

PL1 - DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ABSORÇÃO CAPILAR DE ÁGUA, DA ABSORÇÃO POR IMERSÃO TOTAL E DA CURVA DE SECAGEM.

A. Elena Charola y Marcela L. Cedrola

Metodologia:

A curva de absorção capilar se obtém colocando amostras de forma cúbica (5 x 5 x 5 cm) num recipiente que tenha um pouco de água no fundo, de forma que só possam absorver a água por uma das faces (a inferior, que está em contato com o líquido). As amostras são pesadas em intervalos de tempo crescentes e os resultados são colocados em gráficos. Dele se obtém o coeficiente de absorção capilar.

Uma vez que se chega ao máximo de absorção a amostra submerge totalmente na água e, após 24 horas de imersão total, deve ser pesada. Da quantidade total de água absorvida pela amostra se pode calcular sua porosidade aparente.

Após pesada, deixa-se a amostra ao ar livre em uma bandeja e se volta a pesá-la em intervalos crescentes. Os dados devem ser colocados em um gráfico, de onde se pode obter a velocidade de secagem e o conteúdo crítico de água.

Materiais a utilizar:

Cuba plástica, de fundo plano, com tampa, de aproximadamente 60 x 30 x 15 cm;

3 amostras cúbicas (5 x 5 x 5 cm) de cada material a experimentar;

Balança (Sens. 0,01 g);

Água destilada;

Bastões de vidro

Cronômetro e relógio;

Calculadora.

Princípio:

A água penetra nos materiais porosos por capilaridade, isto é, porque os poros tendem a “absorver” a água. Quanto mais finos os poros, mais absorventes são. Mas, ao serem finos, só permitem entrar uma quantidade relativamente pequena de água. Nos casos contrários, os poros maiores absorvem menos, porém, ao serem maiores, neles pode penetrar mais água.

Como a água é um dos fatores mais relevantes na deterioração dos materiais é importante conhecer o comportamento do material com relação ao líquido. Principalmente quando é preciso usar diferentes materiais que devem estar em contato, tal como a pedra e a argamassa, pois se eles têm comportamentos muito diferentes, um material se deteriorará muito mais rápido que outro. Portanto, é desejável que o comportamento entre eles seja o mais parecido possível, de maneira que sejam compatíveis diante deste agente de degradação.

As curvas de absorção capilar da água e as de secagem serão diferentes dependendo da porosidade total do material, do tipo de poros (diâmetro dos poros) e da quantidade de poros de cada diâmetro existente. A porosidade total do material pode ser estimada facilmente pela quantidade total de água que ele absorve após ficar imerso por 24 horas.



Procedimentos:

Curva de absorção capilar

Na cuba plástica colocar bastões de vidro que servirão de suporte para as amostras. Adicionar água destilada o suficiente para que ultrapasse apenas o diâmetro dos bastões (aprox. 1 mm).

As amostras a serem avaliadas são numeradas com um lápis ou com uma incisão que as identifique, são pesadas (anotando num caderno os pesos de cada uma) e colocadas sobre os bastões de vidro de modo que a face inferior fique apenas tocando a água, medindo o tempo que corresponderá ao tempo “zero”. Tapa-se a cuba, aos 3 minutos se retiram as amostras, uma de cada vez, secando o excesso de água com um papel absorvente e se pesa, registrando o peso e o tempo exato no qual se realiza a medição para cada amostra.

É conveniente preparar uma tabela (ver: Tabela 1) a fim de registrar o tempo e o peso correspondente a cada medição e logo calcular os seguintes dados: a duração (tempo transcorrido - tanto em minutos como em segundos), a raiz quadrada do tempo expresso em segundos, a diferença de peso e a diferença de peso por área de absorção.

Tabela 1. Tabela para registrar os dados necessários para compor a curva de absorção capilar.

Hora real	Tempo (min)	Raiz quadrada T (min ^{0,5})	Peso (g)	Dif. Peso (g)	Dif. Peso/área (g/cm ²)
10.30	0	0	250	0	0
10.33	3	1,73	255	5	0,20
*****	****	*****	*****	*****	*****

A *hora real* é a hora na qual se realiza a medição. Por exemplo, o tempo “zero” corresponde ao momento em que se colocou a amostra na cuba. O peso correspondente é o peso da amostra seca.

O *tempo transcorrido* é a diferença de tempo desde o início do teste, expresso em minutos, e logo como a raiz quadrada de minutos.

O *peso* é o valor medido em gramas, correspondente ao tempo em que se realizou a medição.

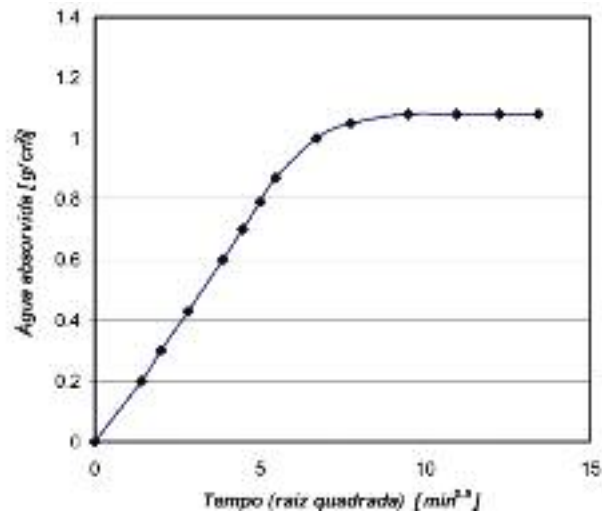
A diferença de peso se calcula em relação ao peso inicial (o peso seco). Como a absorção só ocorre por uma face do cubo, se deve dividir pela superfície desta face. No caso que o cubo seja de 5 x 5 x 5 cm, a superfície de cada face é de 25 cm². As medidas de peso devem ser intercaladas de acordo com a velocidade de absorção do material. Para uma primeira curva, se podem aferir os pesos nos seguintes momentos: 0, 3, 5, 8, 11, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 180 minutos; e depois às 4, 5 e 6 horas.

À medida que se obtêm os dados, é importante registra-los em um gráfico como “diferença de peso/área de absorção” (ordenada, eixo y) em função da “raiz quadrada do tempo” (abscissa, eixo x).

Quando o material estiver se saturando de água, absorve cada vez mais lentamente e a curva atinge a um valor limite e quase não absorve mais. Isto indica o fim do teste e a amostra, depois da última pesagem é submergida totalmente na água em outra cuba (2º teste).

Em geral, o gráfico tem a forma que se apresenta na Figura 1.



Figura 1. Curva modelo de absorção capilar de água.**Expressão dos resultados:**

Independentemente da tabela de resultados e do gráfico pode-se calcular o coeficiente de absorção capilar do material que corresponde à parte reta inicial da curva. O coeficiente pode ser obtido diretamente com uma calculadora com funções matemáticas, ou simplesmente calculando o quociente entre a diferença de duas medidas de tempo e os correspondentes valores de peso. Na curva de exemplo, se poderia tomar a diferença entre o valor inicial e o correspondente ao ponto próximo aos 5 min^{1/2}. Os valores são: 0,79 g/cm² e 5 min^{1/2}. Realizando o quociente destes valores obtemos:

$$\text{Coeficiente de absorção capilar} = 0,16 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$$

Porosidade aparente da amostra por imersão total

Após a última pesagem, a amostra que chegou a seu ponto limite de absorção por capilaridade é submergida inteiramente na água destilada, onde permanece por 24 horas. Logo se retira, eliminando-se cuidadosamente o excesso de água com um papel absorvente e se volta a pesar.

A porosidade aparente se calcula da seguinte maneira:

$$\text{Porosidade aparente \%} = (\text{Peso 24 h} - \text{Peso seco}) \times 100 / \text{Peso seco}$$

Curva de secagem

Depois de pesar a amostra que foi retirada após estar submersa em água por 24 horas, se coloca na balança pela primeira meia hora, para sua secagem. Periodicamente se registram os pesos; e o tempo nos quais se deve fazer as leituras é determinado experimentalmente.

Quando a variação do peso diminui, a amostra pode ser retirada do prato da balança e colocada em uma bandeja. Continua-se registrando o peso da amostra até que este chegue a seu peso original ou bem próximo a ele.

Novamente se prepara uma tabela (Tabela 2) para registrar os valores medidos. A tabela deve indicar os seguintes valores:



Tabela 2. Tabela para anotar os dados necessários para graficar a curva de secagem.

Hora real	Tempo transcor. (h)	Peso amostra (g)	Peso água (g)	Conteúdo água (g/cm ³)
0	0	Peso 24 h	P 24h-P seco	P água/ 125
.....

A *hora real* é a hora na qual se realiza a medição. Por exemplo, o tempo “zero” corresponde ao momento em que se colocou a amostra na cuba. O peso correspondente é o peso da amostra seca.

O *tempo transcorrido* é a diferença de tempo desde o início do teste, expressado em minutos, e logo como a raiz quadrada de minutos.

O *peso amostra* é o valor medido em gramas, correspondente ao tempo em que se realizou a medição. Ao tempo “zero” corresponde o peso da amostra saturada em água após as 24 horas de imersão, expressado em gramas.

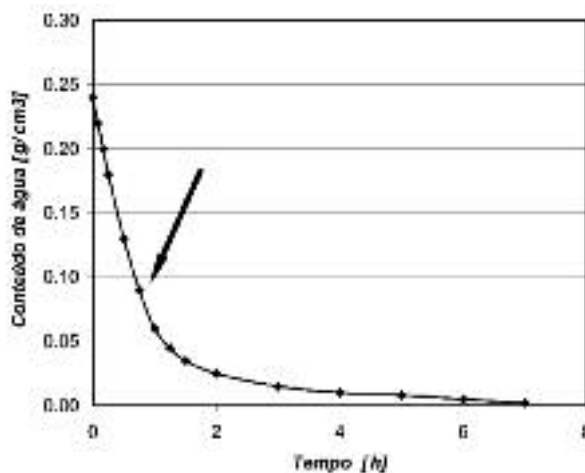
O *peso de água* é a diferença do peso da amostra úmida menos o da amostra seca.

O *conteúdo de água* é o peso da água dividido pelo volume da amostra que o contém. Divide-se o peso da água em gramas pelo volume, neste caso 125 cm³, e para expressá-lo em kg/m³ se multiplica por 1000, o fator que resulta da conversão das unidades.

As medidas devem ser intercaladas de acordo com a velocidade de secagem. Ao iniciar-se a secagem convém deixar a amostra diretamente sobre a balança e fazer leituras a intervalos regulares, dependendo da rapidez com que muda o peso. Se não é muito rápido, se tomam medidas a cada 5 minutos, e depois a cada 10 minutos, até que o peso se estabilize. Convém ir colocando os dados em um gráfico, à medida que são obtidos.

A forma geral do gráfico é a que se mostra na Figura 2:

Figura 2. Típica curva de secagem. A flecha marca o ponto de inflexão da curva que corresponde ao conteúdo crítico de água do material sob as condições de secagem.



Expressão dos resultados:

Do gráfico pode-se obter o ponto de “*conteúdo crítico de água*”, que é um conceito importante, pois indica o valor acima do qual se encontra água “líquida” dentro do material, o que implica que pode haver transporte de sais solúveis e eventual formação de eflorescências. Abaixo desse valor a água está como vapor, ou



absorvida pelo material. O *conteúdo crítico de água* se encontra no ponto em que a curva muda de inclinação e está indicado no gráfico anterior com uma seta.

Neste exemplo, o conteúdo crítico é encontrado entre os pontos 0,08 e 0,10 g/cm³, de modo que se pode estimar em 0,09 g/cm³.

Exemplo 1

Aplicação do procedimento às variedades de arenito rosa e da pedra itacurú.

Materiais

O arenito utilizado nas construções das Missões Jesuíticas, o arenito rosa-avermelhado, aparece em várias gradações, desde a variedade mais dura, quartzito, até as mais macias, genericamente chamadas ortoquartzito. Estas podem ser compactas ou ter maior tendência a laminar-se, caso em que são denominadas “lajes”.

A outra pedra utilizada é a chamada itacurú, que contém uma alta porcentagem de minerais de ferro.

Para o teste se utilizaram amostras cortadas em cubo (4 x 4 x 4 cm) de três tipos de arenito avermelhado (ortoquartzito), que foram denominados de: duro, semi-duro e macio e uma amostra de itacurú.

Curvas de absorção capilar

Figura E1. *Curvas de absorção das amostras de pedras usadas na Missão de San Ignacio Mini.*

Os coeficientes de absorção capilar obtidos das curvas e a porosidade das pedras obtidas por imersão total durante 24 horas apresentam-se na Tabela E1 a seguir.

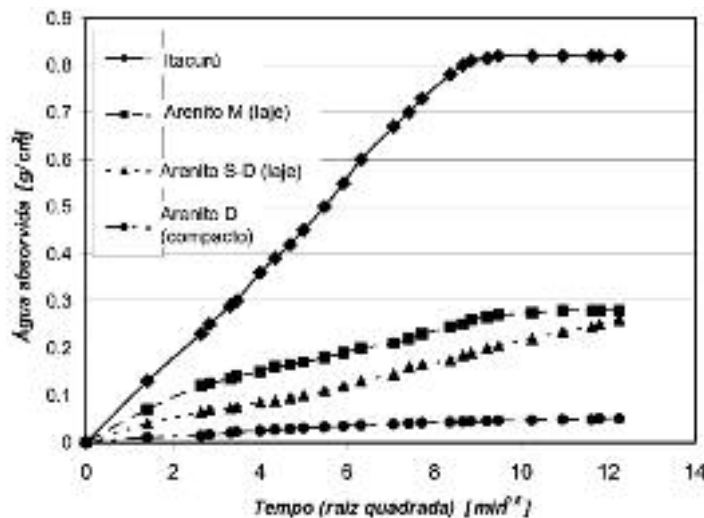


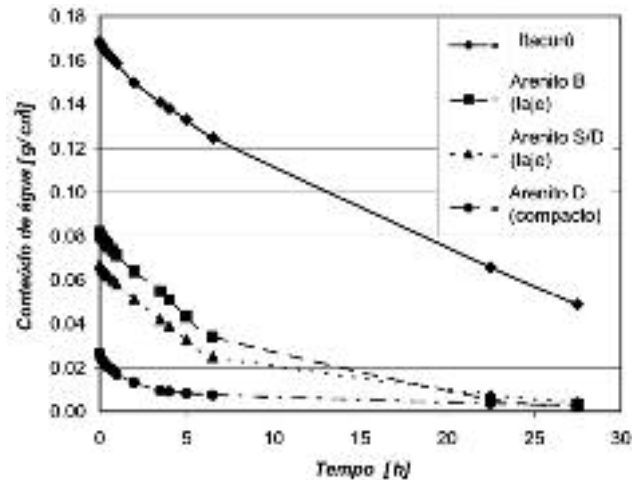
Tabela E1. *Coefficiente de absorção capilar e porosidade para as diferentes pedras.*

Pedra	Coefficiente de absorção capilar (g/cm ² .min ^{1/2})	Porosidade (%)
Arenito duro (compacto)	0,006	1
Arenito semi-duro (laje)	0,02	3,3
Arenito mole (laje)	0,04	3,5
Itacurú	0,09	9



Curvas de secagem

Figura E2. Curvas de secagem das amostras de pedra de San Ignacio Mini.



O conteúdo crítico de água se pode estimar das curvas e se apresentam na Tabela E2.

Tabela E2. Conteúdo crítico de água estimado do gráfico.

Pedra	Conteúdo crítico de água (g/cm ³)
Arenito duro (compacto)	0,015
Arenito semi-duro (laje)	0,03
Arenito mole (laje)	0,04
Itacurú	0,15

Exemplo 2

Dados obtidos a partir das curvas de absorção capilar de água, de imersão total e das curvas de secagem das argamassas testadas.

As argamassas que foram avaliadas deram como resultado os valores indicados na seguinte Tabela E3, e servem para ilustrar a importância que tem sua correta formulação.

Tabela E3. Valores obtidos para as diversas argamassas avaliadas.

Argamassa 1:3	Coef. abs. capilar (g/cm ² .min ^{1/2})	Porosidade (%)	Cont. crit. água (g/cm ³)
Cal extinta: areia	0,162	13,7	0,22
Cal extinta: pedra moída	0,132	14,6	0,25
Cal extinta: terra vermelha	0,131	27,1	0,35
Cal comum: areia	0,173	11,2	0,23
Cal comum: pedra moída	0,203	14,1	0,25
Cal comum: terra vermelha	0,134	23,8	0,33
Cimento: areia	0,047	6,1	0,10
Cimento: pedra moída	0,087	13,4	0,18
Cimento: terra vermelha	0,238	23,2	0,36

