

FISSURAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO DEVIDO À RETRAÇÃO PLÁSTICA

**PASSOS, José Sergio (1); CÂNDIDO, Wilson Ferreira (2); MENDES, Marcus Vinícius (2)
ARAÚJO, Afonso Maria (2); CARASEK, Helena (3)**

(1) Mestrando em Geotecnia e Construção Civil - Universidade Federal de Goiás,
Profº UCG e CEFET-GO, Brasil – e-mail: jspassos@terra.com.br

(2) Mestrando em Geotecnia e Construção Civil - Universidade Federal de Goiás, Brasil
e-mail: wilsoncivil@yahoo.com.br

(3) Profª Doutora da Universidade Federal de Goiás, Brasil – e-mail: hcarasek@eec.ufg.br

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo experimental realizado com a finalidade de avaliar a fissuração de argamassas de revestimentos com elevados teores de finos, em ambiente de clima quente e seco. Para tanto, foram utilizados seis diferentes traços que foram aplicados em painéis com área de 1,5 m² e espessura de aproximadamente 2 cm, sobre alvenaria de blocos cerâmicos chapiscada. Essas argamassas foram avaliadas no estado fresco através dos ensaios de consistência pelo espalhamento na mesa ABNT (NBR 13276/2005), consistência pela penetração do cone (ASTM C 780/96), densidade de massa (NBR 13278/2005), retenção de água (NBR 13277/2005) e os teores de ar, pelo método gravimétrico e pressométrico (NBR 13278/2005 e NBR NM 47/2002). No estado endurecido foram realizados ensaios de módulo de elasticidade dinâmico (BS 1881:203/1986), resistência à compressão e à tração na flexão (NBR 13279/2005). Quanto aos revestimentos de argamassa foram realizados ensaios de mapeamento e medidas de fissuras, resistência de aderência à tração (NBR 13528/1995), resistência superficial (adaptada da NBR 13528/1995), esclerometria e permeabilidade/absorção de água (CSTC-NIT n° 140/1982). Concluiu-se que a fissuração é influenciada pelo teor de finos e ocorre de forma mais acentuada nos três primeiros dias de idade. Além disso, constatou-se que a resistência de aderência à tração e superficial foram fortemente influenciadas pelo teor de cimento.

Palavras-chave: argamassa, revestimento, fissuração, retração plástica, finos.

ABSTRACT

This work presents the results of an experimental study carried out with the purpose of evaluating cracking in rendering made of mortar proportioned with high content of fine materials, in a hot and dry climate atmosphere. Six different proportions of sand, lime and portland cement mortars were applied on panels, each one with area measuring 1,5 m² and thickness of about 2 cm, on spatterdashed clay blocks masonry. The mortars were assessed in the fresh state by means of the tests of flow table (NBR 13276/2005), cone penetration (ASTM C 780/1996), bulk density (NBR 13278/2005), water retention (NBR 13277/2005), and air content by both gravimetric (NBR 13278/2005) and pressure method (NBR NM 47/2002). In the mortar hardened state, it was carried out the following tests: dynamic elasticity modulus (BS 1881 203/1986), and compressive and flexure strength (NBR 13279/2005). Mapping and measuring of cracks were performed on the rendering, as well as the tests of tensile bond strength (NBR 13528/1995), superficial strength (adapted from NBR 13528/1995), pendulum rebound hammer, and permeability/absorption of water (CSTC-NIT n° 140/1982). It was concluded that cracking is influenced by the content of fines and it happens in a more accentuated way in the age of the first three days. Besides, it was verified that both the tensile bond strength and the superficial strength were strongly influenced by the cement content.

Keywords: mortar, rendering, cracking, plastic shrinkage, fine materials.

INTRODUÇÃO

Os revestimentos de argamassas estão sujeitos aos diversos tipos de manifestações patológicas que prejudicam a sua estanqueidade e durabilidade. Tais problemas promovem a deterioração dos revestimentos devido a processos físico-mecânico, químicos e biológicos. Nesse sentido, o presente estudo aborda o processo de deterioração físico-mecânico voltado para a questão da fissuração provocada principalmente pela retração plástica.

A retração é oriunda de um mecanismo bastante complexo, associado com a variação de volume da pasta aglomerante devido à perda de água em excesso de sua composição. Parte dessa retração é consequência das reações químicas de hidratação do cimento, sendo que a parcela principal é devido à secagem, que se inicia no estado fresco e prossegue após o endurecimento da argamassa (CARASEK, 2007).

Destacam-se como principais fatores que influenciam a retração plástica o consumo de cimento, a composição granulométrica do agregado miúdo, o teor de finos (material com grãos menores que 0,075 mm), a quantidade de água da argamassa e condições climáticas desfavoráveis (clima quente, seco e ventos fortes).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a fissuração de revestimentos de argamassa com elevados teores de finos, em ambiente de clima quente e seco.

1. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A seguir estão descritas as variáveis e condições fixas do estudo, bem como a caracterização completa dos materiais constituintes, além da metodologia adotada para a preparação, execução e ensaios da argamassa no estado fresco e endurecido e dos revestimentos.

1.1 Variáveis

Foi estabelecido como variável do trabalho a proporção de mistura das argamassas. Assim, buscou-se obter diferentes tipos de argamassas para revestimento com elevados índices de fissuração e diferentes teores de cimento, todos com trabalhabilidade adequada à aplicação e teores de finos próximos de 25%, resultando argamassas com plasticidade rica ou gorda, conforme classificado por Luherta Vargas e Monteverde Comba *apud* Carasek (2007). Com base nos métodos de dosagem de Selmo (1989) e de Gomes e Neves (2001) ajustou-se a trabalhabilidade para seis argamassas de revestimento com diferentes composições.

1.2 Condições Fixas

Neste estudo foram utilizadas paredes de alvenarias de blocos cerâmicos de vedação (substrato), como base para a aplicação dos revestimentos de argamassas.

Como mão-de-obra utilizou-se um único oficial pedreiro, tanto para assentamento dos blocos, quanto para a aplicação da argamassa de revestimento.

Foram construídos três painéis de alvenaria (1,80 m x 1,20 m), em ambiente coberto. Para assentamento dos blocos foi utilizada uma argamassa na proporção 1:2:9, em volume, (cimento, cal e areia), com junta de assentamento de aproximadamente 2 cm.

Após sete dias do assentamento dos blocos, os painéis receberam o chapisco rolado (sem o uso de aditivo adesivo), executado com a utilização de argamassa com consistência fluida, na proporção de 1:3 (cimento e areia), em volume. Passadas 24 h da aplicação, o chapisco recebeu cura por aspersão de água três vezes ao dia, nos dois primeiros dias de cura.

O revestimento de camada única foi executado em ambas as faces da alvenaria, sem molhar o chapisco, “chapando-se” a argamassa com colher de pedreiro, sarrafeada com régua de alumínio e desempenada com desempenadeira de madeira, conforme a Figura 1. Como resultado obteve-se seis painéis de 1,50 m x 1,00 m com aproximadamente 2 cm de espessura, que foram avaliados na idade de 28 dias.



Figura 1 - Principais etapas da aplicação da argamassa.

1.3 Materiais

Os materiais utilizados no programa experimental foram:

- Cimento Portland composto CP II-F-32;
- Cal hidratada CH-I;
- Areia natural quartzosa, de leito de rio, proveniente da região metropolitana de Goiânia-GO;
- Bloco cerâmico de vedação de 9 cm x 14 cm x 29 cm, com furos quadrados;
- Água disponível da rede pública de abastecimento do município de Goiânia-GO.

1.3.1 Cimento

A Tabela 1 apresenta os ensaios físicos e a análise química do cimento utilizado.

Tabela 1 - Ensaios físicos e análise química do cimento.

Propriedades Determinadas		Resultados	Limites NBR	Método de Ensaio
Massa específica (g/cm ³)		3,05	N. E.	NBR NM 23/2001
Massa unitária no estado solto (g/cm ³) ⁽¹⁾		1,00	N. E.	NBR 7251/1982
Finura	resíduo na peneira 200 (%)	0,26	≤ 12	NBR 11579/1991
	área específica (cm ² /g)	6248	≥ 2600	NBR NM 76/1998
Tempos de Pega	Início de Pega (h:min)	3:10	≥ 1:00	NBR NM 65/2003
	Fim de Pega (h:min)	4:38	≤ 10:00	
Expansibilidade de Le Chatelier - a frio (mm)		0	≤ 5,0	NBR 11582/1991
Expansibilidade de Le Chatelier - a quente (mm)		0		NBR 11582/1991
Água de Consistência – Pasta (%)		33	N. E.	NBR NM 43/2003
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	23,9	≥ 10	NBR 7215/1996
	7 dias	36,0	≥ 20	
	28 dias	43,3	≥ 32	
Componentes Químicos (%)	perda ao fogo	10,26	≤ 6,5	NBR NM 18/2004
	resíduo insolúvel	2,82	≤ 2,5	NBR NM 15/2004
	trióxido de enxofre (SO ₃)	2,37	≤ 4,0	Procedimento FURNAS 1.002.135/2003
	óxido de magnésio (MgO)	1,77	≤ 6,5	
	dióxido de silício (SiO ₂)	17,73	N. E.	
	óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	4,20	N. E.	
	óxido de cálcio (CaO)	62,36	N. E.	
	óxido de cálcio livre (CaO)	2,8	N. E.	NBR NM 13/2004
	Sulfato de cálcio (CaSO ₄)	4,03	N. E.	---

N.E. não especificado; (1) Adaptado do ensaio de agregado.

1.3.2 Cal Hidratada

A Tabela 2 apresenta os ensaios físicos da cal utilizada.

Tabela 2 - Ensaios de caracterização da cal.

Ensaios Realizados	Resultados	Método de Ensaio
Massa específica (g/cm ³)	2,24	⁽¹⁾
Massa unitária no estado solto (kg/dm ³) ⁽²⁾	0,69	NBR 7251/1982
Finura - resíduo na peneira 30 (%)	1,50	NBR 9289/2000
Finura - resíduo na peneira 200 (%)	21,41	NBR 9289/2000
Área específica (cm ² /g)	11503	NBR NM 76/1998

(1) fornecido pelo fabricante; (2) Adaptado do ensaio de agregado.

1.3.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado na dosagem das argamassas apresentou granulometria uniforme, conforme a curva granulométrica da Figura 2. Os resultados da caracterização estão apresentados na Tabela 3.

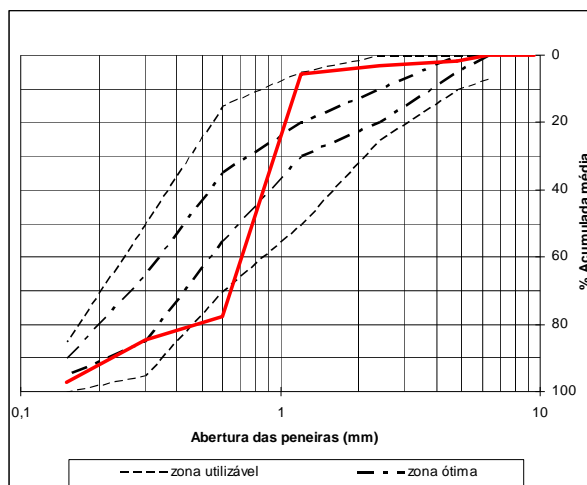


Figura 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 3 - Ensaios de caracterização do agregado miúdo.

Ensaios Realizados	Resultados	Método de Ensaio
Massa específica (g/cm^3)	2,63	NBR 9776/1987
Massa unitária no estado solto (kg/dm^3)	1,35	NBR 7251/1982
Módulo de Finura (MF)	2,70	NBR NM 248/2003
Dimensão máxima característica (mm)	2,40	
Coeficiente de inchamento médio	1,33	NBR 6467/1987
Umidade crítica (%)	5,60	
Teor de materiais pulverulentos (%)	2,06	NBR NM 46/2003
Argila em torrões e materiais friáveis (%)	0,34	NBR 7218/1987
Impurezas orgânicas (\pm claro)	+ clara	NBR NM 49/2001

1.3.4 Blocos Cerâmicos

A Tabela 4 apresenta as características dos blocos cerâmicos de vedação empregados na execução da alvenaria de base.

Tabela 4 - Ensaios de caracterização dos blocos cerâmicos.

Ensaios Realizados	Resultados	Limites	Coeficiente	Método de Ensaio
Medidas das faces - dimensões efetivas	$L = 85,5$	$L = 90 \pm 3$	$L = 1,19$	NBR 15270-3/2005
Desvio em relação ao esquadro (mm)	2,9	≤ 3	76,9	
Planeza das faces (mm)	2,5	≤ 3	44,3	
Índice de absorção d'água (%)	21,8	8 a 22	4,3	
Resistência à compressão (MPa)	1,1	$\geq 1,5$	33,4	
Índice de absorção inicial	11,3	N.E.	58,6	

N.E. não especificado

1.4 Processo de preparação das argamassas

O procedimento de preparo das argamassas foi realizado de acordo com as etapas a seguir:

- Os materiais foram medidos em massa em uma balança com precisão de 20 g;
- Foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado com capacidade para 120 l;

- A ordem de colocação dos materiais foi a seguinte: agregado miúdo, cal¹, cimento e água;
- O tempo de mistura foi de aproximadamente 9 min.

1.5 Caracterização da argamassa

1.5.1 Argamassas Estudadas

A Tabela 5 apresenta as características das argamassas estudadas.

Tabela 5 - Características das argamassas estudadas.

Características		Traços ²						
		TS1	TS2	TS3	TA1	TA2	TA3	
Traço unitário em massa	Cimento	1,00						
	Cal	1,49	3,12	4,27	0,77	1,17	1,34	
	Areia	6,09	10,15	13,70	5,40	5,98	6,75	
	Água	2,15	3,53	4,82	1,62	1,94	2,15	
Relação água/materiais secos		%	25,1	24,7	25,4	22,6	23,8	23,9
Teor de Cimento		%	11,7	7,0	5,3	13,9	12,3	11,0
Teor de Cal		%	17,4	21,9	22,5	10,7	14,4	14,7
Teor de Finos		%	26,7	25,6	24,4	23,9	25,0	24,1
Consumo de Cimento		kg/m³	170,6	96,2	63,8	191,5	175,3	157,3

1.5.2 Argamassa no estado fresco

Para a avaliação das propriedades das argamassas no estado fresco, foram realizados ensaios de consistência pelos métodos do espalhamento na mesa ABNT e pela penetração do cone, de acordo com as normas NBR 13276/2005 e ASTM C 780/1996, respectivamente. Também foram determinados a densidade de massa (NBR 13278/2005), a retenção de água (NBR 13277/2005) e os teores de ar, pelo método gravimétrico e pressométrico (NBR 13278/2005 e NBR NM 47/2002).

A Figura 3 apresenta os ensaios realizados com a argamassa no estado fresco.



Figura 3 - Ensaios de caracterização da argamassa no estado fresco: (a) espalhamento na mesa ABNT, (b) penetração do cone, (c) retenção de água, (d) teor de ar pelo método pressométrico.

As Tabelas 6 e 7 apresentam os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco e os tempos de aplicação, respectivamente.

Tabela 6 - Caracterização das argamassas no estado fresco.

Ensaios Realizados	TS1	TS2	TS3	TA1	TA2	TA3	Método de Ensaio
Consistência - espalhamento na mesa ABNT	192	182	193	154	190	200	NBR 13276/2005
Penetração do cone (mm)	53	67	69	40	54	47	ASTM C 780/1996
Densidade de massa (g/cm ³)	1,91	1,84	1,73	1,91	1,89	1,88	NBR 13278/2005
Retenção de água (%)	85	85	83	85	82	82	NBR 13277/2005
Teor de ar pressométrico (%)	4,2	6,5	11,0	11,0	6,0	5,6	NBR NM 47/2002
Teor de ar gravimétrico (%)	2,7	5,9	10,7	5,8	5,2	5,4	NBR 13278/2005

¹ A cal utilizada não foi maturada.

² As terminologias TS e TA referem-se ao método de Selmo (1989) e Gomes & Neves (2001), respectivamente.

Tabela 7 - Tempos de mistura, aplicação e execução da argamassa.

Ensaio Realizado	Unid.	TS1	TS2	TS3	TA1	TA2	TA3
Tempo de mistura na betoneira	min.	9					
Tempo de aplicação		7	13	10	10	14	12
Tempo de espera para sarrafeamento (1)		59	99	40	92	109	67
Tempo de sarrafeamento (2)		14	13	10	3	8	7
Tempo de espera para desempeno (3)		0	0	4	7	6	7
Tempo de desempeno (4)		12	13	10	8	10	8
Tempo de execução (1+2+3+4)		85	125	64	110	133	89

1.5.3 Argamassa no estado endurecido

Foram realizados os seguintes ensaios de caracterização:

a) Revestimento

- Mapeamento e medidas de fissuras;
- Resistência de aderência à tração (NBR 13528/1995); 12 repetições, de 50 mm de diâmetro;
- Resistência superficial (adaptada da NBR 13528/1995);
- Esclerometria de pêndulo;
- Permeabilidade e absorção de água pelo método do cachimbo (CSTC-NIT n° 140/1982).

b) Argamassa

- Módulo de elasticidade dinâmico (BS 1881:203/1986);
- Resistência à compressão e à tração na flexão (NBR 13279/2005).

A Figura 4 apresenta os ensaios realizados com a argamassa no estado endurecido.

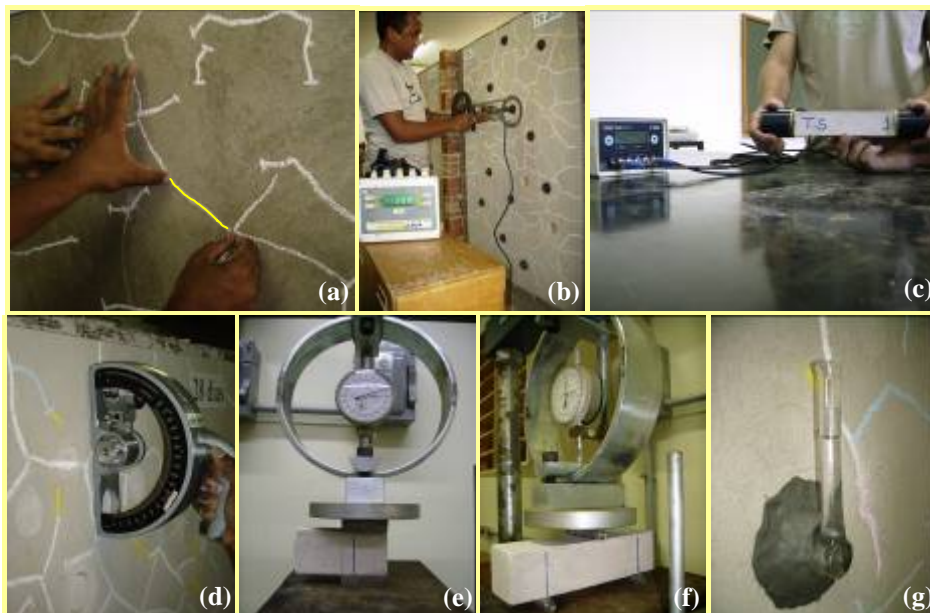


Figura 4 - Ensaios de caracterização da argamassa no estado endurecido: (a) mapeamento e medidas de fissuras³, (b) resistência de aderência à tração e resistência superficial, (c) módulo de elasticidade dinâmico, (d) esclerometria, (e) resistência à compressão, (f) resistência à tração na flexão, (g) permeabilidade e absorção de água pelo método do cachimbo.

³ A determinação foi obtida estendendo-se um barbante sobre a fissura, onde as medidas individuais foram acumuladas e por fim foi medido o comprimento total do barbante, representando fielmente a fissuração do painel.

2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As Tabelas 8 e 9 apresentam os resultados médios das propriedades avaliadas.

Tabela 8 - Resultados médios das propriedades estudadas no revestimento.

Propriedades		Valores Médios					
		TS1	TS2	TS3	TA1	TA2	TA3
Índice de fissuração (cm/m ²)	1 dia	1067	840	800	171	322	149
	3 dias	1118	1040	861	331	729	503
	7 dias	1163	1122	911	352	744	515
	28 dias	1190	1211	948	373	763	527
Resistência de aderência à tração (MPa)		0,19	0,10	0,06	0,25	0,22	0,15
Resistência superficial (MPa)		0,44	0,15	0,13	0,71	0,49	0,42
Esclerometria		77,4	N.D.	N.D.	94,7	80,4	77,2
Permeabilidade (cm ³)	1 min	1,28	1,07	2,33	1,38	1,55	1,97
	2 min	2,03	1,77	3,15	2,20	2,32	2,97
	3 min	2,63	2,32	3,85	2,70	2,90	3,45
	4 min	3,10	2,77	---	2,80	3,38	3,60
	5 min	3,87	3,20	---	3,10	3,60	3,90
	6 min	3,83	3,55	---	3,25	3,70	---
	7 min	---	3,90	---	3,45	4,00	---
	8 min	---	---	---	3,50	---	---
	9 min	---	---	---	3,75	---	---

N.D. não determinado

Tabela 9 - Resultados médios das propriedades estudadas na argamassa.

Propriedades	Valores Médios (28 dias)					
	TS1	TS2	TS3	TA1	TA2	TA3
Resistência à compressão (MPa)	1,78	1,22	1,11	5,83	3,94	2,96
Resistência tração na flexão (MPa)	1,03	0,29	0,19	2,69	1,82	1,46
Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	3781	1514	1886	6848	5607	5149

2.1 Fissuração

Para verificar se a variável adotada neste trabalho realmente exerce influência na fissuração das argamassas estudadas realizou-se uma análise estatística de variância (ANOVA), cujos resultados encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para o índice de fissuração aos 28 dias.

Fonte	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Traços	296738	5	59348	29674	4,39	significativo
Erro (resíduo)	12	6	2	----	----	----

$$R^2_{\text{mod}} = 0,99$$

Onde: SQ = soma dos quadrados; GL = Grau de liberdade; MQ = Média dos quadrados; F = parâmetro de Fischer para o teste de significância dos efeitos.

Na análise de variância, pode-se notar que o valor resultante do coeficiente de determinação do modelo adotado ($R^2_{\text{mod}} = 0,99$), significa dizer que 99% da variação total dos dados de fissuração é explicada pelo modelo, ou seja, pela variável adotada.

Evidenciou-se que o fator (variável) analisado é estatisticamente significativo a um nível de confiança de 95%. Isto quer dizer que esta variável exerce influência na fissuração das argamassas. Nesse sentido, para avaliar a magnitude que o fator influencia, têm-se os valores de F. Com base nesses valores, pode-se constatar a grande influência do traço na fissuração, uma vez que, o F_{cal} é nitidamente superior ao F_{tab} .

Foi realizada, também, a comparação múltipla de médias para o fator índice de fissuração. Essa comparação, efetuada pelo método de Duncan, mostrou a existência de seis grupos distintos, conforme a Figura 5.

TS1 TS2 TS3 TA1 TA2 TA3

Figura 5 - Disposição dos grupos definidos pela comparação múltipla de médias.

A Figura 6 apresenta o mapeamento das fissuras dos revestimentos após os 28 dias de idade de acompanhamento.

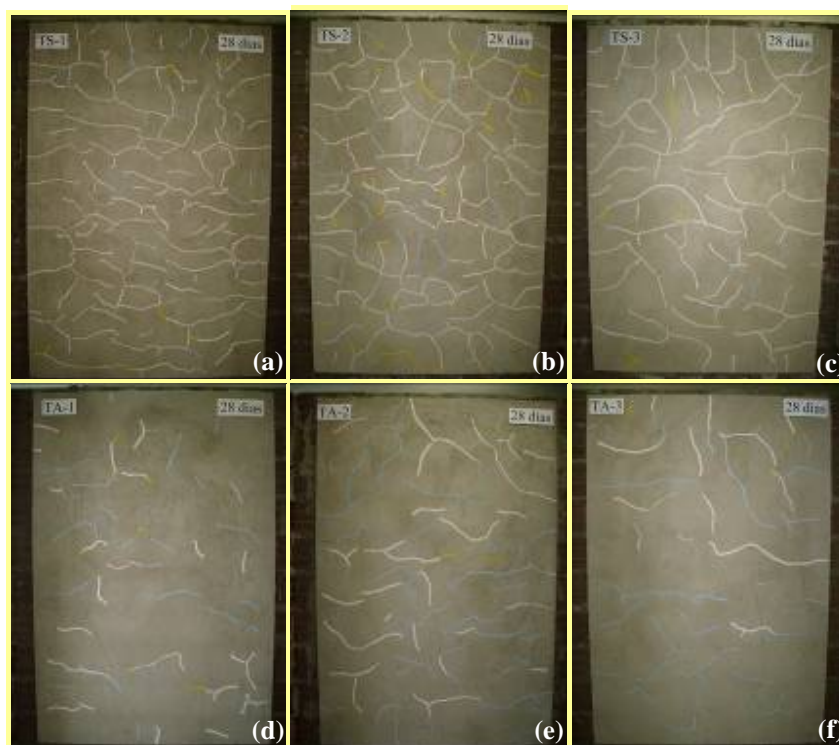


Figura 6 - Mapeamento de fissuras dos traços estudados: (a) TS1, (b) TS2, (c) TS3, (d) TA1, (e) TA2, (f) TA3 (Identificação de cores: branco - 1dia; azul - 3dias; vermelho - 7dias e amarelo - 28dias).

A evolução do índice de fissuração com a idade, para os diversos traços estudados, é apresentada na Figura 7 e os resultados médios encontram-se na Tabela 8, assim como os resultados das demais propriedades.

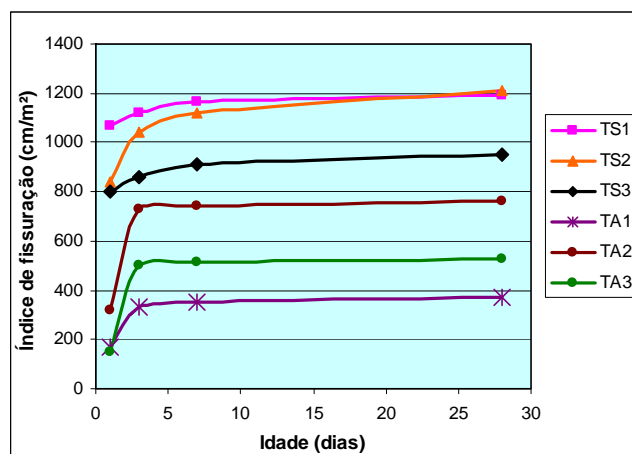


Figura 7 - Evolução do índice de fissuração com a idade.

De acordo com a Figura 7 pode-se constatar que o índice de fissuração⁴, para a maioria dos traços, apresentou-se mais acentuado nos três primeiros dias, uma vez que nesse período a resistência à tração da argamassa é baixa. A partir desta idade houve uma tendência de estabilização das fissuras.

Com base nos resultados do índice de fissuração aos 28 dias foi possível estabelecer uma correlação

⁴ Consiste na relação entre o comprimento linear total das fissuras e a área total do painel analisado.

com o teor de finos, como mostra a Figura 8, a seguir.

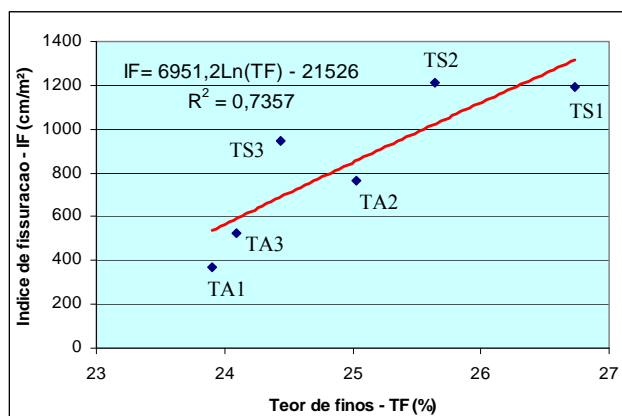


Figura 8 - Correlação entre o índice de fissuração e o teor de finos.

Observa-se na Figura 8, que o índice de fissuração cresce com o aumento do teor de finos, conforme observado por Paes *et al.* (1999) e Silva *et al.* (2007). Para os traços estudados, este comportamento apresentou-se de forma logarítmica. O crescimento da fissuração com o teor de finos pode ser explicado pela elevada retração por secagem, provocada pelo aumento da demanda de água, para uma mesma trabalhabilidade, em função do aumento da área específica decorrente dos elevados teores de finos (CARASEK, 2007). Outro fator relevante para a elevada fissuração foi o clima quente e seco que predominou no período de tempo de execução e avaliação deste estudo (28 dias). As temperaturas médias ficaram em torno de 32°C e a umidade relativa abaixo dos 20%.

2.2 Resistência de aderência à tração

Com o intuito de verificar se a variável adotada neste trabalho realmente exerce influência na resistência de aderência à tração das argamassas estudadas, realizou-se uma análise estatística de variância (ANOVA), cujos resultados encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para a resistência de aderência à tração.

Fonte	SQ	GL	MQ	F _{cal}	F _{tab}	Resultado
Traços	0,333	5	0,066	19,67	2,36	significativo
Erro (resíduo)	0,220	65	0,003	----	----	----

$$R^2_{\text{mod}} = 0,60$$

Através da análise de variância, pode-se notar, que o valor resultante do coeficiente de determinação do modelo adotado ($R^2_{\text{mod}} = 0,60$), significa dizer que 60% da variação total dos dados de resistência à aderência é explicada pelo modelo, ou seja, pela composição da argamassa.

Evidenciou-se que o fator (variável) analisado é estatisticamente significativo a um nível de confiança de 95%. Desta forma esta variável exerce influência na resistência de aderência à tração. Nesse sentido, para avaliar a magnitude que o fator influencia, têm-se os valores de F. Com base nesses valores, pode-se constatar a grande influência do tipo de traço na fissuração, uma vez que, o F_{cal} é nitidamente superior ao F_{tab} .

Foi realizada, também, a comparação múltipla de médias para o fator resistência de aderência à tração. Essa comparação, efetuada pelo método de Duncan, mostrou a existência de quatros grupos distintos, sendo que TS1 e TA2 estão contidos em dois grupos, conforme a Figura 9.

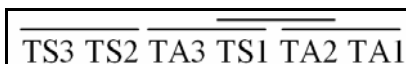


Figura 9 - Disposição dos grupos definidos pela comparação múltipla de médias.

A Tabela 12 apresenta os tipos de ruptura predominantes no ensaio de resistência de aderência à tração.

Tabela 12 - Tipo de ruptura predominante no ensaio de resistência de aderência à tração.

Traços	TS1	TS2	TS3	TA1	TA2	TA3
Tipo de ruptura predominante	a	b	b	a	a	a

Legenda: (a) argamassa/substrato (b) interior da argamassa de revestimento (NBR 13528/1995).

Na Figura 10 são mostrados, os valores médios globais da resistência de aderência à tração, determinada aos 28 dias de idade, para cada tipo de traço, com seus intervalos de confiança de 95% e seus desvios padrões.

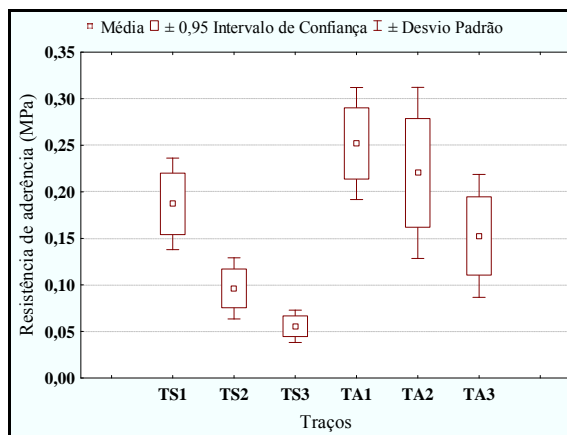


Figura 10 - Valores médios globais da resistência de aderência à tração para todos os traços de argamassa estudados com seus intervalos de confiança de 95% e seus desvios padrões.

É importante observar na Figura 10 que apenas os traços TA1 e TA2 tiveram os valores médios globais da resistência de aderência à tração superior ao valor especificado pela NBR 13528/1995, a qual exige uma resistência mínima de 0,2 MPa para revestimentos internos. Ressaltando que estas argamassas foram as que apresentaram os maiores teores de cimento, como pode ser observado também na Figura 11, que mostra uma correlação dos resultados entre a resistência de aderência à tração com o teor de cimento.

Percebe-se que o aumento do teor de cimento provoca, proporcionalmente, um aumento linear na resistência de aderência à tração das argamassas, comportamento este, também comprovado por Carasek (1996) e Pereira *et al.* (1999). Isto se deve ao fato de que a aderência decorre do intertravamento da etringita no interior dos poros do substrato, conforme estudos, em nível microestrutural realizados por Carasek (1996).

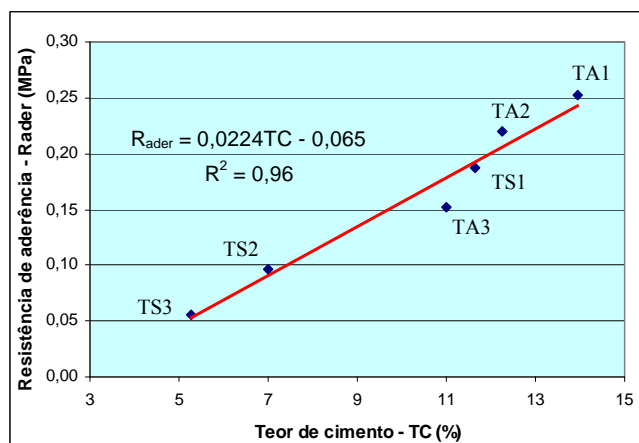


Figura 11 - Correlação entre os valores médios da resistência de aderência à tração e o teor de cimento.

2.3 Resistência superficial

A Figura 12 apresenta as correlações obtidas a partir dos resultados dos ensaios de resistência superficial. Sendo que a Figura 12-a apresenta a correlação com os valores de esclerometria e a Figura 12-b com o teor de cimento.

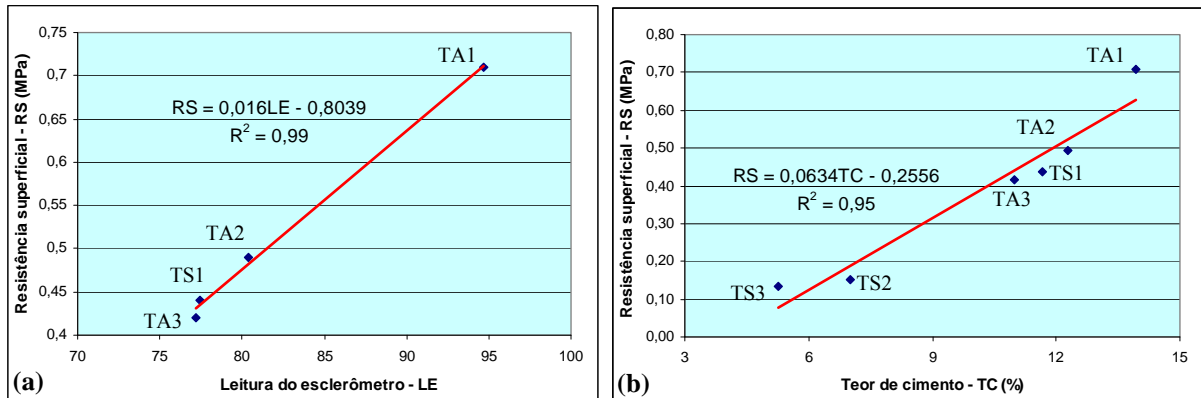


Figura 12 - (a)⁵ Correlação entre a resistência superficial e o índice esclerométrico, (b) Correlação entre a resistência superficial e o teor de cimento.

Percebe-se na Figura 12 que a resistência superficial é diretamente proporcional ao índice esclerométrico e o teor de cimento. Isto pode ser explicado pela capacidade de aglomeração do cimento, que propicia uma maior rigidez superficial, reduzindo a pulverulência. Outro fator que vem a contribuir para esse aumento na resistência superficial é a carbonatação da superfície da argamassa.

2.4 Outras propriedades avaliadas

A Tabela 13 apresenta os resultados da avaliação empírica dos revestimentos estudados na idade de 28 dias. Para a rugosidade a avaliação foi feita por meio de observação tátil-visual; para a dureza ao risco utilizou-se um prego e o desgaste por abrasão foi avaliado com uma pedra abrasiva.

Tabela 13 - Avaliação tátil-visual dos revestimentos aos 28 dias de idade.

Ensaio Realizado	TS1	TS2	TS3	TA1	TA2	TA3
Rugosidade	áspero	áspero	áspero	áspero	áspero	áspero
Dureza ao risco	duro	duro	pouco duro	duro	duro	duro
Desgaste por abrasão	moderado	moderado	fácil	moderado	moderado	moderado

Com o objetivo de ampliar a caracterização das argamassas estudadas no estado endurecido, foram avaliadas também as propriedades como a resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade dinâmico. A Figura 13 apresenta as correlações encontradas com os resultados obtidos com essas propriedades.

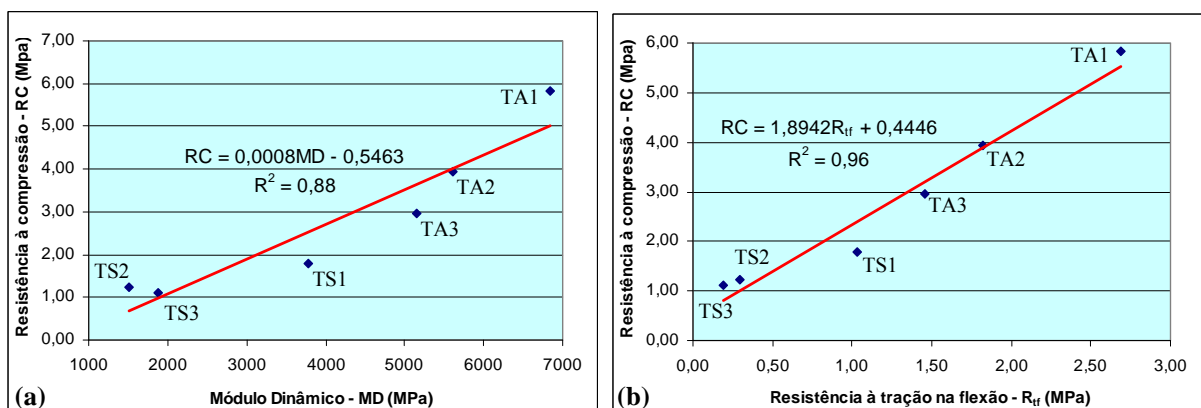


Figura 13 - (a) Resistência à compressão x módulo dinâmico, (b) Resistência à compressão x resistência à tração na flexão.

3. CONCLUSÕES

Do presente estudo pode-se destacar as seguintes conclusões:

- A composição (traço) das argamassas apresentou influência significativa quanto à fissuração e

⁵ Para os traços TS2 e TS3 não foi possível obter as leituras, em função da pouca sensibilidade do aparelho para leituras abaixo de 60.

a resistência de aderência à tração dos revestimentos;

- Constatou-se que o aumento do teor de finos acarretou uma maior fissuração para os revestimentos estudados. Isto se deve ao aumento da retração plástica, que foi potencializada pela granulometria uniforme do agregado miúdo, cimento com elevada finura e clima quente e seco;
- Observou-se que nos três primeiros dias de idade a fissuração foi mais acentuada devido à baixa resistência à tração da argamassa;
- Verificou-se que a resistência de aderência à tração é diretamente proporcional ao teor de cimento, fato este que pode ser explicado pela ancoragem promovida pelo intertravamento da etringita no interior dos poros do substrato;
- Quanto à resistência superficial, constatou-se, também, que o teor de cimento exerce grande influência;
- Com base nos dados de esclerometria de pêndulo é possível estimar a resistência superficial facilitando a determinação desta propriedade em campo, para um mesmo tipo de substrato;
- Com relação à resistência à compressão das argamassas estudadas foram obtidas correlações confiáveis com o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à tração na flexão, conforme foi verificado, também, por Monte *et al.* (2007).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** 1996. 285p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G.C. (Ed.) **Materiais de Construção Civil.** São Paulo : Ibracon, cap.26, v.2, 2007, p.863-904.

GOMES, A. O.; NEVES, C. M. M. **Proposta de método de dosagem racional de argamassas contendo argilominerais.** In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2001, Brasília. Anais. Brasília: PECC/ANTAC, 2001, p 291-304.

MONTE, R.; SILVA, A. C.; FIGUEIREDO, A.D. **Avaliação da influência do teor de ar no módulo de elasticidade de argamassas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 7º, 2007, Recife. Anais... Recife, 2007.

PAES, I. N. L.; ANDRADE, M. A. S.; ANGELIN, R.R.; HASPARYK, N. P.; OLIVEIRA, R. A.; PASSOS, J. S.; THON, D. G.; CARASEK, H. **O efeito de finos calcários nas propriedades da argamassa de revestimento.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 3º, 1999, Vitória. Anais... Vitória, 1999, p. 335-347.

PEREIRA, P.C.; IKEDA, J.A.; IKEDA, N.A.; CAMPOS, C.O.; TEIXEIRA, L.M.; CARASEK, H. **Teor de cimento ou a/c: quem exerce maior influência?** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 3º, 1999, Vitória. Anais... Vitória, 1999, p. 489-502.

SELMO, S.M.S. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios.** São Paulo: USP, 1989. 187p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C.; GLEIZE, P. J. P. **A influência dos finos de areia de britagem de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 7º, 2007, Recife. Anais... Recife, 2007.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à Universidade Católica de Goiás, ao CEFET-GO e ao NUTEA-UFG pelo espaço físico e equipamentos cedidos, bem como à FURNAS pela realização da análise química dos aglomerantes e ao Engº. Marcelo B. Lima pela valiosa contribuição na análise estatística.