

INFLUÊNCIA DA SUCÇÃO DE ÁGUA PELO SUBSTRATO NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E NO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

BASTOS, Pedro Kopschitz X. (1); CINCOTTO, Maria Alba (2)

(1) Universidade Federal de Juiz de Fora. E-mail: pedrokokop@terra.com.br.

(2) Escola Politécnica da USP. E-mail: maria.cincotto@poli.usp.br

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se um estudo da influência do substrato, exercida pela sucção de água, sobre propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento. Procurou-se inovar, na metodologia empregada em laboratório, quanto ao formato dos corpos-de-prova e quanto à aplicação da argamassa. Os ensaios foram realizados em corpos-de-prova de argamassa de cimento, cal e areia, de proporções em volume 1:1:6 (1:0,44:7,50:1,50 em massa) em formato de pequenas placas de (200 x 75) mm e espessura de 15 mm, moldadas diretamente sobre base absorvente (bloco cerâmico) com diferentes teores de umidade, e também sobre base não absorvente. A resistência à tração foi obtida em ensaio de flexão e o módulo de deformação foi calculado a partir do deslocamento (flecha) do corpo-de-prova, medido durante o carregamento no mesmo ensaio. Os resultados ressaltaram o aumento da resistência à tração na flexão e do módulo de deformação com a sucção de água pela base. Mostraram, ainda, a importância da simulação, em laboratório, de condições de aplicação do revestimento próximas das encontradas em obra.

Palavras-chave: revestimento, argamassa, resistência à tração, módulo de deformação.

1. INTRODUÇÃO

Considerando-se que o estudo, feito em laboratório, do desempenho do revestimento de fachadas de edificações deve passar por uma tentativa de aproximação da realidade encontrada em obra, em termos de aplicação e de exposição da argamassa, percebe-se que a metodologia que vem sendo empregada em pesquisas ligadas ao tema é inadequada, distante das condições dos canteiros. Algo semelhante pode ser dito quanto a normas técnicas nacionais e internacionais de medição de valores de propriedades mecânicas. De um lado, os formatos de corpos-de-prova, sejam cilíndricos ou cúbicos, não condizem com as características geométricas do revestimento. De outro, os ensaios não permitem considerar a influência do substrato sobre o desenvolvimento de propriedades mecânicas, a começar pelo sistema de moldagem dos corpos-de-prova, geralmente aplicando-se a argamassa sobre base não absorvente. Sabe-se que o substrato retira água da argamassa por sucção e que, desta maneira, altera-se, por exemplo, a cinética de reação química dos aglomerantes e, conseqüentemente, as propriedades mecânicas e o desempenho do revestimento.

Ao se promover o estudo da influência da sucção de água pelo substrato sobre propriedades do revestimento, notou-se a necessidade de elaborar-se, paralelamente, uma metodologia que procurasse aproximar as condições de aplicação da argamassa em laboratório de condições reais em obra. Foram realizados ensaios com corpos-de-prova em formato de placas, obtidos com a aplicação da argamassa diretamente sobre um componente de alvenaria. A seguir apresenta-se detalhadamente toda a metodologia, desenvolvida por BASTOS (2001).

2. METODOLOGIA

Foi desenvolvido um sistema de formas para aplicação da argamassa em formato de pequenas placas sobre base não absorvente, ou seja, sobre o fundo do próprio molde, e diretamente sobre bloco cerâmico. As formas, de PVC (desenho **Figura 1** e fotografia **Figura 2**), possibilitaram a moldagem de 4 corpos-de-prova por bloco, cada corpo-de-prova com as dimensões (200 x 75) mm e espessura 15 mm.

Um papel-filtro foi colocado sobre o bloco, permitindo a sucção de água e a liberação dos corpos-de-prova da base para os ensaios mecânicos, 24 horas após a moldagem.

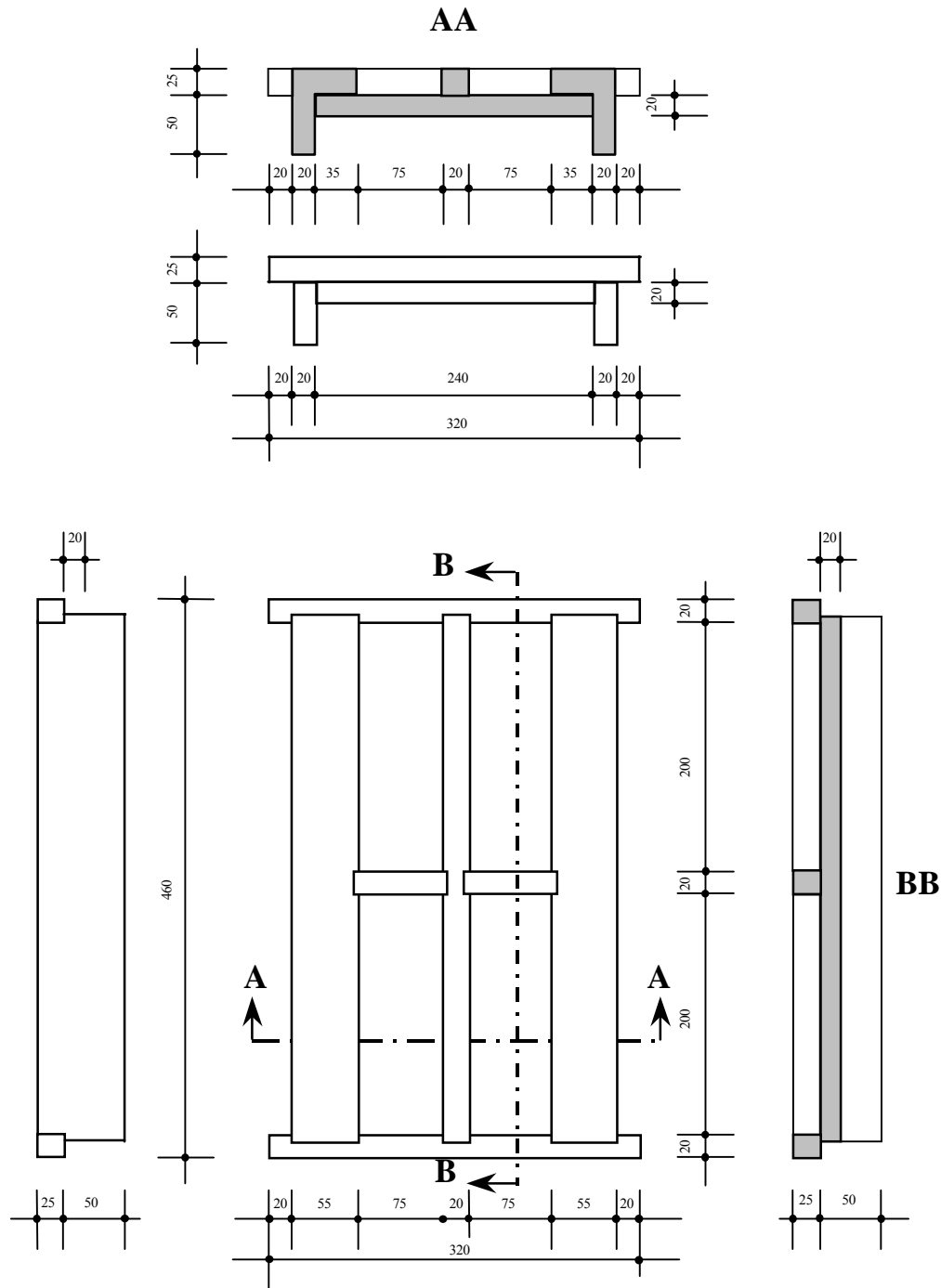


Figura 1 – Projeto de forma de PVC para moldagem de corpos-de-prova de argamassa em forma de placa, sobre base não absorvente e sobre bloco de alvenaria.



Figura 2 – Fotografia de forma de PVC para moldagem de corpos-de-prova de argamassa em forma de placa. O fundo do molde é removível, permitindo o encaixe de componente de alvenaria para moldagens sobre substrato poroso.

Para que a argamassa dos quatro corpos-de-prova do molde entrasse em contato com a base ao mesmo tempo, foi colocada uma folha plástica entre o papel-filtro e o bloco cerâmico. Esta folha ultrapassava a dimensão do bloco, na direção longitudinal, para que pudesse ser retirada com as mãos. Para maior facilidade na retirada, a folha plástica foi cortada ao meio e as partes foram puxadas para cada um dos lados após o preenchimento do molde e adensamento dos quatro corpos-de-prova de cada bloco cerâmico (**Figura 3**).

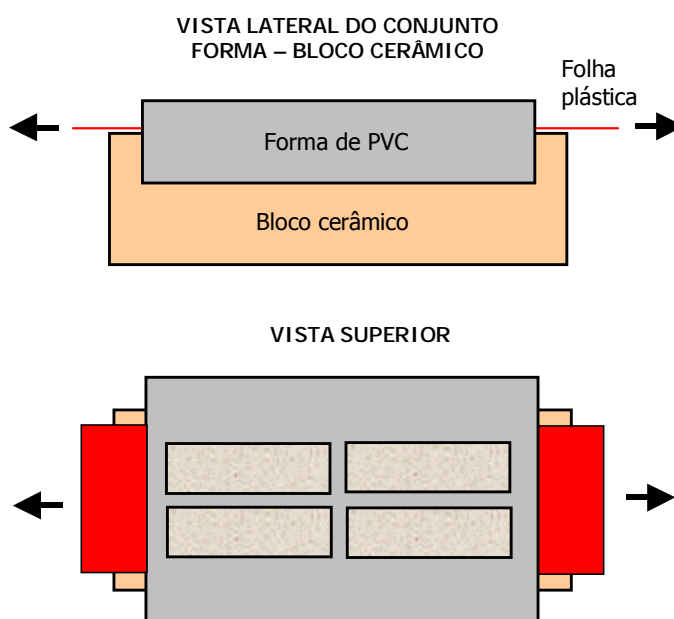


Figura 3 - Moldagem de argamassa sobre base porosa – desenho esquemático da forma de PVC com o bloco cerâmico acoplado, mostrando a retirada da folha plástica que permite o contato da argamassa fresca dos 4 corpos-de-prova do molde simultaneamente com a base.

As formas foram preenchidas com argamassa em camada única, para fabricação de corpos-de-prova de 15 mm de espessura. Após a colocação de uma quantidade de argamassa que ultrapassava um pouco o nível desejado na forma, foram aplicados, manualmente, 30 golpes sobre esta camada com um soquete metálico cilíndrico de acabamento liso¹, espalhados uniformemente na argamassa fresca. O excesso de argamassa foi retirado com o movimento de vai-e-vem de um gabarito, pequena peça confeccionada em PVC, apoiada nas bordas do molde. Em seguida, o molde com argamassa foi posicionado sobre uma mesa vibratória, para adensamento da argamassa até o nivelamento e a retirada de bolhas de ar de seu interior (tempo de vibração igual a 1 minuto, frequência de vibração 70 ciclos/s). O acabamento da

¹ Mesmo soquete usado em moldagem de corpos-de-prova para determinação da resistência à compressão de cimento Portland - NBR 7215/96.

superfície foi feito com uma espátula, passada sobre a superfície da argamassa para torná-la lisa, sem aplicação de pressão, em movimento longitudinal de ida e volta.

A **Figura 4** mostra o conjunto bloco/forma/argamassa e a operação de desmoldagem.

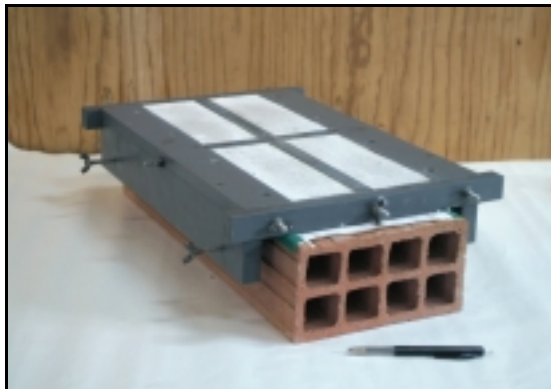


Figura 4 - Fotografia do conjunto bloco/molde/argamassa, sistema desenvolvido para moldagem de corpos-de-prova em forma de placas de (200 x 75) mm e 15 mm de espessura, diretamente sobre substrato poroso, destinados à realização de ensaio mecânico de tração na flexão.

2.1 Ensaio mecânico de flexão

Os ensaios de flexão foram realizados aplicando-se carga a uma velocidade de 0,02 kN/minuto, no meio do corpo-de-prova bi-apoiado, com distância entre os apoios igual a 160 mm.

A prensa Instron utilizada no ensaio de flexão permitiu medir, durante o carregamento, o deslocamento (flecha) no meio do vão entre os apoios do corpo-de-prova, usado para o cálculo do módulo de deformação da argamassa, a partir da relação entre *tensão de tração na flexão (MPa)* e *deformação (mm/mm)* (**Figura 5**).

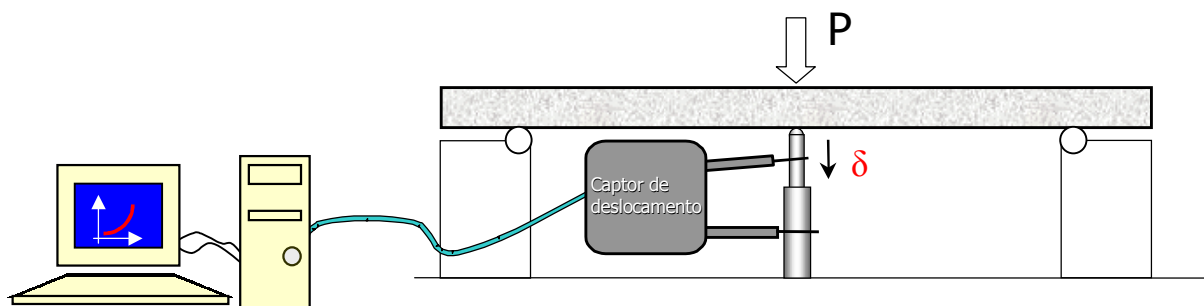


Figura 5 – Desenho esquemático do ensaio de flexão de corpo-de-prova de argamassa bi-apoiado, de dimensão (200 x 75) mm e 15 mm de espessura, com medida do deslocamento no meio do vão.

A tensão no regime elástico-linear é dada (GERE; WEAVER, 1981; TIMOSHENKO; GERE, 1983) por $\sigma = 1,5 PL/bh^2$ e o módulo de deformação, em função da flecha, considerando-se o mesmo regime, por $E = PL^3/4\delta bh^3$ onde:

- E - módulo de deformação (MPa)
- P - carga aplicada no meio do corpo-de-prova (N)
- L - distância entre os apoios (160 mm)
- b - maior lado da seção transversal do corpo-de-prova (mm)
- h - espessura do corpo-de-prova (mm)
- δ - deslocamento (flecha) no meio do corpo-de-prova, medido no ensaio de flexão (mm).

Como, na realidade, não houve proporcionalidade na relação tensão/deformação do ensaio de flexão das argamassas ao longo de todo o carregamento, tornou-se necessário fixar alguns parâmetros e adotar simplificações no cálculo do módulo. Foi adotado o Módulo Corda para representar a deformabilidade das argamassas, que é dado pela declividade da reta traçada entre dois pontos da

curva *tensão x deformação* (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Adotando-se os pontos correspondentes a 5% e 30% da tensão de ruptura (**Figura 6**), o Módulo Corda foi calculado pela expressão

$$E_c = (\sigma_{30} - \sigma_5) / (\epsilon_{30} - \epsilon_5),$$

onde:

E_c - módulo corda (MPa);

σ_i - tensão de tração na flexão igual a "i" % da tensão de ruptura (MPa);

ϵ_i - deformação longitudinal específica de tração (mm/mm) no corpo-de-prova na posição mais distante da linha-neutra, no meio do vão entre os apoios, ocorrida para a tensão de tração na flexão igual a "i" % da tensão de ruptura.

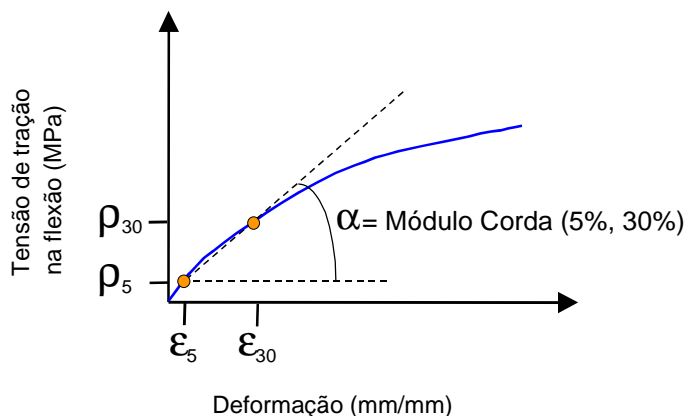


Figura 6 - Curva *tensão x deformação longitudinal de tração* no corpo-de-prova na posição mais distante da linha-neutra, com traçado da reta que passa nos pontos correspondentes a 5% e 30% da tensão de ruptura. A declividade α corresponde ao Módulo Corda.

A deformação ϵ_i foi calculada nos pontos correspondentes a 5% e 30% da carga de ruptura pela relação $\epsilon = \sigma/E$, sendo $\sigma = 1,5 PL/bh^2$ e $E = PL^3/4\delta bh^3$ (expressões já mencionadas). Para cada corpo-de-prova (6 a 8 em cada idade, para cada caso de aplicação da argamassa) foi montada uma sequência de cálculos como a da **Tabela 1**.

Tabela 1 – Exemplo de cálculo do Módulo Corda de um corpo-de-prova de argamassa.

% da carga de ruptura	Carga (kN)	Tensão (MPa) $\sigma = 1,5 PL/bh^2$	Deslocamento (flecha) no meio do vão (mm) δ	Deformação (mm/mm) $\epsilon_i = \sigma_i/E_i$	Módulo Corda 5%-30% (MPa) $E_c = (\sigma_{30} - \sigma_5) / (\epsilon_{30} - \epsilon_5)$
5	0,001981	0,02817	0,00096	0,000003	4045,70
30	0,011886	0,16905	0,01087	0,000038	

Foram medidas as propriedades mecânicas resistência à tração na flexão e módulo de deformação da argamassa 1:1:6 aplicada nas condições dos casos I e II descritos anteriormente, espessura 15 mm, aos 3, 7, 14 e 28 dias de idade. Os resultados de cada caso representam a média de oito corpos-de-prova por idade.

3. MATERIAIS UTILIZADOS, ARGAMASSA E CONDIÇÕES DE ENSAIO

Cimento: Portland CP II E 32 (NBR 5732/91 – ABNT – *Cimento Portland comum*) – caracterização ANEXOS, **Tabela 2**).

Cal: CH I (NBR 7175/92 – ABNT – *Cal hidratada para argamassas*) – caracterização ANEXOS, **Tabela 2**).

Areia: areia normal do IPT (composição granulométrica em ANEXOS, **Figura 10**).

Componente de alvenaria - substrato poroso sobre o qual foi aplicada a argamassa: bloco cerâmico vazado (ver em ANEXOS, **Figura 11**, características de absorção de água por imersão).

Argamassa: trabalhou-se com a composição 1:1:6, proporções em volume de cimento, cal e areia. As proporções em massa 1:0,44:7,50:1,50 foram calculadas a partir da massa unitária dos materiais constituintes (ANEXOS, **Tabela 3**).

Consistência da argamassa: a quantidade de água da argamassa 1:1:6 foi adotada de forma a obter-se a consistência adequada para aplicação em obra. A medida de consistência, 260 mm, foi obtida na mesa ABNT, pelo procedimento de ensaio da NBR 7215/96 – *Cimento Portland – determinação da resistência à compressão*.

Condições de exposição: todas as argamassas ficaram expostas, da moldagem até a data de ensaio, à condição de 24 °C de temperatura e umidade relativa de 50%, em câmara seca.

Casos de aplicação das argamassas: observou-se o desenvolvimento das propriedades mecânicas da argamassa 1:1:6 considerando as seguintes condições de aplicação de argamassa (**Figura 7**):

- I. sobre base não absorvente (fundo do molde);
- II. sobre base porosa (bloco cerâmico).

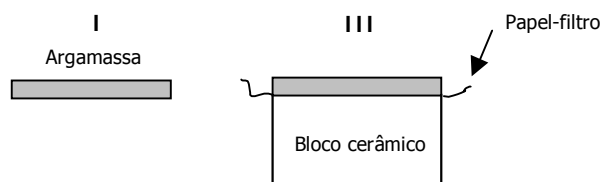


Figura 7 – Casos de aplicação de argamassa estudados – sobre base não absorvente e sobre bloco cerâmico.

Condições de umidade do bloco cerâmico adotadas para aplicação da argamassa:

- bloco com 0% de umidade: secagem em estufa a 100 °C durante 24 horas, período após o qual foi obtida constância de massa na secagem;
- bloco com 50% de umidade: imersão em água por 5 minutos, tempo extraído da curva de ganho de massa do material por absorção, obtida em laboratório com uma amostra de 6 blocos.

4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na **Figura 8** apresentam-se os resultados de resistência à tração da argamassa aplicada com 15 mm de espessura (cada ponto das curvas representa a média dos resultados de oito corpos-de-prova). Devido à sucção de água pela base houve aumento de resistência à tração em todas as idades; quanto mais intensa a sucção, maior foi a resistência mecânica. De um modo geral, nas diversas idades de ensaio a influência da sucção significou dobrar a resistência mecânica da argamassa. Este efeito é devido ao adensamento mecânico da argamassa promovido pela sucção da água, ocasionando maior área de contato e ligação íntima entre as partes sólidas da mistura.

O resultado dos cálculos mostrou aumento do módulo de deformação com a sucção de água em todas as idades, a exemplo do que ocorreu com a tensão de tração na flexão (**Figura 9**).

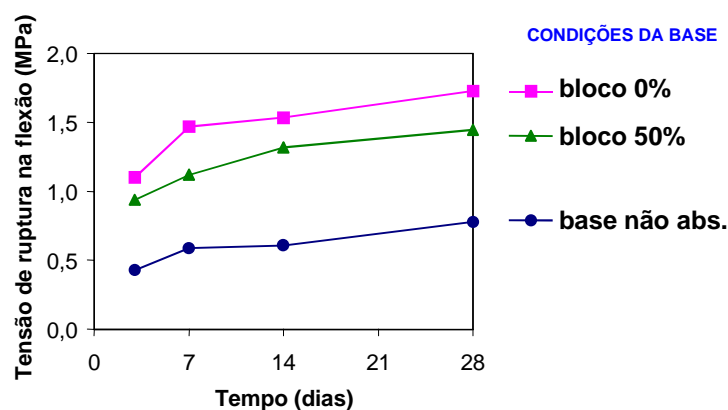


Figura 8 – Resultados do ensaio de tração na flexão de argamassa aplicada sobre bloco cerâmico em três condições de umidade, aos 3, 7, 14 e 28 dias de idade.

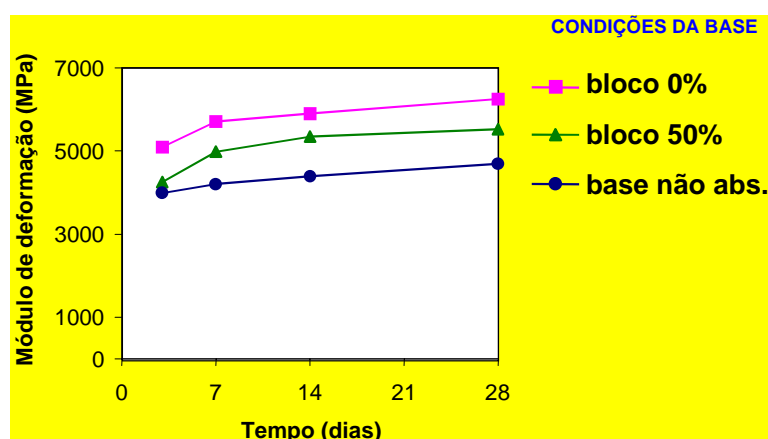


Figura 9 – Resultados do cálculo do módulo de deformação da argamassa 1:1:6, espessura 15 mm, aos 3, 7, 14 e 28 dias de idade, aplicada sobre base absorvente com três teores de umidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A influência da sucção de água da argamassa de cimento cal e areia 1:1:6 pela base, sobre as propriedades mecânicas resistência à tração e módulo de deformação, foi nitidamente demonstrada: com a retirada de água pelo bloco cerâmico houve aumento dos valores destas propriedades aos 3, 7, 14 e 28 dias. E ainda, com o aumento da intensidade da sucção, isto é, para o substrato mais seco, houve também aumento dos valores atingidos em todas as idades pela resistência à tração e pelo módulo de deformação.

Com a metodologia desenvolvida foi possível demonstrar a necessidade de se considerar a influência de fatores extrínsecos sobre o desempenho do revestimento, como a base sobre a qual é aplicada a argamassa. Procurou-se um sistema em que fosse possível moldar corpos-de-prova em formato de pequenas placas e recuperá-las para os ensaios mecânicos em diferentes idades. Sugeriu-se, paralelamente, um procedimento de cálculo para o módulo de deformação (Módulo Corda), que leva em conta a relação *Tensão de tração na flexão x Deformação específica na face tracionada do corpo-de-prova*.

Para a passagem da água da argamassa para a base e posterior recuperação dos corpos-de-prova endurecidos, foi necessário o uso do papel filtro nas moldagens, colocado entre o revestimento e a base. Sabe-se, porém, que este recurso distancia um pouco o ensaio da condição real normalmente encontrada em obra quanto à aderência do revestimento à base. Esta observação motiva o aperfeiçoamento da metodologia no aspecto da moldagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, P. K. X. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento. São Paulo, 2001, p.172. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

GERE, J. M.; WEAVER, W. **Análise de estruturas reticuladas**. Trad. de Carlos M. P. Ferreira Pinto. Rio de Janeiro, Guanabara Dois Ed. S. A., 1981.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Pini, 1994.

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. E. **Mecânica dos sólidos**. Trad. de José R. de Carvalho. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Ed. S.A., 1983. v. 1.

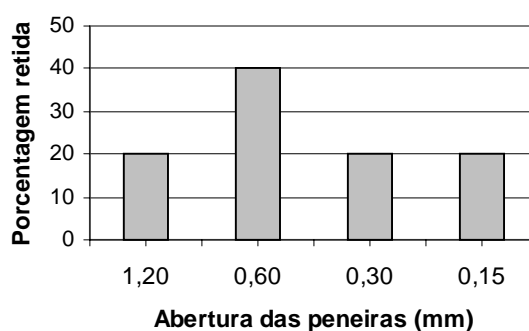
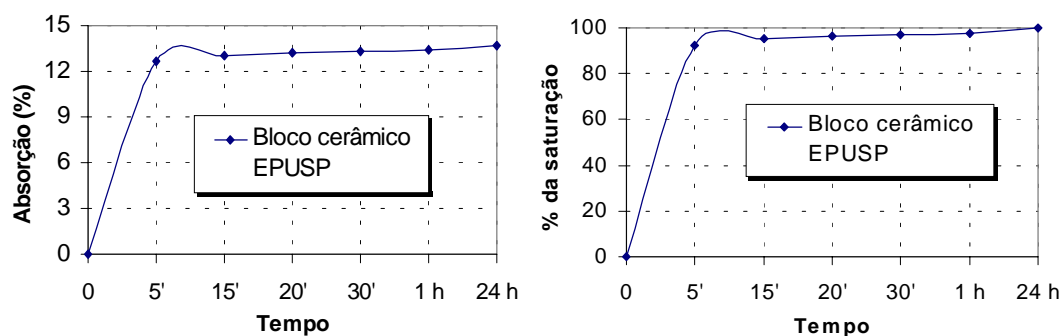
ANEXOS

**Tabela 2 - Caracterização física cimento CP II E 32 e cal hidratada CH I
(ensaios realizados no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo)**

Cimento CP II E 32						
Finura na peneira 200						2,6 %
Água para pasta de consistência normal (NBR-11.580/91)						26,7 %
Início de pega (NBR-11.581/91)						235 min (3,92 h)
Fim de pega (NBR-11.581/91)						295 min (4,92 h)
Expansibilidade "Le Chatelier" (NBR-11.582/91)						
a frio						0,5 mm
a quente 5 h						1 mm
Massa específica (NBR-NM-23/98)						3,08 g/cm ³
Finura - Método de Blaine (NBR-NM-76/98)						3370 cm ² /g
Consistência da argamassa						172 mm
Resistência à compressão (NBR-7215/96) Obs. : Relação água/cimento 0,48.						
Idade	Tensão (MPa)					DRM
(dias)	C.P. 01	C.P. 02	C.P. 03	C.P. 04	Média	(%)
3	26,5	25,9	25,9	26	26,1	1,5
7	32,4	32,5	32,4	32,1	32,4	0,9
28	41,2	41,1	41	40,9	41,1	0,5
CAL HIDRATADA CH I						
Finura NBR-9289/98						
Peneira	Abertura (mm)	Material Retido (%)				
		individual	acumulado			
30	0,6	0	0			
200	0,075	1,9	1,9			
Estabilidade - NBR-9205/85						
Fator água/cal = 0,97						
Consistência = 23 mm						
Apresentou cavidades ou protuberâncias						
Plasticidade - NBR-9206/86						
Fator água/cal = 0,97						
Consistência = 23 mm						
Leitura final = 100						
Tempo final = 228 s						
Plasticidade = 107						

Cont. Tabela 2

Retenção de água - NBR-9290/96
Fator água/cal = 1,05
Consistência antes da sucção = 207 mm
Consistência após a sucção = 199 mm
Retenção de água = 90%
Capacidade de incorporação de areia - NBR-9207/85
Traço final = 1,00 : 4,50
Fator água/cal = 1,08
Consistência = 211 mm
Altura da argamassa não extrudada = 20 mm

**Figura 10 - Granulometria da areia IPT.****Figura 11 – Absorção de água por imersão do bloco cerâmico.**

Massa unitária dos materiais: ensaio realizado em recipiente cilíndrico metálico de capacidade 1 dm³. O enchimento foi feito com concha de laboratório de modo a deixar o material cair, em três camadas, de uma altura de 5 cm do bordo do recipiente. Os resultados da tabela a seguir representam a média de 3 determinações, realizadas medindo-se a massa do material solto após o arrasamento da superfície com régua (**Tabela 3**).

Tabela 3 – Massa unitária dos materiais.

Material	Massa unitária (kg/dm ³)
Cimento CP II E 32	1,13
Cal CH I	0,48
Areia IPT	1,40

AGRADECIMENTOS

ABCP, CAPES, FAPESP, IPT, ICAL Indústria de Calcinação e SELECTA Blocos Cerâmicos.

