-receptor
(4.4)



Barra de referência (4.7)

Cabos coaxiais (4.6)

Transdutor-emissor (4.3)

Figura 1 — Aparelhagem



DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

4.2 Circuito gerador-receptor

Aparelho de pulso elétrico de baixa frequência ultra-sônica, com alta estabilidade e precisão de leitura de pelo menos $0,1 \mu\text{s}$.

4.3 Transdutor-emissor

Aparelho que possibilita a transformação do pulso elétrico em onda de choque numa faixa de 54 kHz a 1 MHz.

4.4 Transdutor-receptor

Aparelho que possibilita a transformação da onda de choque em pulso elétrico, com amplificação adequada ao circuito do gerador-receptor.

4.5 Circuito medidor de tempo

Aparelho que possibilita medir o tempo de percurso da onda através do corpo-de-prova. Este circuito pode ser provido de um ajuste para descontar o tempo gasto nos cabos conectores entre o gerador-receptor e os transdutores. O tempo gasto no percurso pode ser lido em um tubo de raios catódicos ou em um mostrador digital.

DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

4.6 Cabos coaxiais

Cabos que devem permitir a conexão perfeita dos transdutores ao circuito gerador-receptor.

4.7 Barra de referência

Peça metálica, com superfícies de acoplamento polidas e tempo de percurso da onda conhecido, que possibilita a verificação e regulagem do equipamento de ultra-som.

4.8 Gel (meio de contato)

Produto em forma de gel apropriado para transmissão ultra-sônica, normalmente utilizado em exames de diagnósticos médicos de ultra-som.

DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

5 Execução do ensaio

5.1 Preparação dos corpos-de-prova

A argamassa deve ser preparada conforme a ABNT NBR 13276.

Este ensaio deve ser realizado em no mínimo três corpos-de-prova de (4 cm x 4 cm x 16 cm), preparados conforme a ABNT NBR 13279.

Os corpos-de-prova a serem ensaiados, cujas faces de ensaio (superfícies de 4 cm x 4 cm) não estejam suficientemente lisas e planas, devem ter essas superfícies regularizadas (eliminar os ressaltos) através de lixamento ou corte, a fim de possibilitar bom acoplamento com os transdutores.

DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

5.2 Procedimento de ensaio

O ensaio deve ser realizado aos 28 dias da moldagem dos corpos-de-prova.

Verificar a regulagem do tempo medido no equipamento usando a barra de referência.

Verificar se as superfícies de ensaio dos corpos-de-prova estão lisas, limpas e livres de grãos soltos.

Determinar a densidade de massa aparente dos corpos-de-prova conforme ABNT NBR 13280.

Aplicar camada de gel de contato na superfície dos transdutores de forma que, ao comprimi-los contra as faces dos corpos-de-prova, ocorra o seu extravasamento.

DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Posicionar os transdutores centralizados nas faces opostas (4 cm x 4 cm) cm do corpo-de-prova.

Registrar o menor valor apresentado no mostrador digital para cada leitura.

Devem ser feitas três leituras em cada corpo-de-prova.

Entre as três leituras realizadas deve ser considerada a menor, para cada corpo-de-prova.

NOTA Após a determinação do módulo de elasticidade de acordo com esta Norma, os corpos-de-prova utilizados podem ser empregados para a determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão.

DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

6 Resultados

Calcular a velocidade de propagação de ondas, arredondando à segunda casa decimal, conforme a seguinte equação:

$$V = \frac{L}{t}$$

onde:

- V é a velocidade de propagação da onda ultra-sônica, expressa em milímetros por micros segundos (mm/ μ s), arredondado à segunda casa decimal;
- L é a distância entre os pontos de acoplamento dos transdutores (comprimento do corpo-de-prova), expressa em milímetros (mm);
- t é o tempo registrado pelo mostrador digital, expresso em micros segundos (μ s).

DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Calcular o módulo de elasticidade dinâmico, arredondando à centena, conforme a seguinte equação:

$$E_d = v^2 \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu}$$

onde:

E_d é o módulo de elasticidade dinâmico, expresso em megapascal (MPa);

v é a velocidade de propagação da onda ultra-sônica, expressa em milímetros por micro segundos (mm/ μ s);

ρ é a densidade de massa aparente do corpo-de-prova, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

μ é o coeficiente de Poisson. Adota-se nesta equação o valor 0,2.

EXEMPLO DE CÁLCULO NO LMPC

| | |
|---|---|
| Forma do corpo de prova (prismática / cilíndrica) | P |
|---|---|

$d_{\text{massa aparente}}$ (estado endurecido)

| CP | Altura | | Largura | | Comprimento | | Massa (g) | Densidade (kg/m ³) | |
|----|--------|--------|---------|--------|-------------|--------|-----------|--------------------------------|-------|
| | A (mm) | B (mm) | A (mm) | B (mm) | A (mm) | B (mm) | | Discriminado | Média |
| 1 | 40,34 | 40,29 | 40,92 | 40,77 | 161,10 | 160,98 | 463,9 | 1757 | 1756 |
| 2 | 40,42 | 40,41 | 41,34 | 40,57 | 160,69 | 160,95 | 465,4 | 1763 | |
| 3 | 40,44 | 40,30 | 39,79 | 40,40 | 160,51 | 160,89 | 450,1 | 1747 | |

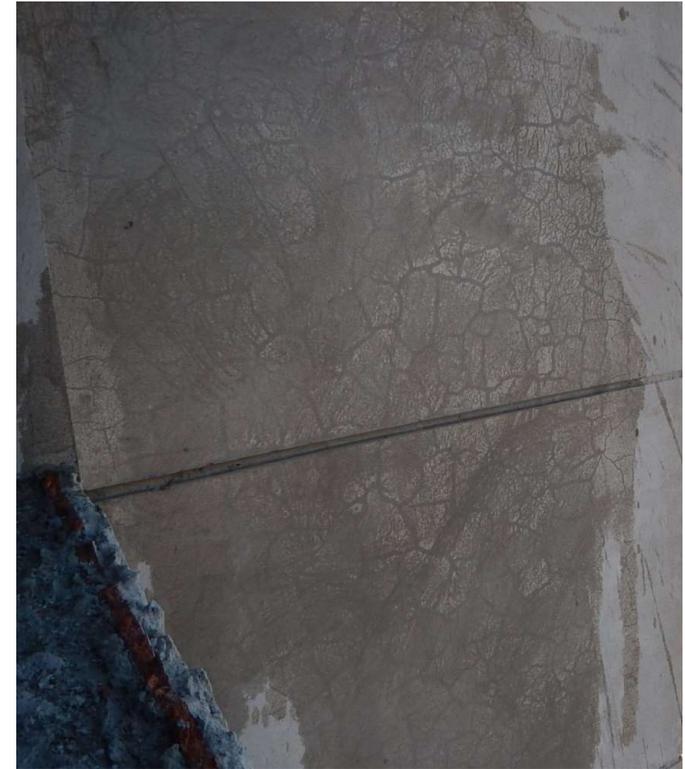
Módulo de elasticidade dinâmico (E_d)

| CP | Tempo (μs) | | |
|----|-------------------------|-------|-------|
| | A | B | C |
| 1 | 57,40 | 57,60 | 57,70 |
| 2 | 56,90 | 56,90 | 56,90 |
| 3 | 58,10 | 58,10 | 58,30 |

| V (mm/ μs) | E_d (GPa) | |
|---------------------------|--------------|-------|
| | Discriminado | Média |
| 2,81 | 12500 | 12,4 |
| 2,83 | 12700 | |
| 2,77 | 12100 | |



EXEMPLO DE PROBLEMAS COM FISSURAS POR RETRAÇÃO E OU CAPACIDADE DE DEFORMAÇÃO DAS ARGAMASSAS



Obrigado!

- Equipe técnica do LMPC (Impc@ipt.br)

 linkedin.com/school/iptsp/

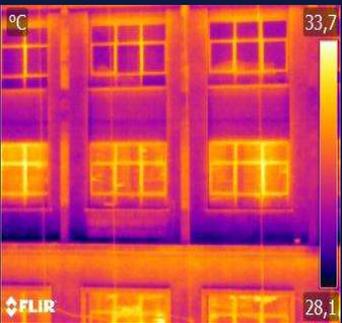
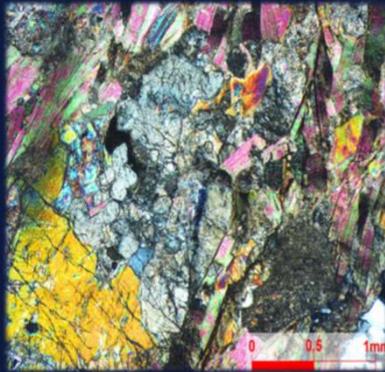
 instagram.com/ipt_oficial/

 youtube.com/@IPTbr/

www.ipt.br

 **ipt**
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

 **SÃO
PAULO**
GOVERNO
DO ESTADO



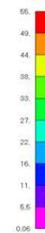
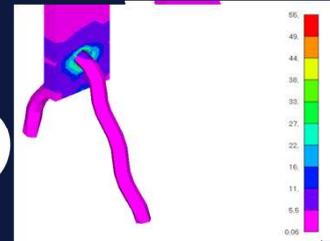
+
+
seu desafio
é nosso

[O IPT é o seu melhor
parceiro para inovar.

www.ipt.br



IP



www.ipt.br