

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA X TEMPO APÓS ESPALHAMENTO DAS ARGAMASSAS COLANTES

PÓVOAS, Yêda V. (1); JOHN, Vanderley M. (2)

(1) Eng. Civil, Mestre em Engenharia, Doutoranda do PCC- USP. E-mail yvpovoas@pcc.usp.br

(2) Eng. Civil, Prof. Dr. do PCC-USP. E-mail vmjohn@pcc.usp.br

Av. Prof. Almeida Prado, 271 – trav.1. Cidade Universitária. São Paulo-SP. CEP 05508-900.

RESUMO

A resistência de aderência de argamassas colantes diminui com o tempo decorrido entre o seu espalhamento e o assentamento da cerâmica, conforme demonstram os resultados obtidos com argamassas aditivadas com HEC (0 e 0,4 %) e/ou PVAc (0 e 10 %), com traço básico 1:3 (cimento:areia, em massa) e relação água/cimento de 0,80, além de uma argamassa de mercado.

A correlação entre a resistência de aderência e o tempo decorrido do espalhamento da argamassa e o assentamento da cerâmica foi avaliada através da regressão L_1 , pouco sensível a resultados espúrios. A correlação demonstrou ser linear.

Os resultados demonstram que o tempo é controlado pela velocidade de queda da resistência de aderência, que depende do HEC, e pela resistência inicial, que depende do PVAc.

ABSTRACT

This paper presents a new method to evaluate the open time of ceramic tiles adhesives. Its application is demonstrated through an evaluation of HEC (hydroxyethyl cellulose) and PVAc (polyvinyl acetate) admixture influence on the open time of ceramic tile adhesives.

Mortars with mix proportion 1:3 (cement to sand ratio, by weight) are formulated with HEC content of 0 and 0,4 % and/or PVAc of 0 and 10 % (by cement weight). The water/cement ratio was kept constant at 0,80. All raw materials as well as mortars were characterized by physical, chemical and mechanical tests.

The new method proposed is based on the correlation between tensile adhesion strength and time between the mortar and ceramic tile application, modeled by L_1 regression method.

The results confirm that the tensile adhesion strength loss increases with time. Furthermore, it was possible to conclude that the open time is controlled by two factors: the adhesion strength loss rate and the initial strength. Both admixtures influence the open time of ceramic tile adhesive in different ways. The HEC seems to control the adhesion strength loss rate and the PVAc, the initial strength.

1 INTRODUÇÃO

O tempo em aberto, uma das propriedades principais da argamassa colante, é definido por PÓVOAS (1999) como “o período de tempo após o espalhamento da argamassa sobre o substrato, em que é possível o assentamento da cerâmica obtendo-se a resistência de aderência adequada, definida pela NBR 14083 (ABNT, 1998) como maior ou igual a 0,5 MPa”.

O tempo em aberto é decorrência direta da redução da resistência de aderência das placas cerâmicas com o tempo entre o espalhamento da argamassa e o assentamento da cerâmica. No entanto, esta correlação não é estudada sistematicamente, uma vez que os laboratórios se limitam a realizar arrancamentos nos minutos que antecedem o tempo em aberto estimado.

Esta redução pode acontecer devido a perda de água para a base e também para a atmosfera, que, por sua vez, aumenta a possibilidade de descolamento de placas cerâmicas durante a fase de uso, que no caso de fachadas, expõe usuários a riscos.

Não é possível produzir argamassas colantes sem aditivos, porque esta perderia água muito rapidamente, resultando em aderência nula (PÓVOAS, 1999). Assim são empregados aditivos retentores de água como por exemplo, o HEC, e aditivos para o aumento da resistência de aderência, como por exemplo, o PVAc.

A retenção de água é a principal propriedade do HEC. Este aditivo é um polímero de celulose natural modificada produzido pela eterificação parcial de alguns grupos hidroxila com a álcali celulose, que por sua vez, reage com o óxido de etileno para a formação do HEC (UNION CARBIDE, [1997]).

O HEC aumenta a plasticidade e a coesão da argamassa evitando o deslizamento da placa cerâmica e incorpora ar, deixando a argamassa mais trabalhável (UNION CARBIDE, [1997]).

O PVAc, polímero sintético, insolúvel, derivado da polimerização do vinil acetato, só se torna solúvel quando sofre hidrólise, permitindo a formação do PVA (poli (vinil álcool)) (SEYMOUR & CARRAHER, 1984).

O PVAc aumenta a flexibilidade e plasticidade da argamassa colante. Segundo o fabricante, retém um pouco a água pelo fato de possuir protetor coloidal celulósico em sua composição (WACKER [1996]). BROCARD & CIRODDE (1960) afirmam que o PVAc aumenta a resistência à compressão, à flexão e de aderência, além de reduzir a permeabilidade da argamassa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho a correlação entre a resistência de aderência e o tempo decorrido entre o espalhamento e o assentamento da cerâmica é estudado.

Para facilitar o estudo, uma argamassa do mercado foi analisada e foram produzidas argamassas com diferentes teores de HEC (0 e 0,4 %) e/ou PVAc (0 e 10 %), com traço básico 1:3 (cimento:areia, em massa) e relação a/c de 0,80. Os materiais empregados na formulação estão caracterizados a seguir.

Para facilitar a leitura da análise dos resultados dos ensaios, foram adotadas as seguintes convenções quanto às argamassas: sem aditivo = REF; 0,4 % de HEC = HEC; 10 % de

PVAc = PVAc; 10 % de PVAc + 0,4 % de HEC = PVAc + HEC; e argamassa do mercado = MERCADO.

2.1 Cimento

O cimento CP II-E, utilizado na formulação da argamassa colante, é ensaiado determinando-se a granulometria a laser (Figura 1) e a análise química (Tabela 1); os resultados dos ensaios físicos são fornecidos pelo fabricante (Tabela 2).

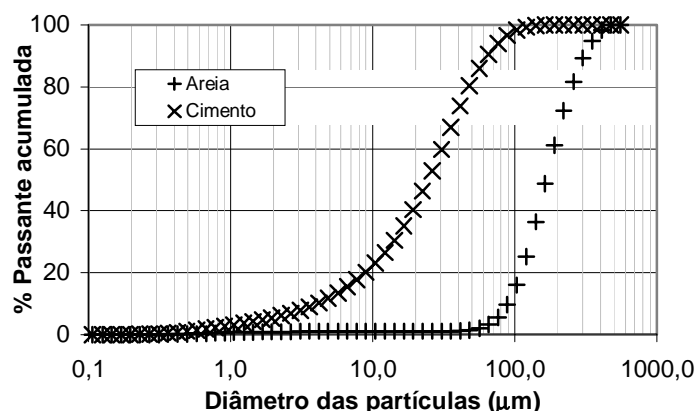


Figura 1 – Resultado do ensaio de granulometria à laser do CP II-E-32 e da areia

Tabela 1 – Análise química do CP II-E-32 com valores em %

Perda ao fogo	5,94	MgO	2,72	CaO livre	1,54
SiO ₂	22,8	SO ₃	2,01	RI	1,19
Al ₂ O ₃	7,35	Na ₂ O	0,19	CO ₂	4,34
Fe ₂ O ₃	2,16	K ₂ O	0,48	CaCO ₃	9,85
CaO	56,2	S ²⁻	0,28		

Tabela 2 – Ensaios físicos do CP II-E-32 fornecidos pelo fabricante

# 325 NBR 9202 ¹ (%)	Blaine NBR 7224 ² (m ² /kg)	a/c (%)	Tempo Pega (min) NBR 11581 ³		Resistência à Compressão (MPa) NBR 7215 ⁴			
			Início	Fim	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
9,0	390	27,8	177	284	9,0	21,0	28,7	37,8

¹ ABNT. NBR 9202 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da finura por meio da peneira 0,044 mm (número 325) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985.

² _____. NBR 7224 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da área específica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

³ _____. NBR 11581 – Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

⁴ _____. NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

2.2 Agregado

A areia utilizada na formulação da argamassa colante possui dimensão máxima de 0,42mm, módulo de finura 0,58 e curva de distribuição granulométrica apresentada na Figura 1, do ensaio de granulometria a laser. A forma do grão é lisa e arredondada, proporcionando uma melhor trabalhabilidade.

2.3 Aditivos

Os aditivos fornecidos na forma de pó são caracterizados através de espectrofotometria no infravermelho (Figura 2); e para o HEC, termogravimetria (Figura 3).

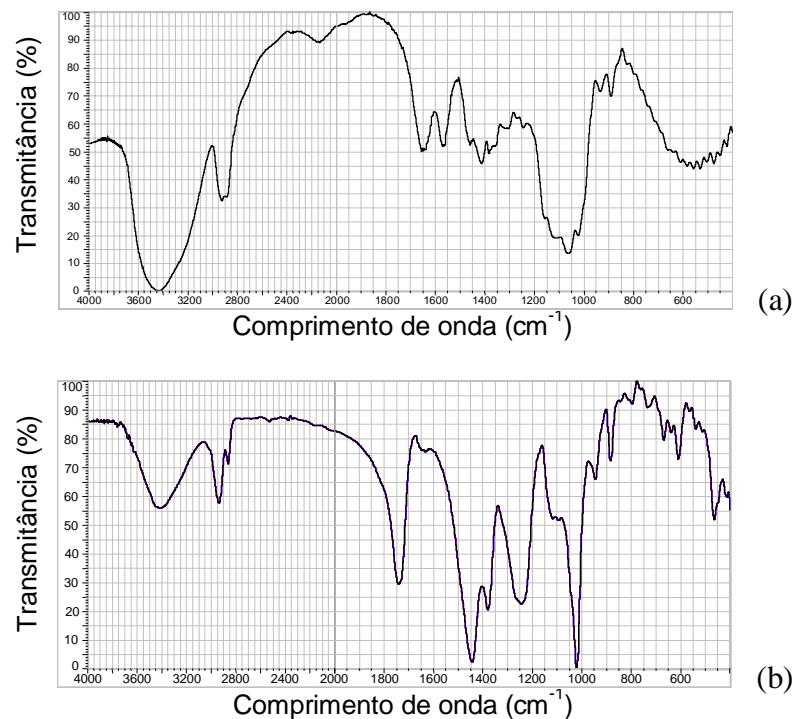


Figura 2 – Espectrograma (a) do HEC (Cellosize 100CG-FF) e (b) do PVAc (VAC/E RE 524 Z)

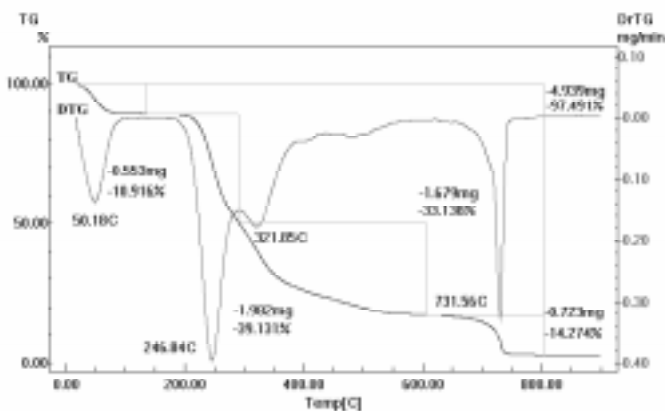


Figura 3 – Termogravimetria (TG) do HEC

A análise do espectrograma do HEC na faixa do infra-vermelho revela a presença preponderante de um derivado de celulose; e a do PVAc, mostra a presença preponderante de poli (acetato de vinila) e um composto não identificado, provavelmente inorgânico.

Na curva DTG, o primeiro pico, a 50,2 °C, mostra a evaporação da água livre, o segundo e o terceiro, a 246,8 °C e a 321,8 °C respectivamente, a decomposição do derivado de celulose e o quarto, a 731,6 °C, a decomposição de fração inorgânica presente na amostra.

2.4 Substrato-padrão e placas cerâmicas

O substrato-padrão apresenta absorção capilar média em 4 horas da ordem de 0,15 cm³, estando de acordo com a NBR 14082⁵.

As placas cerâmicas foram caracterizadas seguindo o ensaio de absorção de água que consta na NBR 13818⁶, obtendo 16,8 % de absorção de água.

2.5 Análise por regressão

Devido a grande variabilidade dos ensaio de arrancamento, que seguiu as recomendações da NBR 14083 (ABNT, 1998), a correlação entre as duas variáveis foi medida utilizando-se regressão L₁, utilizando os softwares STATISTICA e MINITAB for Windows. Este método é resistente a valores dispersos na variável y_i (variável resposta) (TAVARES, 1998). Todos os resultados de determinações do tempo em aberto foram considerados, não tendo sido adotada a recomendação da Norma brasileira de descartar valores espúrios (20 %).

O modelo da regressão linear simples é dado por

$$Res_i = \beta_0 + \beta_1 T_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

onde: Res_i = y_i : resistência de aderência (MPa);

i = resultado experimental: 1, 2, ..., n;

β₀ : parâmetro intercepto ou coeficiente linear;

β₁ : parâmetro inclinação ou coeficiente angular;

T_i = x_i : tempo em aberto (min);

ε_i : erro aleatório, isto é, a distância entre os pontos do gráfico de dispersão e a reta da regressão linear ajustada (ε_i = Res_i – E(Res_i)).

Ao estimar Res_i, o valor estimado de ε_i é considerado E(ε_i) = 0, resultando em

$$E(Res_i) = E(\beta_0 + \beta_1 T_i) \quad (2)$$

⁵ ABNT. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios. Procedimento – NBR 14082. Rio de Janeiro, 1998.

⁶ _____. Placas cerâmicas para revestimento. Especificação e métodos de ensaio – NBR 13818. Rio de Janeiro, 1997.

Os estimadores dos parâmetros $E(\beta_0)$ e $E(\beta_1)$ não possuem uma fórmula explícita; são determinados de tal forma que a soma dos erros absolutos $\sum_{i=1}^n |\text{Res}_i - E(\text{Res}_i)|$ seja mínima. O algoritmo utilizado nesta pesquisa para estimar os parâmetros está apresentado em TAVARES (1998).

Ajustada a equação linear, os parâmetros passam pela prova de hipótese

$$H_1: \beta_0 = 0 \text{ e } H_2: \beta_1 = 0 \quad (3)$$

O nível de significância adotado nesta pesquisa para verificar se os parâmetros são significativamente diferentes de zero, ou seja, se a hipótese é aceita ou não, foi de $\alpha = 0,05$. Quando $\alpha \leq 0,05$, a hipótese H_i é rejeitada e quando $\alpha > 0,05$, a hipótese H_i é aceita (onde $i = 1$ e 2).

Os resultados são apresentados pelo nível descritivo P . Para H_2 , P é o menor nível de significância para o qual T é significativo ou, em outras palavras, indica se há uma relação entre (Res, T) .

Uma das vantagens deste método de medida é que os dados podem ser extrapolados para haver a determinação do tempo em aberto, enquanto que a Norma despreza o ensaio com menos de cinco valores, levando à realização de um novo ensaio.

3 RESULTADOS

A análise dos resultados indicou que bons ajustes foram obtidos através da regressão linear pelo método L_1 para as argamassas estudadas (Tabela 3 e Figura 4). Todas as regressões revelaram-se estatisticamente significativas (PÓVOAS, 1999).

Todas as argamassas foram comparadas à argamassa do mercado pelo teste de paralelismo (teste de igualdade dos coeficientes angulares) e pelo teste de igualdade dos coeficientes lineares para verificar se o tempo em aberto das argamassas são significativamente diferentes ou não para $\alpha = 0,05$. Apenas o resultado do teste realizado para as retas da argamassa do mercado e da argamassa com PVAc + HEC foi aceito ($P = 0,450$), indicando que as argamassas possuem velocidade de queda de resistência similar. No entanto a igualdade dos coeficientes lineares foi testada e rejeitada ($P < 0,001$).

Tabela 3 – Equações estimadas do tempo em aberto para as argamassas formuladas

Argamassa	Equação linear
HEC	$\text{Res}_{i, \text{HEC}} = 0,7000 - 0,0280 T_i^*$
PVAc	$\text{Res}_{i, \text{PVAc}} = 1,3860 - 0,0396 T_i$
PVAc + HEC	$\text{Res}_{i, \text{HEC} + \text{PVAc}} = 1,2556 - 0,0086 T_i$
MERCADO	$\text{Res}_{i, \text{MERCADO}} = 1,107 - 0,0086 T_i$

* Neste caso, β_0 (MPa) e β_1 (MPa/min).

A equação da reta apresentada pelo HEC (Tabela 3) mostra o pequeno valor do coeficiente linear, ou seja, a baixa resistência de aderência proporcionada por este

aditivo em relação as demais misturas. O seu coeficiente angular é menor que o da reta do PVAc, indicando que a queda da resistência apresentada pelo PVAc é mais rápida. No entanto, a argamassa com PVAc possui tempo em aberto maior que a argamassa com HEC devido a sua maior resistência inicial.

A argamassa aditivada com PVAc + HEC tem alta resistência inicial, conforme pode ser observado pelo seu coeficiente linear (Tabela 3). A velocidade com que perde resistência é menor que a das argamassas que contém somente um aditivo, conforme mostram os coeficiente angulares. Embora a velocidade de perda de resistência da argamassa com PVAc + HEC seja igual a da argamassa de mercado, como mostra a igualdade entre os coeficientes angulares, a primeira apresenta tempo em aberto estimado superior, porque sua resistência inicial é maior (Figura 4).

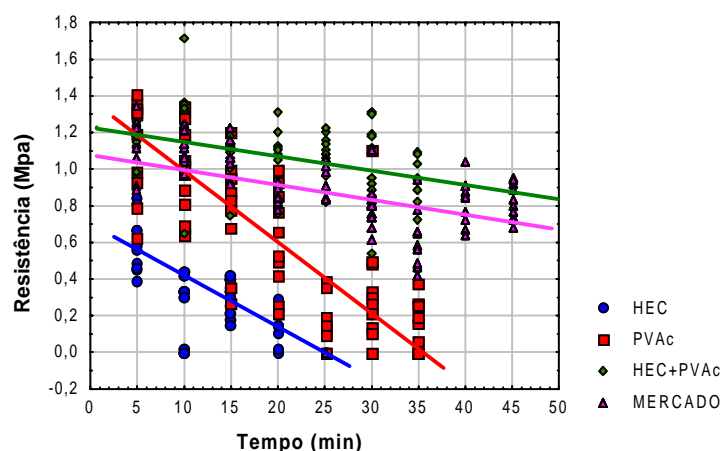


Figura 4 – Correlação entre resistência de aderência e tempo após o espalhamento. A regressão foi obtida pelo método L1

4 CONCLUSÕES

O estudo revelou uma correlação linear significativa entre a resistência de aderência e o tempo decorrido entre o espalhamento e o assentamento das placas cerâmicas. A regressão L_1 permitiu estimar com sucesso o tempo em aberto tendo por base não apenas um conjunto de resultados como o estabelecido na NBR 14083 (ABNT, 1998).

Adicionalmente, o estudo desta correlação permitiu concluir que o tempo em aberto é controlado por dois fatores: (a) resistência inicial e (b) taxa de velocidade de perda de resistência. Conclui-se também que ambos aditivos influenciam no tempo em aberto, de maneira diferente.

O HEC, apesar de sua grande capacidade de retenção de água, isoladamente não é capaz de propiciar grandes tempos em aberto. Seu efeito na resistência inicial é limitado. A argamassa formulada com este aditivo não atendeu aos requisitos da NBR 14081 (ABNT, 1998).

O PVAc, apesar de sua reconhecidamente pequena capacidade de reter água, resultou em elevado tempo em aberto, porque este aditivo aumenta a resistência de aderência inicial.

A análise da variação resistência de aderência \times tempo é um procedimento de simples execução que fornece informações de grande valia na análise comparativa entre argamassas colantes, e poderia ser incluída na normalização.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica. Especificação – NBR 14081.** Rio de Janeiro, 1998.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: determinação do tempo em aberto – NBR 14083.** Rio de Janeiro, 1998.

BROCARD, M.; CIRODDE, M.R. Utilisations des matières plastiques dans le gros oeuvre. **Annales de l'Institut Technique du bâtiment et des Travaux Publics.** Série: Matériaux, n.156, p.1355-417, 1960.

PÓVOAS, Y.V. **Tempo em aberto da argamassa colante: método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc.** São Paulo, 1999. p.154. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SEYMOUR, R.B.; CARRAHER, C.E. **Structure-property relationships in polymers.** New York, Plenum Publishing Corporation, 1984.

TAVARES, R.A. **Seleção de variáveis em regressão L_1 .** São Paulo, 1998. p.82. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo.

UNION CARBIDE. Cellosize - HEC - Versatilidade para a construção civil: aplicação em argamassas adesivas. **Folder.** [1997].

WACKER. Vinyl Acetate Polymers - Vinnapas - Redispersible Powders. **Folder.** [1996].

6 AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo financiamento do projeto de pesquisa. Ao CNPq pelo fornecimento da bolsa de mestrado. À ABCP, à Falcão Bauer e à Profª. Denise Antunes da Silva, da Universidade Federal de Santa Catarina pelo fornecimento de dados.