

Ensaio de cravação pneumática de pino para avaliação da resistência à compressão de juntas de assentamento de alvenaria estrutural

Pneumatic pin penetration test to evaluate the compressive strength of mortar bedding on structural masonry

Alexandre Lima Oliveira
Pedro Lehmkuhl Damiani
Igor Fernando Reitz Ribeiro
Rafael Andrade Souza
Luciana Maltez Lengler Calçada

Alexandre Lima Oliveira
Departamento Acadêmico de
Construção Civil
Instituto Federal de Santa Catarina
Av. Mauro Ramos, 950, Centro
Florianópolis - SC - Brasil
CEP: 88020-300
Tel.: (48) 3221-0560
E-mail: alexandre@ifsc.edu.br

Pedro Lehmkuhl Damiani
Curso Superior de Construção de
Edifícios
Instituto Federal de Santa Catarina
E-mail: pedrodamiani10@gmail.com

Igor Fernando Reitz Ribeiro
Curso Superior de Construção de
Edifícios
Instituto Federal de Santa Catarina
E-mail: guigoreitz@hotmail.com

Rafael Andrade Souza
Laboratório de Materiais de
Construção Civil
Instituto Federal de Santa Catarina
E-mail: ras@ifsc.edu.br

Luciana Maltez Lengler Calçada
Departamento Acadêmico de
Construção Civil
Instituto Federal de Santa Catarina
E-mail: lucianamaltez@ifsc.edu.br

Recebido em 05/06/11
Aceito em 07/04/12

Resumo

Ensaios não destrutivos têm sido propostos e usados para avaliação das condições de alvenarias estruturais, para controle de qualidade e propriedades dos materiais *in loco*. Entretanto, a maioria dos métodos funciona apenas para argamassas com baixa resistência à compressão (< 4,0 MPa) ou servem apenas para avaliação qualitativa, além de não serem práticos para uso em campo, demandando muito tempo para a realização das avaliações. Em função disso, um pinador pneumático foi utilizado para avaliar a profundidade de penetração de pinos de aço e correlacioná-la com a resistência à compressão de argamassas em laboratório. O trabalho mostrou que há uma boa correlação entre a profundidade de cravação de pinos e a resistência à compressão das argamassas, além de ser um ensaio prático, rápido e fácil de ser realizado *in loco*.

Palavras-chave: Ensaio não destrutivo. Junta de assentamento. Argamassa. Alvenaria estrutural.

Abstract

Nondestructive tests have been proposed and used for the evaluation of structural masonry conditions, quality control, and properties of materials in-situ. However, most of nondestructive methods work only with mortars with low compressive strength (< 4,0 MPa) or for qualitative assessment, and are not practical for in-situ use, requiring too much time to perform evaluations. For those reasons, a pneumatic pin penetration test was used to evaluate the penetration depth of a steel probe and correlate it with the compressive strength of mortar in a laboratory. The study has shown a good correlation between the penetration depth of pins and the compressive strength of mortars, besides proving to be a practical test, which is fast and easy to implement in situ.

Keywords: Nondestructive test. Bed mortar joint. Mortar. Structural masonry.

Introdução

Os ensaios não destrutivos têm sido muito empregados para a avaliação das condições de construções com importância histórica, visando trabalhos de manutenção e restauração (FELICETTI; GATTESCO, 1998), bem como a determinação das propriedades mecânicas dos materiais *in loco* (MICHAEL; SCHULLER, 2003).

Quando há a necessidade de avaliar-se a qualidade dos materiais empregados em edificações concebidas em alvenaria estrutural, na maioria dos casos, os blocos constituintes da alvenaria podem ser facilmente removidos da parede, obtendo-se amostras íntegras para ensaios laboratoriais. Já a obtenção de uma amostra da junta de assentamento de argamassa indeformável que não tenha sofrido nenhuma alteração de suas propriedades tem-se mostrado um procedimento praticamente impossível (FELICETTI; GATTESCO, 1998). Nesses casos, há a necessidade de empregarem-se algumas das técnicas de ensaios não destrutivos *in loco*, na própria junta de assentamento. Ensaios como a avaliação da dureza superficial com o emprego de esclerômetros pendulares (TRANSUE; SCHULLER; RENS, 1999; VAN DER KLUGT, 1991; RILEM MS-D.7, 1997), avaliação da resistência ao arrancamento – pull out (RILEM MS-D.9, 1997), avaliação da resistência superficial através da energia necessária para a perfuração com broca (RILEM MDT-D.1, 2004; MONTE; VIGNOLI, 2008) e ensaios de cravação de pinos (FELICETTI; GATTESCO, 1998; LIBERATORE; SPERA; COTUGNO, 2001; MAGALHÃES; COSTA; VEIGA, 2003) são opções que podem ser empregadas. Porém, muitos desses ensaios funcionam apenas para argamassas de baixa resistência à compressão (< 4,0 MPa), ou servem apenas para uma avaliação qualitativa das condições das juntas de assentamento, além de ser ensaios que demandam muito tempo de execução e não apresentam praticidade para aplicação em campo.

No Brasil, pouco esforço tem sido despendido com o foco na determinação das propriedades das juntas de assentamento das argamassas *in loco*. Merece destaque o trabalho desenvolvido por Casali, Weidmann e Prudêncio Junior (2005), que propôs um método de avaliação indireta da resistência à compressão das juntas, através da profundidade de cravação de pinos, empregando-se o ensaio proposto por Prudêncio Junior (1993) para concreto projetado nas primeiras idades. Esse método apresentou bons resultados, em se tratando de avaliação da resistência à compressão da junta de assentamento, permitindo, inclusive, a variação

da energia de cravação aplicada, dependendo do nível de resistência da argamassa. Porém, possui o inconveniente de só poder ser empregado com o equipamento na posição vertical (o anteparo de cravação precisa estar na horizontal). Ensaios empregando dispositivos pendulares seriam uma grande alternativa para aplicação em paredes (anteparo de cravação na posição vertical), porém, no caso de necessidade de energias de cravação acima de 10 J/golpe (controle de qualidade e avaliação de argamassas com resistência à compressão acima de 8,0 MPa), o equipamento apresentaria um peso considerável e/ou grande tamanho (MELLO, 2009).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal verificar a viabilidade de avaliação da resistência à compressão das juntas de assentamento através da cravação pneumática de pinos. Esse trabalho teve como base os trabalhos desenvolvidos por Iwaki *et al.* (2001) e Bae *et al.* (2004), que empregaram a cravação pneumática de pinos para a avaliação da resistência à compressão de concreto projetado.

Programa experimental

Para a realização do presente trabalho, foram produzidas diversas argamassas com diferentes materiais e proporções, visando à obtenção de resistências à compressão que variassem entre 1,0 MPa e 20,0 MPa. Essa faixa de resistência à compressão foi escolhida porque argamassas problemáticas, empregadas em edificações em alvenaria estrutural, têm apresentado valores de resistência à compressão próximo de 1,0 MPa a 2,0 MPa, devido a problemas na formulação da argamassa, tempo de mistura excessivo, tipo de misturador empregado, proporcionamento dos materiais, excesso de água, redosagem, entre outros fatores. Por outro lado, tem sido prática comum a especificação de argamassas com resistência à compressão entre 12,0 MPa e 15,0 MPa para edifícios concebidos em alvenaria estrutural com grandes alturas.

Com essas argamassas, foram realizados testes empregando-se um pinador pneumático, para a cravação de pinos e posterior determinação da correlação entre a profundidade de cravação e a resistência à compressão das argamassas. No final do trabalho, um teste em prisma de alvenaria de blocos de concreto foi conduzido para a validação da metodologia de ensaio proposta. A seguir são apresentadas, em mais detalhes, as etapas do programa experimental adotado, com seus respectivos resultados, análises e conclusões.

Materiais empregados

Para a confecção das argamassas foram empregados cimento CII-F 32 e cal hidratada CH III, ambos comercialmente disponíveis no mercado. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas, respectivamente, as caracterizações do cimento e da cal empregada.

Com o intuito de avaliar-se a possível influência do tipo de agregado na profundidade de cravação dos pinos, foram empregados três agregados miúdos de diferentes origens:

- um agregado de britagem (AB) proveniente de rocha granítica;
- um agregado natural de rio (AN); e
- um agregado artificial (AA) proveniente da britagem de resíduos da indústria de cerâmica vermelha.

Os dois primeiros foram extraídos da região da Grande Florianópolis. Para a obtenção do último material, empregou-se um moinho de rolos (Figura 1), e o agregado obtido após a moagem foi passado por uma peneira de malha 2,85 mm para remoção da fração graúda.

Os agregados foram caracterizados segundo as prescrições das normas NBR NM 248 (ABNT, 2003a), NBR NM 46 (ABNT, 2003b), NBR NM 52 (ABNT, 2003c) e NBR NM 53 (ABNT, 2003d). Na Tabela 3 são apresentadas as características físicas dos referidos agregados.

As proporções entre os materiais empregados neste trabalho são apresentadas na Tabela 4. Vale ressaltar que essas proporções foram definidas visando à obtenção de argamassas com resistências à compressão entre 1,0 MPa e 20,0 MPa, tomando-se como base estudos anteriores, como os desenvolvidos por Zampiron *et al.* (2009).

Tabela 1 - Características físicas, químicas e mecânicas do cimento CII-F 32

Item de controle		Média	Desvio	Mínimo	Máximo
Ensaio físicos	Material retido #200 (mesh) (%)	4,67	0,61	3,70	5,80
	Material retido #325 (mesh) (%)	16,41	1,89	12,80	19,90
	Blaine (cm ² /g)	3.267	192,96	2.990	3.570
	Água de consistência (%)	24,9	0,3	24,4	25,5
	Início de pega (horas)	3h07	0h14	3h30	4h15
	Fim de Pega (horas)	3h53	0h14	3h30	4h15
	Expansibilidade a quente (mm)	0,76	0,26	0,50	1,00
	Resistência ao 1º dia (MPa)	11,1	1,0	9,8	12,8
	Resistência aos 3 dias (MPa)	24,8	0,9	23,1	26,5
	Resistência aos 7 dias (MPa)	31,7	0,9	30,4	33,4
Resistência aos 28 dias (MPa)	40,1	0,9	38,4	41,7	
	Massa específica (g/cm ³)	3,09	-	-	-
Ensaio químicos	Perda ao fogo (%)	5,31	0,20	5,08	5,81
	SiO ₂ (%)	18,63	0,07	18,45	18,73
	Al ₂ O ₃ (%)	4,12	0,01	4,10	4,15
	Fe ₂ O ₃ (%)	2,58	0,01	2,57	2,60
	CaO (%)	59,90	0,07	59,71	59,98
	MgO (%)	4,62	0,23	4,15	4,92
	Equivalente alcalino (%)	0,60	0,01	0,59	0,61
	SO ₃ (%)	3,05	0,06	2,93	3,18
	Resíduo insolúvel (%)	1,11	0,17	0,90	1,40

Tabela 2 - Caracterização da cal hidratada CH III

Ensaio	Teor (%)
CaO	38,20
MgO	24,20
Perda ao fogo (incluindo H ₂ O e CO ₂)	25,45
Resíduo insolúvel	7,80
Massa unitária (g/cm ³)	0,63
Massa específica (g/cm ³)	2,42



Figura 1 - Moinho de rolos para a obtenção do agregado artificial proveniente da britagem de resíduo da indústria de cerâmica vermelha (agregado miúdo artificial)

Tabela 3 - Caracterização do agregado miúdo de britagem, natural e artificial

Abertura da malha (mm)	Porcentagens retidas acumuladas		
	AB	AN	AA
4,8	1	0	0
2,40	18	3	9
1,20	41	27	27
0,60	58	52	41
0,30	69	76	51
0,15	78	93	60
Fundo	100	100	100
Módulo de finura	2,65	2,51	1,88
Material pulverulento (%)	16,5	4,0	31,9
Massa específica (kg/dm ³)	2,62	2,58	1,65 ^{II}
Massa específica (m _{sss}) (kg/dm ³) ^I	-	-	2,00 ^{II}
Absorção de água (%)	-	-	21,0 ^{II}

Nota: ^IMassa específica na condição saturada, com superfície seca; e ^{II}Determinação em fragmentos de tijolos com dimensões em torno de 5,0 cm.

Tabela 4 - Proporção em massa entre os materiais para a confecção das argamassas

Identificação		Cimento	Cal	Agregado miúdo	a/c
Areia de britagem (AB)	1	1,0	-	3,0	0,71
	2	1,0	0,5	4,5	1,07
	3	1,0	1,0	6,0	1,54
	4	1,0	1,5	7,5	1,97
	5	1,0	2,0	9,0	2,28
Areia natural (AN)	1	1,0	-	3,0	0,87
	2	1,0	0,5	4,5	1,71
	3	1,0	1,0	6,0	2,32
	4	1,0	1,5	7,5	2,45
	5	1,0	2,0	9,0	3,00
Areia artificial (AA) ^{III}	1	1,0	-	3,2	1,34
	2	1,0	-	4,0	1,65
	3	1,0	-	4,8	1,93

Nota: ^{III}Devido ao teor elevado de material pulverulento ($\approx 32\%$), não foi empregada cal na mistura.

A quantidade de água empregada em cada mistura foi a necessária para a obtenção de uma consistência de 230 ± 10 mm, valor recomendado pela NBR 8798 (ABNT, 1985), medida através da mesa de consistência (*flow-table*), segundo as prescrições da NBR 7215 (ABNT, 1996).

Além das argamassas com as proporções e materiais mencionados anteriormente, foram produzidas mais duas argamassas industrializadas, comercialmente encontradas na região da Grande Florianópolis. As referidas argamassas foram fornecidas em sacos de 20 kg, sendo adicionada somente a quantidade de água recomendada por cada fabricante.

As argamassas foram produzidas em um misturador mecânico (argamassadeira), obedecendo-se ao seguinte procedimento de mistura:

- (a) 1 min na velocidade 1 (velocidade lenta), misturando-se todos os materiais a seco;
- (b) 30 s na velocidade 1 (velocidade lenta), adicionando-se a água; e
- (c) 1 min na velocidade 1 (velocidade lenta), para a completa mistura dos materiais.

Vale ressaltar que, no caso das argamassas industrializadas, foi adicionada a água recomendada pelo fabricante e procedida a mistura em velocidade lenta, na argamassadeira, durante 30 s, com o objetivo de evitar-se a incorporação excessiva de ar.

Após o término do procedimento de mistura, foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm e dois corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm (diâmetro x altura). Para a avaliação da resistência à compressão aos 7 e 28 dias foram empregados os corpos de prova de 5x10 cm (três para cada idade); já para a avaliação da profundidade de cravação dos pinos foram utilizados os corpos de prova de 10x20 cm. Esse formato e essa dimensão de corpo de prova foram adotados por recomendação da norma NBR 8798 (ABNT, 1985).

Os corpos de prova foram removidos dos moldes após 48 h do início da mistura e curados ao ar até a data de ensaio. Antes do rompimento deles, foi realizado o capeamento do topo e da base dos corpos de prova de 5x10 cm com nata de enxofre.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias. Os resultados de resistência à compressão apresentados na referida tabela são referentes ao maior valor encontrado entre os três corpos de prova ensaiados. Esse procedimento foi adotado, pois, no caso das argamassas industrializadas, a variabilidade obtida entre os três corpos de prova ensaiados foi bastante elevada, o que poderia acarretar problemas na definição da curva de correlação (profundidade de cravação dos pinos e resistência à compressão), ou perda de precisão, caso fossem empregados os valores médios.

Tabela 5 - Resistência à compressão para as argamassas testadas

Identificação		Idade	
		7 dias	28 dias
Areia de britagem (AB)	1	15,3	21,7
	2	9,1	13,6
	3	4,8	7,1
	4	3,2	4,1
	5	2,0	2,9
Areia natural (AN)	1	11,2	16,3
	2	4,5	6,8
	3	1,6	3,7
	4	1,3	3,5
	5	0,8	2,2
Areia artificial (AA)	1	IV	15,4
	2		11,6
	3		9,9
Argamassa industrializada	1	5,8	8,4
	2	6,0	9,2

Nota: ^{IV}Foram moldados apenas três corpos de prova de 5x10 cm e um corpo de prova de 10x20 cm para cada um dos traços com areia artificial de cerâmica vermelha, que foram rompidos somente aos 28 dias, devido à pouca quantidade de material.

Equipamentos para cravação de pinos

Foi empregado um pinador pneumático, com capacidade de trabalhar com pinos do tipo T com até 50 mm de comprimento e pressão máxima de trabalho de 0,76 MPa (110 psi) (Figura 2a). Para regulagem e manutenção da pressão e lubrificação do equipamento, utilizou-se um filtro regulador de ar, com capacidade máxima de 1,10 MPa (160 psi), que dispunha de manômetro analógico e recipiente para armazenamento de óleo (Figura 2b). O ar comprimido foi gerado com um compressor portátil, com reservatório de 25 litros, motor de 1,5 Hp, com capacidade máxima de pressão igual a 0,80 MPa (116 psi), de 1 estágio e com 1 pistão (Figura 2c).

O princípio de funcionamento do pinador pneumático é apresentado no detalhe esquemático da Figura 3. Quando o equipamento é pressurizado

e encostado em um anteparo, o gatilho é liberado para acionamento (destravado). Ao ser pressionado, o ar comprimido é liberado para dentro do cilindro pela parte de trás do equipamento, sendo esse fluxo de ar de entrada responsável pelo acionamento do pistão, que, por sua vez, empurra o pino, fazendo com que este penetre no anteparo.

Foram empregados dois tipos de pinos nos estudos do presente trabalho; os pinos do tipo T-45, que possuem uma seção transversal retangular de 1,4x1,6 mm, com 45 mm de comprimento, desenvolvidos para o próprio equipamento (Figura 4a), e, no caso de argamassas com elevada resistência à compressão (> 10 MPa), pregos de aço sem cabeça 10x10, com 1,8 x 25 mm (diâmetro x comprimento), conforme detalhe apresentado na Figura 4b.



(a) Pinador pneumático do tipo T



(b) Filtro regulador com manômetro acoplado



(c) Compressor de ar portátil

Figura 2 - Detalhe dos equipamentos para a cravação de pinos

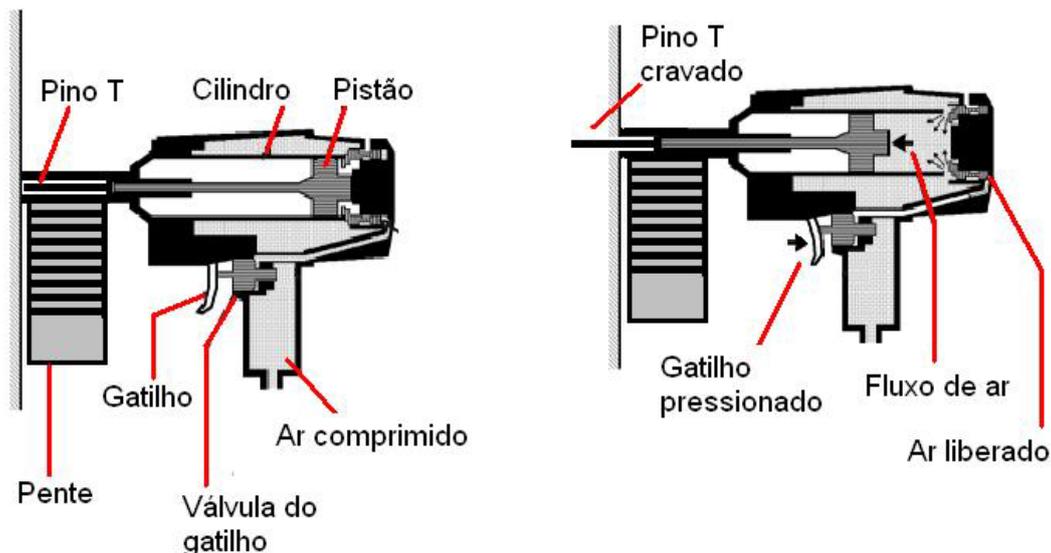


Figura 3 - Detalhe esquemático de funcionamento do pinador pneumático

Fonte: Iwaki *et al.* (2001).

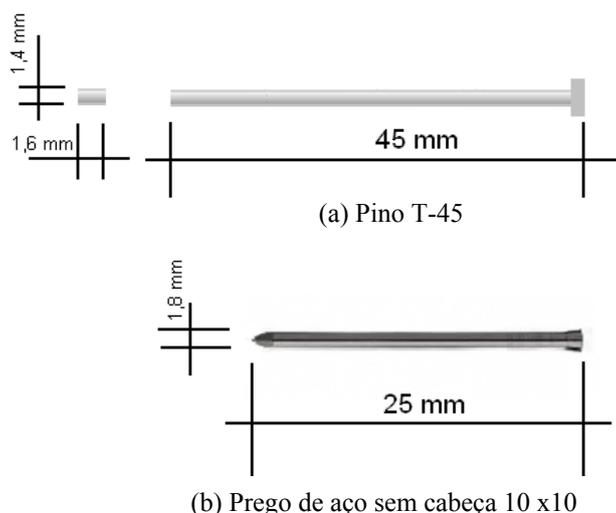


Figura 4 - Detalhe dos pinos empregados para o ensaio de cravação

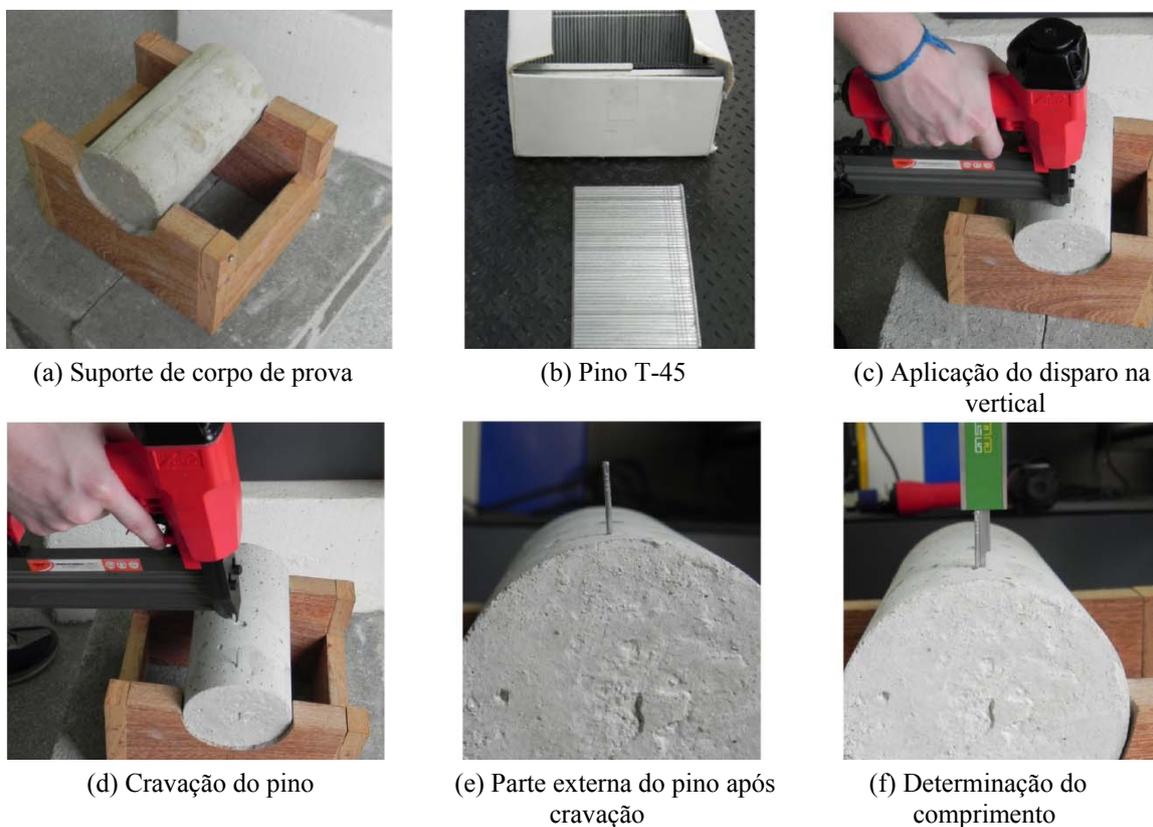


Figura 5 - Aplicação de pinos

Definição da pressão de trabalho e número mínimo de tiros

Para a definição da pressão de trabalho e do número mínimo de tiros necessários para haver uma boa confiabilidade nos resultados, foram feitos testes piloto empregando-se as argamassas AN-1 e AB-4 com 7 dias de idade. A escolha dessas duas argamassas deu-se por tratar-se de

duas argamassas com alta e baixa resistência à compressão respectivamente (ver resultados apresentados na Tabela 5).

Nesses testes preliminares foram aplicados 10 tiros em cada argamassa para cada uma das seguintes pressões: 0,34 MPa (50 psi), 0,38 MPa (55 psi), 0,41 MPa (60 psi) e 0,45 MPa (65 psi).

Para facilitar a aplicação dos tiros, confeccionou-se um suporte de madeira para servir de apoio para os corpos de prova de 10x20 cm (Figura 5a). Foram empregados pinos T-45 (Figura 5b), sendo os disparos efetuados na vertical (de cima para baixo) (Figura 5c) a uma distância de aproximadamente 2,0 cm entre cada disparo. Ao término das cravações (Figura 5d), determinava-se, com o auxílio de um paquímetro digital, o comprimento da parte do pino que ficava para fora do corpo de prova de argamassa (Figuras 5e e 5f), para posterior cálculo da profundidade efetiva de cravação.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados de profundidade média de cravação, desvio padrão e coeficiente de variação para as duas argamassas testadas com as diferentes pressões.

Analisando-se os resultados apresentados, pode-se perceber que o aumento da pressão (até 0,41 MPa) resultou em um aumento na profundidade de cravação dos pinos e reduziu a dispersão dos resultados, haja vista os menores valores de coeficiente de variação, tanto para a argamassa de maior resistência (AN-1) como para a argamassa mais fraca (AB-4). Vale ressaltar que, na pressão de trabalho de 0,45 MPa, não foi possível a avaliação da profundidade de cravação do pino T-45 para a argamassa AN-1 (praticamente todos os pinos entortavam). Já para a argamassa AB-4, houve uma penetração completa dos pinos (em alguns casos a profundidade de cravação foi bem superior ao comprimento do próprio pino), inviabilizando a medição e determinação da profundidade de cravação nessas condições. Em função desses resultados, adotou-se a pressão de trabalho de 0,41 MPa (60 psi), sendo empregados o pino T-45 para argamassas de até 10 MPa de resistência à compressão e o prego de aço 10x10 para argamassas mais resistentes.

Para a determinação do tamanho da amostra (número de tiros) necessário para obter-se um nível de confiabilidade de 95%, empregou-se a Equação 1, sendo adotado um erro relativo da estimativa de 7% e um coeficiente de variação de ensaio de 10%, em função de resultados obtidos em testes piloto.

$$\sigma = t_{\alpha/2}^2 \frac{CV^2}{ER^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$t_{\alpha/2}$ = coeficiente de Student para n-1 graus de liberdade é igual a 2,626;

a = significância de 5%;

CV = coeficiente de variação adotado de 10%; e

Er = erro relativo estimado de 7%.

$$\sigma = 2,262^2 \frac{0,1^2}{0,07^2} \approx 10 \text{ tiros} \quad \text{Eq. 2}$$

Em função disso, manteve-se o número de tiros nas demais etapas igual a 10.

Correlação entre profundidade de cravação e resistência à compressão

Para a determinação da correlação entre a profundidade de cravação de pinos e a resistência à compressão das argamassas, procedeu-se aos disparos e medições, seguindo os procedimentos descritos anteriormente, em todos os corpos de prova de 10x20 cm das argamassas produzidas no presente trabalho, tanto aos 7 como aos 28 dias de idade. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 7.

Tabela 6 - Profundidade de cravação média, desvio padrão e coeficiente de variação em função da variação da pressão

Argamassa	Pressão (MPa / psi)	Profundidade média cravação (mm)	Desvio padrão (mm)	Coeficiente de variação (%)
AN-1	0,34 / 50	8,1	1,61	19,9
	0,38 / 55	9,0	1,11	12,4
	0,41 / 60	11,7	0,51	4,3
	0,45 / 65	- ^v	-	-
AB-4	0,34 / 50	12,0	1,05	8,8
	0,38 / 55	16,8	0,96	5,7
	0,41 / 60	32,5	0,99	3,0
	0,45 / 65	> 45 ^{vi}	-	-

Nota: ^vDificuldade de cravação dos pinos (praticamente todos os pinos entortavam) devido à resistência à compressão da argamassa e à elevada pressão; e ^{vi}Todos os pinos cravaram inteiros devido à baixa resistência da argamassa e à elevada pressão.

No gráfico da Figura 6 é apresentada a curva de correlação entre a profundidade de cravação de pinos e a resistência à compressão das argamassas produzidas e testadas no presente trabalho, bem como as curvas de previsão para valores individuais e médios com um grau de

confiabilidade de 95%. Vale ressaltar que o tipo de agregado empregado (areia de britagem, areia natural e areia artificial) não exerce influência na correlação entre as referidas variáveis, haja vista a baixa variabilidade e a boa aderência dos pontos à curva apresentada.

Tabela 7 - Profundidade de cravação média, desvio padrão e coeficiente de variação obtidos aos 7 e 28 dias para as argamassas confeccionadas

Identificação		Idade					
		7 dias			28 dias		
		Prof. média (MM)	Sd (mm)	CV (%)	Prof. média (mm)	Sd (mm)	CV (%)
Areia de britagem (AB)	1	7,2	0,37	5,17	5,9	0,28	4,70
	2	12,3	0,98	7,93	6,8	1,04	15,36
	3	22,6	1,44	6,38	13,0	1,20	9,23
	4	32,5	0,99	3,04	21,1	1,30	6,16
	5	44,7	0,15	0,34	29,0	1,40	4,88
Areia natural	1	11,7	0,51	4,32	7,0	0,70	10,41
	2	24,9	1,70	6,83	12,8	0,90	7,34
	3	43,8	0,70	1,60	27,7	1,90	6,97
	4	44,0	0,34	0,78	27,2	2,00	7,43
	5	> 45,0	—	—	38,6	1,90	4,90
Areia artificial (AA)	1				8,5	0,60	7,06
	2		—		11,2	0,44	3,91
	3				10,2	0,83	8,13
Argamassa industrializada	1	16,0	1,1	6,88	11,9	1,10	9,20
	2	17,0	1,3	7,65	13,4	1,73	12,86

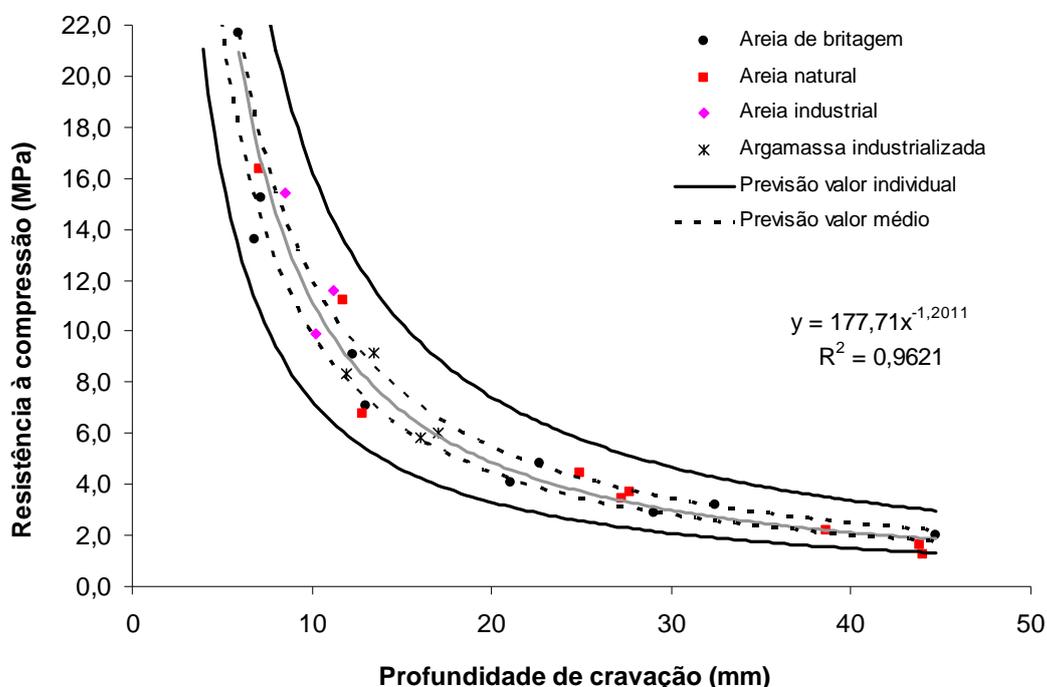


Figura 6 - Curva de correlação entre profundidade de cravação de pinos e resistência à compressão

Influência do operador no ensaio de cravação de pinos

Para a avaliação da influência do operador no resultado do ensaio de cravação de pinos com o pinador pneumático foram empregadas as argamassas AB1, AB2, AB3, AB4, AN1, AN2 e AN3 com 7 dias de idade. Dois operadores realizaram 10 disparos em cada um dos corpos de prova de 10x20 cm, empregando-se os procedimentos mencionados anteriormente. Na Figura 7 são apresentadas as duas curvas obtidas.

Fazendo-se uma comparação de funções lineares, empregando-se análise de variância com um grau de confiabilidade de 95% (Tabela 8) entre as curvas de correlação (resistência à compressão x profundidade de cravação de pinos) obtidas para os dois operadores (Figura 7), pode-se concluir que não existe diferença significativa, uma vez que o valor de $F \ll F_{0,05}(\alpha, \beta)$.

Emprego do pinador pneumático em juntas de argamassa de prisma de alvenaria

Para a avaliação do ensaio proposto em juntas de assentamento de prismas de alvenaria estrutural de

blocos de concreto, foi confeccionado um prisma com 3 blocos empregando-se o bloco de 14x19x39 cm (largura x altura x comprimento). Detalhes da geometria do bloco encontram-se apresentados na Figura 8.

O prisma de alvenaria foi confeccionado empregando-se a argamassa industrializada 1. No momento da confecção do referido prisma, foram moldados corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm para a determinação da resistência à compressão da argamassa e para a avaliação da profundidade de cravação de pinos. O prisma e os corpos de prova de 5x10 cm foram curados ao ar, dentro do laboratório, e ensaiados quando a argamassa completou 28 dias de idade.

Para a determinação da profundidade de cravação dos pinos nas juntas de assentamento do prisma, foram aplicados 10 tiros em cada junta (superior e inferior), nos pontos indicados na Figura 9.

Para evitar-se o descolamento entre os blocos de concreto e as juntas de argamassa, foi aplicado um pré-carregamento de 100 kgf (que equivale a uma tensão de 0,03 MPa na área líquida do bloco), antes da execução dos disparos.

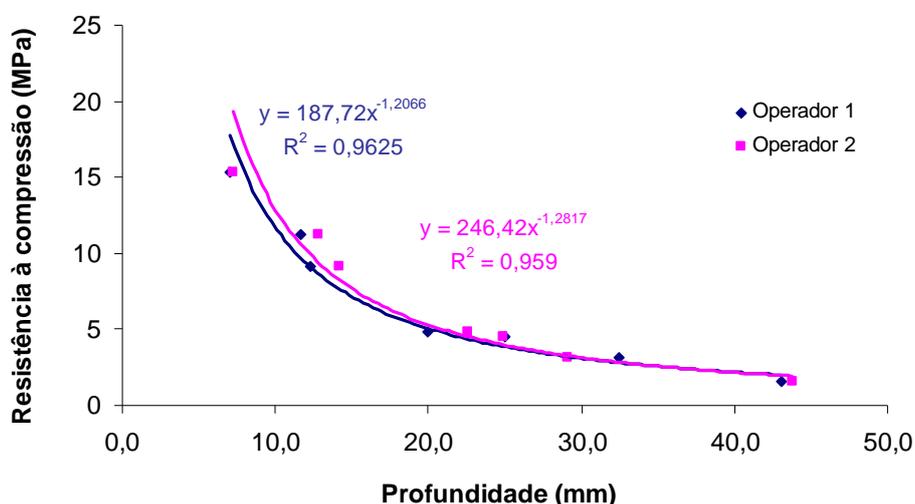


Figura 7 - Curvas de correlação entre profundidade de cravação de pinos e resistência à compressão para dois operadores diferentes

Tabela 8 - Resultados da análise de comparação de funções lineares

Operador	Parâmetros – comparação de funções lineares					
	SQR	GL	α	β	F	$F_{0,05}(\alpha, \beta)$
Operador 1	0,0260	6	2	10	0,27	4,10
Operador 2	0,0285	6				
Operador 1 + 2	0,0575	14				

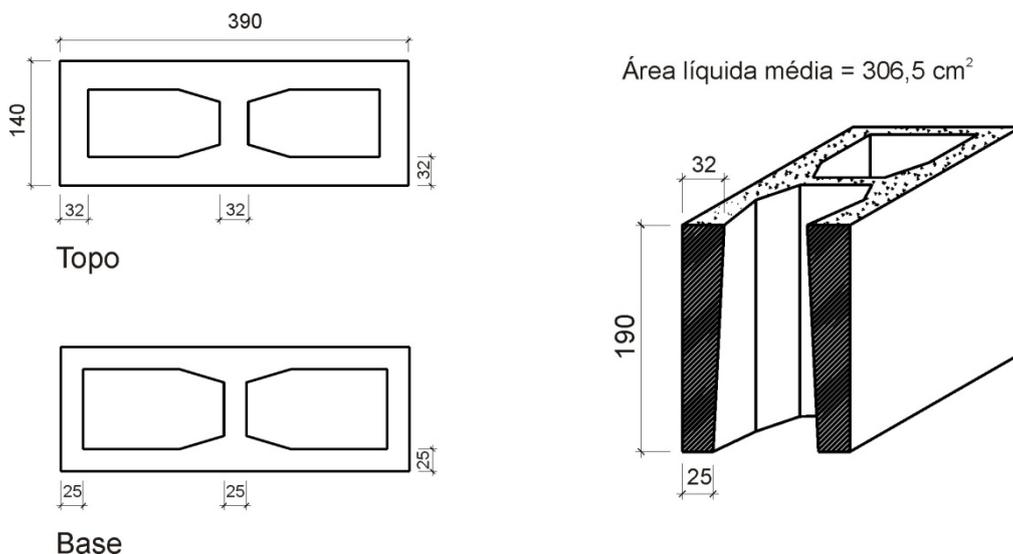


Figura 8 - Geometria do bloco de concreto empregado para a confecção dos prismas de alvenaria (dimensões em milímetros)

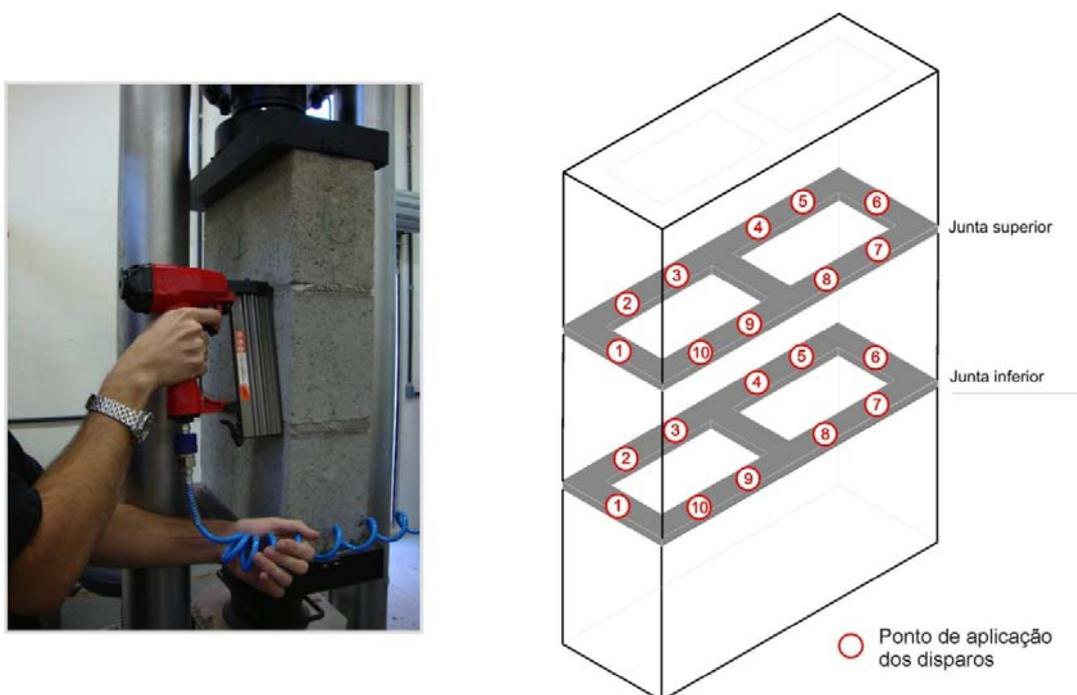
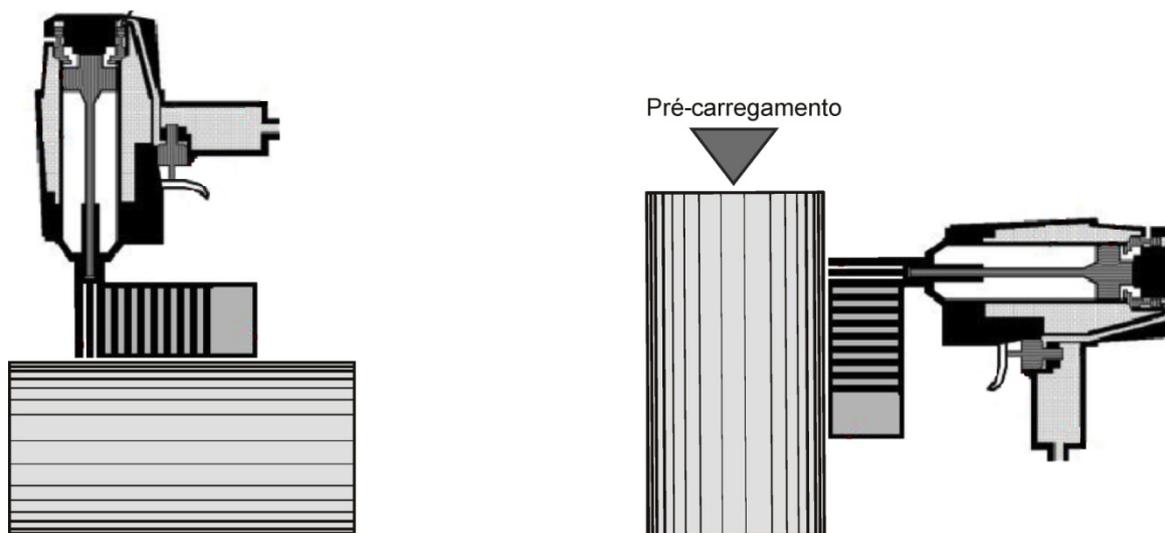


Figura 9 - Aplicação dos disparos nas juntas de argamassa dos prismas de alvenaria de blocos de concreto

Paralelamente aos disparos nas juntas de assentamento do prisma de alvenaria, foram aplicados 10 tiros em dois corpos de prova cilíndricos (5x10 cm), sendo um dos corpos de prova posicionado na horizontal (disparo aplicado de cima para baixo) e o outro na vertical, conforme detalhe apresentado na Figura 10. O intuito desse teste foi o de verificar se a posição do pinador exerceria influência na profundidade de cravação dos pinos. Vale destacar também que o corpo de

prova cilíndrico que foi ensaiado na vertical foi pré-carregado com o mesmo nível de tensão aplicado no prisma de alvenaria.

Na Tabela 9 é apresentada a profundidade de cravação média dos pinos, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o valor de resistência à compressão previsto, obtidos para as juntas de assentamento do prisma de alvenaria e para os corpos de prova cilíndricos (5x10 cm).



Corpo de prova na horizontal

Corpo de prova na vertical

Figura 10 - Detalhe da posição dos corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm e da direção de aplicação do tiro

Tabela 9 - Profundidade de cravação média e resistência à compressão prevista para as juntas de assentamento do prisma e para os corpos de prova cilíndricos (5x10 cm)

Propriedade	Junta de assentamento		Corpo de prova (5x10 cm)	
	Superior	Inferior	Horizontal	Vertical
Profundidade média (mm)	13,97	12,01	12,74	12,47
Desvio padrão (mm)	1,29	1,10	1,01	2,34
CV (%)	4,20	3,35	3,17	7,27
Previsão de resistência à compressão (MPa) ^{VII}	7,50	8,97	8,36	8,58

Nota: ^{VII}Valores definidos com base na curva de correlação apresentada na Figura 6.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 9 e no resultado de resistência à compressão aos 28 dias, obtido para a argamassa industrializada I mediante o rompimento dos corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm (8,40 MPa – ver Tabela 5), pode-se constatar que a posição do pinador não exerce influência sobre os resultados de profundidade de cravação de pinos. Além disso, a previsão da resistência à compressão das juntas de argamassa, empregando-se o ensaio e os procedimentos propostos, resultou em valores bem próximos dos valores obtidos nos corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) e com baixa variabilidade.

A diferença obtida entre os resultados da junta de assentamento superior e inferior do prisma de alvenaria pode estar relacionada com a quantidade de ar incorporado à argamassa, no momento do assentamento do bloco. Isso porque a argamassa industrializada, por conter aditivo incorporador de ar em sua composição, costuma apresentar esse comportamento quando revolvida com muita energia, dentro da masseira, antes do

assentamento. Além disso, a junta superior do prisma de alvenaria com três blocos recebe um menor carregamento, se comparada à junta inferior. Esse carregamento diferenciado, quando exercido sobre a argamassa ainda no estado plástico, pode influenciar na perda de água para o substrato e, conseqüentemente, na redução dos vazios da junta de argamassa, causando a diferença encontrada e apresentada na Tabela 5.

Considerações finais

Com base nos resultados apresentados no presente trabalho pode-se verificar que o emprego do ensaio de cravação de pinos, com o auxílio de um pinador pneumático é viável de ser empregado para a previsão da resistência à compressão de juntas de assentamento de argamassas em construções de alvenaria estrutural.

Trata-se de um ensaio prático, de fácil realização e de rápida obtenção de resultados. Por ser portátil e permitir a avaliação de grandes áreas em pouco

tempo, torna-se uma boa opção para a realização de controle de qualidade do material aplicado *in loco*. Além disso, o ensaio apresenta uma boa correlação e pouca variabilidade para a previsão da resistência à compressão, o que permite uma estimativa mais precisa das reais condições da junta de assentamento, não sendo influenciado pelo operador e pela direção do disparo (cravação de pino na horizontal ou na vertical).

Vale a pena destacar que a pressão de trabalho que se mostrou mais adequada para a cravação dos pinos foi a de 0,41 MPa (60 psi) e que, no caso de argamassas com resistência à compressão acima de 10 MPa, os pinos T-45 devem ser substituídos por pregos de aço 10x10 sem cabeça. Além disso, o ensaio pode ser aplicado para a avaliação da resistência à compressão de juntas de assentamento de construções em alvenaria estrutural e para a avaliação da resistência à compressão de revestimentos feitos com argamassas (reboco), com resistência à compressão do material variando entre 1,5 MPa e 20 MPa.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-NM 46**: agregados: determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-NM 52**: agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-NM 53**: agregado graúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7215**: cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-8798**: execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

BAE, G. J. *et al.* Application of Pneumatic Pin Penetration Test to Estimation of compressive Strength of Shotcrete in Korea. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 19, p. 432-440, 2004.

CASALI, J. M.; WEIDMANN, D. F.; PRUDÊNCIO JUNIOR., L. R. Determinação da Resistência da Argamassa na Junta de Alvenaria Estrutural Por Meio do Ensaio de Resistência à Penetração de Pino. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6., Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005.

FELICETTI, R.; GATTESCO, N. A Penetration Test to Study the Mechanical Response of Mortar in Ancient Masonry Buildings. **Materials and Structures**, v. 31, p. 350-356, jun. 1998.

IWAKI, K. *et al.* A Quality control Method For Shotcrete strength by Pneumatic Pin Penetration Test. **NDT&E International**, v. 34, n.6, p. 395-402, set. 2001.

LIBERATORE, D.; SPERA, G.; COTUGNO, M. A New Penetration Test on Mortar Joints. In: WORKSHOP ON SITE CONTROL AND NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF MASONRY STRUCTURES AND MATERIALS, Mantva, 2001. **Proceedings...** Mantva, 2001. p. 191-202.

MAGALHÃES, A. C.; COSTA, D.; VEIGA, M. R. Diagnóstico de Anomalias de Revestimentos de Paredes com Técnicas de Ensaio In Situ: avaliação da resistência mecânica. In: ENCONTRO SOBRE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 3., Lisboa, 2003. **Actas...** Lisboa, 2003.

MELLO, R. N. **Ensaio Não destrutivos para Argamassas**. 66 f. Florianópolis, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Construção de Edifícios) - Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MICHAEL, P.; SCHULLER, P. E. Nondestructive Testing and Damage assessment of Masonry Structures. **Progress in Structural Engineering and Materials**, v. 5, p. 239-251, out./dez. 2003.

MONTE, E. D.; VIGNOLI, A. In Situ Mechanical Characterization of the Mortar in Masonry Buildings With DRMS. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE ASSESSMENT OF CONCRETE, MASONRY AND TIMBER STRUCTURES, Varenna, 2008. **Proceedings...** Varenna: RILEM, 2008.

PRUDÊNCIO JUNIOR., L. R. **Contribuição à Dosagem de Concreto Projetado**. 210 f. São Paulo, 1993. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

RILEM MS-D7. Determination of Pointing Hardness by Pendulum Hammer. **Materials and Structures**, v. 30, p. 323-324, jul. 1997.

RILEM MS-D9. Determination of Mortar strength by the Screw (Helix) Pull-Out Method. **Materials and Structures**, v. 30, p. 325-327, jul. 1997.

RILEM MDT-D.1. Indirect Determination of the Surface Strength of Unweathered Hydraulic Cement Mortar by the Drill Energy Method. **Materials and Structures**, v. 37, p. 485-487, set. 2004.

TRANSUE, D.; SCHULLER, M.; RENS, K. Use of the Pendulum Hammer Test for Mortar Evaluation. In: NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 8., Austin, 1999, **Proceedings...** Austin, 1999.

VAN DER KLUGT, L. J. A. R. The Pointing Hardness Tester: an instrument to meet a need. **Materials and Structures**, v. 24, p. 471-476, 1991.

ZAMPIRON, L. C. *et al.* Utilização de Areia de Reciclagem Proveniente de Cerâmica Vermelha Para a Confeção de Argamassa de Assentamento Para Alvenaria Estrutural. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., Curitiba, 2009. **Anais...** Curitiba, ANTAC, 2009.

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br