CLÁUDIO OLIVEIRA SILVA

**ANÁLISE CRÍTICA DOS REQUISITOS E CRITÉRIOS
DE QUALIDADE DA ARGAMASSA COLANTE**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia

São Paulo
2003

CLÁUDIO OLIVEIRA SILVA

**ANÁLISE CRÍTICA DOS REQUISITOS E CRITÉRIOS
DE QUALIDADE DA ARGAMASSA COLANTE**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil e
Urbana

Orientadora:
Profa. Dra. Maria Alba Cincotto

São Paulo
2003

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Cláudio Oliveira

**Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da
argamassa colante/ Cláudio Oliveira Silva. -- São Paulo, 2003.
198p.**

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.**

1.Argamassa colante (Requisitos; Métodos; Critérios)

**2.Garantia da qualidade I.Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil
II.t.**

Meus pais, Mauro e Thereza.
Meus sogros, Bastos (in memoriam) e Dora.
Minha esposa, Vanessa,
minhas filhas, Caroline e Bruna
A vocês,
todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

Aos que acham que tudo sabem e gostam de realizar seus feitos sozinhos, digo que, o mais gratificante de realizar um trabalho como este, é saber que se pode contar com a ajuda de outras pessoas, ajuda necessária nos momentos de desânimo e indecisão, ajuda que impulsiona e fortalece.

Por isso, divido essa vitória com muitos. Em especial com a Prof^ª. Maria Alba Cincotto, orientadora e grande incentivadora, a quem muito agradeço.

Com a amiga Elza Hissae Nakakura, que muito contribuiu, não só com seu conhecimento técnico, mas com apoio e amizade nos momentos difíceis.

Com a Associação Brasileira de Cimento Portland, a Yushiro Kihara e Arnaldo Forti Battagin, que apoiaram a realização desse trabalho. Com os colegas do Laboratório da ABCP: Joaquim Macedo, Luiz, Alexander, Rubens, Heber, Edgar, Fogaça, Adilson, Agnaldo, Matheus e em especial a Celina Yokoyama. Com os amigos e companheiros de trabalho: Francisco Campos, Vagner, Sérgio, Flávio, Pecchio, Planelles, Rubens Curti, Antonia, Vanini, Armando, Davidson, Auri e Eliana.

Com a Escola Politécnica da USP, aos professores Silvia Selmo, Kai, Vanderley John, Fernando Sabbatini, Mércia Bottura, Jonas Medeiros e Welington Reppete.

Com os funcionários Fátima, Engrácia e Paulinho e com os amigos de pós-graduação: Rubiane, Yêda, Fábio, Max e Daniel.

Com o amigo Carlos Eduardo Regattieri que muito colaborou com este trabalho.

Com a professora Sônia Abrão Copat que revisou o trabalho.

A todos retribuo, pedindo a Deus que vos ilumine com toda sorte, prosperidade e muita paz.

Muito Obrigado!

RESUMO

Os métodos de ensaio editados pela ABNT para caracterizar argamassas colantes foram um avanço em termos de normalização do produto e ajudaram a melhorar sua qualidade. Entretanto, os métodos apresentam dispersão expressivamente elevada e especificam condições de ensaios que não condizem com a realidade das condições de campo.

Em vista dessas discrepâncias, o presente trabalho analisa a normalização nacional juntamente com a normalização dos principais organismos internacionais. Para avaliar os principais requisitos de qualidade, foram estudadas dez amostras comerciais de argamassa colante.

Através da análise dos resultados obtidos são propostas alterações nos métodos de ensaio da normalização da ABNT, como o deslizamento, tempo em aberto teórico e resistência de aderência à tração. Os pontos principais visam à alteração de critérios de qualidade e a condição ambiental de laboratório.

Entre as propostas estão: 1) especificação do ensaio deslizamento apenas para produtos com esse propósito, 2) a eliminação do requisito resistência de aderência à tração na condição de cura em estufa, 3) novo critério para o requisito de resistência de aderência à tração na condição de cura submersa, 4) especificação de nova faixa de temperatura para a condição de clima quente na avaliação do tempo em aberto teórico e 5) inclusão do método de ensaio de tempo em aberto com a ruptura da película superficial.

Além disso, são propostas a incorporação de métodos de ensaios utilizados para avaliação da uniformidade da argamassa durante a produção como: a perda de massa, resíduo em peneira e densidade de massa aparente. Também são propostas alterações na especificação e caracterização do substrato-padrão utilizados nos ensaios.

ABSTRACT

The Associação Brasileira de Normas Técnicas essay methods to characterize cementitious adhesives for tiles represented an advance in terms of standardization of the product and helped to improve its quality. However, the methods present high dispersion of results and specify essay conditions that do not correspond to the site real conditions.

In view of these discrepancies, the present work brings out an analysis of the national standards and a comparison to the main international standards. To check for the main quality requirements, a study was carried out with ten samples of commercial cementitious adhesives for tiles.

Through analysis of the results, changes in the ABNT essay methods are proposed as to slip, open time and tensile adhesion strength. The main issues aim at changing the performance criteria and the laboratory ambient conditions.

Among the proposals are the following: 1) specification of essay slip only for products with this purpose, 2) the elimination of heat curing in the tensile adhesion strength essay, 3) new criterion for water immersion curing, a new band of temperature for the warm climate condition in the evaluation of theoretical open time and 5) the inclusion of an open time essay method with rupture of the superficial film.

Moreover, it is proposed essay methods for evaluation of the uniformity of the mortar during its production process like mass loss, sieve residue and apparent mass density. Also, changes in the specification and characterization of the concrete slab used in essays are proposed.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Justificativa	2
1.3	Estrutura do Trabalho.....	5
2	A NORMALIZAÇÃO NACIONAL E A INTERNACIONAL	7
2.1	Definição e Terminologia da Argamassa Colante	
	Industrializada	7
2.2	Classificação da Argamassa Colante.....	8
2.2.1	Requisitos de classificação	15
2.3	Requisitos e Critérios Gerais.....	16
2.3.1	Condições ambientais de laboratório.....	16
2.3.2	Substrato-padrão	21
2.3.3	Água de amassamento	26
2.3.4	Procedimento de mistura	26
2.3.5	Tempo de maturação	27
2.3.6	Procedimento de aplicação da argamassa colante	28
2.3.7	Rendimento	29

2.4	Síntese das investigações necessárias para os requisitos e critérios gerais	29
3	REQUISITOS, CRITÉRIOS E ENSAIOS NO ESTADO ANIDRO	30
3.1	Densidade de Massa Aparente	30
3.2	Resíduo em Peneira.....	31
3.3	Perda de Massa a 110°C	33
3.4	Perda de Massa a 450°C	33
3.5	Síntese das investigações necessárias para o estado anidro	34
4	REQUISITOS, CRITÉRIOS E ENSAIOS NO ESTADO FRESCO	35
4.1	Tempo em Aberto Teórico.....	35
4.2	Tempo de Formação de Película.....	42
4.3	Tempo de Correção.....	45
4.4	Deslizamento na Posição Vertical.....	49
4.5	Plasticidade	54
4.6	Coesão após Assentamento.....	55
4.7	Consistência	56
4.8	Viscosidade	56
4.9	Tempo de Pega	57
4.10	Tempo Útil	60
4.11	Retenção de Água.....	61
4.12	Manchamento da Placa Cerâmica.....	63

4.13	Síntese das investigações necessárias para o estado fresco.....	63
5	REQUISITOS, CRITÉRIOS E ENSAIOS NO ESTADO	
	ENDURECIDO	64
5.1	Resistência de Aderência à Tração.....	64
5.2	Resistência de Aderência ao Cisalhamento.....	73
5.3	Capacidade de Absorver Deformações	78
5.4	Resistência à Compressão e Módulo de Deformação.....	80
5.5	Retração por secagem.....	81
5.6	Resistência ao Impacto	85
5.7	Absorção de Água	86
5.8	Resistência a Fungos	86
5.9	Síntese das investigações necessárias para o estado endurecido.....	88
6	ESTUDO REALIZADO	89
6.1	Seleção dos Materiais.....	89
6.2	Programa Experimental	90
6.3	Caracterização dos Materiais.....	92
6.3.1	Substrato-padrão	92
6.3.2	Placas cerâmicas	93
6.3.3	Argamassa colante	94
6.4	Análise dos Requisitos	102
6.4.1	Requisitos no estado anidro	102
6.4.2	Requisitos no estado fresco	109
6.4.3	Propriedades no estado endurecido	131

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
7.1	Conclusões.....	142
7.2	<i>Requisitos de Qualidade Recomendados</i>	146
7.3	Sugestões Para Estudos Futuros	147
	ANEXO 2 - ILUSTRAÇÃO DAS ETAPAS DE UTILIZAÇÃO	188
	NORMAS E BIBLIOGRAFIA	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resultados de resistência de aderência à tração com cura ao ar pelo método NBR 14084 ilustrando a baixa reprodutibilidade dos resultados entre os laboratórios A, B, C e D e também a baixa repetibilidade em alguns laboratórios entre as amostras A/E, B/C e D/F (TESIS, 2002).	4
Figura 2 – Resultados de resistência de aderência à tração para determinação do tempo em aberto teórico aos 15 min pelo método NBR 14083 ilustrando a baixa reprodutibilidade dos resultados entre os Laboratórios A, B, C e D e também a baixa repetibilidade em alguns laboratórios entre as amostras A/E, B/C e D/F (TESIS, 2002).	5
Figura 3 – Ilustração das temperaturas máximas médias anuais no Brasil registradas entre 1931 e 1990 pelo INMET.	17
Figura 4 – Ilustração das umidades relativas máximas médias anuais no Brasil registradas entre 1931 e 1990 pelo INMET.	18
Figura 5 – Carta de ventos predominantes no Brasil registrada em 1998 pelo CBEE.	19
Figura 8 – Aspecto apresentado pela camada superficial de cordões de argamassa colante. Observa-se na foto (a), nos tipos AC I e AC III, o brilho na superfície causado pela presença de água. Na foto (b) os dois tipos apresentam superfícies opacas, após 20 minutos da aplicação, denotando a evaporação da água. Na foto (c) observa-se que após romper a camada superficial ainda há argamassa fresca abaixo dela (lado direito das fotos). Para o tipo AC III, observa-se a formação de fissuras, decorrentes da maior resistência superficial durante o rompimento da “película”. Estudo realizado pelo autor (ABCP, 2003).	37
Figura 9 –Determinação do tempo em aberto teórico (ANSI, 1999a,b).	40

Figura 10 - Ensaio de tempo de formação de película (IRAM, 1986d) Observa-se as massas de 2 kg utilizadas no carregamento das placas cerâmicas.....	44
Figura 11 – Ilustração do ensaio de determinação do tempo de correção – (DIN, 1978). A placa na parte inferior já foi girada e retornada à posição original, observando-se o esmagamento dos cordões. Na placa do meio observa-se a execução manual da mudança de posição (giro a 90°), simulando a correção.....	47
Figura 12 – Ilustração do conjunto montado para o ensaio de deslizamento. A régua metálica, presa por sargentos, apóia os espaçadores de 25 mm, já retirados, utilizados para posicionar as placas cerâmicas (ABNT, 1998e).....	50
Figura 13 - Determinação da plasticidade pelo método UEAtc. Verifica-se a aplicação do peso de 5 N sobre uma das placas de vidro, que posteriormente será carregada com 10 N e 20 N.	54
Figura 14 - Determinação da viscosidade por meio do viscosímetro Brookfield.....	57
Figura 15 – Determinação de tempo de pega pelo equipamento Gilmore – (ANSI, 1999a,b).....	59
Figura 16 – Determinação da retenção de água por meio do papel-filtro – NBR 13277 – A argamassa preenche o recipiente que se acha coberto com papel-filtro faixa branca com 85 g/cm ² e diâmetro de 110 mm (12 discos por determinação). Ao lado a massa de 2 kg a ser aplicado sobre o papel.	61
Figura 17 - Determinação da retenção de água por meio do funil de Büchner – (UEAtc, 1990; ASTM, 2002). Do lado esquerdo da figura observa-se a bomba de vácuo para aplicação da sucção. Na parte superior está a base perfurada que será preenchida com argamassa após colocação do papel-filtro com diâmetro de 150 mm, apresentado do lado direito da figura. No centro está o erlenmeyer contendo a água succionada.....	62

Figura 18 - Determinação da resistência de aderência à tração – (ABNT, 1998d). Observa-se a execução do ensaio de tração por meio de dinamômetro digital, com célula de carga com capacidade de 5 KN	66
Tabela 19 – Critérios de avaliação da resistência de aderência à tração.....	68
Tabela 20 – Variáveis de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração	69
Figura 19 – Ilustração gráfica da variação nos resultados de resistência de aderência à tração por efeito de cura ao ar e em estufa para diferentes produtos (ABCP, 2002).....	71
Figura 20 - Ilustração gráfica da variação nos resultados de resistência de aderência à tração por efeito de cura ao ar e submersa para diferentes produtos (ABCP, 2002).....	72
Figura 21 – Ilustração do ensaio de deformação transversal por flexão – (CEN, 1998) – Observa-se o corpo-de-prova de argamassa apoiado sobre pórtico metálico com vão de 200 mm. A carga é aplicada pelo dispositivo de ensaio na parte central da superfície superior.	79
Figura 22 – Determinação do deslizamento e indicação do teor de água de amassamento – (ABNT, 1998e).....	95
Figura 23 – Determinação da resistência de aderência à tração para os tempos em aberto teóricos – Apresenta a resistência de aderência à tração em função do intervalo de tempo em aberto: (10, 15 e 20) min para as classes AC I e (15, 20 e 25) min para as classes AC II e AC III – (ABNT, 1998c).	97
Figura 24 – Determinação da resistência de aderência à tração em função das condições de cura ao ar, submersa e estufa a 70°C para as classes AC I, AC II e AC III – NBR 14084/1998d – As amostras 2 e 4 não apresentaram resistência de aderência na condição de cura em estufa.	99
Figura 25 – Determinação da densidade de massa aparente –(ABNT, 1998f).	100

Figura 26 – Determinação do resíduo em peneira 1,0 mm – (ABNT, 1998f) As amostras 3, 4, 7 e 10 não apresentaram material retido na peneira 1,0 mm. ...	101
Figura 27 – Determinação do resíduo em peneira 1,0 mm; 0,5 mm; 0,15 mm e 0,075 mm.	102
Figura 28 – Determinação da perda de massa a 110°C e 450°C e indicação da porcentagem passante na peneira 0,075 mm.....	104
Figura 29 – Correlação entre o teor de aditivos presente na argamassa e a perda de massa a 450°C.	105
Figura 30 – Curvas DTA, TG – amostra 1.....	106
Figura 31 - Curvas DTA, TG – amostra 2.	106
Figura 32 - Curvas DTA, TG – amostra 3.	107
Figura 33 - Curvas DTA, TG – amostra 4.	107
Figura 34 - Curvas DTA, TG – amostra 5.	107
Figura 35 - Curvas DTA, TG – amostra 6.	108
Figura 36 - Curvas DTA, TG – amostra 7.	108
Figura 37 - Curvas DTA, TG – amostra 8.	108
Figura 38 - Curvas DTA, TG – amostra 9.	109
Figura 39 - Curvas DTA, TG – amostra 10.	109
Figura 40 – Determinação do deslizamento em função do tipo de placa cerâmica e com indicação do teor de água de amassamento.	110
Figura 41 - Determinação do deslizamento em função do aumento do teor de água de amassamento.....	111

Figura 42 – Apresentação dos resultados de resistência de aderência à tração para determinação do tempo em aberto teórico. Comparação entre os resultados dos métodos ABNT e UEAtc em função do intervalo de tempo em aberto: ABNT - (10, 15 e 20) min para as classes AC I e (15, 20 e 25) min para as classes AC II e AC III. UEAtc - (15 e 20) min para as classes AC I e (20 e 25) min para as classes AC II e AC III.	113
Figura 43 – Variação dos resultados de tempo em aberto teórico determinados pelos métodos ABNT e UEAtc em função do intervalo de tempo: ABNT - (10, 15 e 20) min para as classes AC I e (15, 20 e 25) min para as classes AC II e AC III. UEAtc - (15 e 20) min para as classes AC I e (20 e 25) min para as classes AC II e AC III.....	114
Figura 44 – Determinação do tempo de adesão inicial em função da temperatura ambiente – (ANSI, 1999a,b).	115
Figura 45 - Determinação do tempo de formação de película – (IRAM, 1986d). Para cada amostra a porcentagem de área de argamassa aderida à placa cerâmica foi avaliado a partir do intervalo de 5 min e até o intervalo cujo valor fosse menor que 50% de área de argamassa aderida ao tardo da placa cerâmica.....	117
Figura 46 - Comparação entre os resultados de tempo em aberto teórico pelos métodos NBR 14083 (ABNT, 1998) e UEAtc (1990) em função do tempo de formação de película pelo método IRAM 1759 (IRAM, 1986) no intervalo em aberto de 20 min e com a indicação da perda de massa a 450°C.....	118
Figura 47 – Determinação da plasticidade em função do intervalo de tempo para colocação da placa de vidro de (10x10)cm sobre os cordões de argamassa e aplicação de peso de 50 N – (CEN, 1999d).....	120
Figura 48 - Determinação da plasticidade em função da intervalo de tempo para colocação da placa de vidro (5x5)cm sobre os cordões de argamassa e aplicação de peso de 20 N – (UEAtc, 1990).	121

Figura 49 – Determinação do tempo de correção – Intervalo em aberto de 10 min e correção com giro a 90° após intervalo de 10 min a partir do assentamento (DIN, 1978).	122
Figura 50 - Avaliação da influência dos tempos de maturação e útil na resistência de aderência à tração após intervalos em aberto de 15 min para a classe AC I e 20 min para as classes AC II e AC III - (UEAtc, 1990; ABNT, 1998c).....	123
Figura 51 - Determinação dos tempos de início e fim de pega com equipamento Gilmore, nas condições ambientais de temperatura 23°C e umidade 50% e temperatura 38°C e umidade 35% (ANSI 1999a,b).	125
Figura 52 - Determinação da retenção de água pelos métodos UEAtc (1990); ABNT (1995) e ABNT (2001).	127
Figura 53 - Determinação da retenção de água em função do intervalo de tempo da argamassa em contato com o papel-filtro – (ABNT, 1995).	128
Figura 54 - Determinação da viscosidade por meio do viscosímetro de Brookfield – Utilização de fuso “spindle” TB na velocidade de 10 RPM.....	129
Figura 55 – Tentativa de correlação entre a viscosidade determinada após 15 min de tempo de maturação e o deslizamento determinado conforme a NBR 14085 (ABNT, 1998e) com placa de porcelanato. Resultado da amostra 5 considerado espúrio.	130
Figura 56 – Tentativa de correlação entre a viscosidade determinada após 20 min de tempo de maturação e a porcentagem de área de argamassa aderida ao tardo da placa cerâmica, após 20 min de intervalo em aberto do ensaio de tempo de formação de película determinado conforme a norma IRAM 1759 (IRAM, 1986d).....	130
Figura 57 – Tentativa de correlação entre a viscosidade determinada após 20 min de tempo de maturação e a porcentagem de área de argamassa em contato com a placa de vidro, após 20 min de tempo de intervalo em	

aberto e aplicação de peso de 20 N do ensaio de plasticidade determinada conforme a norma UEAtc (1990).....	131
Figura 58 - Determinação da resistência de aderência à tração com condição de cura ambiente, em estufa às temperaturas de 70°C e 40°C – (ABNT, 1998d). Quando não possível adotar a média ABNT foi utilizada a média DIN.....	132
Figura 59 - Determinação da resistência de aderência à tração na condição de cura ambiente em função da absorção de água da placa cerâmica – NBR 14084/1998d.....	134
Figura 60 - Determinação da resistência de aderência à tração na condição de cura submersa em função da absorção de água da placa cerâmica – NBR 14084/1998d.....	135
Figura 61 - Determinação da resistência de aderência à tração na condição de cura em estufa a 70°C em função da absorção de água da placa cerâmica – NBR 14084/1998d.	136
Figura 62 - Determinação da resistência de aderência ao cisalhamento – (ANSI, 1999a,b).....	137
Figura 63 – Correlação entre a resistência de aderência ao cisalhamento, determinada conforme as normas A118.1 e A118.2 (ANSI, 1999a,b) e a resistência de aderência à tração, determinada conforme a norma NBR 14084 (ABNT, 1998d), ambos na condição de cura ao ar durante 28 dias. Os resultados da amostra 2 foram considerados espúrios.....	138
Figura 64 – Determinação da deformação transversal por flexão – Apresenta a resistência à flexão e a deformação no momento da ruptura – (CEN, 1998).	139
Figura 65 – Determinação da retração por secagem em corpos-de-prova prismáticos (25x25x280)mm. Condição de cura – até 24 h na fôrma e após	

desforma até 168 h na câmara seca a 23°C e umidade de 50% (ABNT, 2001). 141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos e classificação das argamassas colante nas diversas normas	14
Tabela 2 – Requisitos de qualidade especificados para a argamassa colante	15
Tabela 3 – Condições ambientais do laboratório	16
Tabela 4 – Tipos de substrato especificados	21
Tabela 5 – Parâmetros e requisitos do substrato-padrão	22
Tabela 6 – Critérios para avaliação do resíduo em peneira	31
Tabela 7 – Variáveis de ensaio para determinação do resíduo em peneira.....	32
Tabela 8– Critérios para avaliação do tempo em aberto teórico.....	40
Tabela 9 – Variáveis de ensaio para a determinação do tempo em aberto teórico	41
Tabela 10 – Critérios para avaliação do tempo de formação de película.....	44
Tabela 11– Variáveis de ensaio para determinação do tempo de formação de película	45
Tabela 12 – Variáveis de ensaio para determinação do tempo de correção.....	48
Tabela 13 – Critérios para avaliação do tempo de correção	49
Tabela 14 – Critérios para avaliação do deslizamento.....	52
Tabela 15 – Variáveis de ensaio para determinação do deslizamento	53
Tabela 16– Critérios para avaliação da plasticidade	55
Tabela 17 –Variáveis de ensaio para determinação da plasticidade	55
Tabela 18 – A118.1 e A118.4 - Critérios para avaliação dos tempos de pega.....	59
Tabela 19 – Critérios de avaliação da resistência de aderência à tração.....	68

Tabela 20 – Variáveis de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração	69
Tabela 21 – Variáveis de ensaio para determinação da resistência de aderência ao cisalhamento	76
Tabela 22 – Critérios de avaliação da resistência de aderência ao cisalhamento	77
Tabela 23 – Critérios para avaliação da deformação transversal por flexão.....	80
Tabela 24 – Variáveis de ensaio para determinação da deformação transversal por flexão	80
Tabela 25– Critérios para avaliação da retração	84
Tabela 26 – Variáveis de ensaio para determinação da retração	84
Tabela 27 – Critérios para estabelecimento de tipo de desempenho em função da resistência ao impacto (UEAtc, 1990).....	85
Tabela 28 – Identificação das amostras de argamassa colante	89
Tabela 29 - Etapas de caracterização e experimentais do trabalho	91
Tabela 30 – Caracterização do substrato-padrão	92
Tabela 31 – Caracterização das placas cerâmicas.....	93
Tabela 32 – Determinação do deslizamento – (ABNT, 1998e).....	94
Tabela 33 – Determinação do tempo em aberto teórico – (ABNT, 1998c).....	96
Tabela 34 – Determinação da resistência de aderência à tração – (ABNT, 1998c).....	98
Tabela 35 – Determinação da densidade de massa aparente – (ABNT, 1998f).....	100
Tabela 36 – Determinação do resíduo em peneira 1,0 mm – (ABNT, 1998f).....	101

Tabela 37 – Determinação da perda de massa a 110°C e 450°C (IRAM, 1985b; UEAtc, 1990)	103
Tabela 38 – Características das placas utilizadas na determinação do deslizamento.....	110
Tabela 39 – Determinação do tempo em aberto teórico – (UEAtc, 1990).....	113
Tabela 40 – Determinação do tempo de adesão inicial – (ANSI, 1999a,b).....	115
Tabela 41 – Determinação do tempo de formação de película – (IRAM, 1986d)...	116
Tabela 42 – Determinação da plasticidade – (CEN, 1999d).....	119
Tabela 43 – Determinação da plasticidade – UEAtc (1990).....	120
Tabela 44 – Determinação do tempo de correção – (DIN, 1978)	122
Tabela 45 – Determinação dos tempos de pega – (ANSI 1999a,b)	125
Tabela 46 - Determinação da retenção de água (UEAtc, 1990; ABNT, 1995; ABNT 2001)	126
Tabela 47 – Determinação da resistência de aderência à tração NBR 14084/1998 – cura a temperatura de 40°C	132
Tabela 48 – Determinação da resistência de aderência à tração – <u>cura ao ar</u> NBR 14084/1998	134
Tabela 49 – Determinação da resistência de aderência à tração - <u>cura submersa</u> NBR 14084/1998	135
Tabela 50 – Determinação da resistência de aderência à tração - <u>cura em estufa</u> NBR 14084/1998	136
Tabela 51 – Ensaios para controle de produção e recebimento	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AFNOR – Association française de normalisation

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento

ANSI – American National Standard Specifications

ASCER – Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos

ASTM – American Society for Testing and Materials

BS - British Standard

BSI – British Standards Institution

CB-18 – Comitê Brasileiro de cimento, concreto e agregados

CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica

CEN – Comité Européen de Normalisation

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

cP - centipoise

CV – coeficiente de variação

DIN – Deutsches Institut für Normung

DP – desvio padrão

DTA – análise térmica diferencial

EN - Européen Normalisation

EVA - etileno vinil acetato

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IRA – initial rate absorption

IRAM – Instituto Argentino de Racionalización de Materiales

HEC – Hidroxietil celulose

MA – média aritmética

NBR – Norma Brasileira Registrada

Pa.s – Pascal.segundo

PBPQ-H – Programa Brasileiro de Produtos e Qualidade do Habitat

UEAtc – Union Européene pour l’Agrément technique dans la construction

TESIS – Tecnologia de Sistemas em Engenharia S/C Ltda

TG - Termogravimetria

1 INTRODUÇÃO

Os estudos para normalização da argamassa colante no Brasil iniciaram-se oficialmente em 1994, como consta dos arquivos do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (CB-18) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com registro em ata da primeira reunião da Comissão de Estudos de argamassa colante, datada de 08 de janeiro de 1994.

A normalização brasileira foi baseada nos projetos TC 67 do Comitê Europeu de Normalização (CEN), criado em 1989 com o objetivo de harmonizar as principais normas de argamassa colante existentes na Comunidade Européia.

Os projetos de norma da ABNT foram aprovados e publicados em junho de 1998, abrangendo:

- NBR 14081/1998 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Especificação.
- NBR 14082/1998 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios.
- NBR 14083/1998 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação do tempo em aberto.
- NBR 14084/1998 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação da resistência de aderência à tração.
- NBR 14085/1998 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação do deslizamento.
- NBR 14086/1998 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Ensaio de caracterização no estado anidro.

A especificação brasileira deixou de contemplar vários requisitos constantes em especificações internacionais, que se considera importantes para avaliar o desempenho da argamassa colante, como: a resistência de aderência ao cisalhamento, o tempo de correção, o tempo de formação de película, a plasticidade, o tempo de

pega, a retração, a capacidade de absorver deformações e a retenção de água. Além destes, ainda merecem ser melhor estudados: a resistência de aderência à tração, o tempo em aberto teórico, o deslizamento, o tempo útil e o tempo de maturação.

1.1 Objetivos

O objetivo desta pesquisa é apresentar um panorama da normalização nacional e internacional da argamassa colante, analisando os requisitos e critérios de qualidade apresentados, visando contribuir com subsídios para a revisão da normalização brasileira. Aborda a análise dos métodos de ensaio e sua objetividade prática.

Para atingir essa finalidade:

- foram reunidos os principais métodos de ensaio da argamassa colante, constante de especificações internacionais;
- analisadas as variáveis de ensaio abordadas na especificação nacional, comparativamente à especificação internacional;
- analisados os requisitos¹ e critérios² de qualidade atualmente especificados para a argamassa colante.

1.2 Justificativa

Em 2001 o Brasil passou a ser o segundo maior consumidor mundial de cerâmica para revestimento, com consumo de 416 milhões de m², movimentando a soma de R\$ 2,25 bilhões. O País tem o quinto maior consumo *per capita* do mundo, com 2,38 m²/habitante. Nos últimos cinco anos houve incremento de 25% no consumo interno, segundo dados divulgados pela Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica

¹ Requisitos: São os parâmetros qualitativos que um determinado produto ou sistema deve atender quando submetido às condições de utilização e de exposição, a fim de satisfazer às exigências dos usuários.

Exemplo: A resistência de aderência à tração é um requisito de qualidade para a argamassa colante.

² Critérios: São os parâmetros quantitativos relativos aos requisitos que um determinado produto deve atender. Os critérios são avaliados através de ensaios. Os ensaios devem reproduzir, na medida do possível, as condições de utilização e de exposição do produto analisado.

para Revestimento – ANFACER (2002) e pela Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos – ASCER (2002).

Considerando-se um consumo médio³ de argamassa colante de 5 kg/m² no assentamento de cerâmica para revestimento, a produção de argamassa colante no Brasil em 2001, teria sido de 2.100.000⁴ t. Isso corresponde a um faturamento de R\$ 460 milhões.

Com este desempenho econômico, o mercado de argamassa colante tem gerado interesse de produção pela própria indústria de cerâmica para revestimento, pela indústria cimenteira e por grupos internacionais ligados à produção de argamassa industrializada. Interesse que tem resultado na instalação de novas fábricas, principalmente nos dois maiores pólos consumidores de cerâmica para revestimento, as regiões sudeste e nordeste do País (ANFACER, 2002).

Além da importância econômica do setor, percebe-se também uma preocupação com a qualidade dos materiais utilizados na execução do revestimento cerâmico. Tal fato pode ser constatado pela inclusão das placas cerâmicas para revestimento e da argamassa colante na cesta básica de materiais do Programa Brasileiro de Produtividade e Qualidade do Habitat – PBPQ-H, que objetiva combater a utilização de materiais em não-conformidade com as normas técnicas.

Neste contexto está a importância de uma normalização que avalie a qualidade do produto argamassa colante, visando o desempenho desejado no sistema revestimento cerâmico.

Não há dúvida de que houve participação da normalização atual na melhoria da qualidade da argamassa colante no Brasil. No entanto, analisando as metodologias internacionais, inclusive a norma Européia, na qual a norma brasileira se baseou,

³ O consumo médio de 5 kg/m² foi estimado com base em catálogos de fabricantes, considerando-se uma placa cerâmica com área de 400 cm² e desempenadeira com dentes de (6x6x6) mm.

⁴ Considerando-se todo o consumo da cerâmica para revestimento no mercado interno assentada com argamassa colante.

nota-se que muitos requisitos de qualidade da argamassa colante não foram contemplados na metodologia brasileira.

Além disso, os métodos adotados na especificação da NBR 14081 (ABNT, 1998a), têm enfrentado uma série de críticas por parte de laboratórios de controle, fabricantes de argamassa e consumidores. As críticas estão embasadas na baixa reprodutibilidade dos resultados, constatada em programas interlaboratoriais e programas setoriais de qualidade da argamassa colante. As Figura 1 e Figura 2 apresentam resultados parciais do terceiro programa setorial, relativos às propriedades de resistência de aderência e tempo em aberto (TESIS, 2002). Esta situação levou à instalação de uma Comissão de Estudo, coordenada pelo CB-18 da ABNT, para revisar as normas brasileiras de argamassa colante.

Nesse contexto é que se desenvolve a presente pesquisa, que procura contribuir para a revisão da normalização brasileira da argamassa colante, estudando a metodologia atual em comparação com metodologias internacionais e avaliando a necessidade da inclusão de novos métodos e de alterações nos métodos atuais.

Figura 1 – Resultados de resistência de aderência à tração com cura ao ar pelo método NBR 14084 ilustrando a baixa reprodutibilidade dos resultados entre os laboratórios A, B, C e D e também a baixa repetibilidade em alguns laboratórios entre as amostras A/E, B/C e D/F (TESIS, 2002).

Figura 2 – Resultados de resistência de aderência à tração para determinação do tempo em aberto teórico aos 15 min pelo método NBR 14083 ilustrando a baixa reprodutibilidade dos resultados entre os Laboratórios A, B, C e D e também a baixa repetibilidade em alguns laboratórios entre as amostras A/E, B/C e D/F (TESIS, 2002).

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em sete capítulos. O Capítulo 1 apresenta os objetivos e a justificativa do tema desta dissertação.

O Capítulo 2 apresenta um panorama da normalização para a argamassa colante, com definição, classificação e requisitos de classificação de todas as metodologias analisadas. Estão abordados também os aspectos gerais como procedimentos, materiais de ensaio e condições ambientais.

No Capítulo 3 estão abordados os requisitos, critérios e ensaios no estado anidro da argamassa colante, utilizados durante o controle da qualidade do processo de fabricação.

O Capítulo 4 apresenta requisitos, critérios e ensaios no estado fresco da argamassa colante.

No Capítulo 5 estão descritos os requisitos, critérios e ensaios no estado endurecido da argamassa colante.

No Capítulo 6 está apresentado o estudo realizado, detalhando os materiais e métodos de ensaios selecionados para a pesquisa. Apresenta a caracterização dos materiais utilizados e os resultados dos ensaios, com análise dos mesmos.

No Capítulo 7 estão apresentadas as conclusões da pesquisa e as sugestões para estudos futuros.

2 A NORMALIZAÇÃO NACIONAL E A INTERNACIONAL

Para análise da metodologia nacional especificada pela ABNT, foram selecionadas as metodologias dos principais organismos técnicos referentes à argamassa colante, como: Deutsches Institut für Normung (DIN), Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc), American National Standard Specifications (ANSI), British Standards Institution (BSI), Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM) e Comité Européen de Normalisation (CEN).

Neste capítulo, estão abordados: definição, classificação e requisitos de classificação da argamassa colante. Também estão apresentadas as condições gerais de ensaio como: a condição ambiental de laboratório, o substrato-padrão, a água de amassamento, o preparo da mistura, o tempo de maturação, a aplicação da argamassa em ensaios de laboratório e o rendimento.

2.1 Definição e Terminologia da Argamassa Colante Industrializada

A normalização brasileira define a argamassa colante industrializada da seguinte forma:

“Produto industrializado no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos que, misturados com água forma uma massa viscosa, plástica e aderente empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento” - NBR 14081 (ABNT,1998a).

Alguns pesquisadores (AKIAMA et al., 1997; MEDEIROS; SABBATINI, 1999) utilizam o termo argamassa adesiva para a argamassa colante. O termo adesivo, porém, é utilizado de maneira genérica nas especificações da EN 12004 (CEN, 2001) e BS 5980 (BSI,1980), que utilizam o termo *“adhesives for tiles”*, pois abordam além da argamassa à base de cimento, adesivos à base de emulsão e resinas de reação.

O termo adesivo é utilizado também pela UEAtc que denomina a argamassa colante como *“hydraulically hardening adhesives”*, mesma denominação da BSI. Na Argentina, a norma IRAM utiliza o termo *“mezcla adhesiva a base de ligantes hidráulicos”* e a CEN denomina a argamassa colante como *“cementitious adhesive”*.

A França, porém, utiliza o termo “mortier colle”, similar à designação brasileira “argamassa colante”. Na Alemanha se utiliza o termo “Dünnbettmörtel” para denominar a argamassa de endurecimento hidráulico, utilizada no assentamento de placas cerâmicas por técnica de camada fina.

Além da argamassa colante, outros produtos podem ser utilizados no assentamento de cerâmicas para revestimento. Geralmente chamados de *adesivos*, estes produtos se dividem em:

- **Adesivo à base de emulsão**

Mistura de aglomerantes orgânicos, na forma de um polímero em dispersão aquosa, aditivos orgânicos e adições minerais. O produto já está pronto para uso - EN 12004 (CEN, 2001); DIN 18.156-1 (DIN, 1977).

- **Adesivo de pasta de resina**

Mistura de adições em solução com aglomerantes orgânicos e solventes voláteis - BS 5980 (BSI, 1980). É denominado adesivo de resina de reação – monocomponente – EN 12004 (CEN, 2001).

- **Adesivo de resina de reação**

Mistura de resina sintética, adições minerais e aditivos orgânicos, cujo endurecimento ocorre por reação química. O produto pode ser constituído de dois ou mais componentes – DIN 18.156-1 (DIN, 1977); BS 5980 (BSI, 1980); EN 12004 (CEN 2001).

2.2 Classificação da Argamassa Colante

As metodologias estudadas classificam a argamassa colante industrializada diferenciando-as por suas propriedades ou local de aplicação. A correta classificação da argamassa é muito importante para a especificação do produto, por propiciar o uso adequado.

▪ **Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT**

A NBR 14081 (ABNT, 1998a) trata apenas de argamassa colante industrializada à base de cimento Portland, especificando quatro *classes*, indicadas pela sigla AC (Argamassa Colante), em função da resistência de aderência à tração e do tempo em aberto. A classificação por estes *requisitos* está atrelada à indicação do local de utilização, ou ao desempenho desejado, como indicado na Tabela 1.

A argamassa AC-I é especificada para revestimentos internos. Por isso mesmo, não é especificado o *requisito* de resistência de aderência à tração com cura em temperatura elevada, e o *critério* para o tempo em aberto teórico, é menor em relação às demais classes de argamassa.

Para a argamassa AC II é especificado que o produto deve apresentar características de adesividade suficientes para absorver esforços decorrentes de ciclos térmicos e higrotérmicos e, pela ação de carregamento, no caso de revestimento cerâmico para piso. No entanto, não há nos métodos de ensaio, avaliação da resistência de aderência à tração, ou ao cisalhamento, após submeter-se a argamassa a ciclos térmicos ou higrotérmicos, como propõe a classificação; é estabelecida apenas a exposição prolongada da argamassa à temperatura de 70°C ou a saturação em água à temperatura de 23°C.

No caso das argamassas AC III e AC III-E, é especificada resistência a altas tensões de cisalhamento nas interfaces substrato/argamassa e placa/argamassa. Entretanto, a norma brasileira não possui métodos de ensaio que avaliem a resistência de aderência ao cisalhamento.

Em resumo, os *requisitos* especificados pela ABNT são: o tempo em aberto teórico; a resistência de aderência à tração nas condições de cura ao ar, submersa e em estufa; e o deslizamento, que apresenta um *critério* comum para todas as classes de argamassa. Além desses, ainda são apresentados como *requisitos* a determinação de resíduo em peneira com malha de 1 mm e densidade de massa aparente, sem *critérios* para avaliação dessas propriedades.

▪ **British Standards Institution - BSI**

A norma BS 5980 (BSI, 1980) trata, além da argamassa colante, também de adesivo à base de emulsão (tipo 2), pasta de resina (tipo 4) e resina de reação (tipo 5), utilizados no assentamento de placas cerâmicas. Os *tipos* de argamassas e a *classificação* baseada na resistência à ação da água, nos níveis *AA*, *A* e *B* estão apresentados na Tabela 1.

Embora a *classificação* das argamassas e adesivos seja apresentada em função da sensibilidade à ação da água e, a partir dela indique o tipo de cura a ser realizada nos ensaios de resistência de aderência à tração e resistência de aderência ao cisalhamento, não há especificação das condições de utilização necessárias para um determinado grau de sensibilidade à ação da água, tornando-a de uso arbitrário.

Os *requisitos* especificados nessa norma são: a resistência de aderência à tração e resistência de aderência ao cisalhamento nas condições de cura ao ar e submersa, com *critérios* diferenciados para cada classe de argamassa; e o tempo em aberto teórico, tempo de correção, resistência à deformação específica e a resistência ao crescimento de fungos que apresentam *critérios* comuns a todas as classes de argamassa. Opcionalmente é indicado o método para determinação do deslizamento, sem *critério* de desempenho.

▪ **American National Standards Specifications - ANSI**

As normas A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b), tratam das argamassas à base de cimento. São especificados dois *tipos*, definidos pela composição. O tipo comum é denominado “dry set mortar”, empregado apenas com adição de água e o tipo modificado com polímero, denominada “Látex-Portland cement mortar”, referindo-se às argamassas com polímeros incorporados na forma de látex – bicomponente - ou na forma de pó redispersível – monocomponente.

Na *definição* da argamassa do tipo comum, a norma descreve como principal *requisito* a capacidade de retenção de água, mas não o especifica. Do mesmo modo, a

redução da absorção de água, também não é especificada, embora conste da definição da argamassa modificada com polímeros.

Para os dois *tipos* de argamassa são ainda especificados *classes* com *requisitos* especiais. A argamassa de pega rápida refere-se às argamassas com desenvolvimento rápido da resistência ao cisalhamento e a argamassa antideslizante, não deve apresentar deslizamento, como apresentado na Tabela 1.

Para ambos os *tipos* são especificados os *requisitos* para a resistência de aderência ao cisalhamento, com cura nas condições ao ar e submersa, o tempo em aberto teórico, o tempo de pega, o tempo de correção, o deslizamento e coesão imediatamente após o assentamento, e a resistência à compressão somente para a argamassa modificada com polímero. Os *critérios* são comuns para o tempo de pega, tempo em aberto teórico, tempo de correção e deslizamento. A diferença de desempenho entre os dois tipos de argamassa, está nos critérios estabelecidos para a resistência de aderência ao cisalhamento.

Outros *requisitos* não constantes na versão atual da normalização ANSI, faziam parte de versões anteriores como: o manchamento da placa cerâmica – ANSI 118.1 (ANSI, 1985a); retração – A118.1 e A118.4 (ANSI, 1985a,b); absorção de água – A 118.4 (ANSI, 1985b); módulo de deformação – A118.4 (ANSI, 1985b); tempo de formação de película – A118.1 e A118.4 (ANSI, 1992b) e perda de massa – A118.1 (ANSI, 1985a).

▪ **Comité Européen de Normalisation - CEN**

A especificação da norma EN 12004 (CEN, 2001) aborda além das argamassas colantes (tipo C), os adesivos à base de emulsão (tipo D) e de resina de reação (tipo R). A *classificação* está baseada nas propriedades de resistência de aderência à tração, tempo em aberto teórico e deslizamento.

São especificadas diversas *classes* de argamassa, separadas em dois *tipos*. O tipo comum é designado pela sigla C1 e o tipo modificado é designado pela sigla C2. Ambos especificam diversas *classes* de argamassa. As *classes* de pega normal ou rápida, se referem ao desenvolvimento normal ou rápido da resistência de aderência à

tração, respectivamente. Há ainda as classes de argamassa de deslizamento reduzido, de tempo em aberto estendido e a classe com características adicionais relacionadas à resistência de aderência à tração e/ou tempo em aberto teórico, conforme apresentado na Tabela 1.

Em resumo, os *requisitos* especificados pela CEN são: o tempo em aberto teórico; a resistência de aderência à tração nas condições de cura ao ar, submersa e em estufa e o deslizamento. Os *critérios* são separados em características fundamentais e características opcionais, que dependem da *classe* da argamassa e do *requisito* especificado. Ainda são apresentados os requisitos de plasticidade (molhamento) da argamassa e a deformação transversal, sem critérios para avaliação dessas propriedades.

▪ **Union Européenne pour L'agrément Technique dans la Construction - UEAtc⁵**

A norma UEAtc (1990), também publicada pelo CSTB no *cahier* 2435, além da argamassa colante, trata de adesivo à base de emulsão, adesivo de resina de reação e argamassa à base de cimento com adição de caseína⁶.

Assim como na norma BSI, as argamassas ou adesivos estão *classificados* de acordo com a sensibilidade à ação da água, com a diferença de serem estabelecidos tipos de argamassa para cada grau de sensibilidade à água. São especificadas as *classes A, B e C* de sensibilidade à água. As argamassas à base de cimento enquadram-se na classe C, isto é, como de baixa sensibilidade à ação da água, especificando dois *tipos*, segundo a aplicação. O tipo comum é denominado de endurecimento hidráulico e o tipo modificado refere-se à argamassa com polímero incorporados na forma de látex – bicomponente, ou na forma de pó redispersível - monocomponente, do mesmo

⁵ Na França a AFNOR – Association française de normalisation adotada as normas da CEN.

⁶ Argamassa colante com caseína: Argamassa especial para aplicação em placas de gesso. A caseína é adicionada à argamassa à base cimento nos teores de 3% a 4% para evitar a formação de sais expansivos em meio úmido, por reação do sulfato de cálcio do substrato à base de gesso. Este tipo de argamassa é sensível à ação da água, não sendo recomendada a utilização em pisos, ambientes externos ou locais úmidos. (VIEIRA, 1998).

modo que a norma ANSI, como está apresentado na Tabela 1. Além desse dois tipos, a UEAtc estabelece também um tipo de argamassa denominada como especial para piso e outro de pega rápida, que apresentam *critérios* específicos.

Em resumo, esta norma especifica como *requisitos*: a determinação resistência de aderência à tração com condições de cura ao ar, submersa, em estufa e ciclos de gelo/degelo e resistência de aderência ao cisalhamento com cura ao ar e estufa; tempo em aberto teórico; deformação transversal; deslizamento; tempo de pega; plasticidade (consistência); retração; resistência ao impacto; resíduo em peneira; perda de massa; retenção de água; vida útil e tolerância da água de amassamento. A versão de 1979 da norma, apresentava ainda o requisito de tempo de correção.

▪ **Deutsches Institut für Normung - DIN**

A norma DIN 18.156-2 (DIN, 1978) refere-se apenas à argamassa colante à base de cimento Portland e apresentam uma *classe* única de argamassa.

Os *requisitos* especificados são: a resistência de aderência à tração com cura ao ar, submersa, estufa e gelo/degelo; tempo de formação de película; tempo de correção; deslizamento; plasticidade (molhamento); resíduo em peneira; perda de massa e ainda estabelece um método de ensaio para determinação da resistência de aderência ao cisalhamento, sem o respectivo *critério* de desempenho.

▪ **Instituto Argentino de Racionalización de Materiales – IRAM**

Da mesma forma da que a norma DIN a norma IRAM 1752 (IRAM, 1985a) refere-se apenas à argamassa colante à base de cimento Portland e apresenta uma *classe* única de argamassa. Os *requisitos* são: a resistência de aderência à tração com cura ao ar e submersa, tempo de formação de película; tempo de correção; deslizamento; resíduo em peneira; perda de massa; estabelece ainda um método para determinação da consistência pela mesa de impacto.

A Tabela 1 apresenta um resumo com os tipos e classes de argamassa colante especificado nas diversas normas estudadas.

Tabela 1 – Tipos e classificação das argamassas colante nas diversas normas

Norma		Tipo	Classificação	Propriedade/local de aplicação
Brasil	NBR 14081	argamassa colante	ACI	uso interno
			AC II	uso externo
			AC III	aderência à tração superior
			AC III-E	aderência à tração superior e tempo em aberto estendido
Reino Unido	BS 5980	1) comum 2) modificada com polímero em dispersão	AA	desenvolvimento rápido de resistência à água
			A	desenvolvimento lento de resistência à água
			B	não requer resistência à água
Estados Unidos	A118.1	comum	Normal	retenção de água
			Pega rápida	desenvolvimento rápido de resistência
			Antideslizante	deslizamento zero
	A118.4	modificada com polímero	Normal	maior resistência de aderência ao cisalhamento
			Pega rápida	desenvolvimento rápido de resistência
			Antideslizante	deslizamento zero
União Européia	EN 12004	C – argamassas à base de cimento	C1	desenvolvimento normal de resistência
			C1F	desenvolvimento rápido de resistência
			C1T	desenvolvimento normal de resistência e redução de deslizamento
			C1FT	desenvolvimento rápido de resistência e redução de deslizamento
			C2	melhorada com características adicionais
			C2E	melhorada com tempo em aberto estendido
			C2F	melhorada com desenvolvimento rápido de resistência e características adicionais
			C2TE	melhorada com características adicionais, redução de deslizamento e tempo em aberto estendido
			C2FT	melhorada com desenvolvimento rápido de resistência, redução de deslizamento e tempo em aberto estendido
Europa	UEAtc	C – baixa sensibilidade à ação da água	endurecimento hidráulico	uso interno e externo em paredes e pisos
			modificada com polímero	uso interno e externo características melhoradas
			especial para pisos	melhorada para uso em camada grossa sobre piso
			pega rápida	desenvolvimento rápido de resistência
AL	DIN 18.156-2	Endurecimento hidráulico	Não especifica	Uso geral
AR	IRAM 1752	a base de cimento	Não especifica	Uso geral

2.2.1 Requisitos de classificação

Os *requisitos de qualidade* especificados para a argamassa colante nas metodologias estudadas estão apresentados de forma resumida na Tabela 2 e serão abordados nos capítulos 3, 4 e 5.

Tabela 2 – Requisitos de qualidade especificados para a argamassa colante

Requisitos	ABNT	CEN	ANSI	BSI	DIN	UEAtc	IRAM
Requisitos no estado anidro							
Densidade de massa aparente							
Resíduo em peneira							
Perda de massa a 110°C			*				
Perda de massa a 450°C							
Requisitos no estado fresco							
Tempo em aberto teórico							
Tempo de formação de película			*				
Tempo de correção						*	
Deslizamento na posição vertical							
Plasticidade (molhamento/consistência)							
Coesão imediatamente após assentamento			*				
Consistência na mesa de impacto							
Tempo de pega							
Tempo útil							
Retenção de água							
Manchamento da placa cerâmica			*				
Requisitos no estado endurecido							
Resistência de aderência à tração							
Resistência de aderência ao cisalhamento							
Deformação transversal por flexão							
Resistência à deformação excessiva							
Retração por secagem			*				
Resistência à compressão							
Módulo de deformação			*				
Resistência ao impacto							
Absorção de água			*				
Resistência ao crescimento de fungos							

Nota: * Ensaio cancelado na revisão da respectiva norma

Como pode ser observado, existe praticamente consenso quanto à importância dos ensaios de deslizamento, tempo em aberto teórico, resistência de aderência ao

cisalhamento e resistência de aderência à tração. Isto não significa que outras propriedades não sejam importantes.

Além dos *requisitos de qualidade* no estado fresco e estado endurecido da argamassa colante, também é importante considerar *requisitos de uniformidade*, auxiliares no controle da qualidade da argamassa. Como exemplo, pode-se citar a inclusão na normalização da perda de massa a 450°C, que permite controlar o teor de polímeros presentes na formulação, a partir de uma referência estabelecida pelo fabricante.

2.3 Requisitos e Critérios Gerais

2.3.1 Condições ambientais de laboratório

Dado que fatores ambientais como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento influem nos resultados dos ensaios, a padronização é necessária para que o método de ensaio apresente reprodutibilidade e repetibilidade. As condições padrão especificadas nas diferentes normas estão apresentadas na Tabela 3 .

Tabela 3 – Condições ambientais do laboratório

Especificação	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Vento (m/s)
ANSI, 1999	23±2	50±5	-
	*41,5±3,5		
ABNT, 1998	23±3	60±5	< 0,2
BSI, 1980	20±2	60±15	-
DIN, 1978	23±2	50±5	-
CEN, 1999	23±2	50±5	< 0,2
IRAM, 1986	23±2	50±5	Protegido
UEAtc, 1990	23±2	50±5	-

Nota: *Condição especificada como alta temperatura e utilizada nos ensaios de tempo em aberto teórico e tempo de correção.

As condições de clima nas diferentes regiões do Brasil, através de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2002), permite verificar que as

condições ambientais de laboratório adotadas na normalização brasileira não correspondem às condições climáticas encontradas na maior parte do País.

▪ Temperatura

Segundo os dados do INMET apresentados na Figura 3, os valores das temperaturas máximas médias anuais consideradas no período entre 1931 a 1990, variaram entre 30°C a 33°C nas regiões norte, nordeste e centro-oeste, podendo chegar a 36°C nos meses de agosto e setembro na região centro-oeste. Na região sudeste a temperatura máxima média anual varia entre 27°C e 30°C, podendo atingir até 33°C nos meses de janeiro e fevereiro. A região sul é a que apresenta a menor máxima média anual com variação de temperatura entre 21°C e 24°C, sendo que nos meses de janeiro e fevereiro pode atingir 30°C.

Figura 3 – Ilustração das temperaturas máximas médias anuais no Brasil registradas entre 1931 e 1990 pelo INMET.

Portanto a faixa de temperatura especificada pela norma ABNT de $(23 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ é representativa da temperatura máxima média anual apenas para a região sul do Brasil. Essa faixa é similar às especificadas pelas demais normas internacionais, porém, esses países apresentam temperaturas máximas médias abaixo da brasileira.

A propriedade mais afetada pela temperatura é o tempo em aberto teórico, devendo-se na revisão da norma brasileira, estudar-se a apresentação de critérios para ensaios realizados nas temperaturas de $(23\pm3)^{\circ}\text{C}$ e também de $(38\pm2)^{\circ}\text{C}$, visto ser está a faixa de temperatura máxima média predominante nas demais regiões do Brasil.

▪ Umidade

A umidade relativa especificada na norma ABNT varia de 55% a 65%, enquanto na BSI esta variação é de 45% a 75%, muito mais ampla. As demais normas estabelecem uma faixa estreita de 45% a 55%. Considerando o mapa de distribuição de umidade relativa do Brasil, apresentados na Figura 4, conclui-se que não se pode fixar uma única faixa, pela sua dimensão e distribuição diferenciada nas diversas regiões.

Figura 4 – Ilustração das umidades relativas máximas médias anuais no Brasil registradas entre 1931 e 1990 pelo INMET.

A umidade relativa especificada na norma ABNT, em $(60\pm5)\%$ corresponde, segundo dados do INMET, à média máxima anual de boa parte do País, ou seja, toda a região sudeste e grande parte das regiões centro-oeste, sul e nordeste. Entretanto, parte dos Estados do Piauí, Ceará e norte da Bahia apresentam máxima média anual entre 40% e 50% e a região norte apresenta umidade máxima média anual acima dos

80%, podendo-se questionar em que extensão essa diferença afeta os resultados dos *requisitos* de tempo em aberto teórico e resistência de aderência à tração.

Esses requisitos deveriam ser avaliados verificando-se a influência da variação da umidade relativa, analisando-se a necessidade de estreitamento da faixa de variação da condição ambiental de laboratório e da adoção de mais de uma faixa de umidade.

▪ Vento

Dados do Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) apresentados na Figura 5, demonstram que a velocidade média dos ventos predominantes em grande parte do País é menor que 5,0 m/s. As maiores velocidades de ventos são verificadas na região nordeste e no extremo norte da região norte, com valores entre 5,0 m/s e 8,5 m/s.

Figura 5 – Carta de ventos predominantes no Brasil registrada em 1998 pelo CBEE.

Das normas estudadas, apenas a ABNT e a CEN estabelecem um critério para a velocidade de vento, que deve apresentar valor menor do que 0,2 m/s. As demais normas ou não especificam um critério para a velocidade do vento ou estabelecem que deve haver proteção contra o vento, como é o caso da norma IRAM.

De qualquer modo, desde que o ambiente físico do laboratório seja apropriado, eliminando-se a interferência de portas, janelas, circulação de pessoas e saídas de ar condicionado, a velocidade de vento é mínima ou até mesmo nula, diferentemente do que acontece na prática.

Em relação ao vento, na condição de ambiente de laboratório, o ideal é a proteção física contra o vento, executando-se os ensaios dentro de um compartimento fechado, similar ao apresentado na Figura 6. Deste modo evita-se a influência de uma possível variação da velocidade do vento principalmente durante a etapa de aplicação da argamassa e assentamento das placas cerâmicas. A avaliação de desempenho da argamassa colante nas condições ambientais de laboratório serve como referência, porém não vai refletir o desempenho da argamassa colante na prática.

Levando-se em conta a ação do vento na execução de ensaio de tempo em aberto teórico, variando-se a velocidade de vento em 0,05 m/s; 0,1 m/s e 0,2 m/s, KRISTELLER (1997) verificou que a faixa estabelecida na NBR 14082 (ABNT, 1998b) apresenta diferenças significativas para o tempo em aberto teórico, com uma redução de 53% na resistência de aderência para o tempo em aberto de 20 min, alterando-se a velocidade de vento de 0,05 m/s para 0,1 m/s e de 65%, quando a velocidade de vento passa de 0,05% para 0,2 m/s. Ou seja, uma queda significativa, dentro da faixa estabelecida pela norma.

Embora seja necessário um ensaio em condições de vento nulo, não se pode deixar de avaliar o efeito dessa variável. Assim, sob ação nula do vento o tempo em aberto é efetivamente teórico, mas o tempo em aberto real deve levar em consideração a ação conjunta do vento e da temperatura, como ilustrado nas Figura 3 a Figura 5.

Figura 6 – Ilustração do conjunto em acrílico montado para os ensaios de tempo em aberto teórico, resistência de aderência e deslizamento, com proteção contra o ar circulante no laboratório – Laboratório Laticrete – EUA.

2.3.2 Substrato-padrão

As argamassas são aplicadas sobre um substrato-padrão na realização dos ensaios de deslizamento, resistência de aderência à tração, tempo em aberto teórico, tempo de formação de película, tempo de correção e plasticidade. Sabe-se que esses requisitos são sensivelmente influenciados pela absorção capilar e textura da superfície sobre a qual a argamassa colante é aplicada e desse modo, torna-se necessário padronizar a base de assentamento, permitindo o controle da qualidade na produção e de conformidade com uma norma. Os diferentes substratos estão indicado na Tabela 4.

Tabela 4 – Tipos de substrato especificados

Requisitos	ABNT	CEN	ANSI	BSI	DIN	UEAtc	IRAM
Deslizamento	SC	SC	BC	-	SC	SC	SC
Tempo em aberto teórico	SC	SC	PG	PC	SC	SC	-
Tempo de formação de película	-	-	PG	-	SC	-	SC
Tempo de correção	-	-	PG	PC	SC	SC	SC
Plasticidade da argamassa	-	SC	-	-	SC	SC	-
Resistência de aderência ao cisalhamento	-	-	PC	PC	CP	CP	-
Resistência de aderência à tração	SC	SC	PG	PC	SC	SC	SC
Retração	-	-	-	SC	-	SC	-
Resistência ao impacto	-	-	-	-	-	SC	-
SC = substrato-padrão de concreto BC = bloco de concreto PG = placa de gesso PC = placa cerâmica CP = corpo-de-prova de concreto							

Para o substrato de concreto, em particular, a dosagem é realizada de acordo com a proporção de mistura citada na Tabela 5, de modo a atender aos critérios de absorção de água e resistência de aderência superficial à tração especificados.

Tabela 5 – Parâmetros e requisitos do substrato-padrão

Especificação	NBR 14082	DIN 18.156-2	UEAtc	EN 1323	IRAM 1756
Relação a/c	0,45 a 0,50	0,45	0,45 a 0,48	0,5	0,45
Consumo de cimento (kg/m ³)	≥ 400	-	-	-	400
Consumo total de finos (kg/m ³)	-	500	≤ 500	500	-
			< 0,2 mm	< 0,125mm	
Tipo de cimento	-	PZ 35F	-	CEN 42,5R	-
Proporção cimento:agregado (em massa)	1:3,84	1:5			1:4,44
Distribuição granulométrica do agregado	Areia zona 3 e brita 0	0 mm a 8 mm (distribuição contínua)			8 mm a 300 µm
Armadura	Tela Ø 2,3 mm	-	-	-	-
Adensamento	Mediante vibração	-	-	90 s vibração a 50 Hz	-
Cura	1 dia na fôrma, 6 dias submerso, 21 dias ambiente				
Dimensões (cm)	≥ 25x50	50x50	-	-	-
Espessura (mm)	≥ 15	40	≥ 40	40	40
Resistência à compressão (MPa)	-	-	≥45	-	-
Absorção de água	0,5 cm ³ em 4 h	-	-	0,5 a 1,5 cm ³ em 4h	-
Umidade (%)	seco	-	< 3	< 3	-
Resistência de aderência à tração superficial (MPa)*	-	≥1,5	≥1,5	≥1,5	≥1,5
Textura	-	Áspera		-	-
Limpeza da superfície	-	10% ácido clorídrico	-	-	10% ácido clorídrico

Nota: *Ensaio de tração da placa cerâmica, aderida ao substrato com adesivo epóxi

Em relação à limpeza superficial do substrato, a NBR 14082 (ABNT, 1998b) apenas estabelece que o substrato-padrão não deve apresentar partículas soltas e seja isento de manchas de óleo, tinta, gordura ou outros agentes que prejudiquem a adesão. As normas DIN 18.156-2 (DIN, 1978) e IRAM 1756 (IRAM, 1986c) ainda especificam a lavagem da superfície com solução de 10% de ácido clorídrico e lavagem com água após a desforma como um procedimento de limpeza. Na verdade, este procedimento, remove também a camada superficial de pasta de cimento, expondo o agregado, dando à superfície uma textura áspera.

A norma UEAtc (1990) também especifica que a superfície deve ser rugosa, sem indicar um procedimento para obtê-la, e a norma EN 1323 (CEN, 1999b) especifica o tratamento da superfície com desempenadeira de madeira.

A principal diferença do substrato-padrão especificado pela ABNT, em relação às demais normas, é a espessura: especifica no mínimo 15 mm de espessura, enquanto as demais normas estabelecem exatamente a espessura de 40 mm, sendo este o valor mínimo para a UEAtc. Essa diferença reside no fato da norma brasileira estabelecer a utilização de uma tela eletrossoldada, com diâmetro de 2,3 mm e espaçamento entre fios de 5,0 cm, que permite a redução da espessura, sem prejudicar a resistência da placa.

Como foi teoricamente demonstrado por Fiorito (2002b), a variação volumétrica do substrato depende da sua espessura. Substratos de espessuras diferentes, irão apresentar diferentes variações volumétricas, submetendo a argamassa colante a diferentes tensões de cisalhamento. Assim, ao especificarem apenas valores mínimos de espessura para o substrato, as normas ABNT e UEAtc podem estar cometendo um erro, por introduzir uma variável no método, principalmente quando o conjunto é submetido à cura em estufa.

De todas as propriedades do substrato-padrão, a sucção inicial, pode ser considerada como a principal variável; refere-se à velocidade de absorção superficial. Uma sucção elevada causa perda de água, enrijecendo os cordões e dificultando o seu esmagamento, diminui a área de contato com a placa cerâmica, reduzindo a adesão inicial da argamassa (PÓVOAS, 1999), enquanto que uma sucção muito baixa irá exigir da argamassa uma maior capacidade de adesão química. Já uma sucção moderada pode influenciar positivamente a adesão inicial, propiciando o intertravamento dos produtos de hidratação do cimento no interior dos poros do substrato. Este fenômeno foi comprovado através dos estudos de IOPPI et al. (1995) e CARASEK; CASCUDO; SCARTEZINI (2001).

Entretanto, apenas a NBR 14082 (ABNT, 1998b) e a EN 1323 (CEN,1999b) especificam um procedimento na tentativa de avaliar a absorção de água superficial.

O procedimento consiste na utilização de uma coluna de vidro, com diâmetro interno de base de 28 mm e altura manométrica de 130 mm. Para cada substrato são fixadas três colunas de vidro, sendo a medição da altura da coluna de água tomada a cada hora até o intervalo de 4 h. É verificada a homogeneidade dos resultados das colunas, porém não são estabelecidos os parâmetros de descarte de valores espúrios.

Um fato que chama a atenção, é que apesar da norma ABNT ter se baseado na normalização CEN, a norma brasileira estabelece o valor máximo de permeabilidade em 4h em $0,5 \text{ cm}^3$, enquanto que a norma européia o especifica, como valor mínimo, permitindo ainda valores entre $0,5 \text{ cm}^3$ e $1,5 \text{ cm}^3$. Isto resulta em substratos muito mais impermeáveis na norma ABNT em comparação com a norma CEN, porém os mesmos critérios de aderência da norma européia foram adotados pela norma brasileira.

A sucção do substrato de concreto também é influenciada pela umidade presente. A ABNT estabelece que o substrato deve estar seco. As normas UEAtc e CEN limitam o teor de umidade em no máximo 3%.

Substratos que apresentam altos valores de sucção, demandam a utilização de argamassas com maior capacidade de retenção que, por sua vez reflete-se na resistência de aderência.

Então, deve-se levar em consideração nos ensaios de qualidade a interação argamassa-substrato e rever as características que o substrato-padrão deve apresentar.

Propõe-se a utilização do método especificado pela ASTM C 67 (ASTM, 1998), para determinação da sucção, conhecido como IRA (*initial rate absorption*), que consiste em verificar a sucção inicial do substrato em contato com uma lâmina d'água com altura de 3 mm, mantida constante durante o tempo do ensaio, que é de um minuto. A sucção é tida como o ganho de massa em gramas em relação a uma área de referência de $193,54 \text{ cm}^2$ no intervalo de um minuto.

Para se ter uma idéia de grandeza, a ASTM C 62 (ASTM, 2001) recomenda sucção inicial máxima de $30 \text{ g}/193,54 \text{ cm}^2/\text{min}$, para blocos cerâmicos.

Outro aspecto importante, não abordado pelas normas, é a variação dimensional do substrato-padrão nas condições imerso em água e em estufa a 70°C.

A NBR 14082 (ABNT, 1998b) não especifica o tipo de cimento; a relação a/c é especificada dentro da faixa de 0,45 a 0,50 e é especificada uma espessura mínima, sem estabelecimento de limite. Desse modo, a variação dimensional dos substratos produzidos por diferentes laboratórios, pode apresentar grandes diferenças, prejudicando a reprodutibilidade dos ensaios.

A variação dimensional do substrato poderia ser verificada através da execução do ensaio de retração especificado pela NBR 12117 (ABNT, 1991), para variação dimensional de blocos de concreto.

A textura superficial do substrato também pode interferir nos resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração, sendo importante estudar um método para avaliar esta propriedade. A norma ASTM E 965 (ASTM, 1996) especifica um método para verificação da macrotextura de pavimentos, conhecido como mancha de areia, para avaliação da profundidade da textura de uma superfície. O método volumétrico, utiliza um cilindro metálico com capacidade de 25.000 mm³ de material padronizado, com 90% passante na peneira 0,25 mm e retido na peneira 0,18 mm.

O cilindro possui em sua base, um disco de 75 mm diâmetro, recoberto com borracha, que serve para espalhar a areia que cai do cilindro. Com movimentos circulares, os vazios da superfície vão sendo preenchidos, até que o diâmetro da mancha de areia não aumenta mais. Mede-se o diâmetro da areia em quatro posições da circunferência. A profundidade média da textura é calculada pela expressão:

$$P = \frac{4.V}{\pi.D^2} \text{ onde,}$$

P = profundidade média da textura (mm);

V = volume de areia utilizado (mm³);

D = diâmetro da área coberta pela areia (mm)

Para os substratos-padrão, o método deve ser adaptado, utilizando-se um material mais fino e um volume menor, devido às suas características de textura e dimensões.

2.3.3 Água de amassamento

É a quantidade de água recomendada pelo fabricante para preparar a argamassa colante tanto em laboratório quanto em obra. Algumas normas estabelecem que a quantidade de água seja dada em massa e expressa em porcentagem. A norma NBR 14081 (ABNT, 1998a) especifica que a água de amassamento seja expressa em litros por quilograma do produto, ou litros por saco do produto.

Para que a argamassa cumpra todos os requisitos especificados pela ABNT, a critério do fabricante, o teor de água pode ser ajustado em função do deslizamento máximo de 0,5 mm, especificado na norma.

Como o teor de água de amassamento influencia as propriedades da argamassa colante, como trabalhabilidade, esmagamento dos cordões, adesão, tempo em aberto teórico e resistência de aderência, o melhor seria ajustar o deslizamento em função do teor ótimo de água, a fim de otimizar as propriedades mais importantes.

A norma UEAtc (1990) estabelece um procedimento para aferir a tolerância da água de amassamento indicada pelo fabricante. São realizadas duas verificações: a primeira, utiliza o teor de água indicado pelo fabricante ($x\%$), acrescido da tolerância (a) também indicada pelo fabricante. Com o teor ($x\% + a$), executa-se o ensaio de deslizamento. A segunda, utiliza o teor de água ($x\%$) menos a tolerância (a). Com o teor ($x\% - a$), executa-se o ensaio de plasticidade, reduzindo-se o intervalo em aberto do ensaio, para menos 10 min do tempo em aberto teórico declarado pelo fabricante. Com os dois teores extremos da tolerância, a argamassa deve atender aos critérios dos requisitos ensaiados.

2.3.4 Procedimento de mistura

A norma NBR 14082 (ABNT, 1998b) recomenda a mistura 1,2 kg de argamassa ao volume de água indicado pelo fabricante. É utilizado um misturador planetário, tipo batedeira, acionado em velocidade baixa durante 1 min 30 s, com parada aos 30 s para mistura manual da amassada durante 1 min. Após a mistura, deve-se respeitar o tempo de maturação estabelecido pelo fabricante. Caso este tempo não seja

informado, a norma recomenda adotar 15 min. Antes da aplicação, o misturador deve ser acionado por mais 15 s, totalizando 2 min e 45 s.

As normas CEN utilizam o mesmo procedimento para uma amostra mínima de 2 kg enquanto que a norma DIN se diferencia pelo tempo total de mistura de 1 min e 45 s.

A norma BSI estabelece o procedimento de mistura indicado pelo fabricante. Já as normas ANSI especificam a mistura manual iniciada de maneira suave, até homogeneização da amassada. Em seguida, a mistura deve ser mais vigorosa, para proporcionar a incorporação de ar e atingir-se a consistência desejada. O tempo de mistura é de 5 a 6 minutos, a partir da adição da água. O tempo de maturação deve ser de 15 minutos ou o indicado pelo fabricante, realizando-se uma remistura no final desse período.

2.3.5 Tempo de maturação

O tempo de maturação corresponde ao intervalo de tempo entre o fim da preparação da argamassa fresca e o início da aplicação, devendo ser expresso em minutos – NBR 14081 (ABNT, 1998a).

Consultando catálogos de fabricantes, em geral encontra-se a indicação de 10 min a 20 min para o tempo de maturação. Como foi visto no item sobre preparação da argamassa, a NBR 14082 (ABNT, 1998b) recomenda adotar o tempo de 15 min, caso o fabricante não especifique este valor. Nas demais normas, este valor está entre 10 min e 15 min.

Na realidade, existe pouco conhecimento da real influência do tempo de maturação no desempenho da argamassa. A explicação mais comum, é que este tempo seria necessário para a dissolução coloidal do polímero, o que favoreceria a adesão inicial da argamassa (OLMO, 1982; BAUER, 1995). No entanto, na prática, foi verificado por MIBIELLE, (1997) e por PÓVOAS, (1999) que durante a execução do revestimento cerâmico, o oficial pedreiro não costuma respeitar o tempo de maturação recomendado pelos fabricantes. Ainda não se têm dados sobre a importância deste requisito.

2.3.6 Procedimento de aplicação da argamassa colante

A NBR 14082 (ABNT 1998b) especifica que a argamassa colante deve ser aplicada sobre o substrato-padrão, seco e livre de partículas soltas e manchas que possam prejudicar a adesão da argamassa.

Após a mistura, a argamassa é aplicada utilizando-se uma desempenadeira com uma das bordas reta e outra denteada, com dentes de (6x6)mm. Aplica-se a argamassa sobre o substrato com a borda reta da desempenadeira, e em seguida com a borda denteada, são formados os cordões de argamassa. Esses cordões devem ser contínuos e apresentar espessura de $(5\pm 0,5)$ mm. Os cordões podem ser formados longitudinalmente (ensaios de tempo de pega teórico e resistência de aderência à tração) ou transversalmente (ensaio de deslizamento) em relação ao substrato, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Aplicação da argamassa com desempenadeira denteada sobre substrato-padrão de concreto, com 15 mm de espessura. Os cordões são formados na posição transversal para a realização do ensaio de deslizamento – NBR 14085 (ABNT, 1998e).

As normas DIN, CEN e IRAM utilizam procedimentos semelhantes ao especificado pela ABNT e a norma UEAtc especifica a utilização das recomendações do fabricante da argamassa.

A norma ANSI, também especifica a aplicação da argamassa com desempenadeira denteada, com dentes (6x6) mm, porém a espessura especificada é de 3 mm na A118.1 (ANSI, 1999a) e 2,4 mm na A118.4 (1999b). A norma não esclarece, mas a espessura não se refere à altura do cordão e sim à espessura entre o tardo da placa cerâmica e o substrato.

2.3.7 Rendimento

Segundo a norma DIN 18.156-1 (DIN, 1977) rendimento é a relação entre o peso da argamassa anidra e o volume que ela ocupa após o preparo, estando pronta para ser aplicada.

A norma IRAM 1750, (IRAM, 1987) define que rendimento é a quantidade de argamassa anidra que depois de preparada poderá ser estendida em uma superfície de 1 m² produzindo uma aderência satisfatória. O rendimento irá depender da composição da argamassa, do tipo de substrato, das dimensões da desempenadeira denteada e do ângulo de aplicação da mesma. Esse valor deve ser estipulado pelo fabricante, sendo encontrado em catálogos, consumo médio de 5 kg/m², considerando-se uma placa cerâmica com área de 400 cm² e desempenadeira com dentes de (6x6x6 mm).

2.4 Síntese das investigações necessárias para os requisitos e critérios gerais

Dos requisitos abordados considera-se importante neste estudo:

- Avaliar as propriedades de retração, textura e sucção inicial e umidade do substrato-padrão;
- Avaliar a influência da temperatura no ensaio de tempo em aberto teórico, considerando as condições climáticas mais desfavoráveis;
- Avaliar a importância do tempo de maturação no desempenho da argamassa colante;
- Avaliar a influência da variação do teor de água de amassamento no deslizamento.

3 REQUISITOS, CRITÉRIOS E ENSAIOS NO ESTADO ANIDRO

A uniformidade da argamassa colante é verificada utilizando-se métodos que controlam a uniformidade da qualidade da argamassa durante a fabricação. Esses métodos, executados no produto como recebido, são de fácil execução e avaliam características e propriedades, comparadas com padrões fixados pelos fabricantes, resultantes do estudo que gerou a formulação.

3.1 Densidade de Massa Aparente

A densidade de massa aparente refere-se à quantidade de material que preenche um recipiente com capacidade igual à unidade de volume. É obtida pela diferença de massas do recipiente cheio e vazio, dividida por seu volume, cujo resultado é expresso em kg/dm^3 . Na prática, este valor é utilizado na conversão de quantidades em massa para quantidades em volume e também no proporcionamento da água de amassamento.

O volume deve ser suficiente para a utilização de uma amostra representativa do lote e o adensamento vai depender da forma dos grãos de areia, da distribuição do diâmetro das partículas e da proporção aglomerante:agregado. As principais variáveis de ensaio são o volume do recipiente e o adensamento da argamassa durante o ensaio, que depende da altura de queda da argamassa e da execução do rasamento.

A norma NBR 14086 (ABNT, 1998f) especifica um método que utiliza um recipiente com volume de (400 ± 1) mL. O produto é transferido para o recipiente com uma concha apoiada em sua borda.

A norma UEAtc (1990) o volume do recipiente é maior, de 500 cm^3 ou 1000 cm^3 . A argamassa é transferida para recipiente, através de um funil, que mantém constante a altura de queda. Este procedimento minimiza a interferência do operador no resultado do ensaio. A norma especifica que no controle de uniformidade, a tolerância máxima especificada para a densidade de massa relativa seja de $0,1 \text{ kg/dm}^3$.

As demais normas não especificam um método de ensaio para determinação dessa propriedade.

3.2 Resíduo em Peneira

O resíduo em peneira é o percentual em massa de material retido, em uma peneira de determinada abertura de malha, em relação à massa inicial do material ensaiado.

Na argamassa colante, a distribuição granulométrica da areia deve ser contínua, no intervalo de 150 μm até a dimensão máxima característica de 0,6 mm (BUCHER, 1999). A DIN 18.156-1 (DIN, 1977) e a UEAtc (1990) especificam agregados com dimensão máxima de 0,5 mm. A norma IRAM 1750 (IRAM, 1987) já especifica o agregado com dimensão inferior a 1,5 mm, na verdade 99% abaixo de 0,85 mm uma vez que essa peneira não deve apresentar retido, conforme apresentado na Tabela 6.

O controle do resíduo em peneira pode indicar variações na distribuição granulométrica do agregado miúdo, decorrente de seleção inadequada, ou falha no processo de produção. O controle da qualidade da argamassa, realizado pelo fabricante, é manter a distribuição granulométrica do padrão pré-estabelecido na formulação (UEAtc, 1990). Não há especificação deste requisito nas normas CEN e ANSI.

A Tabela 6 apresenta os critérios especificados pelas normas citadas e a Tabela 7 um resumo das variáveis de ensaio para determinação do resíduo em peneira.

Tabela 6 – Critérios para avaliação do resíduo em peneira

Especificação	Classe de argamassa	Critério
NBR 14081	Todas	Não especifica
DIN 18.156-2	Todas	$\leq 0,5\%$ da massa retida
UEAtc	Todas	Não especifica
IRAM 1752	Todas	$\leq 1\%$ na peneira 1,18 mm e 0% na peneira 0,85 mm

Tabela 7 – Variáveis de ensaio para determinação do resíduo em peneira

Variáveis de ensaio	NBR 14086	DIN 18.156-2	UEAtc	IRAM 1754
Massa da amostra (g)	não estipulado	500	200	200 ± 10
Malha da peneira (mm)	1,0	0,5	0,1; 0,2 e 0,5	1,18 e 0,85
Tipo de peneiramento	manual	manual	não estipulado	manual ou mecânico
Tempo de peneiramento	não estipulado	não estipulado	30 min	até retido em cada peneira de 0,1 %
Número de determinações do ensaio	não estipulado	3	1	não estipulado

Como visto, a norma brasileira está em estágio muito incipiente e necessita ainda ser aprimorada quanto a este item. O procedimento não consta da própria norma, reportando-se ao procedimento da NBR 7217 (ABNT, 1987), fora do conjunto de normas relativas à argamassa colante. É necessário o estabelecimento de parâmetros de ensaio, definindo-se massa da amostra e tempo de peneiramento, como também, o número de amostras, repetibilidade e critério de uniformidade.

De todas as normas analisadas para o ensaio de resíduo em peneira, a IRAM é a que apresenta o procedimento mais completo, podendo servir de base para a revisão da norma brasileira. Já os critérios a adotar devem resultar de ensaios dos produtos no mercado brasileiro, desde que depende da formulação da argamassa.

A definição dos tamanhos de malha das peneiras deve atender às características da argamassa colante. Além da malha de 1,0 mm, já especificada pela norma ABNT, outras malhas de peneira poderiam ser adotadas, como por exemplo a peneira 0,5 mm, visto que já existe um critério especificado pela norma DIN. A peneira 0,075 mm, poderia ser utilizada na determinação do teor total de finos, um indicativo do teor de aglomerantes, ou de adição de filer, cuja composição pode ser detalhada ainda por ensaios térmicos (análise térmica diferencial e termogravimétrica).

3.3 Perda de Massa a 110°C

A perda de massa a 110°C, corresponde à porcentagem de massa perdida devido à evaporação de água. A presença de umidade na argamassa, durante o período de armazenamento, causa a pré-hidratação do cimento, resultando no empelotamento da argamassa colante, prejudicando a sua qualidade. A fonte provável de umidade no processo de produção é a falta de controle da umidade do agregado.

A norma IRAM 1753 (IRAM, 1985b) utiliza uma amostra com massa de $(10 \pm 0,5)$ g aquecida em estufa à temperatura de $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ durante 3 h. Após este período, a amostra é resfriada em um dessecador por 30 min. A perda de massa, expressa em porcentagem, é a diferença entre a massa inicial e após o aquecimento, dividida pela massa inicial. O ensaio é realizado duas vezes e os resultados não devem diferir mais que 0,1% entre si. A perda de massa máxima permitida é de 0,5%.

A norma A118.1 (ANSI, 1985a), cancelada em 1992, também estabelecia um procedimento semelhante, no qual o método IRAM foi baseado. No método ANSI, é indicado um cuidado adicional com o recipiente utilizado para depositar a amostra na estufa. A altura máxima da amostra dentro do recipiente deve ser de 3 mm. Isto para garantir perda de massa homogênea, evitando variações no método. A perda de massa máxima a 110° C era especificada pela ANSI em 0,90%.

3.4 Perda de Massa a 450°C

Esta determinação também é utilizada para verificação da uniformidade do produto. Na temperatura de 450°C ocorre decomposição de materiais orgânicos, como os aditivos utilizados em argamassa colante, a desidratação da cal hidratada e da cal livre do cimento, se presentes. Variações na perda de massa a 450°C, durante ensaios de uniformidade, podem indicar alteração na formulação da argamassa, ou hidratação do cimento no armazenamento.

A norma UEAtc (1990) e a norma DIN 18.156-1 (DIN, 1977) designam este método erroneamente como perda ao fogo. O termo perda ao fogo, é utilizado nacional e internacionalmente como sendo a perda de massa a 1000°C. Neste caso a perda de

massa incluiria a decomposição da fração carbonática, procedente do filer calcário do cimento, ou do agregado calcário, o que não apresenta interesse para esse controle, considerando-se suficiente incluir como requisito na norma nacional a perda de massa a 450°C.

A perda de massa no estado anidro é obtida após aquecer a amostra até a temperatura de 450°C, previamente submetida à perda de massa a 110°C durante 24 h. A perda de massa a 450°C, expressa em porcentagem, é a diferença entre as massas antes e após aquecimento a 450°C, dividida pela massa da amostra. A tolerância máxima estabelecida pela UEAtc (1990) durante o controle de uniformidade é de $\pm 1\%$ de variação dos resultados.

3.5 Síntese das investigações necessárias para o estado anidro

Dos requisitos abordados para o estado anidro, considera-se importante neste estudo:

- Avaliar a validade dos métodos para determinação da densidade de massa aparente, resíduo em peneira e perda de massa a 450°C para controle de uniformidade da argamassa durante a produção.
- Avaliar a utilização do resíduo na peneira 0,075 mm e perda de massa a 450°C para caracterização de classes de argamassa e também para controle da uniformidade do produto.

4 REQUISITOS, CRITÉRIOS E ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

As propriedades no estado fresco são importantes por influenciarem no desenvolvimento das propriedades no estado endurecido.

No entanto, a argamassa colante pode ter seu desempenho no estado fresco prejudicado por agentes de exposição⁷ ambiental, notadamente a temperatura, a umidade relativa e o vento, o que justifica a importância de levar-se em consideração as características climáticas regionais do País, na formulação do produto.

4.1 Tempo em Aberto Teórico

O tempo em aberto refere-se ao maior intervalo de tempo entre a aplicação da argamassa colante estendida em cordões sobre o substrato e o assentamento da placa cerâmica sobre estes cordões, de modo a obter-se uma resistência de aderência adequada (DIN, 1977).

A perda de resistência de aderência das placas assentadas após o tempo em aberto, é considerada como devida à formação de uma película que interfere na adesão inicial da argamassa colante, diminuindo a resistência de aderência, podendo levar ao descolamento da placa cerâmica (MÁS, 1995; CHEW, 1992). A velocidade de formação dessa película e, conseqüentemente, o tempo em aberto teórico, dependem diretamente da temperatura, da umidade relativa e da velocidade do vento (KRISTELLER, 1997).

Por isso mesmo, a UEAtc (1990) faz distinção entre tempo em aberto teórico, realizado em laboratório sob determinadas condições de temperatura, umidade relativa e velocidade de vento, e o tempo em aberto real observado na prática.

A formação de “película” na superfície da argamassa colante foi estudada por PÓVOAS (1999) que mostrou por ensaios de colagem com algodão e toque pelo

⁷ Agentes de exposição: Agentes externos ou internos que causam a perda da capacidade de desempenho do material ou sistema.

dedo⁸ que a película, na verdade é resultado da dessecação superficial causada pela evaporação e sucção de água da argamassa. Em argamassas dosadas apenas com retentores de água (sem polímero), a dessecação superficial ocorre mais rapidamente em relação às argamassas com polímeros, pois os retentores de água diminuem a exsudação, reduzindo a quantidade de água na superfície facilitando sua dessecação.

Pela observação da argamassa colante ao microscópio eletrônico de varredura, concluiu-se que há formação de filme polimérico, que recobre parcialmente os produtos de hidratação, paredes de poros, vazios e microfissuras, principalmente nas argamassas contendo o polímero EVA. A formação de película não foi evidenciada na argamassa contendo apenas retentor de água HEC, conforme constatado por SILVA, (2001).

Para ilustrar esse fenômeno o autor realizou um estudo utilizando-se duas amostras de argamassa colante, uma tipo AC I (sem polímero) e outra tipo AC III (com polímero). As amostras foram aplicadas, formando-se cordões sobre uma placa de vidro, desse modo a perda de água ocorreu apenas por evaporação. Por meio de um microscópio esterioscópico, marca Leica modelo wild M8, foi registrada a dessecação superficial nos intervalos de 5 min e 20 min após a aplicação. Aos 5 min as superfícies das duas argamassas apresentam-se com brilho, podendo-se notar a presença de água. Na argamassa AC I a perda de brilho superficial ocorreu mais rapidamente, do mesmo modo como descrito por PÓVOAS (1999). Após 20 min as duas argamassas apresentavam superfícies opacas. Imediatamente após este intervalo, parte da camada superficial de cada argamassa foi rompida. Em ambas, notou-se que logo abaixo da camada superficial havia grande quantidade de argamassa fresca e água. A argamassa AC III apresentou maior resistência superficial e também formação de fissuras. A Figura 8 ilustra o fenômeno de dessecação superficial das amostras.

⁸ O método do algodão é uma adaptação da DIN 18.156-2 (DIN, 1978). A cada minuto os chumaços de algodão são pressionados levemente contra os cordões de argamassa, quando o algodão não mais aderir à argamassa, atinge-se o tempo de formação de película. O toque pelo dedo, utiliza procedimento parecido: pressiona-se levemente o dedo sobre os cordões da argamassa. Quando o dedo não mais apresentar resíduos de argamassa, atinge-se o tempo de formação de película (PÓVOAS, 1999).

Argamassa tipo AC I **Argamassa tipo AC III**

(a) superfície dos cordões após 5 minutos da aplicação sobre placa de vidro – aumento 12x

(b) superfície dos cordões após 20 minutos da aplicação sobre placa de vidro – aumento 12x

(c) rompimento parcial da camada superficial, imediatamente após 20 minutos da aplicação – aumento 12x

Figura 8 – Aspecto apresentado pela camada superficial de cordões de argamassa colante. Observa-se na foto (a), nos tipos AC I e AC III, o brilho na superfície causado pela presença de água. Na foto (b) os dois tipos apresentam superfícies opacas, após 20 minutos da aplicação, denotando a evaporação da água. Na foto (c) observa-se que após romper a camada superficial ainda há argamassa fresca abaixo dela (lado direito das fotos). Para o tipo AC III, observa-se a formação de fissuras, decorrentes da maior resistência superficial durante o rompimento da “película”. Estudo realizado pelo autor (ABCP, 2003).

Para aproveitamento da camada de argamassa ainda fresca, e para garantir a resistência de aderência especificada, as normas de procedimento de execução de revestimentos de pisos e paredes com placas cerâmicas NBR 13753, 13754, 13755 (ABNT, 1996a,b,c) especificam a execução do rompimento da película por meio da movimentação da placa cerâmica, assentada ligeiramente fora de posição e arrastada perpendicularmente sobre os cordões da argamassa até a posição final.

O método especificado pela NBR 14083 (ABNT, 1998c), utilizado para avaliar o tempo em aberto teórico, não estabelece o procedimento de rompimento da camada superficial, e desse modo, estaria medindo na verdade o tempo de formação de película (FIORITO, 1998). O mesmo ocorre para os métodos especificados pela EN 1346 (CEN, 1999d) e BS 5980 (BSI, 1980). Este fato pode decorrer de uma preocupação na redação desses métodos em estabelecer uma situação mais desfavorável, julgando que, na prática, o rompimento da película superficial dos cordões pode nem sempre ser executada.

Como dito, os métodos NBR 14086 (ABNT, 1998c) e EN 1346 (CEN, 1999d) não executam em seus procedimentos o rompimento da película da argamassa. Após intervalos determinados de acordo com a classe de argamassa, as placas cerâmicas, com absorção de água de $(15 \pm 3)\%$, são posicionadas sobre os cordões de argamassa e carregadas com $(20 \pm 0,5)\text{N}$ durante 30 s. O tempo em aberto teórico é definido pelo intervalo máximo de tempo que obtenha a resistência de aderência à tração $\geq 0,5$ MPa, mensurada após 28 dias de cura ao ar. A resistência de aderência à tração é a média de, no mínimo, cinco valores com dispersão menor que 20%. Caso permaneçam menos de cinco resultados, o ensaio deve ser refeito.

Do mesmo modo, o método BS 5980 (BSI, 1980) não executa o rompimento da película. A argamassa colante é aplicada entre as faces do tardo de duas placas cerâmicas com porosidade aparente de $(32,5 \pm 2,5)\%$. O intervalo para aplicação de uma placa à outra é indicado pelo fabricante. Para cada intervalo de tempo são preparados três corpos-de-prova. A tensão de arrancamento é calculada, para cada intervalo, com no mínimo dois valores, que não devem estar afastados mais que 15%

da média. O tempo em aberto teórico é determinado pelo maior intervalo de tempo que obter a resistência $\geq 0,17$ MPa.

Diferentemente dos demais métodos de tempo em aberto, nos procedimentos UEAtc e ANSI a película superficial da argamassa colante deve ser rompida. O método UEAtc (1990) utiliza uma placa cerâmica com absorção de água de menor ou igual do que 0,5%, a menor entre todos os métodos. O ensaio é realizado com o intervalo de tempo especificado pelo fabricante e também com 10 minutos após esse intervalo. São assentadas sete placas cerâmicas, com o substrato-padrão na horizontal. As placas cerâmicas são carregadas com 2 kg durante 15 s. Em seguida, cada placa cerâmica é suavemente girada de aproximadamente 20° e novamente carregada com 2 kg por 15 s. A tensão de arrancamento é calculada pela média de no mínimo cinco valores, com dispersão em relação à média que não ultrapasse 20%, ou pela média dos sete valores, caso a dispersão seja maior.

A norma UEAtc não especifica o valor da resistência de aderência à tração, utilizado como referência para a determinação do tempo em aberto teórico. Ele é determinado como sendo o tempo anterior onde se observa um claro decréscimo da tensão de arrancamento ou uma mudança no tipo de ruptura da superfície de contato, entre a placa cerâmica e a argamassa (OLMO, 1990).

Diferentemente dos demais métodos, nos métodos A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b) o tempo em aberto teórico é determinado através da medida da resistência de adesão inicial e são propostas duas condições de temperatura no ensaio. O substrato utilizado é constituído de placa de gesso com 13 mm de espessura, colocado na posição vertical. O assentamento da primeira placa cerâmica é realizado após 45 minutos do espalhamento da argamassa, para a temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $(50 \pm 5)\%$. Para a temperatura de $(41,5 \pm 3,5)^{\circ}\text{C}$ este tempo é de 15 minutos. A placa cerâmica é pressionada sobre os cordões da argamassa com auxílio da ferramenta de tempo em aberto, até obter-se uma espessura de argamassa de 2,4 mm, entre a placa cerâmica e o substrato.

A cada cinco minutos uma outra placa cerâmica é assentada e girada a 90°. É considerado como tempo em aberto teórico, o intervalo máximo, desde a formação

dos cordões, no qual, após a execução do giro a 90°, a placa cerâmica continua aderida ao substrato. A Figura 9 ilustra a execução do ensaio e o equipamento de tempo em aberto.

(a) Ilustração do ensaio de tempo em aberto teórico. Verifica-se a perda de adesão da placa cerâmica assentada após 55 min da aplicação da argamassa. A perda de adesão ocorreu após a aplicação do giro de 90° com auxílio da ferramenta de tempo em aberto.

(b) Ferramenta de tempo em aberto. Consiste em uma placa metálica de (140x95) mm, com quatro parafusos, um em cada ângulo, ajustados de maneira que se obtenha a espessura desejada entre a placa cerâmica e o substrato.

Figura 9 – Determinação do tempo em aberto teórico (ANSI, 1999a,b).

A Tabela 8 apresenta os critérios especificados pelas normas e a Tabela 9 um resumo das variáveis de ensaio para determinação do tempo em aberto teórico.

Tabela 8– Critérios para avaliação do tempo em aberto teórico

Especificação	Classe de argamassa		Critério	
			Resistência de aderência à tração (MPa)	Intervalo de tempo (min)
NBR 14081	AC I		0,5	≥ 15
	AC II e AC III		0,5	≥ 20
	AC III – E		0,5	≥ 30
EN 12004	C1F e C2F		0,5	≥ 20
	CF		0,5	≥ 10
	C2E e C2TE		0,5	≥ 30
A118.1 e A118.4	Comum/modificada	(23±2)°C	0,5	≥ 50
		(41,5±3,5)°C	0,5	≥ 20
	Pega rápida	(23±2)°C	0,5	≥ 20
BS 5980	Todas		0,17	≥ fabricante
UEAtc	Comum e especial para pisos		0,5*	≥ 20
	Modificada e com caseína		0,5*	≥ 30

Nota: *A norma não especifica este valor, porém em literaturas que tratam da norma UEAtc, este é o valor adotado (OLMO, 1990).

Tabela 9 – Variáveis de ensaio para a determinação do tempo em aberto teórico

Variáveis de ensaio		NBR 14083		EN 1346	BS 5980	A118.1 e A118.4	UEAtc
Substrato-padrão	Tipo	Placa de concreto			Placa cerâmica	Placa de gesso	Placa de concreto
	Absorção (cm³)	< 0,5	0,5 a 1,5		-	-	-
	Posição inicial	horizontal			-	vertical	horizontal
	Espessura (mm)	≥ 15	40		9	40	≥40
Placa cerâmica	Dimensões (mm)	50x50			75x75x8	108x108x8	50X50
	Absorção (%)	15±3			(32,5±2,5) porosidade	14±1	≤0,5
	Placas por ensaio	10			1	1 por intervalo	7
	Coefficiente de expansão de umidade (mm/m)	< 0,6	-		-	-	-
Dispositivo de assentamento	Dimensões (mm)	50x50			Utiliza espaçadores	utiliza ferramenta de tempo em aberto	50x50
	Peso/massa	(20±0,5)N					2 kg
	Tempo de carregamento	30 s					15 s
Espessura cordões após assentamento (mm)					1,5	2,4	Recomendação Fabricante
Intervalos em aberto (min)		5, 10, 15, 20, 25, 30			5, 10, 15, 20	45	Fabricante e Fabricante + 10 min
						15	
Tempo de cura ao ar (dias)		28			14	-	28
Velocidade de arrancamento		(250±50)N/s			0,5 a 0,6 mm/s	-	(100±50) N/s
Número de determinações do ensaio		1			3	1	1
Expressão dos resultados		intervalo em minutos					
Descartes de valores		> 20% da média			> 15% média	-	> 20% da média

O método IRAM 1759 (IRAM, 1986d) denominado como tempo em aberto teórico, foi considerado inadequado para avaliar este requisito, sendo analisado como método para determinar o tempo de formação de película.

O tempo em aberto teórico deve ser maior do que o da prática, uma vez que é determinado em condições ambientais padrão mais favoráveis. Como explicar essa diferença, requer estudo da influência das condições especificadas no capítulo 2.

O modo como esse ensaio é realizado não representa pois resultados que se repitam na prática, incoerente com a fixação de um critério que se toma como referência em caso de descolamento. O ensaio deve, necessariamente, traduzir valores os mais próximos da realidade de cada região.

É necessário diferenciar na metodologia o que efetivamente é tempo em aberto e o que é tempo de formação de película. Poder-se-ia considerar como tempo em aberto teórico a propriedade que avalia a aderência da argamassa colante após um determinado intervalo em aberto, enquanto que o tempo de formação de película, seria a propriedade que avalia a adesão inicial da argamassa após um intervalo de tempo em aberto, podendo-se adotar preferencialmente o termo *adesividade*.

Um método que avalia toda a potencialidade do tempo em aberto, como é o caso da norma UEAtc, pode ser mais indicativo que outro que pretende prever uma pior condição de assentamento, no qual não é efetuado o rompimento da película.

4.2 Tempo de Formação de Película

O tempo de formação de película⁹ é o intervalo de tempo entre a aplicação da argamassa colante em cordões sobre um substrato, até a formação de uma película na superfície destes cordões. Esta definição não está associada à composição da argamassa, descrevendo apenas um fato observado na prática. Existindo argamassas colantes com ou sem polímeros, a formação de película pode ter causas diferentes, como discutido no item 4.1.

Ao contrário do que se deseja quando se determina o tempo em aberto teórico, para o tempo de formação de película, não se deve romper a mesma, evitando-se a influência da argamassa ainda fresca existente sob a película (FIORITO, 2002a).

A norma DIN 18.156-2 (DIN, 1978) especifica o teste do algodão. São utilizados chumaços de algodão de (50x50) mm do tipo prensado em rolo, assentados sobre os

⁹ Do termo em inglês “Skinning”.

cordões da argamassa, nos intervalos de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos. Cada chumaço de algodão é carregado durante 30 s com um peso de 5 N. Decorridas 24 h, os chumaços são retirados e verificado o instante no qual se constata uma expressiva redução no resíduo de algodão retido pela argamassa. Esse tempo é considerado como o tempo de formação de película. A determinação é realizada três vezes.

As normas A118.1 e A118.4 (ANSI, 1992a,b) canceladas na revisão de 1999, apresentavam um ensaio para determinação do tempo de formação de película. Sobre uma placa de gesso, fixada em um bloco de concreto, utilizada como substrato. Os cordões da argamassa eram aplicados na posição transversal, com espessura de 3 mm. A colocação das placas cerâmicas, com absorção de $(14 \pm 1)\%$, sobre os cordões, sem romper a película, era efetuada no instante zero e nos intervalos de 5 minutos e 10 minutos. O controle da pressão de assentamento das placas era padronizado com uma carga de chumbo de 6,8 kg, mantida por 15 s. As placas cerâmicas eram posicionadas paralelamente à placa de gesso, ultrapassando em 6 mm sua borda. Portanto, a área de contato com a argamassa, para cada placa cerâmica, era de $109,7 \text{ cm}^2$. O tempo de formação de película era determinado pela resistência de aderência ao cisalhamento, na idade de 3 dias, com valor $\geq 45,5 \text{ kgf}$ para os instantes zero e 5 minutos.

Apesar de intitulada norma de determinação de tempo em aberto teórico, o método IRAM 1759 (IRAM, 1986d) se aproxima mais da avaliação do tempo de formação de película. No método de ensaio, duas placas cerâmicas com absorção de $(15 \pm 3)\%$ são assentadas e carregadas com 2 kg durante 30 s, sem romper a película. Verifica-se a quantidade de argamassa aderida ao tardo das placas cerâmicas. A cada 5 minutos outras duas placas cerâmicas são assentadas. Considera-se o tempo de formação de película como o último resultado cuja porcentagem de argamassa aderida na placa cerâmica é $\geq 50\%$. O ensaio deve ser refeito, caso ocorra variação maior que 30% entre dois ensaios realizados ao mesmo tempo.

Figura 10 - Ensaio de tempo de formação de película (IRAM, 1986d)

Observa-se as massas de 2 kg utilizadas no carregamento das placas cerâmicas

A Tabela 10 apresenta os critérios especificados pelas normas, e a Tabela 11 um resumo das variáveis de ensaio para determinação do tempo de formação de película.

Tabela 10 – Critérios para avaliação do tempo de formação de película

Especificação	Classe de argamassa	Critério	
		Expressão do resultado	intervalo
A118.1 e 118.4	Todas	Resistência ao cisalhamento aos 3 dias > 0,04 MPa	0 e 5 min
DIN 18.156-2	Todas	Redução do algodão aderido	≥ 10 min
IRAM 1752	Todas	≥ 50% de área de argamassa aderida	≥ 15 min

Tabela 11– Variáveis de ensaio para determinação do tempo de formação de película

Variáveis de ensaio		A118.1 e A118.4	DIN 18.156-2	IRAM 1759
Substrato-padrão	Tipo	Placa de gesso	Placa de concreto	
	Posição inicial	horizontal	Horizontal	
Placa cerâmica	Dimensões (mm)	108x108x8	Utiliza chumaço de algodão 50x50	50x50
	Absorção (%)	14±1	-	15±3
	Placas por ensaio	1 por intervalo		2 por intervalo
Dispositivo de assentamento	Dimensões (mm)	102 mm diâmetro	-	50x50
	Peso/massa	170 g + 6,8 kg	5 N	2 kg
	Tempo de carregamento	15 s	30 s	30 s
Espessura cordões após assentamento (mm)		3 mm	-	-
Intervalos para assentar as placas cerâmicas (min)		0, 5 e 10	5, 10, 15, 20, 25 e 30	5, 10, 15, 20 e 25
Tempo de cura ao ar		3 dias	24 h	-
Velocidade de ensaio		163,3 kg/min	-	-
Verificação da impregnação de argamassa		Não	algodão aderido à argamassa	argamassa aderida à placa cerâmica
Número de determinações do ensaio		1	3	1
Expressão dos resultados		Resistência ao cisalhamento em kgf	Intervalo de tempo em minutos	
Descarte de valores		-	-	> 30% entre duas placas

4.3 Tempo de Correção

O tempo de correção¹⁰ ou tempo de ajuste é o intervalo de tempo máximo no qual uma placa cerâmica mal assentada sobre os cordões da argamassa colante pode ser ajustada, sem que haja perda na resistência de aderência (DIN, 1977).

Para avaliar este requisito, têm-se as normas A118.1 e A118.4 (1999a,b) que se diferenciam das demais normas, já na preparação da argamassa, por especificar um

tempo de maturação adicional de 1 hora, além dos 15 minutos usuais, e duas temperaturas ambiente.

A argamassa é aplicada em cordões sobre o substrato de placa de gesso na posição vertical. Imediatamente após, são assentadas 10 placas cerâmicas, com absorção de $(14\pm1)\%$, com o auxílio da mesma ferramenta de tempo em aberto, ajustada para espessura de 2,4 mm. Na temperatura $(23\pm2)^{\circ}\text{C}$, aguardam-se 25 minutos para girar as dez placas cerâmicas de um ângulo de 90° e, retornar à posição original. Na temperatura de $(41,5\pm3,5)^{\circ}\text{C}$ aguardam-se 5 min para efetuar o primeiro giro. Em seqüência, as dez placas são giradas a intervalos de 5 minutos. O tempo de correção, expresso em minutos, é considerado como o maior intervalo de tempo, desde o assentamento, no qual uma placa cerâmica continua aderida ao substrato.

O princípio do método IRAM 1758 (IRAM, 1985d) é o mesmo das normas A118.1 e A118.4 (1999a,b), com a diferença de utilizar um substrato de concreto e assentar 12 placas cerâmicas, com absorção de $(15\pm3)\%$, dispostas em 3 filas com quatro placas em cada fila e girar as placas cerâmicas uma única vez. Após 20 min do assentamento, as placas da primeira fila são giradas a 90° , e retornadas à posição original. Repete-se o procedimento na segunda fila aos 25 min e, na terceira fila, aos 30 min. O tempo de correção, expresso em minutos, é determinado com um número mínimo de placas cerâmicas que permanecem aderidas ao substrato em cada intervalo.

Outro método é proposto pelas normas DIN 18.156-2 (DIN, 1978) e UEAtc (1979) cancelada na versão de 1990. Após 10 minutos da aplicação da argamassa no substrato, três placas cerâmicas, com absorção de $(15\pm3)\%$, são assentadas. Decorridos mais 10 minutos, as placas são giradas manualmente a 90° , retornando à posição original. O efeito do tempo de correção no intervalo de 10 minutos é determinado pela resistência de aderência à tração aos 28 dias (Figura 11).

¹⁰ Do termo em inglês “adjustability” (ANSI, 1999a,b)

Figura 11 – Ilustração do ensaio de determinação do tempo de correção – (DIN, 1978). A placa na parte inferior já foi girada e retornada à posição original, observando-se o esmagamento dos cordões. Na placa do meio observa-se a execução manual da mudança de posição (giro a 90°), simulando a correção.

Como é comum para os métodos da BS 5980 (BSI, 1980), este ensaio também utiliza como substrato placas cerâmicas de porosidade aparente de $(32,5 \pm 2,5)\%$. A argamassa é aplicada entre as faces do tardo de duas placas com auxílio de espaçadores para obter a espessura de 1,5 mm. A correção das placas é realizada aos 5 min e 10 min após o assentamento, aplicando-se um giro de 90° e retornando-se à posição original. Para cada intervalo são preparados cinco corpos-de-prova.

Assim como na norma DIN, o tempo de correção, nos intervalos de 5 min e 10 min, é determinado pela resistência de aderência à tração. Deve-se descartar qualquer resultado com afastamento maior que 15% da média.

A Tabela 12 apresenta um resumo das variáveis de ensaio para determinação do tempo de correção e a Tabela 13 os critérios especificados pelas normas.

Tabela 12 – Variáveis de ensaio para determinação do tempo de correção

Variáveis de ensaio		A118.1 e A118.4	IRAM 1758	DIN 18.156-2 e UEAtc	BS 5980
Substrato-padrão	Tipo	Placa de gesso	Placa de concreto		Placa cerâmica
	Absorção	-	-	-	32,5±2,5 (porosidade)
	Posição inicial	vertical		horizontal	-
Placa cerâmica	Dimensões (mm)	108x108x8	75x75	50x50	75x75x8
	Absorção (%)	14±1	15±3	15±3	-
	Placas por ensaio	10	12	3	2
Intervalo em aberto (min)		0	0	10	0
Dispositivo de assentamento	Peso	Utiliza ferramenta de tempo em aberto	Utiliza espaçadores	20 N	Utiliza espaçadores
	Tempo de carregamento			30 s	
Espessura após assentamento (mm)		2,4	2,0	-	1,5
Execução da correção	Intervalo antes da primeira correção (min)	25 (23±2)°C	20, 25 e 30	10	5 e 10
		5 (41,5±3,5)°C			
	Correção	Girar cada peça a 90° e retornar à posição inicial			
	Repetição da correção	cada 5 min	Apenas uma vez		
Velocidade de arrancamento		-	-	(100±50) N/s	5 a 6 mm/min
Número de determinações do ensaio		1			5 por intervalo
Expressão dos resultados		Tempo em minutos		Resistência de aderência à tração em MPa	
Descarte de valores		-	-	-	> 15% média

Tabela 13 – Critérios para avaliação do tempo de correção

Especificação	Classe de argamassa	Critério		
		Temperatura ambiente (°C)	Resistência de aderência à tração - Nº de placas aderidas	Intervalo (min)
A118.1 e A118.4	Comum e modificada com polímero	23±2	-	≥30
		41,5±3,5	-	≥10
	Pega rápida	23±2	-	≥20
IRAM 1752	Todas	23±2	3 placas	20
			2 placas	25
			1 placas	30
DIN 18.156-2		20±2	≥ 0,5 MPa.	10
UEAtc			≥ 0,13 MPa	5
BS 5980			≥ 0,08 MPa	10

Durante a execução de um revestimento cerâmico, sempre haverá correções do posicionamento das placas, conforme depoimento de oficiais especializados na execução de revestimento cerâmico¹¹. Nessa condição, a determinação do tempo de correção da argamassa colante exerce papel importante, devendo-se realizar estudos da influência da correção no desempenho do produto nacional.

4.4 Deslizamento na Posição Vertical

Considera-se como deslizamento a deformação dos cordões frescos de argamassa colante, aplicada sobre uma superfície vertical ou inclinada, pela ação do peso da placa cerâmica (DIN, 1977). É uma propriedade reológica da argamassa colante. Haverá o deslizamento da placa cerâmica, caso a tensão de cisalhamento da argamassa seja menor que o peso da placa cerâmica. (OLMO, 1982).

Entre as variáveis que influenciam o deslizamento, os relativos à placa cerâmica são: massa por unidade de área, absorção de água e rugosidade da face em contato com a

¹¹ Consulta realizada pelo autor a empresas, da Grande São Paulo, especializadas na execução de revestimentos cerâmicos.

argamassa. Para o substrato são consideradas a sucção inicial de água e a textura. A espessura dos cordões da argamassa, intervalo de tempo entre a aplicação da argamassa e o assentamento da placa cerâmica, carregamento aplicado à placa cerâmica e tempo de permanência do substrato na posição vertical, também devem ser levados em conta, além das condições ambientais de laboratório.

Todas as normas analisadas apresentam um método de ensaio para determinar essa propriedade. O método da NBR 14085 (ABNT, 1998e), e o método da EN 1308 (CEN, 1999a) especificam o assentamento da placa cerâmica, após 2 minutos da aplicação da argamassa, com o substrato na posicionado horizontal. As placas cerâmicas são então carregadas com um peso de $(50 \pm 0,1)N$ durante 30 s. Em seguida, o substrato é posicionado na vertical, como indicado na Figura 12, e o deslizamento apresentado pelas placas determinado após 20 minutos.

No método CEN, o ensaio é realizado com apenas uma placa cerâmica por substrato, assentada com o lado do tardo e, repetido por três vezes. A absorção da placa cerâmica deve ser menor ou igual do que 0,2% enquanto que na norma brasileira a placa cerâmica deve ter absorção de $(3 \pm 1)\%$ e são assentadas três placas, na face lisa, no mesmo substrato. O resultados final é a média do deslizamento das três placas.

Figura 12 – Ilustração do conjunto montado para o ensaio de deslizamento. A régua metálica, presa por sargentos, apóia os espaçadores de 25 mm, já retirados, utilizados para posicionar as placas cerâmicas (ABNT, 1998e).

O método da UEAtc (1990) estabelece um tempo de espera de 10 minutos para o assentamento da placa cerâmica. São utilizados dois tipos de placa, um tipo azulejo com absorção $(12,5 \pm 2,5)\%$ e um tipo grés com absorção menor ou igual do que $0,5\%$. O deslizamento é determinado após a permanência do substrato na posição vertical durante 24 h. Considera-se o resultado individual de cada placa. O critério é único para os dois tipos de placa cerâmica.

Nos métodos IRAM 1757 (IRAM, 1990) e DIN 18.156-2 (DIN, 1978), além do peso da placa cerâmica com absorção de água de $(15 \pm 3)\%$, um carregamento extra, aumenta a força de cisalhamento entre a placa cerâmica e a argamassa colante. O tempo de espera para o assentamento da placa cerâmica é de 10 minutos na norma DIN e de 5 minutos na norma IRAM. O intervalo de permanência do substrato na posição vertical é de apenas 10 minutos, metade do tempo da norma brasileira. Após a medida do deslizamento, causado pelo peso da placa cerâmica, adiciona-se um peso de 3 N durante 3 minutos. O deslizamento é medido novamente. Quanto aos resultados, a norma IRAM especifica que das quatro placas ensaiadas, três devem atender ao critério da norma, enquanto que a norma DIN estabelece que nenhum valor pode ser menor que o especificado.

As normas A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b) são as únicas que especificam o assentamento da placa cerâmica com um carregamento dinâmico, tentando simular o procedimento de assentamento na prática. O substrato utilizado é um bloco de concreto de $(51 \times 190 \times 394)\text{mm}$. O carregamento da placa cerâmica, com absorção menor do que 3% , é efetuado com uma massa de $(130 \pm 5)\text{g}$, lançada da altura de 10 cm, em quatro posições diferentes, utilizando-se um dispositivo especial de ensaio. O deslizamento é medido após 1 hora de permanência do bloco de concreto na posição vertical. Caso o ensaio seja realizado para uma argamassa colante antideslizante, é utilizada uma placa cerâmica para piso não esmaltada com dimensões de $(100 \times 100 \times 12)\text{mm}$ e absorção de menor do que 5% , utilizada com a face lisa em contato com a argamassa. São especificados critérios diferentes para os dois casos.

A norma BS 5980 (BSI, 1980) estabelece o ensaio de deslizamento como opcional, sendo executado nas condições de assentamento em paredes verticais, onde a

condição de deslizamento da placa cerâmica for importante. O procedimento não é claro e não estabelece condições padrão para muitas variáveis. Recomenda apenas que a argamassa preparada segundo a orientação do fabricante, deve ser estendida com espessura adequada em uma superfície vertical. Após 5 minutos da aplicação da argamassa, a placa cerâmica é assentada, observando-se em seguida o deslizamento ocorrido.

A Tabela 14 apresenta os critérios especificados pelas normas e a Tabela 15 um resumo das variáveis de ensaio para determinação do deslizamento.

Tabela 14 – Critérios para avaliação do deslizamento

Especificação	Classe de argamassa	Critério
NBR 14081	Todas	$\leq 0,5$ mm
EN 12004	Todas	$\leq 0,5$ mm
A118.1 e A118.4	Antideslizante	0 mm
	Outras	< 2 mm
BS 5980	Todas	Não especifica
DIN 18.156-2	Todas	$\leq 0,5$ mm
IRAM 1752	Todas	$\leq 2,0$ mm
UEAtc	Todas	$\leq 1,0$ mm

Da análise da Tabela 14 observa-se que os valores de deslizamento são muito baixos e não traduzem a grande variabilidade dos parâmetros de ensaio adotados, questionando-se também a precisão com que se consegue medir o deslizamento. É necessário encontrar outro modo de avaliação que apenas traduza a resistência da argamassa a uma força de cisalhamento exercida pela placa assentada. Ainda assim, o critério adotado deve considerar que na prática, as placas cerâmicas são assentadas umas após as outras, existindo um apoio natural que impede um deslizamento maior e que, as técnicas atuais de assentamento utilizam espaçadores, fixando as juntas de assentamento, constituindo-se também em pontos de sustentação da placa cerâmica.

Atualmente o ensaio de deslizamento é muito importante na caracterização da argamassa colante, pois, em muitos casos, limita o teor de água a ser utilizada na mistura, o qual pode prejudicar o seu tempo em aberto teórico e todas demais propriedades.

Essa propriedade deveria ser especificada como opcional, para ser avaliada nas condições de obra, ou ainda ser especificada, apenas para as argamassas com características específicas para essa propriedade, estabelecendo-se um tipo diferenciado de produto, como ocorre nas especificações da CEN.

Tabela 15 – Variáveis de ensaio para determinação do deslizamento

Variáveis de ensaio		NBR 14085	EN 1308	A118.1 e A118.4	BS 5980	DIN 18.156-2	IRAN 1757	UEAtc
Substrato-padrão	Tipo	Placa de concreto		Bloco de concreto	-	Placa de concreto		
	Absorção (cm³)	< 0,5	0,5 a 1,5	-	-	-	-	-
	Posição inicial de aplicação	Horizontal			vertical	Horizontal		
Placa cerâmica	Área (mm²)	10.000		10.404	-	22.500		10.000
	Massa (g)	175±10	200±10	200±10	-	-	-	100
				Não especificado.*				200
	Absorção (%)	3±1	≤0,2	≤3	-	15±3	12,5±2,5	
				≤5			≤0,5	
	Massa/área (g/mm²)	0,018	0,020	0,019	-	-	-	0,010 0,020
	Face de aplicação	Face lisa	Tardoz	Tardoz ou Face lisa*	Tardoz			
	Placas por ensaio	3	1		-	1	2	
Espessura inicial dos cordões (mm)		5		-	-	5		
Dispositivo de assentamento	Peso/massa	(50±0,1)N		(130±5)g	-	50 N		2 kg
	Tempo de carregamento	30 s		4 golpes a 10 cm altura	-	30 s		
Tempos de ensaio	Tempo de espera para assentamento das placas cerâmicas sobre cordões (min)	2		0	5	10	5	10
	Permanência do substrato na posição vertical	20 min		1 h	Aplicação na vertical	10 min + 1 min com carga de 300g		24 h
Número de realizações		1	3	1	-	3	2	1
Expressão dos resultados		Deslocamento em mm						
Descarte de valores		-	-	-	-	-	Maior valor	-

Nota:*Para argamassa antideslizante

4.5 Plasticidade

Dependendo da viscosidade, a argamassa, depois de estendida, adere mais ou menos ao tardo da placa cerâmica assentada com aplicação de carga. É denominada capacidade de molhamento¹² pela EN 12004 (CEN, 2001) e consistência pela UEAtc (1990). Para esta propriedade, considera-se que a denominação mais adequada é *plasticidade*, sendo este o termo adotado neste trabalho.

Os métodos EN 1347 (CEN, 1999e) e DIN 18.156-2 (DIN, 1978) especificam procedimentos muito semelhantes, com diferenças apenas nos intervalos para a aplicação de carga de 50 N e dimensão da placa de vidro. O resultado é expresso em porcentagem de área da placa de vidro, em contato contínuo com a argamassa. A norma EN 12004 (CEN, 2001) não especifica limites para a plasticidade, devendo o fabricante apenas informar o valor a ser adotado neste ensaio.

A UEAtc (1990) em lugar de determinar a área de contato entre a placa de vidro e a argamassa, determina a força necessária para produzir (por efeito de esmagamento dos cordões) um filme contínuo da argamassa colante sobre a placa de vidro. É efetuado um carregamento crescente, com pesos de 5 N, 10 N e 20 N. O intervalo em aberto dependerá da classe de argamassa, podendo-se estabelecer tempos de 20 min ou 30 min. Não fica claro, no método, se o filme contínuo deve preencher 100% da área da placa (Figura 13)

Figura 13 - Determinação da plasticidade pelo método UEAtc. Verifica-se a aplicação do peso de 5 N sobre uma das placas de vidro, que posteriormente será carregada com 10 N e 20 N.

¹² Do termo em inglês “Wetting capability” (CEN, 1999d).

A Tabela 16 apresenta os critérios especificados pelas normas e a Tabela 17 um resumo das variáveis de ensaio para determinação da plasticidade.

Tabela 16– Critérios para avaliação da plasticidade

Especificação	Classe de argamassa	Critério	
		Porcentagem de área ou carga aplicada	Intervalo (min)
EN 12004	Todas	Informação do fabricante	
DIN 18.156-2	Todas	$\geq 65\%$	10
UEAtc	Comum	$\leq 20N$	20
	Modificada com polímero		30
	Especial para pisos	$\leq 10N$	20

Tabela 17 –Variáveis de ensaio para determinação da plasticidade

Variáveis de ensaio		EN 1347	DIN 18.156-2	UEAtc
Substrato-padrão		Placa de concreto		
Absorção (cm ³)		0,5 a 1,5	-	-
Placa de vidro	Dimensões (mm)	100x100x6	150x150x5	50x50x4
	Quantidade por ensaio	1	1	1
Dispositivo de carga	Peso (N)	50±0,1	50	5, 10 e 20
	Tempo de carregamento (s)	30		
Tempos de ensaio	Intervalo para posicionar as placas de vidro sobre os cordões (min)	0, 10, 20 e 30	10	20 ou 30 dependendo da argamassa
Número de determinações do ensaio		1 por intervalo	3	
Expressão do resultado		Porcentagem de área		Carga e tempo

4.6 Coesão após Assentamento

O método A118.1 (ANSI, 1999a) especifica um método singular de avaliação da coesão da argamassa. Aplica-se entre duas placas cerâmicas, com absorção de (14±1)%, uma camada de 6 mm de espessura de argamassa. O conjunto é colocado

na posição horizontal, com a placa superior presa a um suporte, ficando a placa inferior suportada apenas pela coesão da argamassa. Após 24 h é verificada a posição da placa inferior, que não deve sofrer deslocamento.

4.7 Consistência

O ensaio de consistência é um outro método relacionado com a reologia da argamassa colante. O método especificado pela norma IRAM 1755 (IRAM, 1985), utiliza uma mesa de impacto, com diâmetro de 254 mm, altura de queda de 12,7 mm e massa total de 4.050 g. A argamassa é moldada em duas camadas, em um molde tronco-cônico, com diâmetros interno de 100 mm e 70 mm e altura de 50 mm, previamente untado com lubrificante. São aplicados 20 golpes em cada camada. Após a retirada do molde, são aplicados 25 golpes na mesa de impacto em 15 s. Determina-se a consistência através da média em milímetros de quatro medidas do diâmetro. Pelas características reológicas da argamassa colante, este método não possui utilidade do ponto de vista prático, pois não tem relação com a facilidade de aplicação, nem de caracterização, pois a experiência tem mostrado que esse ensaio não diferencia amostras entre si.

4.8 Viscosidade

Os requisitos de qualidade, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido, são influenciados pela reologia¹³ da argamassa. A argamassa colante se comporta como um fluido de Bingham, apresentando características de tixotropia¹⁴.

A maior ou menor facilidade na aplicação da argamassa colante, depende de sua reologia, uma baixa tensão superficial da fase líquida, uma suficiente coesão de suas partes integrantes e baixa viscosidade (OLMO, 1982). No entanto, o mesmo autor considera que a adesão da argamassa à base e à placa depende, entre outros fatores,

¹³ Reologia: Ciência que estuda o fluxo e deformação da matéria.

¹⁴ Tixotropia: A viscosidade diminui à medida que a tensão de cisalhamento aumenta, porém com o tempo, retorna-se à viscosidade original. A argamassa colante deve apresentar esta propriedade quando aplicada no substrato com desempenadeira ou quando misturada durante o preparo (OLMO, 1982).

de uma alta viscosidade da pasta. Portanto, deve-se buscar um valor ótimo de viscosidade que proporcione a máxima adesão e ao mesmo tempo facilidade na formação dos cordões.

Os ensaios de deslizamento, consistência, plasticidade, coesão após a aplicação e formação de película pelo método IRAM são uma tentativa de avaliar o comportamento reológico da argamassa.

Um ensaio bastante utilizado para avaliar a reologia da argamassa colante, durante a etapa de formulação, é a determinação de sua viscosidade. Para isso são utilizados viscosímetros do tipo Brookfield, como o apresentado na Figura 14

(a) Viscosímetro Brookfield. Observa-se na parte superior o motor de agitação e a haste mergulhada na argamassa que preenche totalmente o recipiente

(b) Detalhe do fuso utilizado em ensaio de argamassa colante (spindle TB). Durante o ensaio o fuso executa movimentos giratório e ascendente.

Figura 14 - Determinação da viscosidade por meio do viscosímetro Brookfield.

4.9 Tempo de Pega

O termo pega, é definido de maneira arbitrária para se referenciar o tempo de enrijecimento da pasta de cimento. Os termos início de pega e final de pega, são utilizados para descrever arbitrariamente estados escolhidos da pega, segundo condições e equipamento padrão, que é a agulha de Vicat (NEVILLE, 1997) ou ainda com a agulha Gilmore.

Em relação à argamassa colante, a adição de aditivos promotores de adesão pode causar retardo nas reações de hidratação, resultando no aumento do período de indução com o aumento significativo do tempo de pega. Isso se deve à interação dos látices poliméricos com as partículas de cimento que podem resultar no retardo da nucleação e crescimento do hidróxido de cálcio durante a hidratação (SILVA, 2001). FIORITO (1994) afirma que o valor mais significativo é o tempo de início de pega, pois este pode indicar o tempo útil da argamassa. Entretanto, os métodos A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b) estabelecem para a argamassa de tempo de pega normal, ensaiada à temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$, um tempo de início de pega maior do que 6 h, e tempo de final de pega menor do que 15 h. Estes valores estão muito acima do tempo útil, especificado em 2 h e 30 min pelas normas NBR 13753, 13754, 13755 (ABNT, 1996a,b,c). Desse modo, essa determinação não apresenta interesse prático, a não ser quando se trata de argamassa com tempo de pega rápido, quando se deseja desenvolvimento mais rápido das resistências mecânicas. Esta classe de argamassa é indicada quando da necessidade de rapidez na liberação ao uso de uma determinada área do revestimento cerâmico construído ou em construção. Neste caso, considera-se mais importante avaliar o tempo de fim de pega da argamassa e sua relação com o tempo útil.

Para essa determinação as normas A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b) utilizam o equipamento de Gilmore especificado na norma ASTM C 266 (ASTM, 1999). O equipamento consta de duas agulhas, uma para determinação do tempo de início de pega, com massa de $(113,4\pm 0,5)\text{g}$ e diâmetro de $2,12\pm 0,05\text{ mm}$ e outra para determinação do tempo de final de pega, com massa de $(453,6\pm 0,5)\text{g}$ e diâmetro de $1,06\pm 0,05\text{ mm}$. A amostra é colocada em um molde cilíndrico, com espessura de 13 mm, e o tempo de pega é determinado no momento em que não se percebe marca visível de penetração das agulhas na superfície da amostra. O método leva em conta também a influência da temperatura de ensaio (Figura 15). Os limites especificados estão indicados na Tabela 18.

(a) Equipamento Gilmore. Ao lado esquerdo do equipamento observa-se a agulha de fim de pega e o molde com a amostra sendo ensaiada. Ao lado direito observa-se a agulha para determinação do tempo de início de pega

(b) Seção do corpo-de-prova após determinação do tempo de pega à temperatura de 38°C. Observa-se a camada superior mais esbranquiçada formada pela ação da temperatura ambiente elevada

Figura 15 – Determinação de tempo de pega pelo equipamento Gilmore – (ANSI, 1999a,b)

Tabela 18 – A118.1 e A118.4 - Critérios para avaliação dos tempos de pega

Temperatura (°C)	Tempo de pega	Classes de argamassa	
		Comum ou modificada com polímero	Pega rápida
(23±2)	Início (h)	> 6	≥ 1
(23±2)	Fim (h)	> 9 e < 15	≤ 3
38	Início (h)	> 1	não são especificados para a argamassa de pega rápida
38	Fim (h)	> 1,5	

O método de determinação do tempo de pega especificado pela UEAtc (1990), é recomendado apenas para argamassa com adição de caseína. É semelhante ao ensaio de determinação do tempo de pega de cimento especificado pela NBR 11581 (ABNT, 1991) com utilização da agulha de *Vicat* e molde tronco-cônico. A diferença reside na expressão dos resultados: não é expresso em tempo e, sim, em profundidade de penetração da agulha. Após a verificação do início de pega, a posição do cone é invertida expondo a superfície que não entrou em contato com o ar. Executa-se a penetração da agulha, que deve atingir a profundidade mínima de 1 cm.

4.10 Tempo Útil

O tempo útil é o tempo disponível para aplicação da argamassa no substrato e compreende o intervalo de tempo decorrido entre o contato da argamassa anidra com a água de amassamento ou com o aditivo, no caso de argamassa bicomponente, até o momento em que a argamassa pode ainda ser utilizada.

O tempo útil da argamassa depende de sua formulação e das condições ambientais durante a preparação até o momento da aplicação. Em alguns casos pode estar relacionado ao tempo de pega da argamassa, podendo-se dizer que argamassas com tempo de pega rápido apresentam menor tempo útil.

A UEAtc (1990) é a única norma que especifica um método de ensaio para determinação do tempo útil da argamassa colante. Uma amostra de 1 kg de argamassa, recém preparada, é mantida em condições ambientais em um recipiente tronco-cônico. Ao final do tempo útil estabelecido pelo fabricante, a argamassa é aplicada sobre o substrato-padrão. O desempenho é verificado executando-se o ensaio de tempo em aberto teórico estabelecido pela UEAtc. Segundo esta norma, o produto deve apresentar tempo útil mínimo de 3 h e atender ao critério para o tempo em aberto teórico.

A norma NBR 14081 (ABNT, 1998a) não especifica o tempo útil da argamassa, entretanto as normas de procedimento de execução de revestimentos de pisos e paredes com placas cerâmicas NBR 13753, 13754, 13755 (ABNT, 1996a,b,c) estabelecem que o tempo útil da argamassa seja no mínimo de 2 h e 30 min. Recomendações de fabricantes impressas em embalagens e catálogos de argamassa colante indicam tempo útil entre 2 h e 3 h.

Não foram encontrados estudos sobre o tempo útil da argamassa colante, o que se faz necessário, considerando diferenças significativas de formulação como por exemplo, a presença de materiais poliméricos em algumas classes desse produto, além da evolução dos cimentos nacionais em relação ao desenvolvimento das resistências mecânicas.

4.11 Retenção de Água

A retenção de água é a capacidade de uma argamassa, no estado fresco, de reter a água de amassamento quando exposta à sucção do substrato e à evaporação para o ambiente. A capacidade de retenção de água é um dos principais requisitos da argamassa colante; possibilita a sua aplicação em camada fina, sem a necessidade de molhar as placas cerâmicas, nem o substrato, o que diminui o número de operações para o assentamento de um revestimento cerâmico. Tendo a retenção de água como uma propriedade importante, é necessário verificar se os métodos existentes para determinar essa propriedade são adequados às características da argamassa colante. Os métodos disponíveis estão citados em seguida.

Para a determinação da capacidade de retenção de água, o método DIN 18.155-7 (DIN, 1987), utiliza um papel-filtro, para simular a absorção do substrato. Após 5 min do contato da argamassa com o papel-filtro, posicionado sobre a camada de argamassa e carregado com uma massa de 2 kg, determina-se a porcentagem de água retida na argamassa.

A norma NBR 13277 (ABNT, 1995) especifica um método similar utilizado na caracterização de argamassas de revestimento e assentamento. A diferença é o intervalo de tempo que a argamassa fica em contato com o filtro, que é de 2 min. A capacidade de retenção de água é expressa em porcentagem (Figura 16).

Figura 16 – Determinação da retenção de água por meio do papel-filtro – NBR 13277 – A argamassa preenche o recipiente que se acha coberto com papel-filtro faixa branca com 85 g/cm² e diâmetro de 110 mm (12 discos por determinação). Ao lado a massa de 2 kg a ser aplicado sobre o papel.

Um método alternativo para determinar a retenção de água, é especificado pelo projeto de norma para argamassa de rejuntamento 18:406.05-001 de 2001, que verifica a migração da água da argamassa para um papel-filtro. A argamassa é moldada em anel com diâmetro de 48 mm e altura de 12 mm. A migração de água para o papel-filtro, é determinada nos intervalos de 4 min, 7 min e 10 min, determinando-se o diâmetro da marca de água, descontando-se o diâmetro do molde.

Os métodos especificados pela UEAtc (1990) e ASTM C 91 (ASTM, 2002), empregam o funil de *Büchner*. O funil possui uma base perfurada, recoberta com papel-filtro com diâmetro de 150 mm, sobre a qual é colocada uma camada de argamassa, com altura de 20 mm. A aplicação de uma pressão negativa de 60 mmHg durante 2 minutos simula a sucção do substrato. A UEAtc expressa a retenção de água em massa de água extraída da argamassa e a ASTM, que estabelece uma pressão negativa de 50 mmHg, expressa o resultado em porcentagem de água retida na argamassa (Figura 17).

Figura 17 - Determinação da retenção de água por meio do funil de Büchner – (UEAtc, 1990; ASTM, 2002). Do lado esquerdo da figura observa-se a bomba de vácuo para aplicação da sucção. Na parte superior está a base perfurada que será preenchida com argamassa após colocação do papel-filtro com diâmetro de 150 mm, apresentado do lado direito da figura. No centro está o erlenmeyer contendo a água succionada.

4.12 Manchamento da Placa Cerâmica

O único método que verificava a potencialidade de manchamento, causado pela argamassa colante era a norma A118.1 (ANSI, 1985) cancelado já na revisão em 1992. Admitiu-se que o manchamento da placa cerâmica pode ser causado pela argamassa colante devido à utilização de cimentos com alto teor de adição de escória de alto-forno, combinado com a porosidade elevada da placa cerâmica. O método consistia na utilização de uma placa cerâmica, com absorção de água de $(14 \pm 1)\%$ e superfície vidrada transparente, para permitir a visualização do biscoito da placa cerâmica. Cinco gramas da argamassa preparada com relação água:argamassa em massa de 5:1 eram aplicados no tardo da placa. Em seguida, a placa cerâmica permanecia em estufa à temperatura de 90°C durante 3 h. A face vidrada transparente da placa cerâmica não poderia apresentar manchamento visível.

O manchamento de placas cerâmicas, devido à utilização de argamassa colante, não tem sido observado na prática.

4.13 Síntese das investigações necessárias para o estado fresco

Dos requisitos abordados para o estado fresco, considera-se importante neste estudo:

- Avaliar a influência do rompimento da película superficial formada nos cordões da argamassa na resistência de aderência à tração;
- Avaliar a relação do tempo de formação de película com outras propriedades reológicas como a plasticidade e viscosidade e também com o tempo em aberto teórico e com a resistência de aderência à tração;
- Avaliar a influência da absorção da placa cerâmica e do teor de água de amassamento no deslizamento da placa cerâmica;
- Avaliar a influência do tempo de maturação e tempo útil no tempo em aberto teórico;
- Avaliar a relação entre o tempo de pega e o tempo útil da argamassa;
- Avaliar a validade dos métodos para a determinação da retenção de água.

5 REQUISITOS, CRITÉRIOS E ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

No estado endurecido, a argamassa colante cumpre a função de conferir aderência entre a placa cerâmica e o substrato, propiciando segurança aos usuários e mantendo a funcionalidade do revestimento cerâmico.

Nesse estado, a argamassa é submetida a diversos agentes de exposição que podem comprometer a durabilidade¹⁵ do revestimento cerâmico. Assim como no estado fresco, agem sobre a argamassa no estado endurecido os agentes ambientais: temperatura, umidade relativa e vento, sendo neste caso mais importante o micro-clima, do que propriamente o macro-clima. Além desses, temos ainda os fatores de carregamento como a deformação lenta da estrutura e a fadiga, e os fatores biológicos, como os microorganismos.

Os agentes de exposição podem comprometer o revestimento cerâmico por aspectos estéticos ou funcionais. O descolamento da placa cerâmica é, sem dúvida, a patologia mais importante que o revestimento cerâmico pode apresentar, preocupando muito mais pela segurança dos usuários, do que pelo aspecto estético comprometido e pode, em alguns casos, estar relacionado ao desempenho da argamassa colante.

O emprego de materiais com propriedades mecânicas diferentes como a argamassa colante, argamassa de rejuntamento e placa cerâmica, geram tensões que podem causar o descolamento da placa cerâmica (SARAIVA, 1998).

5.1 Resistência de Aderência à Tração

A resistência de aderência à tração da argamassa colante corresponde à força de tração máxima por área do plano de ruptura, expressa em N/mm^2 – (ABNT, 1998d).

Variações térmicas ou variações por umidade geram tensões de tração no revestimento cerâmico resultando em empenamento da placa cerâmica

¹⁵ Durabilidade: Capacidade de um produto em manter o atendimento às necessidades dos usuários (desempenho) ao longo do tempo.

(GOLDBERG, 1998; FIORITO, 2002b). Outro fator que pode gerar tensões de tração no revestimento é a pressão de sucção do vento, embora seja menos importante (MEDEIROS, 1999).

A determinação da resistência de aderência à tração é realizada pela maioria dos métodos estudados. Um deles é especificado pela NBR 14084 (ABNT, 1998d) redigida com base na norma EN 1348 (CEN, 1999f).

Os dois métodos especificam um substrato-padrão de concreto, onde são assentadas dez placas cerâmicas, carregadas com um peso de $(20 \pm 0,5)$ N durante 30 s. Para avaliar a influência das condições de exposição sobre a resistência de aderência à tração, a argamassa é submetida a três condições de cura: normal, submersa e em estufa a 70°C, sendo que a cura em estufa não é utilizada para a argamassa AC I. O método EN 1348 (CEN, 1999f) especifica ainda a cura com ciclos de gelo/degelo, que não são importantes para as nossas condições climáticas.

Cumpridas as condições de cura durante 28 dias, é realizado o ensaio de tração. O resultado final, expresso em MPa, é a média de no mínimo 5 valores individuais com afastamento menor ou igual do que 20% da média. Para a argamassa de pega rápida, o ensaio com cura ao ar, é executado após 24 h.

A preparação para o ensaio de arrancamento é realizada com a colagem das placas de arrancamento sobre as placas cerâmicas 24 h antes da realização do ensaio de resistência à tração, retornando-se à condição de cura, após o enrijecimento da cola (Figura 18).

Esse procedimento é importante, principalmente no caso da cura submersa. Nesta condição, caso seja permitida a secagem da placa, entre a retirada da água até a realização do ensaio de arrancamento, pode ocorrer recuperação da resistência da argamassa. Isso porque alguns polímeros em pó redispersíveis, apesar de influenciar positivamente a cura ao ar e em estufa, podem comprometer negativamente a cura submersa, em relação à resistência de aderência à tração.

Figura 18 - Determinação da resistência de aderência à tração – (ABNT, 1998d). Observa-se a execução do ensaio de tração por meio de dinamômetro digital, com célula de carga com capacidade de 5 KN

Outro método é estabelecido pela DIN 18.156-2 (DIN, 1978), muito similar aos métodos ABNT e CEN. São utilizadas placas cerâmicas de duas classes de absorção de água. Para as placas com $(15 \pm 3)\%$ de absorção de água são realizadas as cura ao ar, submersa e em estufa a 70°C . A cura de 14 dias em estufa é realizada após 28 dias de cura ao ar, diferentemente da NBR 14084 (ABNT, 1998d) que especifica apenas 14 dias de cura ao ar, antes de proceder à cura em estufa. Para a placa com absorção menor do que $0,5\%$ são especificadas apenas as condições de cura ao ar e submersa. Também é especificada a execução de cura com ciclos gelo/degelo.

As placas cerâmicas são posicionadas sobre os cordões de argamassa e carregadas com um peso de 10 N durante 30 s, metade da massa especificada pela norma brasileira. A resistência de aderência à tração, expressa em MPa, é dada pela média dos valores individuais, descartando-se o menor e o maior valor. A colagem antecipada da placa de arrancamento é realizada apenas para a cura submersa, com período mínimo de 24 h de imersão, antes de sua realização. Para a cura em estufa é especificado 1 dia de cura ao ar após os 14 dias de cura em estufa.

O critério para aceitação da resistência de aderência à tração com cura submersa é de no mínimo 50% da resistência de aderência à tração dos corpos-de-prova submetidos à cura ao ar. Caso essa condição não seja atendida o ensaio deverá ser repetido, estendendo-se a cura submersa até 84 dias. Desse modo, uma argamassa com 0,5 MPa de resistência de aderência à tração quando submetida à cura ao ar, poderia apresentar 0,25 MPa após ser submetida à cura submersa.

O método IRAM 1756 (IRAM, 1986c) baseou-se na norma DIN 18.156-2 (DIN, 1978) com algumas adaptações. A cura em estufa, por exemplo, não é especificada, por entender-se que pouco tem a ver com as condições de exposição do sistema revestimento cerâmico, não tendo significado para a avaliação da qualidade da argamassa colante. Outra alteração é a carga aplicada nas placas cerâmicas, que é igual à utilizada no método ABNT. A placa cerâmica deve ter absorção de água de $(15 \pm 3)\%$. Da mesma forma que a norma DIN, são descartados o maior e menor valor e calculada a média.

Já para o método especificado pela UEAtc (1990), a principal diferença, em relação às demais, é o intervalo de 10 min para o assentamento das placas cerâmicas. Dependendo da argamassa, este intervalo de tempo é suficiente para a formação da película superficial, que interfere na adesão inicial prejudicando a resistência de aderência. O resultado expresso em MPa é calculado pela média de cinco valores com dispersão em relação à média $\leq 20\%$, ou com sete valores caso a dispersão seja maior.

No método BS 5980 (BSI, 1980) a argamassa é aplicada entre as faces do tardo de duas placas cerâmicas com porosidade aparente de $(32,5 \pm 2,5)\%$. Os corpos-de-prova são submetidos a três condições de cura, uma ao ar e duas modalidades de cura submersa. A cura em estufa não é realizada. O resultado expresso em N é calculado pela média de no mínimo cinco valores individuais, com dispersão em relação à média menor do que 15%.

A Tabela 19 apresenta os critérios especificados pelas normas e a Tabela 20 um resumo das variáveis de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração.

Tabela 19 – Critérios de avaliação da resistência de aderência à tração

Especificação	Condição de cura – (tempo em dias)			Classe de argamassa	Critério (MPa)
	ambiente	submersa	estufa		
NBR 14081	28	-	-	AC I e AC II	0,5
				AC III e AC III-E	1,0
	7	21	-	AC I e AC II	0,5
				AC III e AC III-E	1,0
	14	-	14	AC II	0,5
				AC III e AC III-E	1,0
EN 12004	28	-	-	Normal	0,5
				Alta resistência	1,0
	1	-	-	Tempo pega rápido	0,5
				Normal	0,5
	7	21	-	Modificada	1,0
				Normal	0,5
BS 5980	14	-	-	Normal	0,5
				Modificada	1,0
	14	-	14	Normal	0,5
				Modificada	1,0
	14	-	-	AA, A e B	0,17
				AA	0,10
DIN 18.156-2	7	+7	-	A	0,10
	28	-	-	Todas	0,5
	7	+21	-		0,25
	28+1*	-	14		0,5
IRAM 1759	7	-	-	Todas	0,4
	28	-	-		
	7	21	-		
UEAtc	28	-	-	Comum, modificada com polímero,	0,5
	7	21	-		
	14+1*	-	14		
	3	-	-	Modificada com polímero,	
	1	-	-	Especial Piso	

Nota: *Após finalizar o período de cura em estufa a amostra permanece na condição de cura ambiente durante 1 dia antes do ensaio de arrancamento.

Observa-se, na Tabela 19, que apenas as normas ABNT e CEN, especificam resistência de aderência acima do valor de 0,5 MPa utilizados nas demais normas como critério de resistência de aderência e também como referência nas propriedades de tempo em aberto e tempo de correção.

Tabela 20 – Variáveis de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração

Variáveis de ensaio		NBR 14084	EN 1348	BS 5980	DIN 18.156-2	IRAM 1756	UEAtc
Temperatura da estufa (°C)		70±2		-	70	-	60
Temperatura do tanque para cura submersa (°C)		23±3	23±2	-	20	-	20
Substrato- padrão	Tipo	Placa de concreto		Placa cerâmica	Placa de concreto		
	Absorção	0,5 cm ³	0,5 a 1,5 cm ³	(32,5±2,5) %	-	-	-
	Espessura (mm)	≥ 15	40	8	40		≥ 40
Intervalo para assentamento (min)		5		0	5		10
Placa cerâmica	Dimensões (mm)	50x50		75x75	50x50		
	Absorção (%)	(4±1)	≤ 0,2	(32,5±2,5)	15±3 ≤ 0,5	18±3	≤ 0,5
	Número de placas por ensaio	10		10	9		7
Dispositivo de assentamento	Dimensões (mm)	(50x50)		utiliza espaçadores	-	-	-
	Peso/massa	(20±0,05)N ⁽¹⁾			10 N	2 kg	
	Tempo de carregamento (s)	30			30		
Espessura dos cordões após assentamento (mm)		-		1,5	-		
Cura	Ar (dias)	28		14	28 ^{(3),(4)}	7 28	3 28
	Ar+submersa (dias)	7+21 ⁽²⁾		7+7 14+7	7+21 ^{(3),(4)}	7+21	7+21
	Ar+estufa+ar (dias)	14+14 ⁽²⁾		-	28+14+1 ⁽⁴⁾	-	14 + 14+1
	Espessura da placa de arrancamento (mm)		-	≥ 10	-	≥ 5	5
Velocidade de arrancamento		(250±50)N/s		5 a 6 mm/min	-	100 N/s	
Expressão dos resultados		média em MPa					
Descarte de valores		≤ 20% da média		< 15% da média	menor e maior valores		< 20% média

⁽¹⁾ A NBR 14084 estabelece (20±0,5)N

⁽²⁾ As normas estabelecem a retirada da amostra da condição de cura 24 h antes do ensaio de arrancamento, para colagem da placa de arrancamento, e retorno à condição de cura.

⁽³⁾ Utilizado com placa cerâmica de absorção (15±3)%

⁽⁴⁾ Utilizado com placa cerâmica de absorção menor do que 0,5%

Os métodos para determinação da resistência de aderência especificam diferentes tipos de cura. Entende-se que estes procedimentos deveriam representar condições de

exposição às quais o revestimento cerâmico poderá estar exposto. Tomando como referência as condições de cura especificadas pela ABNT, em comparação às demais normas estudadas, podemos constatar que a cura submersa e a cura em estufa suscitam uma série de dúvidas quanto à sua objetividade, discutidas em seguida.

- ***Cura em estufa***

As normas BSI e IRAM não especificam a cura em estufa para o ensaio de resistência de aderência à tração, sendo que a norma argentina justifica inclusive que esse tipo de cura foi abolido da normalização, por não representar as condições reais de exposição e ser pouco adequada para predizer o envelhecimento da argamassa. Também a norma ANSI não preconiza a cura em estufa para a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento.

Para se ter uma idéia do que ocorre na prática, podemos citar a análise realizada por GOLDBERG (1998) para um revestimento cerâmico, com a utilização de uma placa cerâmica de cor escura. A temperatura na superfície da placa, em um dia quente de verão, pode atingir 70°C, valor confirmado em estudos de campo e ratificados pela UEAtc (1990). Considerando-se o coeficiente de condutividade térmica da cerâmica, a camada de argamassa colante, que está protegida pelo revestimento, atinge apenas cerca de 30°C. No ensaio especificado pela NBR 14084 (ABNT, 1998d) é aplicada a temperatura de 70°C, uniformemente aplicada aos materiais durante 14 dias. Apesar de não corresponder às condições encontradas na prática, o método pode ser entendido como uma tentativa de envelhecimento acelerado da argamassa.

Nas condições em que o ensaio é realizado, com materiais de diferentes coeficientes de dilatação térmica (substrato-padrão de concreto, argamassa colante, placa cerâmica e peças de arrancamento), ligados entre si e submetidos à elevação de temperatura, são geradas tensões de cisalhamento entre as interfaces, comprometendo a resistência de aderência à tração. Na prática, a argamassa colante também é submetida a tensões de cisalhamento, entretanto, no ensaio não são consideradas a influência da argamassa de rejuntamento e o comportamento da argamassa colante quando submetida a ciclos de molhamento e secagem.

FIORITO (2002b) demonstra que a utilização de peças de arrancamento de aço, substrato-padrão de concreto, com menores espessuras e, placas cerâmicas de menor módulo de elasticidade, produzem tensões de cisalhamento menores. Principalmente quanto ao substrato-padrão, a norma brasileira não leva em consideração estas variáveis.

Para demonstrar o desempenho de argamassas colantes de mercado, em relação à resistência de aderência à tração, após realização da cura em estufa, são apresentados os resultados de ensaio de cinco amostras de argamassa colante da classe AC II e quatro amostras da classe AC III, de cinco fabricantes diferentes (ABCP, 2002). A Figura 19 apresenta resultados de resistência de aderência à tração ensaiadas conforme a NBR 14084/1998d.

Figura 19 – Ilustração gráfica da variação nos resultados de resistência de aderência à tração por efeito de cura ao ar e em estufa para diferentes produtos (ABCP, 2002).

Observa-se que os resultados não mostram uma tendência, mas que podem estar ligados à formulação da argamassa ou ainda pela influência de variáveis de ensaio não consideradas nos métodos, sendo necessária a realização de estudos para melhor investigar este comportamento.

- ***Cura submersa***

Na condição de cura submersa, também existe controvérsia. Como abordado anteriormente, a norma DIN 18.156-2 (DIN, 1978) especifica que a resistência de aderência à tração com cura submersa seja no mínimo 50% da resistência de aderência com cura ao ar, podendo-se estender o ensaio com cura submersa até 84 dias, caso este valor não seja alcançado aos 28 dias, enquanto que as demais normas mantêm o mesmo critério especificado para a condição de cura ambiente.

Para demonstrar o desempenho de argamassas colantes de mercado, em relação à resistência de aderência à tração, após realização da cura submersa, são apresentados os resultados de quatro amostras de argamassa colante da classe AC I, cinco amostras da classe AC II e quatro amostras da classe AC III, de cinco fabricantes diferentes, sendo que as amostras AC II e AC III são as mesmas amostras apresentadas na análise da cura em estufa (ABCP, 2002). A Figura 20 apresenta resultados de resistência de aderência à tração ensaiadas conforme a NBR 14084 (ABNT, 1998d).

Figura 20 - Ilustração gráfica da variação nos resultados de resistência de aderência à tração por efeito de cura ao ar e submersa para diferentes produtos (ABCP, 2002).

Nota-se claramente a tendência do valor de resistência de aderência à tração, submetido à cura submersa, ser menor que o valor obtido com a cura ao ar. De modo

geral, a perda de resistência das amostras classe AC I, na cura submersa, é menos significativa. Isso pode ser atribuído à ausência de aditivos poliméricos nesta classe de argamassa, geralmente os responsáveis queda de resistência quando em contato com a água. Nas argamassas classes AC II e AC III, que geralmente contêm estes aditivos, a perda de resistência é mais significativa.

Para o critério da cura submersa deve-se considerar que na prática, normalmente, a argamassa colante não está exposta diretamente à ação da água, sendo função da argamassa de rejuntamento e da placa cerâmica evitar o contato da argamassa colante com a água. Desse modo, a cura submersa deveria ser um requisito para condições específicas, onde o risco de falha da argamassa de rejuntamento ou da placa cerâmica fosse considerável, como por exemplo em piscinas. Para fachadas seria mais adequada estudar condições de exposição à ciclos de molhamento e secagem.

O estabelecimento de valores mínimos de 1,0 MPa de resistência de aderência à tração especificados pela NBR 14081 (ABNT, 1998a) para as argamassas AC III e AC III-E está incoerente com as demais normas, com exceção da EN 12004 (CEN, 2001) de resistência de aderência à tração que estabelecem valores iguais ou menores que 0,5 MPa. Mesmo outros requisitos que utilizam a resistência de aderência à tração em sua determinação, como o tempo em aberto teórico e o tempo de correção, estabelecem como referência o valor mínimo de 0,5 MPa.

5.2 Resistência de Aderência ao Cisalhamento

A resistência de aderência ao cisalhamento corresponde à força máxima que age paralelamente ao plano de ruptura da placa cerâmica, expressa em kN nas normas BS 5980 (BSI, 1980) e UEAtc (1990). Pode-se também considerar a área do plano de ruptura; neste caso o valor é expresso em N/mm^2 - A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b) ou em MPa – DIN 18.156-3 (DIN, 1978).

Para a análise da qualidade de uma argamassa e, do próprio revestimento cerâmico, GOLDBERG (1998) considera que a resistência de aderência por cisalhamento é mais importante do que a resistência de aderência à tração, Isso se deve à natureza das tensões geradas no revestimento cerâmico que, em grande parte, são paralelas ao

seu plano. Esta consideração poderia ser aceita se as placas cerâmicas se movimentassem de modo isolado, sem o preenchimento das juntas de assentamento entre as placas.

FIORITO, (2002b) considera que o preenchimento das juntas de assentamento com argamassa de rejuntamento resulta na transmissão de tensões de uma placa cerâmica para outra, causando a flambagem no pano do revestimento, gerando tensões de tração. Aqui também cabe uma ressalva, pois se deve considerar que a argamassa de rejuntamento tem como requisito a capacidade de absorver deformações, permitindo a movimentação das placas cerâmicas.

Sabe-se que diferentes manifestações de tensões são induzidas na camada da argamassa colante, causando deformação e a possibilidade de descolamento da placa cerâmica. A dificuldade está na previsão da tensão máxima que causa este descolamento, e qual a característica da principal tensão que está agindo na argamassa colante.

Entre as metodologias estudadas, a ANSI é a única que apresenta apenas a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento para avaliar a resistência de aderência da argamassa colante; as demais normas, quando apresentam este requisito, incluem também a execução do ensaio de resistência de aderência à tração. Isto pode ser entendido como uma dificuldade dos métodos discutidos, em identificar a melhor maneira de se avaliar a durabilidade do revestimento cerâmico, quanto à resistência de aderência da argamassa colante.

Nos métodos A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b) a argamassa colante é aplicada entre o tardo de duas placas cerâmicas com dimensões de (108x54x8) mm, com as bordas superior e inferior deslocadas em 3 mm. O assentamento é realizado com o auxílio de espaçadores que conferem 3 mm de espessura à argamassa. A cura inicial é de 24 h antes do manuseio do conjunto de placas. Em seguida, são estabelecidos quatro procedimentos de cura, sendo três tipos de cura ao ar e um para cura submersa. A cura em estufa não é especificada. Para cada condição de cura são moldados quatro corpos-de-prova. O interessante deste método é a utilização de placas cerâmicas com três diferentes classes de absorção de água: (0 a 0,5)%, ($\leq 5\%$) e ($14\pm 2\%$). Para cada

classe de absorção de água é especificado um critério de desempenho diferente, demonstrando a influência da absorção da placa cerâmica nos resultados de aderência. A carga é aplicada com velocidade de 1089 kg/min. A resistência de aderência ao cisalhamento, expressa em kg/cm^2 , é a força máxima de ruptura obtida no ensaio dividida pela área de $51,6 \text{ cm}^2$. (plano da placa cerâmica em contato com a argamassa colante). O descarte dos valores é realizado pelo teste de Dixon (WAENY, 1992).

A norma EN 1324 (CEN, 1999c) apresenta um método similar ao da ANSI, porém este é especificado apenas para os adesivos à base de emulsão, e não será descrito.

O método proposto pela BS 5980 (BSI, 1980) é muito similar ao método ANSI. Neste ensaio, as placas cerâmicas com dimensões de $(101 \times 101 \times 9) \text{ mm}$ são assentadas com as bordas, superior e inferior deslocadas em 13 mm. São estabelecidos quatro procedimentos de cura, um ao ar, dois submersos e um em estufa, especificados de acordo com o tipo de argamassa. Para cada procedimento de cura devem ser preparados 10 corpos-de-prova. A carga é aplicada com velocidade de $(5 \text{ a } 6) \text{ mm/min}$. A resistência de aderência ao cisalhamento, expressa em kN, é a média de no mínimo cinco valores da força máxima de ruptura, descartando-se valores com afastamento maior do que 15%.

Um dado particular é estabelecimento da cura em estufa a 100°C , sendo que para o ensaio de resistência de aderência, a cura em estufa nem é proposta.

Um método bem diferente dos anteriores, utilizado na determinação da resistência de aderência ao cisalhamento, é estabelecido pela DIN 18.156-3 (DIN, 1980) e pela UEAtc (1990). Prescreve a montagem de um bloco de ensaio, constituído de duas placas cerâmicas, com absorção de $(15 \pm 3)\%$, assentadas nas faces opostas de dois corpos-de-prova prismáticos de concreto, com dimensões de $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}$, deslocadas 5 mm dos topos, com espaçadores que mantêm a espessura de argamassa em 3 mm. O assentamento das placas cerâmicas é realizado em duas etapas. Após o assentamento da primeira placa, aguarda-se 24 h para o assentamento da segunda. É especificada a execução de cura ao ar e em estufa.

Para a cura em estufa a DIN estabelece 28 dias de cura ao ar e mais 7 dias em estufa, à temperatura de 70°C, enquanto a UEAtc estabelece 28 dias de cura ao ar e 14 dias em estufa à temperatura de 60°C. Cada condição de cura utiliza três corpos-de-prova por determinação. A carga é aplicada com velocidade de 2 mm/min. A resistência de aderência ao cisalhamento expressa em kN, é obtida pela força máxima de ruptura.

A Tabela 21 apresenta um resumo das variáveis de ensaio para a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento e a Tabela 22 os critérios especificados pelas normas.

Tabela 21 – Variáveis de ensaio para determinação da resistência de aderência ao cisalhamento

Variáveis de ensaio		A118.1 e A118.4	BS 5980	UEAtc	DIN 18.156-3
Temperatura da estufa (°C)		-	100±2	60	70
Temperatura do tanque para cura submersa (°C)		ambiente	-	20	
Substrato- padrão	Tipo	Placa cerâmica		Corpo-de-prova de argamassa	
	Absorção (%)	14±1	32,5±2,5	-	
	Dimensões (mm)	108x54x8	101x101x9	40x40x160	
Intervalo para assentamento da placa (min)		0			
Espessura dos cordões (mm)		3	1,5	3	
Placa cerâmica	Dimensões (mm)	108x54x8	101x101x9	100x100x8	108x108
	Absorção (%)	14±1	(32,5±2,5)	≤ 0,5	15±3
Número de corpos-de-prova por ensaios		4 por condição de cura	10	3	
Cura	inicial (h)	24	-	24	
	Ar (dias)	7	14	28	
		28			
		84			
	Ar+submersa (dias)	7+7	7+7	-	-
		14+7			
Ar+estufa+ar (dias)	-	7+7	28+14+1	28+7+7	
Velocidade de arrancamento		1089 kg/min	5 a 6 mm/min	2 mm/min	
Expressão dos resultados		kgf/cm²	Média de 5 valores em KN	Média de 3 valores em KN	
Descarte de valores		teste de Dixon	> 15% da média	-	> 20% da média

Tabela 22 – Critérios de avaliação da resistência de aderência ao cisalhamento

Especificação	Condição de cura - (tempo em dias)			Tipo de argamassa	Absorção da placa cerâmica (%)	Critério (MPa)	
	ambiente	submersa	estufa				
A118.1 e A118.4	4 h	-	-	Pega rápida	0 a 0,5 ≤ 5	0,3	
	48 h	-	-	Modificada	14±2	0,7	
	1	7		Comum	0 a 0,5	1,0	
				Modificada		1,4	
				Comum	≤ 5	0,4	
				Modificada		0,7	
				Comum	14±2	1,4	
				Modificada		2,1	
	1	7	7	Comum	0 a 0,5	0,7	
				Modificada		1,0	
				Comum	14±2	1,0	
				Modificada		1,4	
	1	28	-	Comum	0 a 0,5	1,0	
				Modificada		1,4	
				Comum	≤ 5	0,7	
				Modificada		1,0	
				Comum	14±2	1,7	
				Modificada		2,1	
	1	84	-	Comum	0 a 0,5	1,0	
				Modificada		1,4	
				Comum	≤ 5	0,7	
				Modificada		1,0	
				Comum	14±2	1,7	
				Modificada		2,1	
	BS 5980	14	-	-	AA, A e B	32,5±2,5	1,1
7		7	-	AA	0,6		
14		7	-	A			
7		7	-	AA, A e B			
DIN 18.156-3	28	-	-	Todas	15±3	2,3 KN 0,6 MPa	
	28	7	7				
UEAtc	28	-	-	Modificada com polímero		15±3	5 kN ou 1,3 MPa
	28+1*	-	14				

Nota: *Após finalizar o período de cura em estufa a amostra permanece na condição de cura ambiente durante 1 dia antes do ensaio de arrancamento.

Uma das desvantagens do método de cisalhamento é o fato ser restrito às condições de laboratório, não podendo ser reproduzido em campo como o ensaio de resistência de aderência à tração.

A dispersão dos resultados de ensaio é bastante significativa em todos os métodos, podendo-se atribuir o fato à complexidade dos corpos-de-prova e a alta participação da mão-de-obra na sua montagem. Cuidados com as arestas das placas cerâmicas no ensaio ANSI e o paralelismo no ensaio DIN e UEAtc são importantes para reduzir a dispersão dos resultados (BUCKER; NAKAKURA, 1995).

5.3 Capacidade de Absorver Deformações

Como já citado, o revestimento cerâmico está sujeito a deformações que resultam em tensões entre as camadas do revestimento e também sobre os componentes do revestimento: base, argamassa e placa cerâmica.

Para não causar danos ao revestimento cerâmico, que resultam em descolamento da placa cerâmica, as tensões geradas necessitam ser dissipadas. Um dos principais critérios para compatibilizar os requisitos da argamassa colante com as deformações do revestimento é a utilização de argamassa com capacidade de deformação adequada (AKIAMA et al., 1997). Uma das maneiras de avaliar a capacidade de absorver deformações é a especificada nas normas EN 12002 (CEN, 1998) e UEAtc (1990).

Denominados “deformação transversal por flexão”, os métodos utilizam corpos-de-prova de dimensões de (280x45x3) mm na CEN e (300x45x3) mm na UEAtc. A argamassa colante é aplicada no molde com o auxílio de uma espátula com alisamento da superfície. Os corpos-de-prova são condicionados em um saco de polietileno durante 14 dias, na CEN e durante 28 dias na UEAtc; esta última ainda apresenta a cura em estufa a 60°C.

Na moldagem do corpo-de-prova, a UEAtc utiliza uma placa de poliestireno expandido, com densidade entre 15 kg/m³ a 20 kg/m³ e 5 mm de espessura,. No ensaio de deformação, o poliestireno é posicionado na parte superior, em contato

com o dispositivo de aplicação de carga. A CEN não utiliza este procedimento (Figura 21). O ensaio é realizado em três corpos-de-prova e o resultado da deformação transversal é a força máxima aplicada expressa em Newton e, a deformação causada pela força, expressa em mm

Figura 21 – Ilustração do ensaio de deformação transversal por flexão – (CEN, 1998) – Observa-se o corpo-de-prova de argamassa apoiado sobre pórtico metálico com vão de 200 mm. A carga é aplicada pelo dispositivo de ensaio na parte central da superfície superior.

A resistência à flexão pode ser calculada através da expressão apresentada pela norma ASTM C 580 (ASTM, 1993).

$$F_t = \frac{3.P.L}{2.b.d^2} \text{ onde,}$$

F_t = resistência à flexão, em MPa;

P = carga no momento da ruptura, em N;

L = distância entre cutelos, em mm;

b = largura do corpo-de-prova, em mm;

d = espessura do corpo-de-prova, em mm.

A Tabela 23 apresenta os critérios especificados pelas normas e a Tabela 24 um resumo das variáveis de ensaio para determinação da deformação transversal por flexão.

Tabela 23 – Critérios para avaliação da deformação transversal por flexão

Especificação	Classe de argamassa	Critério
EN 12004	Todas	O valor deve ser informado pelo fabricante
UEAtc	Modificada com polímero	Carga: 3N – Deformação: 5 mm

Tabela 24 – Variáveis de ensaio para determinação da deformação transversal por flexão

Variáveis de ensaio	EN 12002	UEAtc
Temperatura da estufa (°C)	-	60
Dimensão do corpo-de-prova (mm)	280x45x3	300x45x3
Número de corpos-de-prova	3	2
Condições de cura	14 dias (saco polietileno) +14 dias ao ar	28 dias (saco polietileno)
		28 dias (saco polietileno) + 14 dias em estufa + 24 h ao ar
Velocidade de carregamento	2 mm/min	
Expressão dos resultados	Valor da carga em N e deformação em mm, até observação da primeira fissura na superfície inferior	Valor de carga em N e deformação em mm, no momento da ruptura

5.4 Resistência à Compressão e Módulo de Deformação

Considerando o modo como é aplicada a argamassa, em cordões de pequena espessura, o que não garante que após o assentamento da placa cerâmica ela preencherá totalmente o espaço entre a base e a placa, mesmo para argamassa aplicada em piso, a avaliação da resistência à compressão apresenta dificuldades. É possível que por essa razão essa propriedade seja avaliada apenas pela norma ANSI.

O método A118.4 (ANSI, 1999) é especificado para argamassa colante do tipo modificada com polímero. São moldados três corpos-de-prova cúbicos, com 50 mm de aresta. Após a moldagem, as formas são cobertas com um filme de polietileno durante 24 h. Em seguida, sem o filme, continuam sendo curados na forma por mais 48 h. No final das 72 h os corpos-de-prova são desmoldados e colocados em cura ao ar durante 25 dias. A resistência à compressão, em MPa, é determinada pela média dos três corpos-de-prova. O valor especificado pela norma deve ser maior do que 17,2 MPa.

Na versão de 1985 da A118.4 era estabelecido, em complemento ao ensaio de resistência à compressão, o ensaio de módulo de deformação tangente inicial. Um dos três corpos-de-prova era ensaiado para determinação da tensão prevista para o ensaio de módulo. Em seguida, os outros dois corpos-de-prova, eram submetidos ao ensaio de módulo de deformação, utilizando-se 50% da tensão prevista, sob dois ciclos carregamento/descarregamento, obtendo-se o diagrama tensão/deformação, com um equipamento automático ou realizando-se as leituras de deformação, a cada 453,6 kgf da carga total. Executava-se um terceiro carregamento, desta vez até a ruptura dos corpos-de-prova. A norma especificava um valor menor do que 10 GPa.

5.5 Retração por secagem

A retração é causada pela diminuição de volume da argamassa e pode compreender causas diversas. As perdas de água por evaporação para o ambiente ou por sucção para o substrato são as principais causas da retração. Outras causas referem-se à retração térmica, retração por carbonatação e retração autógena¹⁶.

Apesar da retração corresponder a uma contração volumétrica tridimensional, tornou-se usual medi-la linearmente. Na maioria das normas a mensuração da retração hidráulica é executada através do acompanhamento das variações de massa e

¹⁶ Retração autógena: Consequência da remoção da água dos poros capilares pela hidratação do cimento ainda não hidratado. A contração da pasta é restringida pela rigidez da pasta de cimento já hidratada e pelas partículas dos agregados. É mais significativa para relações a/c extremamente baixas (Neville, 1997).

de comprimento de corpos-de-prova prismáticos. Como a argamassa está aderida ao substrato e à placa cerâmica, a retração é dita restringida.

A restrição à retração da argamassa impede a sua deformação livre gerando tensões de tração. Caso essas tensões sejam maiores que a resistência de aderência à tração da argamassa, ocorrerá um estado de fissuração, que pode contribuir para o descolamento da placa cerâmica (BORTOLUZZO; LIBORIO, 1999).

Especificamente para a argamassa colante, das normas estudadas, constam três métodos de ensaio. Um deles é proposto pelas normas A118.1 e A118.4 (ANSI, 1985), cancelados na revisão da mesma norma em 1999. O ensaio utilizava corpos-de-prova prismáticos com dimensões de (152x25x6)mm. Os corpos-de-prova, ainda na forma, eram mantidos em uma câmara fechada à temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $(50\pm 5)\%$ durante três dias. A retração linear, expressa em porcentagem, deveria ser menor do que 0,5%. O procedimento para a leitura da retração linear não é claro.

O método BS 5980 (BSI, 1980) de determinação da retração linear, consiste na medida da deformação superficial em um conjunto formado por nove placas cerâmicas, com dimensões de (108x108x6,5)mm, aderidas a um substrato de concreto com dimensões de (350x350x35)mm. A placa cerâmica com um comparador de comprimento fixado em sua superfície, é assentada no centro do substrato. As placas são espaçadas com juntas de assentamento de 1 a 2 mm. O substrato é mantido em condições ambientais de laboratório com temperatura $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $(60\pm 15)\%$. A retração linear ou deformação, expressa em porcentagem, é medida uma vez por semana, até a idade de 6 meses, devendo ser menor do que 1% da leitura inicial.

No método UEAtc (1990) uma camada de argamassa com 8 mm de espessura é aplicada sobre a superfície de um substrato de concreto com dimensões de (40x40)cm. O corpo-de-prova é mantido durante sete dias à temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $(50\pm 5)\%$. A argamassa não deve apresentar fissuras, deformações superficiais e descolamento na interface argamassa/substrato.

Um outro método de ensaio utilizado para determinação de retração linear é estabelecido pela norma NBR 8490 (ABNT, 1984), destinado a avaliar a retração hidráulica em argamassas de assentamento de alvenaria estrutural e já foi adaptado para avaliar a retração linear de argamassa de revestimento. Na adaptação realizada por BORTOLUZZO; LIBORIO (1999) os corpos-de-prova passaram das dimensões de (25x25x280) mm para (30x30x280) mm, para diminuir a quebra acidental dos corpos-de-prova durante a desmoldagem e execução das leituras.

Esse método também foi adaptado por GODOY; BARROS (1999). As modificações foram realizadas no procedimento de leitura e condição de cura. Diferentemente do método original, que especifica cura inicial de 28 dias em câmara úmida, os corpos-de-prova foram mantidos nas formas durante 24 h cobertos por filme de polietileno, para não haver perda de água por evaporação. Em seguida, foram colocados em uma câmara de secagem a $(20\pm4)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $(50\pm4)\%$. As leituras foram realizadas a partir do segundo dia da moldagem e a cada dia até obter constância dos resultados. No estudo, foram elaboradas argamassas experimentais com adição dos polímeros PVA, SBR e SAE, nos teores de 5% e 10%. Foram utilizados cimento CP II-E 32 e areia média, nas proporções cimento:areia, em volume, de 1:3 e 1:5. Os resultados apresentados demonstram que argamassas modificadas por polímeros, como é o caso da argamassa colante, apresentaram retração significativamente menor quando comparadas com a argamassa sem polímero, tomada como referência. Entretanto os teores de polímeros utilizados na pesquisa estão muito acima da realidade das formulações das argamassas nacionais, que utilizam entre 1% e 2% de polímeros a base de látex.

A Tabela 25 apresenta os critérios especificados pelas normas e a Tabela 26 um resumo das variáveis de ensaio para determinação da deformação transversal.

Tabela 25– Critérios para avaliação da retração

Especificação	Especificação
A 1118.1 e A118.4	< 0,50 %
BS 5980	< 1% da leitura inicial
UEAtc	Ausência de fissuras, deformações superficiais e descolamento na interface argamassa/substrato
NBR 8490	Não especifica

Tabela 26 – Variáveis de ensaio para determinação da retração

Variáveis de ensaio		A118.1 e A118.4	BS 5980	UEAtc	NBR 8490
Condições de cura	Temperatura (°C)	23±2	20±2	23±2	23±2
	Umidade (%)	50±5	60±15	50±5	50±4
Dimensão do corpo-de-prova (mm)		152x25x6	-	-	280x25x25
Substrato	tipo	-	Placa de concreto	Placa de concreto	-
	dimensões (mm)		350x350x35	400x400	
Camada de argamassa colante (mm)		-	2,5	8	-
Número de corpos-de-prova		2	1	1	4
cura	Ar	3 dias	6 meses	7 dias	28 dias*
	Câmara de secagem	-	-	-	58 semanas**
Verificação da retração		Variação dimensional dos corpos-de-prova	Variação dimensional da placa cerâmica	Observação de fissura e deformações	Variação dimensional dos corpos-de-prova
Expressão dos resultados		porcentagem			mm/m

Nota: Método adaptado: * 24 h - **até constância dos resultados

A crítica que se pode fazer é que a retração ocorre desde o momento do assentamento e as medidas deveriam ser registradas até o final da pega. No entanto, o resultado determinado na argamassa é válido para se conhecer a influência da formulação. Para determinação de utilidade prática, o ensaio deveria ser realizado em condição real, isto é, da argamassa assentada entre a base e a placa cerâmica seguindo o sistema empregado por BASTOS (2001).

5.6 Resistência ao Impacto

Na tentativa de avaliar o comportamento da argamassa colante em uma condição específica de aplicação, a norma UEAtc (1990) apresenta um método para determinação da resistência ao impacto. É específico para aplicações de revestimentos cerâmicos horizontais. O princípio do método é avaliar a resistência da argamassa colante, submetendo a placa cerâmica a um impacto perpendicular a ela. É utilizado um substrato de concreto com dimensões de (40x40)cm, onde são assentadas placas cerâmicas com dimensões de (50x50x4,5)mm e absorção de água $\leq 0,5\%$; ele é totalmente revestido mantendo-se juntas de assentamento entre 1 mm e 3 mm, posteriormente preenchidas com argamassa de rejuntamento. A norma não especifica o tipo de argamassa de rejuntamento. O substrato é mantido durante 28 dias à temperatura $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $(50\pm 5)\%$. Após esse período, é lançada, sobre 5 placas cerâmicas não adjacentes, uma esfera de aço com 250 g, de uma altura de 0,80 m. Para facilitar a verificação do resultado um pigmento é pulverizado sobre as placas.

A Tabela 27 apresenta os tipos de desempenho possíveis em função do ensaio de resistência ao impacto.

Tabela 27 – Critérios para estabelecimento de tipo de desempenho em função da resistência ao impacto (UEAtc, 1990)

Desempenho	Resultado	Critério
A	Apenas um impacto circular é visível a olho nu e não são observadas fissuras.	Aceitável
B	O impacto circular aparece rodeado por fissuras em formato de estrela.	Aceitável
C	A placa cerâmica é quebrada e em alguns casos, estilhaços podem se destacar.	Não aceitável

É importante ressaltar a observação da própria norma, que o ensaio refere-se ao desempenho da argamassa colante e não das placas cerâmicas utilizadas. Não se descreve no resultado a aparência da argamassa colante juntamente com o observado

na placa cerâmica, e, assim, esse ensaio não pode ser considerado objetivo, pois é difícil eliminar a influência da placa cerâmica.

5.7 Absorção de Água

Especificado pela ANSI apenas para as argamassas modificadas com polímeros, o método A118.4 (ANSI, 1985), cancelado na versão atual da norma, estabelecia a determinação da absorção de água da argamassa colante, utilizando-se dois corpos-de-prova cilíndricos de dimensões (25x25)cm. Os corpos-de-prova eram curados na forma durante 72 h, e após a desforma, curados ao ar durante 25 dias. Após esse período, a massa inicial (M_1) era registrada e os corpos-de-prova imersos em um recipiente com 600 mL de água à temperatura inicial de 60° C, e deixados resfriar naturalmente durante 22 h; os corpos-de-prova eram removidos e a superfície enxugada, e registrada a massa saturada (M_2). Em seguida os corpos-de-prova eram levados a uma estufa a 50° C, até constância de massa (M_3).

A absorção a 50% de umidade (A_1) e a absorção na condição seco em estufa (A_2) são calculadas pelas expressões :

$$A_1 = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} 100 \quad A_2 = \frac{(M_2 - M_3)}{M_3} 100$$

Considerando-se que não é função da argamassa colante evitar a penetração de água no revestimento cerâmico, devendo este requisito ser atribuído à argamassa de rejuntamento e à placa cerâmica, o método não apresenta correspondência com a condição prática e o fato de ter sido cancelado, apenas corrobora com essa afirmação.

Estudos sobre a absorção de água da argamassa, poderiam utilizados na investigação da causa da perda de resistência de aderência na condição de cura submersa.

5.8 Resistência a Fungos

Além da argamassa de rejuntamento e da própria placa cerâmica, a argamassa colante também pode ser suscetível ao desenvolvimento de fungos, dependendo de sua formulação e condição de exposição. A proliferação de fungos depende da

presença de umidade e alimento. SHIRAKAWA, (1999) realizou testes acelerados para avaliar a bio-receptividade de argamassas à base de cimento Portland ao crescimento de fungos. Foi utilizado como inóculo o fungo *Cladosporium sphaerospermum*. Os resultados demonstraram que o fungo se desenvolveu apenas em condições de 100% de umidade e em argamassas completamente carbonatadas. Outra observação importante foi que o crescimento do fungo também depende do pH, pois valores acima de 10 inibiram o seu crescimento.

No revestimento cerâmico, a umidade pode ter origem na penetração de água ocasionada por falha da argamassa de rejuntamento ou das juntas de movimentação (GOLDBERG, 1998), e o alimento pode ser a própria argamassa, com seus constituintes orgânicos. Com os resultados de SHIRAKAWA (1999) podemos concluir que, para a argamassa colante o problema da bio-receptividade ao crescimento de fungos não representa uma ameaça ao revestimento cerâmico, pois, como ficou demonstrado, é necessária umidade de 100%. A questão é muito mais importante para as argamassas de rejuntamento.

Em relação a métodos de ensaio para argamassa colante, a norma BS 5980 (BSI, 1980) é a única que especifica a determinação da bio-receptividade ao crescimento de fungos, estabelecendo que a argamassa não deve apresentar nenhuma evidência de desenvolvimento do fungo. A argamassa é aplicada com espessura de 3 mm no tardo de três placas cerâmicas colocadas sobre uma placa de *Petri*. Um meio de cultura constituído por ágar de glicose de batata é colocado próximo da argamassa, tomando-se cuidado para não tocá-la. Das três placas de *Petri*, duas são inoculadas com o fungo *Aspergillus niger*. A terceira, não inoculada, é utilizada como controle. Após 14 dias de cura em estufa à temperatura de $(29 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ determina-se a extensão de crescimento do fungo na superfície da argamassa pelo diâmetro da cultura desenvolvida. Especificamente para as argamassas colantes disponíveis no mercado brasileiro não foram encontrados estudos a respeito de sua bio-receptividade.

5.9 Síntese das investigações necessárias para o estado endurecido

Dos requisitos abordados para o estado endurecido, consideram-se importantes neste estudo:

- Avaliar a influência da absorção da placa cerâmica na resistência de aderência à tração;
- Avaliar a influência da temperatura no desenvolvimento da resistência de aderência à tração;
- Avaliar a resistência de aderência ao cisalhamento em relação à resistência de aderência à tração;
- Avaliar a retração da argamassa na condição sem restrição causada pela aderência à base;
- Avaliar a capacidade de deformação da argamassa por meio do método de deformação transversal por flexão.

6 ESTUDO REALIZADO

Para o programa experimental desta dissertação foram selecionados os aspectos considerados importantes discutidos nos capítulos 2, 3, 4 e 5.

O estudo foi dividido entre os critérios gerais, enfatizando a caracterização do substrato-padrão e placa cerâmica e, os requisitos no estado anidro, os requisitos no estado fresco e os requisitos no estado endurecido da argamassa colante. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório da ABCP.

6.1 Seleção dos Materiais

Para a realização da pesquisa, foram selecionadas quatro marcas comerciais de argamassa colante correntemente encontradas na região sudeste do Brasil e que correspondem à cerca de 70% do mercado nacional. De cada marca procurou-se abranger as classes AC I, AC II e AC III. No total foram selecionadas dez amostras, sendo quatro amostras do tipo AC I, três amostras do tipo AC II e três amostras do tipo AC III, na Tabela 28, com dados da embalagem, fornecidos pelo fabricante.

Tabela 28 – Identificação das amostras de argamassa colante

Classe de argamassa	Amostras	Identificação do fabricante	Indicação do fabricante	
			Teor de água (%)	Tempo de maturação (min)
AC I	1	A	22	15
	2	B	23	15
	3	C	20	15
	4	D	23	15
AC II	5	B	25	15
	6	B	24	15
	7	C	20	15
AC III	8	B	25	15
	9	B	25	15
	10	D	22	15

6.2 Programa Experimental

Este trabalho restringe-se a 10 amostras de argamassa colante. O programa foi dividido em duas etapas, na primeira apresenta-se a caracterização do substrato-padrão, das placas cerâmicas e das amostras de argamassa em relação aos requisitos especificados na norma ABNT, na segunda as amostras de argamassa são avaliadas utilizando-se os respectivos requisitos discutidos nos capítulos 3, 4 e 5.

A - Caracterização dos materiais

O substrato-padrão foi caracterizado em relação à absorção e sucção inicial de água, retração por secagem, expansão por umidade e textura superficial. As placas cerâmicas foram caracterizadas quanto à absorção de água, coeficiente de expansão térmica e expansão por umidade. As amostras de argamassa foram caracterizadas quanto ao deslizamento, tempo em aberto teórico, resistência de aderência à tração, densidade de massa aparente e resíduo na peneira 1,0 mm.

B - Análise dos requisitos

• Requisitos no estado anidro

As amostras de argamassa selecionadas foram caracterizadas no estado anidro quanto ao resíduo em peneira malha 0,5 mm, 0,15 mm e 0,075 mm e perda de massa a 110°C e 450°C. Foi feita a análise térmica diferencial e a termogravimetria da fração passante em peneira 0,075 mm.

• Requisitos no estado fresco

No estado fresco foram determinados: o tempo em aberto teórico com rompimento da película formada na superfície dos cordões, a influência da temperatura na determinação do tempo em aberto teórico, o tempo de formação de película, o tempo de correção, avaliada a influência do teor de água e da absorção da placa cerâmica no deslizamento, a plasticidade, a influência do tempo de maturação e tempo útil no tempo em aberto teórico, o tempo de pega e a retenção de água.

• **Requisitos no estado endurecido**

No estado endurecido foram determinadas: a influência da absorção da placa cerâmica na resistência de aderência à tração, a influência da temperatura na resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento, a deformação transversal por flexão e a retração com e sem restrição da aderência à base. A Tabela 29 apresenta uma síntese do Programa Experimental.

Tabela 29 - Etapas de caracterização e experimentais do trabalho

Material	Ensaio	Norma	Determinações
Materiais			
Substrato-padrão	Absorção de água	NBR 14082	4
	Sucção inicial de água	ASTM C 67	4
	Variação dimensional	NBR 12117	4
	Textura superficial	ASTM E 965	4
Placa cerâmica	Absorção de água	NBR 13817	3
	Expansão térmica		3
	Coefficiente de expansão por umidade		3
Propriedades da argamassa colante			
Estado anidro	Densidade de massa aparente	NBR 14086	30
	Resíduo em peneira	NBR 14086	120
	Perda de massa a 110°C	UEAtc	68
	Perda de massa a 450°C	UEAtc	68
	Ensaio térmico – DTA, TG		10
Estado fresco	Deslizamento	NBR 14085	50
	Tempo em aberto teórico	NBR 14083, UEAtc e A118.1	70
	Tempo de formação de película	IRAM 1759	10
	Plasticidade	EN 1347 e UEAtc	20
	Tempo de correção	DIN 18.156-2	10
	Tempo de maturação e tempo útil	UEAtc	60
	Tempo de pega	A118.1	20
	Retenção de água	DIN 18.555-7, UEAtc e 18:406.05	60
Estado Endurecido	Resistência de aderência à tração	NBR 14084	90
	Resistência de aderência ao cisalhamento	A118.1	20
	Deformação transversal por flexão	EN 12002	30
	Retração	NBR 8490	10
Total de ensaios			781
Ensaio por amostra (10 amostras)			66

6.3 Caracterização dos Materiais

Os materiais utilizados nos ensaios foram caracterizados considerando as variáveis definidas na normalização brasileira e outras não definidas na normalização, mas consideradas importantes por poderem interferir nos resultados de ensaio e prejudicar sua reprodutibilidade.

6.3.1 Substrato-padrão

Os substratos-padrão utilizados foram produzidos no Laboratório da ABCP com proporção de mistura em massa de 1:2,58:1,26 (cimento:areia:brita), relação a/c de 0,47 e consumo de cimento de 440 kg/m³, conforme especificado na NBR 14082 (ABNT, 1998).

Foram moldados quatro lotes de substrato-padrão, caracterizados quanto à absorção e sucção inicial de água, à umidade, à retração por secagem, expansão por umidade e à textura superficial. Os resultados estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Caracterização do substrato-padrão

Ensaio	Norma	Lotes de substrato			
		106	107	110	116
Absorção, após 4 h (cm ³)	NBR 14082	0,2	0,2	0,4	0,2
Sucção inicial (g/193,55/min)	ASTM C 67	4,2	3,8	4,7	3,7
Umidade (%)	UEAtc	3	4	3	2
Retração por secagem (%)	NBR 12117	-0,037	-0,044	-0,033	-0,022
Expansão por umidade (%)	Sem especificação	0,046	0,045	0,024	0,031
Textura superficial (mm)	ASTM E 965	0,5	0,6	0,7	0,4

Nota: resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.1 a Tabela A1.6 do anexo 1.

As propriedades do substrato-padrão apresentadas nesse estudo, não podem ser desprezadas, havendo variação na relação a/c e nos materiais utilizadas, haverá variação nas propriedades do substrato, comprometendo a reprodutibilidade dos ensaios.

Das propriedades apresentadas pelas amostras de substrato-padrão, destaca-se a sucção inicial, muito baixa, exigindo da argamassa colante, principalmente das formuladas sem polímero, uma condição muito mais desfavorável, que a condição de campo.

Estudos que avaliem a influência da relação a/c do substrato no desempenho da argamassa, seriam importantes para a fixação dessa variável na confecção do substrato-padrão.

6.3.2 Placas cerâmicas

Foram utilizadas três amostras de placa cerâmica classificadas pela NBR 13817 (ABNT, 1997), conforme os grupos de absorção de água: azulejo (BIII), grés (BIb) e porcelanato (BIa). As amostras foram caracterizadas quanto à absorção de água, à expansão por umidade e ao coeficiente de dilatação térmica. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Caracterização das placas cerâmicas

Ensaio	NBR 13815	Tipo de placa cerâmica		
		Porcelanato	Grés	Azulejo
Absorção de água (%)	Anexo B	0,0	2,5	16,9
Expansão por umidade (mm/m)	Anexo J	0,05*	0,03*	0,26*
Expansão térmica linear (10^{-6}) °C ⁻¹	Anexo K	6,5*	7,2*	-

*Ensaio realizado pelo Laboratório de Ensaio em Revestimentos Cerâmicos – LERC – Escola SENAI Mario Amato. Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.7 a A1.9 do anexo 1.

Dos resultados apresentados, apenas a absorção da placa de grés, não atende à especificação da NBR 14084 (ABNT, 1998d), que estabelece uma placa cerâmica com absorção de água de $(4 \pm 1)\%$ para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração.

6.3.3 Argamassa colante

As amostras de argamassa colante foram caracterizadas conforme a normalização brasileira. Foram executados ensaios para determinação do deslizamento, tempo em aberto teórico, resistência de aderência à tração, densidade de massa e resíduo em peneira 1,0 mm.

Em todos os ensaios as amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998), utilizando-se o teor de água e o tempo de maturação indicados pelo fabricante.

- **Deslizamento**

A determinação do deslizamento foi executada conforme a NBR 14085 (ABNT, 1998e), exceto em relação à placa cerâmica, que foi substituída por uma placa do tipo porcelanato, com absorção de 0% e massa de (194 ± 4) g, assentada com o lado do tardo, diferentemente do especificado na norma, que estabelece uma placa cerâmica com absorção de $(3 \pm 1)\%$ e massa de (175 ± 10) g, assentada com o lado da face não esmaltada. A Tabela 32 e a Figura 22 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 32 – Determinação do deslizamento – (ABNT, 1998e)

Classe de argamassa	Amostras	Teor de água (%)	Deslizamento (mm)					
			Placa cerâmica			Média (mm)	Desvio padrão (mm)	Coeficiente de variação (%)
			1	2	3			
AC I	1	22,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,2	142
	2	23,0	0,2	0,4	0,5	0,4	0,2	42
	3	20,0	0,4	0,9	0,3	0,5	0,3	60
	4	23,0	0,2	0,7	1,1	0,6	0,5	72
AC II	5	25,0	1,6	1,3	3,5	2,1	1,2	58
	6	24,0	0,6	0,4	0,6	0,5	0,1	26
	7	20,0	0,8	1,1	1,5	1,1	0,4	32
AC III	8	25,0	1,1	0,2	0,9	0,7	0,5	69
	9	25,0	0,7	0,4	0,8	0,6	0,2	38
	10	22,0	0,3	0,6	0,9	0,6	0,3	49

Figura 22 – Determinação do deslizamento e indicação do teor de água de amassamento – (ABNT, 1998e)

Dos resultados obtidos, apenas as amostras 1, 2, 3 e 6, atendem ao critério de deslizamento especificado pela NBR 14081 (ABNT, 1998a). As amostras da classe AC I, apresentam os menores valores de deslizamento, denotando a maior influência, nesta propriedade, da presença de aditivos poliméricos, presentes na formulação das argamassas de classe AC II e AC III.

Os valores médios observados não definem uma classe de argamassa. Na verdade essa propriedade deveria ser um requisito para uma classe de argamassa com propriedade antideslizante. Aliás, como considerado na norma ANSI.

Registra-se, também, a grande variação de resultados dos ensaios com valores de coeficiente de variação de até 142%. Essa variação inviabiliza a utilização do método na caracterização da argamassa colante.

- **Tempo em aberto teórico**

A determinação do tempo em aberto teórico foi executada conforme a NBR 14083 (ABNT, 1998c). Os cálculos das médias da resistência de aderência à tração foram

executados conforme as normas ABNT, DIN e ANSI. A Tabela 33 e a Figura 23 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 33 – Determinação do tempo em aberto teórico – (ABNT, 1998c)

Intervalo (min)	Cálculos	Resistência de aderência à tração (MPa)									
		AC I				AC II			AC III		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	MA (MPa)	0,4	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-
	DP (MPa)	0,05	0,08	0,16	0,10	-	-	-	-	-	-
	CV (%)	12,3	16,9	23,4	18,6	-	-	-	-	-	-
	Média _{ABNT} (MPa)	0,4	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-
	Média _{DIN} (MPa)	0,4	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-
	Média _{ANSI} (MPa)	0,4	0,5	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-
15	MA (MPa)	0,3	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7
	DP (MPa)	0,11	0,14	0,15	0,13	0,08	0,08	0,25	0,06	0,07	0,15
	CV (%)	37,0	26,1	38,5	28,6	14,3	13,4	35,7	10,1	8,8	21,1
	Média _{ABNT} (MPa)	*	0,6	*	0,5	0,6	0,6	*	0,6	0,8	0,7
	Média _{DIN} (MPa)	0,3	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7
	Média _{ANSI} (MPa)	0,3	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7
20	MA (MPa)	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6
	DP (MPa)	0,08	0,09	0,16	0,10	0,10	0,07	0,12	0,12	0,18	0,08
	CV (%)	23,8	22,6	43,2	23,4	17,4	10,7	18,2	21,7	22,9	13,9
	Média _{ABNT} (MPa)	0,3	0,4	*	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6
	Média _{DIN} (MPa)	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6
	Média _{ANSI} (MPa)	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6
25	MA (MPa)	-	-	-	-	0,4	0,6	0,6	0,4	0,7	0,4
	DP (MPa)	-	-	-	-	0,06	0,08	0,14	0,09	0,11	0,14
	CV (%)	-	-	-	-	14,0	13,5	25,4	20,9	16,3	35,3
	Média _{ABNT} (MPa)	-	-	-	-	0,5	0,6	0,6	0,4	0,7	0,4
	Média _{DIN} (MPa)	-	-	-	-	0,4	0,6	0,6	0,4	0,7	0,4
	Média _{ANSI} (MPa)	-	-	-	-	0,5	0,6	0,6	0,4	0,7	0,4
Tempo em aberto teórico (min)		<10	15	10	15	25	>25	>25	20	>25	20

Nota: *Número de resultados inferior a cinco após descarte dos valores com afastamento maior que 20% da média, impossibilitando a realização do cálculo da média, conforme especificado na NBR 14083 (ABNT, 1998c). Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.10 a A1.19 do anexo 1.

Figura 23 – Determinação da resistência de aderência à tração para os tempos em aberto teóricos – Apresenta a resistência de aderência à tração em função do intervalo de tempo em aberto: (10, 15 e 20) min para as classes AC I e (15, 20 e 25) min para as classes AC II e AC III – (ABNT, 1998c).

Quando não foi possível adotar a média calculada pela ABNT, resultando em menos de cinco resultados após a eliminação dos valores com afastamento da média maior que 20%, foi adotada a média calculada conforme a norma DIN, que elimina o maior e o menor valor obtido.

Todas as amostras atendem ao critério especificado para esse requisito, com exceção das amostras 1 e 3, da classe AC I.

- **Resistência de aderência à tração**

A determinação da resistência de aderência à tração foi executada conforme a NBR 14084 (ABNT, 1998d). Os cálculos das médias foram executados conforme as normas ABNT, DIN e ANSI. A Tabela 34 e a Figura 24 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 34 – Determinação da resistência de aderência à tração – (ABNT, 1998c)

Tipo de cura	Cálculos	Resistência de aderência à tração (MPa)									
		AC I				AC II			AC III		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28 dias em cura ao ar	MA (MPa)	0,5	0,2	0,7	0,6	0,8	0,7	0,9	1,1	0,7	1,0
	DP (MPa)	0,13	0,06	0,09	0,17	0,17	0,13	0,21	0,13	0,11	0,16
	CV (%)	27,7	29,3	12,1	31,3	22,7	18,7	24,4	12,4	16,6	15,8
	Média _{ABNT} (MPa)	0,5	0,2	0,8	0,6	0,7	0,7	0,9	1,1	0,6	1,0
	Média _{DIN} (MPa)	0,5	0,2	0,8	0,6	0,8	0,7	0,9	1,1	0,7	1,0
	Média _{ANSI} (MPa)	0,5	0,2	0,7	0,6	0,8	0,7	0,9	1,1	0,6	1,0
7 dias em cura ao ar + 21 dias em cura submersa	MA (MPa)	0,4	0,1	0,2	0,4	0,7	0,3	0,4	0,6	0,2	0,6
	DP (MPa)	0,04	0,02	0,02	0,11	0,4	0,15	0,12	0,14	0,02	0,14
	CV (%)	10,3	23,5	14,9	29,4	20,9	47,3	26,3	24,3	12,2	23,7
	Média _{ABNT} (MPa)	0,4	0,1	0,2	*	0,7	*	0,5	0,6	0,2	0,6
	Média _{DIN} (MPa)	0,4	0,1	0,2	0,4	0,7	0,3	0,5	0,5	0,2	0,6
	Média _{ANSI} (MPa)	0,4	0,1	0,2	0,4	0,7	0,3	0,4	0,6	0,2	0,6
14 dias em cura ao ar + 14 dias em cura em estufa à 70°C	MA (MPa)	0,3	0,0	0,4	0,0	0,6	0,5	0,7	0,9	0,7	0,6
	DP (MPa)	0,28	-	0,15	0,02	0,11	0,13	0,15	0,27	0,23	0,16
	CV (%)	96,6	-	35,8	48,3	17,8	24,3	22,1	30,8	31,9	26,1
	Média _{ABNT} (MPa)	*	0,0	0,4	0,0	0,6	0,5	0,7	*	*	0,6
	Média _{DIN} (MPa)	0,2	0,0	0,4	0,0	0,6	0,5	0,7	0,9	0,7	0,6
	Média _{ANSI} (MPa)	0,3	0,0	0,5	0,0	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,6

Nota: *Número de resultados inferior a cinco após descarte dos valores com afastamento maior que 20% da média, impossibilitando a realização do cálculo da média, conforme especificado na NBR 14084 (ABNT, 1998d). Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.20 a A1.29 do anexo 1.

Figura 24 – Determinação da resistência de aderência à tração em função das condições de cura ao ar, submersa e estufa a 70°C para as classes AC I, AC II e AC III – NBR 14084/1998d – As amostras 2 e 4 não apresentaram resistência de aderência na condição de cura em estufa.

Quando não foi possível adotar a média calculada pela ABNT, resultando em menos de cinco resultados após a eliminação dos valores com afastamento da média maior que 20%, foi adotada a média calculada conforme a norma DIN, que elimina o maior e o menor valor obtido.

Para as amostras de classe AC I (sem polímero), apenas a amostra 2 não atende à especificação, na condição de cura ao ar. Na condição de cura submersa, nenhuma amostra atende à especificação. Para a condição de cura em estufa, que não faz parte da especificação para esta classe de argamassa, também nenhuma amostra apresentou resultados $\geq 0,5$ MPa.

As argamassas da classe AC II atendem à especificação da ABNT nas condições de cura ao ar, submersa e em estufa. Já as argamassas da classe AC III (com polímero), não atendem à especificação da norma, nas condições de cura submersa e em estufa. Para a cura ao ar, apenas as amostras 8 e 10, atendem à especificação.

- **Densidade de massa aparente**

A densidade de massa aparente foi determinada conforme a NBR 14086 (ABNT, 1998f). A Tabela 35 e a Figura 25 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 35 – Determinação da densidade de massa aparente – (ABNT, 1998f)

Classe de argamassa	Amostras	Densidade de massa aparente (kg/dm ³)					
		Determinações			Média (kg/dm ³)	Desvio padrão (kg/dm ³)	coeficiente de variação (%)
		1 ^a	2 ^a	3 ^a			
AC I	1	1,57	1,53	1,54	1,55	0,02	1
	2	1,50	1,47	1,51	1,49	0,02	1
	3	1,47	1,49	1,50	1,49	0,02	1
	4	1,37	1,35	1,37	1,36	0,01	1
AC II	5	1,47	1,48	1,48	1,48	0,01	0
	6	1,54	1,52	1,51	1,52	0,02	1
	7	1,43	1,41	1,41	1,42	0,01	1
AC III	8	1,47	1,43	1,43	1,44	0,02	2
	9	1,47	1,46	1,48	1,47	0,01	1
	10	1,59	1,59	1,56	1,58	0,02	1

Figura 25 – Determinação da densidade de massa aparente –(ABNT, 1998f).

Os resultados não permitem diferenciar entre si as três classes de argamassa. A repetibilidade apresentada foi bastante satisfatória, com desvio padrão máximo de 0,02 kg/dm³, atendendo por exemplo, o critério da norma UEAtc, que especifica durante o controle de uniformidade, a tolerância máxima de 0,1 kg/dm³.

Os resultados apresentam valores variáveis, representando uma característica da amostra, sendo útil no controle de recebimento, adotando-se o critério da UEAtc como limite de variação.

• **Resíduo em peneira 1,0 mm**

O resíduo em peneira foi determinado conforme adaptação da NBR 14086 (ABNT, 1998f). Para cada amostra, foi utilizada a massa inicial de 100 g, executando-se o peneiramento manual durante aproximadamente 15 minutos, com intervalos para limpeza da peneira. A Tabela 36 e a Figura 26 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 36 – Determinação do resíduo em peneira 1,0 mm – (ABNT, 1998f)

Classe de argamassa	Amostras	Resíduo em peneira # 1,0 mm (% de massa retida)					
		Determinações			Média (%)	Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (%)
		1 ^a	2 ^a	3 ^a			
AC I	1	0,3	0,5	0,4	0,4	0,1	25
	2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	43
	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
AC II	5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0
	6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0
	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
AC III	8	0,4	0,4	0,5	0,4	0,1	13
	9	1,2	1,2	1,1	1,2	0,1	5
	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0

Figura 26 – Determinação do resíduo em peneira 1,0 mm – (ABNT, 1998f)

As amostras 3, 4, 7 e 10 não apresentaram material retido na peneira 1,0 mm.

Os resultados não permitem diferenciar entre si as três classes de argamassa. A repetibilidade apresentada não foi satisfatória em todos os casos, apresentando

coeficiente de variação de até 43%. Essa variação indica a necessidade de aprimorar-se o método adaptado da NBR 14086 (ABNT, 1998f), devendo-se aumentar o tempo de peneiramento e aumentar o cuidado durante as operações de limpeza da peneira.

6.4 Análise dos Requisitos

Além da caracterização das amostras de argamassa conforme a ABNT apresentada no item 6.3, foram realizados ensaios para analisar os requisitos no estado anidro, estado fresco e estado endurecido, utilizando-se os métodos internacionais discutidos nos capítulos 3, 4 e 5.

6.4.1 Requisitos no estado anidro

• Resíduo em peneira

Além do resíduo na peneira 1,0 mm conforme especificado pela norma NBR 14086 (ABNT, 1998f), foram determinados os resíduos nas peneiras 0,5 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, para avaliar se estas peneiras podem diferenciar as classes de amostras. Os ensaios foram executados com o mesmo procedimento utilizado para a peneira 1,0 mm. A Figura 27 apresenta os resultados obtidos. Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.30 a A1.32 do anexo 1.

Figura 27 – Determinação do resíduo em peneira 1,0 mm; 0,5 mm; 0,15 mm e 0,075 mm.

O resultado que melhor diferencia as classes de amostras é o apresentado pelo material retido na peneira 0,075 mm. Observam-se os menores valores na classe AC III, confirmando uma formulação com maior consumo de aglomerante, para atender a exigências de resistência de aderência maior que para as classes AC I e AC II. O valor apresentado pela amostra 1 certamente indica a utilização de filer calcário.

A repetibilidade do método nas peneiras 0,5 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, com análise do coeficiente de variação de três determinações por peneira, foi bastante satisfatória, como pode ser visto no anexo 1, diferentemente do que ocorreu com os ensaios na peneira 1,0 mm em três das amostras ensaiadas.

- **Perda de massa a 110°C e 450°C**

A determinação da perda de massa a 110°C foi realizada conforme a norma IRAM 1753 (IRAM, 1985b) e a determinação da perda de massa a 450°C foi realizada conforme a UEAtc (1990). Para a temperatura de 110°C foi utilizado uma estufa ventilada marca FANEM e para a temperatura de 450°C uma mufla marca Quimis. A Tabela 37 e a Figura 28 apresentam os resultados obtidos.

**Tabela 37 – Determinação da perda de massa a 110°C e 450°C
(IRAM, 1985b; UEAtc, 1990)**

Classe de argamassa	Amostras	Perda de massa (%)	
		110°C	450°C*
AC I	1	0,26	0,43
	2	0,28	0,38
	3	0,00	0,38
	4	0,00	0,30
AC II	5	0,54	1,61
	6	0,00	1,14
	7	0,00	1,03
AC III	8	0,31	1,90
	9	0,28	1,98
	10	0,30	1,86

Notas: Perda de massa a 450°C calculada após o ensaio de perda de massa a 110°C
Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.33 e A1.34 do anexo 1.

Figura 28 – Determinação da perda de massa a 110°C e 450°C e indicação da porcentagem passante na peneira 0,075 mm.

A norma IRAM 1752 (IRAM, 1985a) especifica uma perda de massa máxima a 110°C de 0,5% e variação entre duas determinações de uma mesma amostra no máximo de 0,1%. Os resultados de duas determinações de cada amostra apresentaram valores muito abaixo desse limite. Portanto o método é eficiente para controle de umidade da argamassa durante processo de produção.

Para a perda de massa a 450°C, a tolerância máxima estabelecida pela UEAtc (1990) é de $\pm 1\%$ durante o controle de uniformidade da argamassa.

Os resultados de perda de massa a 450°C, permitem distinguir as classes de argamassa. As argamassas do tipo AC I apresentaram valores entre 0,30% e 0,43%, enquanto que as argamassas do tipo AC II apresentaram valores entre 1,03% e 1,61% e as argamassas do tipo AC III apresentaram valores entre 1,86% e 1,98%, muito semelhantes aos teores de aditivos praticados pelos fabricantes.

A determinação da perda de massa à 450°C, e o material passante na peneira 0,075 mm, podem ser utilizados para uma diferenciação entre formulações e controle de uniformidade na produção.

Entretanto é importante levar em consideração que o tipo de aditivo, o teor real de aglomerantes, que pode ser superestimado pela presença de finos, e o tipo de agregado, influenciam o desempenho da argamassa colante.

De modo a confirmar sua aplicabilidade ao controle de uniformidade do produto e proporcionar maiores subsídios à análise do método de perda de massa a 450°C na determinação do teor de aditivos orgânicos utilizados na formulação da argamassa colante, foram preparadas dezenove amostras de argamassa, com teores conhecidos dos aditivos utilizados na formulação. Foram utilizadas formulações típicas para as classes AC I, AC II e AC III. A Figura 29 apresenta a correlação entre os teores de aditivos utilizados na formulação e a perda de massa a 450°C. Os resultados completos estão apresentados na Tabela A1.35 do anexo 1.

Figura 29 – Correlação entre o teor de aditivos presente na argamassa e a perda de massa a 450°C.

Os resultados apresentam boa correlação entre o ensaio de perda de massa a 450°C e a dosagem de aditivos utilizados na formulação, com $R^2 = 0,92$. A execução de perfeita homogeneização da amostra ensaiada e conhecimento do aditivo utilizado podem proporcionar resultados ainda melhores.

Análises realizadas com a porção passante na peneira 0,075 mm das amostras, em analisador termodiferencial e termogravimétrico, marca Rigaku, modelo TAS 100, com taxa de aquecimento de 10°C/min, cujas curvas da análise térmica diferencial (DTA) e da análise termogravimétrica (TG) estão apresentadas nas Figura 30 a Figura 39, permitem verificar que a perda de massa referem-se a picos exotérmicos situados às temperaturas entre 300°C e 350°C e, em menor quantidade, na faixa de 400°C a 450°C. Esses perfis podem também ser considerados como referência para controle e recebimento de lotes, levando em conta o intervalo de variação observado. Nenhum deles apresenta o pico característico do hidróxido de cálcio procedente da cal livre do cimento, o que seria possível no caso de pré-hidratação.

Figura 30 – Curvas DTA, TG – amostra 1.

Figura 31 - Curvas DTA, TG – amostra 2.

Figura 32 - Curvas DTA, TG – amostra 3.

Figura 33 - Curvas DTA, TG – amostra 4.

Figura 34 - Curvas DTA, TG – amostra 5.

Figura 35 - Curvas DTA, TG – amostra 6.

Figura 36 - Curvas DTA, TG – amostra 7.

Figura 37 - Curvas DTA, TG – amostra 8.

Figura 38 - Curvas DTA, TG – amostra 9.

Figura 39 - Curvas DTA, TG – amostra 10.

6.4.2 Requisitos no estado fresco

- **Deslizamento**

Além dos ensaios realizados para caracterização das amostras conforme a especificação da NBR 14085 (ABNT, 1998e), foram analisadas a influência da absorção da placa cerâmica e do teor de água de amassamento.

A influência da placa cerâmica foi avaliada, mantendo-se fixo o teor de água recomendado pelo fabricante e utilizando-se, além da placa de porcelanato, uma

placa cerâmica tipo grés e uma placa de vidro jateado. A Tabela 38 apresenta as características das placas utilizadas.

Tabela 38 – Características das placas utilizadas na determinação do deslizamento

Identificação	Material	Massa (g)	Absorção de água (%)
-	Placa de vidro jateado	198±2	0,0
67198	Placa cerâmica porcelanato	194±4	0,0
67199	Placa cerâmica grés	165±4	2,5

A placa de vidro jateado foi selecionada para o ensaio pela possibilidade de padronização deste material, se comparada a uma placa cerâmica, sendo este um dos problemas no método atual. A placa de vidro foi utilizada com a face jateada em contato com a argamassa e a placa cerâmica grés foi assentada com a face do tardo, em forma de “rabo de andorinha”, em contato com a argamassa. A Figura 40 apresenta os resultados obtidos. Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.36 a A1.38 do anexo 1.

Figura 40 – Determinação do deslizamento em função do tipo de placa cerâmica e com indicação do teor de água de amassamento.

Na maioria dos casos a placa de grés apresentou os menores resultados de deslizamento. Considerando-se a pequena diferença entre a absorção das placas de vidro e porcelanato em relação à absorção da placa de grés, e sendo a massa da placa de grés cerca de 16% menor, em relação às demais, atribuem-se os resultados a essa característica da placa de grés.

Apenas para as amostras 1 e 9, a placa de cerâmica grés apresentou deslizamento maior que as demais. Isso pode ser atribuído à própria limitação do método, que apresenta elevado coeficiente de variação.

Além da influência do tipo de placa cerâmica, foram realizados ensaios para determinar a influência do teor de água no deslizamento. Como referência, foi utilizada a placa cerâmica de porcelanato. Além do teor de água indicado pelo fabricante, foram utilizados mais dois teores, com aumentos de um e dois pontos percentuais em relação ao teor de água inicialmente indicado. A Figura 41 apresenta os resultados de deslizamento em função do teor de água aplicados a uma mesma placa cerâmica. Os resultados completos estão apresentados na Tabela A1.39 do anexo 1.

Observa-se que, praticamente, em todas as amostras o deslizamento foi influenciado, em maior ou menor grau, pelo aumento do teor de água de amassamento em até dois pontos percentuais em relação ao teor indicado pelo fabricante. Considerando-se que a água de amassamento normalmente é indicada pelo fabricante com tolerância de pelo menos um ponto percentual e que, na prática, a dosagem é realizada sem precisão, verifica-se a necessidade do fabricante estudar o comportamento da argamassa na faixa indicada para a água de amassamento.

Para essa verificação o fabricante poderia se basear no ensaio estabelecido pela UEAtc, discutido no capítulo 2.

- **Tempo em aberto teórico**

Para comparar o método da NBR 14083 (ABNT, 1998c), que avalia o tempo em aberto teórico no estado endurecido, foram selecionados os métodos da UEAtc (1990), que também avalia o tempo em aberto teórico no estado endurecido, com a diferença da execução da ruptura da “película” formada na superfície dos cordões, e uma adaptação do método ANSI 118.1 (ANSI, 1999a) que executa essa avaliação ainda no estado fresco, com duas temperaturas de ensaio. Os métodos estão descritos no capítulo 4.

As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998), utilizando-se o teor de água e tempo de maturação indicados pelo fabricante.

A Tabela 39 apresenta os resultados dos ensaios de determinação do tempo em aberto teórico conforme a UEAtc (1990). A Figura 42 apresenta a comparação entre os resultados de determinação do tempo em aberto teórico conforme a NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990).

Tabela 39 – Determinação do tempo em aberto teórico – (UEAtc, 1990)

Intervalo (min)	Cálculos	Amostras - Resistência de aderência à tração (MPa)									
		AC I				AC II			AC III		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	MA (MPa)	0,6	0,5	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-
	DP (MPa)	0,04	0,05	0,11	0,11	-	-	-	-	-	-
	CV (%)	5,9	9,2	17,2	13,5	-	-	-	-	-	-
	Média UEAtc (MPa)	0,6	0,5	0,7	0,6	-	-	-	-	-	-
20	MA (MPa)	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7	0,9	0,7	1,0	0,8
	DP (MPa)	0,07	0,06	0,09	0,11	0,04	0,04	0,11	0,05	0,10	0,7
	CV (%)	11,0	12,6	13,7	16,4	6,5	5,2	11,8	8,0	10,5	8,7
	Média UEAtc (MPa)	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7	1,0	0,7	1,0	0,8
25	MA (MPa)	-	-	-	-	0,6	0,6	0,8	0,6	1,0	0,7
	DP (MPa)	-	-	-	-	0,08	0,04	0,15	0,11	0,08	0,14
	CV (%)	-	-	-	-	13,2	6,8	14,9	17,1	7,8	20,3
	Média UEAtc (MPa)	-	-	-	-	0,6	0,7	0,9	0,6	1,0	0,7
Tempo em aberto teórico (min)		>20	20	>20	>20	>25	>25	>25	>25	>25	>25

Nota: Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.10 a A1.19 do anexo 1.

Figura 42 – Apresentação dos resultados de resistência de aderência à tração para determinação do tempo em aberto teórico. Comparação entre os resultados dos métodos ABNT e UEAtc em função do intervalo de tempo em aberto: ABNT - (10, 15 e 20) min para as classes AC I e (15, 20 e 25) min para as classes AC II e AC III. UEAtc - (15 e 20) min para as classes AC I e (20 e 25) min para as classes AC II e AC III.

Os resultados demonstram claramente o acréscimo no tempo em aberto teórico comparando-se os métodos da NBR 14083/1998, que não executa a ruptura da película e o método UEAtc, que executa esse procedimento.

Considerando-se que os valores apresentados pela maioria das amostras, no método UEAtc, encontram-se acima do valor 0,5 MPa, tido como referência para o tempo em aberto, o ganho no tempo em aberto teórico, em comparação ao método ABNT, pode ser ainda maior.

Um fato importante é a menor variação dos resultados pelo método UEAtc, que apresentou coeficiente de variação máximo de 20%, enquanto que o método da NBR 14083 (ABNT, 1998c) apresentou valores de até 43%. Mesmo assim, a variação dos resultados é elevada. A Figura 43 ilustra a variação dos resultados, comparado os métodos ABNT e UEAtc, em função das médias calculadas conforme cada método, o desvio padrão e o maior e menor valor de cada série. Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.10 a A1.19 do anexo 1.

Figura 43 – Variação dos resultados de tempo em aberto teórico determinados pelos métodos ABNT e UEAtc em função do intervalo de tempo: ABNT - (10, 15 e 20) min para as classes AC I e (15, 20 e 25) min para as classes AC II e AC III. UEAtc - (15 e 20) min para as classes AC I e (20 e 25) min para as classes AC II e AC III.

A menor variação dos resultados obtidos pelo método UEAtc, pode ser evidenciada no gráfico comparando-se em cada amostra os valores de resistência de aderência à tração, obtidos pelos métodos UEAtc e ABNT.

Um outro método utilizado para determinar o tempo em aberto foi o especificado nas normas A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b), já discutido no capítulo 4 e avalia a

adesão inicial da argamassa em um determinado intervalo em aberto. Os ensaios foram realizados nas temperaturas de 23°C e 40°C com umidade relativa de 55%. A Tabela 40 e a Figura 44 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 40 – Determinação do tempo de adesão inicial – (ANSI, 1999a,b)

Classe	Amostras	Temperatura 23° C				Temperatura 40° C					
		Intervalo em aberto inicial 45 (min)				Intervalo em aberto inicial 15 (min)					
		Intervalos adicionais* (min)			Tempo em aberto (min)	Intervalos adicionais* (min)					Tempo em aberto (min)
		5	5	5		5	5	5	5	5	
AC I	1	x			50	x					20
	2	x			50	x	x	x			30
	3	x			50	x	x	x			30
	4				45	x					20
AC II	5	x	x		55	x	x				25
	6	x			50	x	x	x	x	x	40
	7	x			50	x	x	x	x		35
AC III	8				45	x	x	x	x		35
	9	x			50	x	x				25
	10	x	x	x	60	x	x	x	x		35

Nota: *Soma-se o intervalo adicional ao tempo em aberto inicial, caso a placa cerâmica permaneça aderida ao substrato após giro de 90°.

Figura 44 – Determinação do tempo de adesão inicial em função da temperatura ambiente – (ANSI, 1999a,b).

Observa-se claramente a influência da temperatura na redução do tempo de adesão inicial em todas as amostras. Os resultados ratificam a necessidade de acrescentar uma faixa de temperatura de $(38\pm 2)^{\circ}\text{C}$ na determinação do método nacional, compatível com a maior parte das regiões do Brasil.

- **Tempo de formação de película**

Entre os métodos estudados, o método IRAM 1759 (IRAM, 1986), foi escolhido para a pesquisa por ser bastante prático e utilizar metodologia similar ao ensaio de tempo em aberto teórico da norma NBR 14083 (ABNT, 1998).

As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998), utilizando-se o teor de água e tempo de maturação, indicados pelo fabricante. A Tabela 41 e a Figura 45 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 41 – Determinação do tempo de formação de película – (IRAM, 1986d)

Classe	Amostras	Teor de água (%)	Porcentagem de área de argamassa aderida à placa cerâmica (%)								Tempo de formação de película (min)
			Intervalo de tempo para assentamento da placa cerâmica (min)								
			5	10	15	20	25	30	35	65	
AC I	1	22,0	78	55	23	7	-	-	-	-	10
	2	23,0	93	73	62	34	20	-	-	-	15
	3	20,0	90	60	37	15	-	-	-	-	10
	4	23,0	99	100	97	96	96	96	95	57	> 65
AC II	5	25,0	100	96	73	70	58	50	47	-	30
	6	24,0	96	71	69	50	43	29	-	-	20
	7	20,0	95	50	31	21	-	-	-	-	10
AC III	8	25,0	80	73	58	32	15	-	-	-	15
	9	25,0	91	81	68	50	36	27	-	-	20
	10	22,0	89	60	42	37	23	-	-	-	10

Nota: Considera-se o tempo de formação de película o maior intervalo cuja área de argamassa aderida à placa cerâmica seja $\geq 50\%$.

Figura 45 - Determinação do tempo de formação de película – (IRAM, 1986d). Para cada amostra a porcentagem de área de argamassa aderida à placa cerâmica foi avaliada a partir do intervalo de 5 min e até o intervalo cujo valor fosse menor que 50% de área de argamassa aderida ao tardo da placa cerâmica.

Para avaliar a validade do método IRAM 1759 (IRAM, 1986) que determina o tempo de formação de película em relação aos métodos de tempo em aberto teórico executados conforme a ABNT e UEAtc, tomou-se o intervalo em aberto aos 20 min nos três métodos de ensaio. Os três ensaios utilizaram o mesmo tipo de substrato, placa cerâmica e teor de água. A Figura 46 apresenta a comparação entre os métodos de tempo em aberto teórico e tempo de formação de película. As amostras foram dispostas no gráfico na ordem crescente de perda de massa a 450°C.

Figura 46 - Comparação entre os resultados de tempo em aberto teórico pelos métodos NBR 14083 (ABNT, 1998) e UEAtc (1990) em função do tempo de formação de película pelo método IRAM 1759 (IRAM, 1986) no intervalo em aberto de 20 min e com a indicação da perda de massa a 450°C.

Observa-se que a comparação entre os métodos de tempo de formação de película e o tempo em aberto teórico não apresenta uma tendência de correlação entre a porcentagem de área aderida e a resistência de aderência à tração, para nenhum dos métodos estudados.

Como poderia se esperar, os maiores valores de perda de massa, que correspondem a maiores teores de aditivos, apresentaram tendência de obter maiores resultados de resistência de aderência nos dois métodos de determinação de tempo em aberto teórico. Entretanto, amostras com baixos valores de perda de massa apresentaram elevada área de argamassa aderida ao tardo da placa cerâmica.

Isso demonstra que a maior porcentagem de argamassa aderida na placa cerâmica não confere a garantia de obtenção de maior resistência. Embora seja corrente a idéia que porcentagens menores de área de argamassa aderida à placa cerâmica apresentam

menores valores de resistência de aderência, para um mesmo intervalo em aberto, essa premissa também não foi verificada nos resultados

- **Plasticidade**

Para avaliar a plasticidade das amostras foram utilizadas as normas EN 1347 (CEN, 1999d) e UEAtc (1990), já discutidas no capítulo 4.

As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998), utilizando-se o teor de água e tempo de maturação, indicados pelo fabricante. As Tabela 42 e Tabela 43 e as Figura 47 e Figura 48 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 42 – Determinação da plasticidade – (CEN, 1999d)

Classe de argamassa	Amostras	Teor de água (%)	Porcentagem de área em contato com a argamassa		
			Intervalo para colocação da placa de vidro (10x10)cm carregada com 50 N		
			10 min	20 min	30 min
AC I	1	22,0	98	96	93
	2	23,0	99	99	98
	3	20,0	98	97	96
	4	23,0	97	98	98
AC II	5	25,0	99	99	99
	6	24,0	99	99	98
	7	20,0	98	97	96
AC III	8	25,0	98	96	96
	9	25,0	97	96	94
	10	22,0	99	98	97

Nota: A norma não apresenta especificação para esse requisito.

Figura 47 – Determinação da plasticidade em função do intervalo de tempo para colocação da placa de vidro de (10x10)cm sobre os cordões de argamassa e aplicação de peso de 50 N – (CEN, 1999d).

Tabela 43 – Determinação da plasticidade – UEAtc (1990)

Classe de argamassa	Amostras	Teor de água (%)	Porcentagem de área em contato com a argamassa									Intervalo em aberto* (min)
			Intervalo para colocação da placa de vidro (5x5) cm e peso aplicado									
			10 min			20 min			30 min			
			5 N	10 N	20 N	5 N	10N	20 N	5 N	10N	20 N	
AC I	1	22,0	85	93	98	75	80	93	75	80	86	20
	2	23,0	88	92	97	80	85	89	77	84	89	10
	3	20,0	88	96	99	80	85	95	70	80	90	30
	4	23,0	95	99	100	97	98	100	95	97	100	30
AC II	5	25,0	97	99	100	93	97	100	96	99	100	30
	6	24,0	85	90	97	75	80	90	70	80	90	30
	7	20,0	90	96	99	80	90	97	80	93	98	30
AC III	8	25,0	75	86	96	85	89	92	88	94	95	30
	9	25,0	85	88	97	80	85	87	75	80	85	10
	10	22,0	90	99	100	88	94	98	80	90	95	30

Nota: *O intervalo foi considerado para uma porcentagem de área da placa de vidro em contato com a argamassa (filme contínuo) $\geq 90\%$, após a aplicação do peso de 20 N.

Figura 48 - Determinação da plasticidade em função da intervalo de tempo para colocação da placa de vidro (5x5)cm sobre os cordões de argamassa e aplicação de peso de 20 N – (UEAtc, 1990).

Em nenhum dos métodos foi possível diferenciar as classes de argamassa por meio dos resultados.

A norma EN 12004 (CEN, 2001) não apresenta critérios para avaliação da plasticidade. Com base nos critérios da norma DIN 18.156-2 (DIN, 1978) que especifica a porcentagem de área de argamassa em contato com a placa de vidro de 65% aos 10 min de tempo em aberto, verifica-se que todas as amostras satisfazem ao requisito.

Para o método UEAtc, a consideração de formação de filme contínuo, foi atribuída a uma porcentagem mínima de 90%. Com essas considerações, as amostras 2 e 9 não atendem ao especificado pela norma. Se o valor de 100% fosse especificado, apenas as amostras 4 e 5 atenderiam ao requisito.

- **Tempo de correção**

Nesse estudo o tempo de correção foi avaliado com uma adaptação da norma DIN 18.156-2 (DIN, 1978). As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998), utilizando-se o teor de água e o tempo de maturação indicados pelo fabricante. A Tabela 44 e a Figura 49 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 44 – Determinação do tempo de correção – (DIN, 1978)

Intervalo em aberto (min)	Placa cerâmica	Amostras - Resistência de aderência à tração (MPa)									
		AC I				AC II			AC III		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	1	0,14	0,32	0,29	0,16	0,57	0,45	0,33	0,36	0,44	0,70
	2	0,10	0,25	0,22	0,24	0,82	0,45	0,34	0,39	0,44	0,63
	3	0,15	0,45	0,28	0,20	0,78	0,41	0,32	0,53	0,50	0,66
	Média (MPa)	0,1	0,3	0,3	0,2	0,7	0,4	0,3	0,4	0,5	0,7
	DP (MPa)	0,03	0,10	0,04	0,04	0,13	0,02	0,01	0,09	0,03	0,04
	CV (%)	20%	30%	14%	20%	19%	5%	3%	21%	8%	5%
Tempo de correção (min)		<10	<10	<10	<10	10	<10	<10	<10	10	10

Figura 49 – Determinação do tempo de correção – Intervalo em aberto de 10 min e correção com giro a 90° após intervalo de 10 min a partir do assentamento (DIN, 1978).

Observa-se que o requisito de tempo de correção é bastante crítico, visto que, das dez amostras ensaiadas, apenas três atendem ao critério especificado pela norma DIN. Portanto as técnicas de assentamento devem levar em consideração esse fato, limitando o tempo para eventuais correções da placa cerâmica durante o assentamento.

• Tempo de maturação e tempo útil

O tempo de maturação e o tempo útil da argamassa estão ligados à preparação e aplicação da argamassa colante. Essas propriedades foram analisadas em relação ao tempo em aberto teórico, como recomenda a norma UEAtc (1990). As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998), utilizando-se o teor de água indicado pelo fabricante.

O tempo de maturação foi avaliado nos intervalos de 5 min, 15 min, 20 min e 30 min e o tempo útil nos intervalos de 60 min, 180 min e 240 min. Após estes intervalos, as amostras foram remisturadas durante 1 min em misturadora mecânica na velocidade lenta. Em seguida foram realizados os ensaios de tempo em aberto teórico, conforme a NBR 14083 (ABNT, 1998c), estabelecendo-se o intervalo em aberto de 15 min para as amostras da classe AC I e 20 min para as classes AC II e AC III. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 50 e na Tabela A1.40 do anexo 1.

Figura 50 - Avaliação da influência dos tempos de maturação e útil na resistência de aderência à tração após intervalos em aberto de 15 min para a classe AC I e 20 min para as classes AC II e AC III - (UEAtc, 1990; ABNT, 1998c).

Os resultados obtidos demonstram a baixa influência do tempo de maturação ou do tempo útil, dentro dos intervalos de 5 min a 240 min, nos resultados de resistência de aderência à tração, avaliados com tempos em aberto de 15 min para as argamassas AC I e 20 min para as argamassas AC II e AC III.

Embora os resultados sejam satisfatórios em relação a um maior tempo útil, sem comprometimento do desempenho da argamassa em relação ao tempo em aberto teórico, não é recomendado que seja ultrapassado o tempo útil especificado pelas normas NBR 13753, 13754, 13755 (ABNT, 1996a,b,c), de 2h 30 min, devido à interferência das condições ambientais em campo, visto que os testes foram efetuados em ambiente de laboratório.

Em relação ao tempo de maturação, também para não haver relação entre, o tempo de permanência da argamassa em descanso após o preparo e seu desempenho em relação ao tempo de pega.

Os resultados de tempo em aberto teórico das amostras 1, 2, 3 e 7, foram reproduzidos em relação aos resultados obtidos na caracterização da amostra, considerando-se os mesmos intervalos em aberto. Isso apenas confirma a baixa repetibilidade do método.

- **Tempo de pega**

O comportamento das amostras em relação ao tempo de pega, foi avaliado utilizando-se o ensaio especificado pelas normas A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b), com uso do equipamento Gilmore e duas temperaturas ambiente e duas umidades relativas do ar. As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998b), utilizando-se o teor de água e tempo de maturação, indicados pelo fabricante. A Tabela 45 e a Figura 51 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 45 – Determinação dos tempos de pega – (ANSI 1999a,b)

Classe de argamassa	Amostras	23°C- 50%		38°C – 35%	
		início	final	início	final
AC I	1	10:01	15:07	02:13	02:49
	2	10:03	15:36	02:02	03:03
	3	11:02	14:08	01:34	02:09
	4	15:40	19:34	02:22	04:41
AC II	5	11:09	18:29	02:37	04:04
	6	13:58	18:01	01:40	03:01
	7	10:58	14:56	01:14	02:44
AC III	8	11:37	16:23	02:18	03:42
	9	12:50	18:09	02:45	04:04
	10	10:22	13:20	02:31	03:40

Figura 51 - Determinação dos tempos de início e fim de pega com equipamento Gilmore, nas condições ambientais de temperatura 23°C e umidade 50% e temperatura 38°C e umidade 35% (ANSI 1999a,b).

A umidade relativa na temperatura de 38°C não foi mantida a 50% como determina a norma ANSI, optando-se em realizar o ensaio com a umidade de 38%, devido à limitação da câmara de temperatura utilizada.

Para o tempo de final de pega, limitado em 15 h no método ANSI, apenas as amostras 3, 7 e 10 atenderam à especificação. Nas demais condições de ensaio, todas as amostras atenderam ao requisito.

Considerando-se um tempo útil de 2 h 30 min, especificado pelas NBR 13753, 13754, 13755 (ABNT, 1996a,b,c), e a utilização de argamassa colante de pega normal, confirma-se o fato do tempo pega não se correlacionar com o tempo útil, ao menos do modo como é avaliado pelo equipamento Gilmore.

Outra constatação foi o rápido decréscimo do tempo de pega com o aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa, confirmando a necessidade da execução de ensaio com outras faixas de condição ambiental devido à diversidade climática do País, conforme já discutido.

• Retenção de água

A retenção de água foi avaliada com a utilização dos métodos UEAtc (1990), NBR 13277 (ABNT, 1995) e pelo projeto de norma 18:406.05-001 anexo C (ABNT, 2001). As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998b), utilizando-se o teor de água e tempo de maturação, indicados pelo fabricante. A Tabela 46 e a Figura 52 apresentam os resultados obtidos.

**Tabela 46 - Determinação da retenção de água
(UEAtc, 1990; ABNT, 1995; ABNT 2001)**

Classe de argamassa	Amostras	Teor de água (%)	UEAtc (Funil)	NBR 13277 (Papel-filtro)	Projeto 18:406.05-001
			Retenção de água (%)		migração de água aos 10 min (mm)
AC I	1	22,0	99	100	0,0
	2	23,0	100	100	0,0
	3	20,0	100	100	0,0
	4	23,0	99	99	0,0
AC II	5	25,0	100	100	0,0
	6	24,0	100	100	0,0
	7	20,0	100	100	0,0
AC III	8	25,0	100	100	0,0
	9	25,0	100	99	0,0
	10	22,0	100	100	0,0

Figura 52 - Determinação da retenção de água pelos métodos UEAtc (1990); ABNT (1995) e ABNT (2001).

Os resultados obtidos nos três métodos de ensaio não permitem diferenciar classes de argamassa, o que inviabiliza sua utilização na caracterização da argamassa colante. Na verdade, esses ensaios apenas confirmam a característica da argamassa colante, formulada com aditivo retentor de água, mostrando ser desnecessária essa determinação no seu controle da qualidade.

Devido aos resultados desfavoráveis, para o enfoque de diferenciação das classes de argamassa, foi realizada uma tentativa de avaliar a influência do intervalo de tempo de ensaio na retenção de água. Para essa avaliação foi utilizado o método da NBR 13277 (ABNT, 1995). Os ensaios foram realizados com intervalos 2 min, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 30 min e 40 min, da argamassa em contato com o papel-filtro, avaliando-se se ocorrer a manutenção da retenção de água ao longo do tempo. A Figura 53 e a Tabela A1.41 do anexo 1 apresentam os resultados obtidos.

Figura 53 - Determinação da retenção de água em função do intervalo de tempo da argamassa em contato com o papel-filtro – (ABNT, 1995).

Observa-se que todas as amostras mantêm a retenção de água ao longo do tempo. De fato, na prática, também não deve ocorrer uma absorção além da inicial, quando a argamassa é posta em contato com a base e a placa cerâmica.

- **Viscosidade**

Para avaliar a reologia das amostras de argamassa, foram executados ensaios de viscosidade utilizando-se um viscosímetro Brookfield, modelo HBT, com “spindle” TB, na velocidade de 10 RPM. As determinações da viscosidade foram realizadas em intervalos de tempo de 5 min até 30 min, desde a adição de água até a realização do ensaio. A leitura do equipamento é feita em cP (centipoise), sendo os resultados apresentados no gráfico em (Pa.s).

As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998b), utilizando-se o teor de água e tempo de maturação, indicados pelo fabricante. A Figura 54 e a Tabela A1.42 apresentam os resultados obtidos.

Figura 54 - Determinação da viscosidade por meio do viscosímetro de Brookfield – Utilização de fuso “spindle” TB na velocidade de 10 RPM.

Observa-se grande variação dos resultados de viscosidade entre as amostras, não sendo possível diferenciar as classes de argamassa. Todas as amostras apresentam viscosidade inicial ligeiramente menor no intervalo de 5 min, com pequena diminuição da viscosidade ao longo do tempo, tendendo a se estabilizar por volta dos 20 min de tempo de maturação. Portanto, um maior tempo de maturação proporciona menor viscosidade, que em tese pode prejudicar a aplicação da argamassa e o assentamento da placa cerâmica.

A viscosidade foi comparada com outras propriedades no estado fresco relacionadas à reologia da argamassa como: o deslizamento, determinado conforme a NBR 14085 (1998e); a plasticidade, determinada conforme a norma UEAtc (1990) e o tempo de formação de película, determinado conforme a norma IRAM 1759 (IRAM, 1986d). As Figura 55 a Figura 57 apresentam os resultados obtidos.

Figura 55 – Tentativa de correlação entre a viscosidade determinada após 15 min de tempo de maturação e o deslizamento determinado conforme a NBR 14085 (ABNT, 1998e) com placa de porcelanato. Resultado da amostra 5 considerado espúrio.

Figura 56 – Tentativa de correlação entre a viscosidade determinada após 20 min de tempo de maturação e a porcentagem de área de argamassa aderida ao tardo da placa cerâmica, após 20 min de intervalo em aberto do ensaio de tempo de formação de película determinado conforme a norma IRAM 1759 (IRAM, 1986d).

Figura 57 – Tentativa de correlação entre a viscosidade determinada após 20 min de tempo de maturação e a porcentagem de área de argamassa em contato com a placa de vidro, após 20 min de tempo de intervalo em aberto e aplicação de peso de 20 N do ensaio de plasticidade determinada conforme a norma UEAtc (1990).

Observa-se que não há correlação confiável para nenhuma das propriedades comparadas à viscosidade, sendo que a melhor correlação foi obtida com os resultados de tempo de formação de película, expresso pela porcentagem de área aderida ao tardo da placa cerâmica, apresentando $R^2 = 0,65$.

Isso demonstra a dificuldade de se avaliar os requisitos da argamassa no estado fresco por meio dos ensaios que não representam o seu comportamento reológico, sendo necessários mais estudos nesse campo.

6.4.3 Propriedades no estado endurecido

- Resistência de aderência à tração**

Para o requisito de resistência de aderência à tração, especificado pela norma NBR 14084 (ABNT, 1998d), foi avaliada a influência da temperatura no ensaio com cura em estufa e a absorção da placa cerâmica, com base nas placas especificadas pela norma DIN 18.156-2 (DIN, 1978).

A temperatura 70°C especificada na norma brasileira, foi reduzida a 40°C, e o tempo de permanência na condição de cura ambiente, antes de submeter à cura em estufa, foi prolongado para 28 dias, no lugar dos 14 dias especificados pela ABNT. As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998), utilizando-se o teor de água e tempo de maturação, indicados pelo fabricante. A Tabela 47 e a Figura 58 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 47 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084/1998 – cura a temperatura de 40°C

Tipo de cura	Cálculos	Amostras - Resistência de aderência à tração (MPa)									
		AC I				AC II			AC III		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28 dias em cura ao ar + 14 dias em cura em estufa à 40°C	Ma (MPa)	0,6	0,6	0,8	0,4	0,9	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0
	DP (MPa)	0,13	0,14	0,13	0,16	0,18	0,14	0,12	0,27	0,13	0,25
	CV (%)	21,4	24,5	16,6	43,9	20,7	18,8	14,6	28,8	13,5	24,0
	Média _{ABNT} (MPa)	0,6	0,5	0,8	*	0,9	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0
	Média _{DIN} (MPa)	0,6	0,6	0,8	0,4	0,9	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0
	Média _{ANSI} (MPa)	0,6	0,6	0,8	0,4	0,9	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0

Nota: *Número de valores inferior a cinco, após descarte dos valores com afastamento maior que 20% da média, impossibilitando a realização do cálculo da média conforme especificado na NBR 14084 (ABNT, 1998). Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.20 a A1.29 do anexo 1.

Figura 58 - Determinação da resistência de aderência à tração com condição de cura ambiente e em estufa nas temperaturas de 70°C e 40°C – (ABNT, 1998d). Quando não possível adotar a média ABNT foi utilizada a média DIN.

Observa-se que para a grande maioria das amostras, com exceção da amostra 4, a cura em estufa a 40°C, após um período de 28 dias de cura na condição ambiente, foi favorável ao desenvolvimento da resistência de aderência à tração. Isto pode ser atribuído ao favorecimento da hidratação do cimento.

Considerando-se que no ensaio não há o efeito da dilatação da placa cerâmica e nem a restrição causada pela argamassa de rejuntamento, pode-se depreender que, na temperatura a qual a argamassa colante é submetida no revestimento cerâmico, conforme discutido no capítulo 5, ou seja, em torno de 40°C, não há comprometimento da aderência da argamassa devido a essa condição.

Outra análise efetuada foi a influência da absorção da placa cerâmica na resistência de aderência à tração, visto que outros métodos estabelecem esse tipo de avaliação, inclusive com critérios diferentes para cada tipo de placa cerâmica.

Além da placa de grés com absorção de $(4\pm 1)\%$, especificada pela norma ABNT, foram utilizadas, uma placa tipo azulejo com absorção de $(15\pm 3)\%$ e outra tipo porcelanato com absorção menor do que 0,5%, conforme especificado pela norma DIN. A influência da absorção da placa cerâmica foi avaliada nas condições de cura ambiente, submersa e em estufa a 70°C.

As Tabela 48 a Tabela 50 e as Figura 58 a Figura 61 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 48 – Determinação da resistência de aderência à tração – cura ao ar
NBR 14084/1998

Tipo placa cerâmica	Cálculos	Amostras - Resistência de aderência à tração (MPa)									
		AC I				AC II			AC III		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Azulejo	Ma (MPa)	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	1,1	0,7	0,8	0,9
	DP (MPa)	0,16	0,21	0,20	0,17	0,09	0,14	0,16	0,24	0,21	0,24
	CV (%)	38	38	35	29	12	24	15	33	25	27
	Média _{ABNT} (MPa)	0,4	0,5	*	*	0,8	0,6	1,1	0,7	0,9	1,0
	Média _{DIN} (MPa)	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,6	1,1	0,7	0,9	0,9
	Média _{ANSI} (MPa)	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,6	1,1	0,7	0,9	0,9
Grés	Ma (MPa)	0,5	0,2	0,7	0,6	0,8	0,7	0,9	1,1	0,7	1,0
	DP (MPa)	0,13	0,06	0,09	0,17	0,17	0,13	0,21	0,13	0,11	0,16
	CV (%)	28	29	12	31	23	19	24	12	17	16
	Média _{ABNT} (MPa)	0,5	0,2	0,8	0,6	0,7	0,7	0,9	1,1	0,6	1,0
	Média _{DIN} (MPa)	0,5	0,2	0,8	0,6	0,8	0,7	0,9	1,1	0,7	1,0
	Média _{ANSI} (MPa)	0,5	0,2	0,7	0,6	0,8	0,7	0,9	1,1	0,7	1,0
Porcelanato	Ma (MPa)	0,5	0,4	0,7	0,4	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9	1,0
	DP (MPa)	0,23	0,10	0,14	0,09	0,12	0,14	0,08	0,17	0,10	0,08
	CV (%)	47	26	20	24	14	19	35	21	11	8
	Média _{ABNT} (MPa)	*	*	0,7	0,4	0,8	0,7	0,9	0,9	0,9	1,0
	Média _{DIN} (MPa)	0,5	0,4	0,7	0,4	0,8	0,7	0,9	0,9	0,9	1,0
	Média _{ANSI} (MPa)	0,5	0,4	0,7	0,4	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9	1,0

Nota: *Número de valores inferior a cinco, após descarte dos valores com afastamento maior que 20% da média, impossibilitando a realização do cálculo da média conforme especificado na NBR 14084/1998. Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.43 (azulejo); A1.20 a A1.29 (grés) e A1.46 (porcelanato) do anexo 1.

Figura 59 - Determinação da resistência de aderência à tração na condição de cura ambiente em função da absorção de água da placa cerâmica – NBR 14084/1998d.

Tabela 49 – Determinação da resistência de aderência à tração - cura submersa
NBR 14084/1998

Tipo placa cerâmica	Cálculos	Amostras - Resistência de aderência à tração (MPa)									
		AC I				AC II			AC III		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Azulejo	Ma (MPa)	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8
	DP (MPa)	0,08	0,10	0,12	0,08	0,16	0,10	0,12	0,13	0,17	0,08
	CV (%)	16	23	24	13	36	19	19	19	30	10
	Média _{ABNT} (MPa)	0,5	0,5	0,5	0,6	*	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7
	Média _{DIN} (MPa)	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8
	Média _{ANSI} (MPa)	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7
Grés	Ma (MPa)	0,4	0,1	0,2	0,4	0,7	0,3	0,4	0,6	0,2	0,6
	DP (MPa)	0,04	0,02	0,02	0,11	0,14	0,15	0,12	0,14	0,02	0,14
	CV (%)	10	24	15	29	21	47	26	24	12	24
	Média _{ABNT} (MPa)	0,4	0,1	0,2	*	0,7	*	0,5	0,6	0,2	0,6
	Média _{DIN} (MPa)	0,4	0,1	0,2	0,4	0,7	0,3	0,5	0,5	0,2	0,6
	Média _{ANSI} (MPa)	0,4	0,1	0,2	0,4	0,7	0,3	0,4	0,6	0,2	0,6
Porcelanato	Ma (MPa)	0,2	0,1	0,4	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
	DP (MPa)	0,11	0,05	0,08	0,09	0,07	0,06	0,06	0,08	0,12	0,07
	CV (%)	45	46	17	46	15	18	15	22	27	19
	Média _{ABNT} (MPa)	*	*	0,5	*	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
	Média _{DIN} (MPa)	0,3	0,1	0,5	0,2	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
	Média _{ANSI} (MPa)	0,2	0,1	0,4	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4

Nota: *Número de valores inferior a cinco, após descarte dos valores com afastamento maior que 20% da média, impossibilitando a realização do cálculo da média conforme especificado na NBR 14084/1998. Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.44 (azulejo); A1.20 a A1.29 (grés) e A1.47 (porcelanato) do anexo 1.

Figura 60 - Determinação da resistência de aderência à tração na condição de cura submersa em função da absorção de água da placa cerâmica – NBR 14084/1998d.

Tabela 50 – Determinação da resistência de aderência à tração - cura em estufa
NBR 14084/1998

Tipo placa cerâmica	Cálculos	Amostras - Resistência de aderência à tração (MPa)									
		AC I				AC II			AC III		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Azulejo	Ma (MPa)	0,2	0,2	0,2	0,1	0,5	0,4	0,8	0,9	0,7	0,7
	DP (MPa)	0,17	0,07	0,13	0,06	0,13	0,14	0,26	0,20	0,14	0,12
	CV (%)	77	32	74	48	26	37	33	24	19	17
	Média _{ABNT} (MPa)	*	0,2	*	*	*	*	*	0,9	0,7	0,7
	Média _{DIN} (MPa)	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,4	0,8	0,9	0,7	0,7
	Média _{ANSI} (MPa)	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,4	0,8	0,9	0,7	0,7
Grés	Ma (MPa)	0,2	0,0	0,4	0,0	0,6	0,5	0,7	0,9	0,7	0,6
	DP (MPa)	0,18	-	0,15	0,02	0,11	0,13	0,15	0,27	0,23	0,16
	CV (%)	82	-	36	48	18	24	22	31	32	26
	Média _{ABNT} (MPa)	*	0,0	0,4	0,0	0,6	0,5	0,7	*	*	0,6
	Média _{DIN} (MPa)	0,2	0,0	0,4	0,0	0,6	0,5	0,7	0,9	0,7	0,6
	Média _{ANSI} (MPa)	0,2	0,0	0,5	0,0	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,6
Porcelanato	Ma (MPa)	0,1	0,2	0,3	0,0	0,5	0,4	0,7	0,8	0,7	0,6
	DP (MPa)	0,11	0,08	0,16	0,02	0,08	0,10	0,08	0,27	0,17	0,17
	CV (%)	78	51	54	52	15	27	13	35	24	28
	Média _{ABNT} (MPa)	*	*	*	0,0	0,5	0,4	0,7	*	*	0,6
	Média _{DIN} (MPa)	0,1	0,2	0,3	0,0	0,5	0,4	0,7	0,8	0,7	0,6
	Média _{ANSI} (MPa)	0,1	0,2	0,3	0,0	0,5	0,4	0,7	0,8	0,7	0,6

Nota: *Número de valores inferior a cinco, após descarte dos valores com afastamento maior que 20% da média, impossibilitando a realização do cálculo da média conforme especificado na NBR 14084/1998. Os resultados completos estão apresentados nas Tabelas A1.45 (azulejo); A1.20 a A1.29 (grés) e A1.48 (porcelanato) do anexo 1.

Figura 61 - Determinação da resistência de aderência à tração na condição de cura em estufa a 70°C em função da absorção de água da placa cerâmica – NBR 14084/1998d.

Em relação à influência da absorção da placa cerâmica na resistência de aderência à tração, apenas na condição de cura submersa verifica-se uma tendência de menores resultados para as placas cerâmicas de menor absorção de água (grés e porcelanato). Nas condições de cura ambiente e em estufa não se pode afirmar que a absorção da placa cerâmica seja importante. Isso pode estar relacionado à característica de retenção de água da argamassa colante.

- **Resistência de aderência ao cisalhamento**

A resistência de aderência ao cisalhamento foi avaliada conforme os métodos A118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b), com execução de três corpos-de-prova para cada amostra e condição de cura. Os ensaios foram realizados nas condições de cura ambiente durante 28 dias e na condição de cura submersa, com 7 dias de cura ao ar mais 21 dias de cura submersa. A Figura 62 e a Tabela A1.49 do anexo 1 apresentam os resultados obtidos.

Figura 62 - Determinação da resistência de aderência ao cisalhamento – (ANSI, 1999a,b).

Apesar do método apresentar grande variação dos resultados, apresentando coeficiente de variação de até 56%, é possível observar que as argamassas classes AC II e AC III apresentam resistência de aderência superiores às amostras da classe AC I, com exceção da amostra 6.

Diferentemente com o que ocorre na determinação da resistência de aderência à tração, na condição de cura submersa, não houve uma tendência definida de redução da resistência de aderência ao cisalhamento. Isso pode estar associado ao grande coeficiente de variação dos resultados.

Consta na literatura que não há correlação entre a resistência de aderência ao cisalhamento e a resistência de aderência à tração, e estudos mostram a resistência de aderência à tração corresponde cerca de 57% da resistência de aderência ao cisalhamento (GOLDBERG, 1998). Neste estudo a correlação entre as propriedades foi determinada e está apresentada na Figura 63.

Figura 63 – Correlação entre a resistência de aderência ao cisalhamento, determinada conforme as normas A118.1 e A118.2 (ANSI, 1999a,b) e a resistência de aderência à tração, determinada conforme a norma NBR 14084 (ABNT, 1998d), ambos na condição de cura ao ar durante 28 dias. Os resultados da amostra 2 foram considerados espúrios.

Considerando-se os valores apresentados pela amostra 2 como espúrio, a correlação entre as propriedades apresenta um $R^2 = 0,80$, sendo que resistência de aderência à tração corresponde à cerca de 30% da resistência de aderência ao cisalhamento, em discordância com o encontrado na literatura.

• Deformação transversal por flexão

A capacidade de absorver deformações foi avaliada conforme a norma EN 12002 (CEN, 1998) que determina a deformação transversal por flexão. As condições de cura no ensaio foram efetuadas de maneira similar ao método especificado pela NBR 14084 (ABNT, 1998) de modo a proporcionar uma melhor avaliação do comportamento da argamassa em decorrência do tipo de cura.

As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998b), utilizando-se o teor de água e tempo de maturação, indicados pelo fabricante. A Figura 64 e a Tabela A1.50 do anexo 1 apresentam os resultados obtidos.

Figura 64 – Determinação da deformação transversal por flexão – Apresenta a resistência à flexão e a deformação no momento da ruptura – (CEN, 1998).

Com exceção da amostra 3, os resultados apresentam a maior capacidade de deformação das amostras classes AC II e AC III (com polímero) em relação à classe AC I (sem polímero).

A condição de cura submersa afeta a capacidade de deformação de todas as amostras, enquanto que a condição em estufa, em alguns casos até favorece essa propriedade. Esses resultados confirmam que a condição de cura em estufa especificada na NBR 14084 (ABNT, 1998d) não avalia a degradação da argamassa e sim a ação de tensões de cisalhamento que não representam as condições de exposição na prática.

Em estudos realizados por BUCHER, NAKAKURA (1999) O método não permite diferenciar argamassas com diferentes teores de aditivos, e que a variação dos resultados seria causada pela espessura reduzida e forma de acabamento superficial do corpo-de-prova.

- **Retração por secagem**

A retração por secagem das amostras foi avaliada com a adaptação do método da NBR 8490 (ABNT, 1984). A adaptação se refere à condição de cura dos corpos-de-prova, adotando-se o mesmo procedimento utilizado no projeto 18:406.05-001 (ABNT, 2001).

As amostras foram preparadas conforme a NBR 14082 (ABNT, 1998b), utilizando-se o teor de água e tempo de maturação, indicados pelo fabricante. A Figura 65 e a Tabela A1.51 do anexo 1 apresentam os resultados obtidos.

Figura 65 – Determinação da retração por secagem em corpos-de-prova prismáticos (25x25x280)mm. Condição de cura – até 24 h na fôrma e após desforma até 168 h na câmara seca a 23°C e umidade de 50% (ABNT, 2001).

Não foi verificada nenhuma tendência de retração para os diferentes grupos de classes de argamassa, denotando que os teores de aditivos, principalmente os utilizados nas amostras da classe AC III, não concorrem para a diminuição da retração, sem levar em considerações diferenças nos teores de água ou consumo de cimento.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusões

O trabalho teve como objetivo analisar criticamente os requisitos e critérios de qualidade da argamassa, apresentando as lacunas da normalização nacional com base principalmente na experiência da normalização internacional.

No meio técnico existe consenso sobre a necessidade da revisão da normalização nacional, porém não há consenso do que deve ser feito. Dos assuntos abordados nesse trabalho são destacadas as seguintes conclusões:

REQUISITOS GERAIS

A padronização do substrato-padrão deve ser aprimorada. O ponto principal é a fixação da relação a/c e não uma faixa, como a de 0,45 a 0,50 estabelecida atualmente pela norma, possibilitando a utilização de substratos com diferente sucção inicial. Sugere-se a utilização do valor de relação a/c de 0,50, mesmo valor adotado pela norma CEN, na qual a ABNT se baseou.

Além da relação a/c, outras variáveis, como, tipo e consumo de cimento, podem influenciar a sucção, sendo necessário estabelecer um critério para essa propriedade.

Como apresentado, o substrato pode apresentar retração e também expansão quando submetido, juntamente com a argamassa, às condições de cura de secagem em estufa a 70°C (caso esse requisito seja mantido) e de saturação em água. Essas propriedades são afetadas pela espessura do substrato, e nesse caso é necessário fixar um valor, uma vez que a norma ABNT estabelece apenas espessura mínima.

A influência da textura superficial do substrato na resistência de aderência também deve ser estudada, já que não são estabelecidos na norma procedimentos de acabamento padronizados. A utilização do método ASTM pode ser adaptado para esse fim.

Variações no teor de água de amassamento podem alterar as propriedades da argamassa, principalmente no estado fresco. O fabricante deve garantir o desempenho da argamassa dentro da tolerância informada para o teor de água de amassamento, devendo a normalização estabelecer critérios de aceitação.

As condições ambientais de laboratório devem aproximar-se das condições de campo. Devido às grandes diferenças climáticas do País, faixas de temperatura, de umidade e de vento, devem levar em conta as condições regionais predominantes. Para a temperatura, sugere-se a adoção da faixa de $(38 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, a ser adotada para os requisitos suscetíveis à esse tipo de agente, como é o caso do tempo em aberto teórico.

Na condição de laboratório o vento deveria ser fixado como nulo, aumentando a reprodutibilidade dos ensaios, visto sua influência no desempenho da argamassa no estado fresco, mesmo em faixas pequenas, como a especificada pela ABNT, que estabelece vento menor do que 0,2 m/s .

A especificação nacional deve abranger a classificação para produtos com características especiais, como as argamassas antideslizantes e de pega rápida, estabelecendo critérios específicos para esses produtos.

REQUISITOS NO ESTADO ANIDRO

Os ensaios no estado anidro são adequados para a realização do controle da uniformidade do processo de produção. Para isso são úteis os ensaios de densidade de massa aparente e de resíduo em peneira.

O ensaio de perda de massa a 450°C pode ser utilizado na avaliação da uniformidade do teor de aditivos da argamassa. Sua utilização, juntamente com o resíduo na peneira 0,075 mm, para caracterizar um produto, necessita de estudos específicos.

As análises térmica diferencial e termogravimétrica demonstram que a perda de massa dos aditivos ocorrem nas faixas de temperatura entre 300°C a 450°C , validando o uso da mufla à temperatura de 450°C . As diferenças verificadas entre a dosagem de aditivo adicionada à argamassa e sua respectiva perda de massa se deve

ao fato que parte da massa do aditivo não é eliminada, não sendo detectada pelo ensaio. Dependendo do tipo de aditivo essa diferença pode ser significativa. Recomenda-se o ensaio de perda de massa também para o aditivo, desse modo pode-se ajustar o resultado de perda de massa da argamassa.

REQUISITOS NO ESTADO FRESCO

O principal ensaio de desempenho no estado fresco é a determinação do tempo em aberto teórico. Nota-se grande discordância em como mensurar essa propriedade. Nesse contexto encontram-se discussões sobre o que é tempo de pega e o que é tempo de formação de película. Poder-se-ia convencionar chamar de tempo em aberto teórico, apenas os métodos que avaliam essa propriedade por meio da resistência de aderência à tração. Os métodos com resultados mensurados no estado fresco poderiam ser chamados de tempo de adesão, visto que avaliam a aderência inicial da argamassa.

Os resultados obtidos indicam que o método IRAM para determinação do tempo em aberto, não é confiável, pois de acordo com a formulação da argamassa, pode superestimar essa propriedade. Entretanto é um método que pode ser aproveitado para avaliar a uniformidade do produto.

Dos métodos estudados para determinação do tempo em aberto teórico, o especificado pela UEAtc, apresenta resultados mais favoráveis que o método ABNT, com menores coeficientes de variação, tornando-se mais confiável. O fato de o método realizar a ruptura da película superficial dos cordões da argamassa, apresenta a condição de avaliar a potencialidade do desempenho da mesma e incentivaria a utilização da técnica de ruptura da película, devido à necessidade de divulgação dessa técnica também na condição de campo.

Entretanto o método UEAtc, assim como o método ABNT, leva 28 dias para caracterizar um produto, por esse motivo, métodos como o IRAM e DIN e “ensaios” expeditos, como o toque com os dedos, são os preferidos de fabricantes e instaladores para avaliar o tempo em aberto. Na busca de um método mais rápido

para determinação dessa propriedade, o método ANSI é merecedor de estudo específico.

O requisito do tempo de correção merece ser bem avaliado, já que o estudo mostrou que das dez amostras estudadas apenas três atenderam ao requisito da UEAtc. Isto preocupa pelo fato de haver uma potencialidade de problemas, visto que a correção da placa cerâmica é usual no assentamento do revestimento cerâmico.

O ensaio de deslizamento deve ser especificado como opcional e exigido apenas para argamassas com características especiais quanto a essa propriedade, como por exemplo, é especificado na norma CEN. Uma outra maneira é estabelecer critérios diferenciados para as argamassas tidas como comuns e para as de deslizamento nulo, como é o caso das normas ANSI.

A grande variação dos resultados de deslizamento pode ser minimizada com a realização do ensaio com uma placa cerâmica por vez, como é estabelecido na norma na maioria dos métodos estudados. Outra medida seria a utilização de dispositivo que garanta o posicionamento na vertical sem a aplicação de impacto, podendo-se estudar a substituição do substrato de concreto por um de *teflon* ou material semelhante, mais leve e reutilizável.

REQUISITOS NO ESTADO ENDURECIDO

A maioria dos métodos apresenta grande variação de resultados. Quanto mais complexo o método e maior for a participação do técnico na montagem do ensaio, maior é a probabilidade de apresentar variações de resultados. A melhoria dos métodos passa pelo estudo de simplificação das etapas de montagem e maior padronização dos materiais utilizados.

O requisito de resistência de aderência à tração na condição em estufa a 70°C, especificado pela ABNT, deve ser revisto. Sugere-se um prolongamento do tempo de cura ao ar antes de submeter a argamassa à temperatura de 70°C, podendo-se adotar o tempo de 28 dias de cura ambiente antes da cura em estufa, como especificado pela norma DIN.

A eliminação dessa condição de cura, como adotado pela Argentina e Estados Unidos, deve considerar estudos com outra condição de ensaio que avalie o envelhecimento acelerado da argamassa colante que mais próxima das condições de campo, como por exemplo ciclos de secagem/molhamento.

Os critérios para a cura submersa devem levar em conta o efeito natural da queda de resistência na condição severa à que a argamassa é submetida no ensaio, como é tratado na norma DIN. Entretanto é adequado o estabelecimento de um valor mínimo de que pode ser fixado em 0,4 MPa para a argamassa classe AC I e 0,5 MPa para as demais.

Este valor é coerente com os critérios de ensaio que testam a argamassa em condições extremas, como o tempo em aberto teórico e o tempo de correção, não havendo justificativa para estabelecer um critério acima do destas propriedades.

A medida da retração livre não serve para avaliar a argamassa colante, além de não representar as condições de campo, com os resultados obtidos não possível diferenciar as classes de argamassa.

7.2 *Requisitos de Qualidade Recomendados*

Deve fazer parte da especificação, orientações a respeito do controle de produção, estabelecendo-se critérios para avaliar a uniformidade do produto e periodicidade da execução dos ensaios de desempenho.

Com a base nos estudos efetuados e nas especificações DIN, CEN e UEAtc, sugere-se a adoção dos ensaios para controle de produção e recebimento apresentados na Tabela 51.

Tabela 51 – Ensaios para controle de produção e recebimento

Propriedade	Método	Periodicidade
Produção		
Densidade de massa aparente	NBR 14086	Lote
Resíduo em peneira	NBR 14086	
Viscosidade	-	
Controle de Recebimento		
Perda de massa a 110°C	IRAM	Diário
Perda de massa a 450°C	UEAtc	
Tempo de adesão	A118.1	
Tempo em aberto teórico	UEAtc	Mensal
Resistência de aderência à tração com cura ao ar	NBR 14084	
Resistência de aderência à tração com cura submersa	NBR 14084	

Nota: O tamanho do lote deve considerar o volume de produção diário.

7.3 Sugestões Para Estudos Futuros

Adaptar do método ANSI como método expedito de determinação do tempo em aberto teórico.

Avaliar o método CEN para determinação da deformação transversal por flexão, considerando o aumento da espessura do corpo-de-prova, com o objetivo de melhorar sua repetibilidade.

Estudar o comportamento reológico da argamassa em comparação com os ensaios no estado fresco, relacionando-os com essa propriedade, como o deslizamento, plasticidade e adesão.

Estudar a retração restringida da argamassa, considerando-se a aderência ao substrato.

Estudar a influência da cura submersa na resistência de aderência por espectroscopia no infravermelho, com o intuito de determinar a razão da queda de resistência nessa condição de cura.

Estudar o comportamento da argamassa frente à ação de ciclos de secagem/molhamento, considerando-se condições mais próximas da condição de

campo, contemplando o estudo da expansão da argamassa em função da umidade e/ou compatibilidade com as variações dimensionais das placas cerâmicas por ciclos higrotérmicos.

Estudar a evolução de hidratação das argamassas colantes de modo a reduzir prazos de ensaios.

ANEXO 1 - RESULTADOS

**Tabela - A1. 1 – Determinação da absorção de água do substrato-padrão
NBR 14082 – anexo A (ABNT, 1998b)**

Lote de substrato-padrão	Corpo-de-prova	Volume absorvido (cm³) em 4 h			Absorção média em 4 h (cm³)
		coluna de vidro			
		1	2	3	
106	1	0,1	0,1	0,1	0,2
	2	0,2	0,2	0,2	
107	1	0,1	0,2	0,2	0,2
	2	0,2	0,2	0,1	
110	1	0,4	0,4	0,5	0,4
	2	0,3	0,5	0,5	
116	1	0,2	0,2	0,2	0,2
	2	0,2	0,2	0,2	

Nota: Utiliza três colunas de vidro, com altura manométrica de 130 mm, em cada substrato

**Tabela - A1. 2 – Determinação da sucção inicial (IRA) do substrato-padrão
ASTM C 67 (ASTM, 1998)**

Lote de substrato-padrão	Massa inicial (g)	Massa seca em estufa a 110° C (g)	Massa após resfriamento a 23°C (g) M1	Massa após 1min imersão lamina d'água (g) M2	Área em contato com lâmina de água (cm ²)	Sucção inicial de água (g/193,55/min)
106	4505	4368	4374	4402	1300	4,2
107	4477	4321	4329	4355	1313	3,8
110	4414	4285	4291	4322	1288	4,7
116	4669	4560	4566	4592	1352	3,7

Nota: Após seco, a superfície do substrato entra em contato com uma lâmina de água com altura de 3 mm durante 1 min.

Tabela - A1. 3 – Determinação da umidade do substrato-padrão

Lote de substrato-padrão	Massa inicial (g)	Massa seca em estufa (g)	Umidade (%)
106	4505	4368	3
107	4477	4321	4
110	4414	4285	3
116	4669	4560	2

Tabela - A1. 4 – Determinação da profundidade da textura superficial do substrato-padrão – ASTM E 965 (ASTM, 1996)

Diâmetro da mancha de areia (mm)	Lote de substrato-padrão			
	106	107	110	116
1	140,1	136,4	119,0	156,4
2	138,9	132,0	128,7	161,4
3	146,0	129,0	125,7	164,2
4	142,0	133,7	121,2	162,4
Média	141,8	132,8	123,7	161,1
Profundidade da textura superficial (mm)	0,5	0,6	0,7	0,4

Nota: utilizado areia passante na peneira 0,088 mm - volume 8.272 9 (mm³)

Tabela - A1. 5 – Determinação da retração por secagem do substrato-padrão NBR 12117 (ABNT, 1991)

Lote de substrato-padrão	face do substrato	Retração após secagem em estufa a 70°C (%)					Retração por secagem (%)
		5 dias	7 dias	9 dias	12 dias	14 dias	
106	A	-0,026	-0,026	-0,028	-0,03	-0,030	-0,037
	B	-0,035	-0,037	-0,041	-0,042	-0,043	
107	A	-0,032	-0,034	-0,039	-0,041	-0,041	-0,044
	B	-0,035	-0,037	-0,044	-0,046	-0,046	
110	A	-0,016	-0,018	-0,021	-0,022	-0,023	-0,033
	B	-0,033	-0,036	-0,043	-0,043	-0,043	
116	A	-0,017	-0,018	-0,022	-0,024	-0,024	-0,022
	B	-0,015	-0,017	-0,019	-0,02	-0,020	

Nota: Secagem do substrato-padrão efetuada à temperatura de 70°C durante 14 dias, simulando as condições de ensaio da NBR 14082 (ABNT, 1998d) para a cura em estufa.

Tabela - A1. 6 – Determinação da expansão por umidade do substrato-padrão

Lote de substrato-padrão	face do substrato	Expansão após saturado em água a 23°C						Expansão por umidade (%)
		3 dias	5 dias	7 dias	12 dias	18 dias	21 dias	
106	A	0,029	0,033	0,037	0,043	0,046	0,046	0,046
	B	0,032	0,037	0,040	0,043	0,045	0,046	
107	A	0,025	0,030	0,033	0,038	0,043	0,044	0,045
	B	0,031	0,038	0,038	0,041	0,044	0,045	
110	A	0,010	0,014	0,015	0,016	0,019	0,020	0,025
	B	0,018	0,019	0,021	0,025	0,028	0,030	
116	A	0,025	0,029	0,030	0,035	0,037	0,038	0,031
	B	0,008	0,016	0,016	0,020	0,022	0,024	

Nota: Saturação do substrato-padrão efetuada durante 21 dias, simulando as condições de ensaio da NBR 14082 (ABNT, 1998d) para a cura submersa

Tabela - A1. 7 – Determinação da absorção de água das placas cerâmicas**NBR 13818 – Anexo B - (ABNT, 1997)**

Identificação	Tipo	Corpo-de-prova	Massa inicial (g)	Massa após secagem 48 h(g)	Massa após dessecador (g) M ₁	Massa após fervura (g) M ₂	Absorção de água (%)	
							individual	média
67048	Azulejo	1	176,6	176,4	176,5	205,1	16,2	16,9
		2	174,5	174,2	174,1	205,2	17,9	
		3	175,3	175,1	175,0	206,2	17,8	
		4	177,8	177,6	177,5	206,7	16,5	
		5	176,8	176,6	176,4	205,1	16,3	
67198	Porcelanato	1	1709,6	1709,4	1709,2	1709,9	0,0	0,0
		2	1713,8	1713,6	1713,5	1713,7	0,0	
		3	1721,3	1721,0	1721,0	1721,3	0,0	
		4	1712,4	1712,2	1712,1	1712,4	0,0	
		5	1725,3	1725,1	1725,0	1725,4	0,0	
67199	Grés	1	1419,4	1419,3	1419,0	1452,3	2,3	2,5
		2	1430,9	1430,6	1430,5	1471,7	2,9	
		3	1405,3	1405,1	1405,0	1438,0	2,3	
		4	1439,4	1439,1	1439,0	1472,4	2,3	
		5	1419,5	1419,1	1419,0	1454,3	2,5	

Nota: $Absorção = \frac{M_2 - M_1}{M_1} * 100$

Tabela - A1. 8 – Determinação da expansão por umidade das placas cerâmicas –**NBR 13818 Anexo J - (ABNT, 1997)**

Identificação	Tipo	Corpo-de-prova	Expansão por umidade (mm/m)	
			individual	média
67048	Azulejo	1	0,32	0,26
		2	0,26	
		3	0,39	
		4	0,13	
		5	0,19	
67198	Porcelanato	1	0,00	0,03
		2	0,07	
		3	0,03	
		4	0,00	
		5	0,03	
67199	Grés	1	0,07	0,05
		2	0,03	
		3	0,07	
		4	0,03	
		5	0,07	

Nota: ensaios realizados no Laboratório de Ensaios de Revestimentos Cerâmicos (LERC) SENAI Mário Amato.

Tabela - A1. 9 – Determinação do coeficiente de dilatação térmica das placas cerâmicas – NBR 13818 Anexo K - (ABNT, 1997)

Identificação	Tipo	Temperatura °C	DL/Lo	Coeficiente expansão térmica (10 ⁻⁶ °C ⁻¹)
67198	Porcelanato	25	0,0	-
		200	1,0	5,7
		225	1,2	5,8
		300	1,7	6,3
		325	1,9	6,5
67199	Grés	25	0	-
		200	1,18	6,7
		225	1,37	6,8
		300	1,96	7,1
		325	2,16	7,2

Nota: ensaios realizados no Laboratório de Ensaios de Revestimentos Cerâmicos (LERC) SENAI Mário Amato.

Tabela - A1. 10 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 1

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 1									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	10		15		20		15		20	
1	0,31 ¹	AP	0,07 ¹	AP	0,17 ¹	AP	0,57	AP	0,53	AP
2	0,35	AP	0,20 ¹	AP	0,26 ¹	AP	0,59	AP	0,57	AP
3	0,39	AP	0,22 ¹	AP	0,29	AP	0,60	AP	0,59	AP
4	0,39	AP	0,23	AP	0,30	AP	0,62	CA	0,61	AP
5	0,39	AP	0,29	AP	0,31	AP	0,62	AP	0,65	AP
6	0,42	CA	0,31	AP	0,32	AP	0,66	AP	0,68	AP
7	0,42	AP	0,35 ¹	AP	0,38	AP	0,67	AP	0,73	AP
8	0,43	CA	0,36 ¹	AP	0,39	AP	-	-	-	-
9	0,44	AP	0,40 ¹	AP	0,41 ¹	CA	-	-	-	-
10	0,49 ¹	AP	0,41 ¹	AP	0,42 ¹	AP	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,4		0,3		0,3		0,6		0,6	
Média ² (MPa)	0,4		*		0,3		0,6		0,6	
Mediana (MPa)	0,4		0,3		0,3		0,6		0,6	
DP (MPa)	0,05		0,11		0,08		0,04		0,07	
CV (%)	12,3		37,0		23,8		5,9		11,0	
média + desvio	0,45		0,39		0,40		0,65		0,69	
máximo	0,49		0,41		0,42		0,67		0,73	
mínimo	0,31		0,07		0,17		0,57		0,53	
média - desvio	0,35		0,18		0,25		0,58		0,55	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

*menos de cinco valores restante impossibilidade o cálculo da média.

Tabela - A1. 11 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 2

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 2									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	10		15		20		15		20	
1	0,34 ¹	AP	0,18 ¹	AP	0,26 ¹	AP	0,47	AP	0,35 ¹	AP
2	0,39 ¹	AP	0,48	AP	0,29 ¹	AP	0,51	AP	0,48	AP
3	0,42	AP	0,49	AP	0,31 ¹	AP	0,51	AP	0,48	AP
4	0,49	CA	0,56	AP	0,37	AP	0,56	AP	0,48	AP
5	0,52	CA	0,56	CA	0,43	AP	0,58	AP	0,49	AP
6	0,53	CA	0,57	AP	0,47	CA	0,58	AP	0,49	AP
7	0,53	CA	0,58	CA	0,47	AP	0,61	AP	0,55	AP
8	0,53	AP	0,58	CA	0,48	AP	-	-	-	-
9	0,56	AP	0,64 ¹	AP	0,49	AP	-	-	-	-
10	0,61 ¹	AP	0,70 ¹	CA	0,51 ¹	AP	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,5		0,5		0,4		0,5		0,5	
Média ² (MPa)	0,5		0,6		0,5		0,6		0,5	
Mediana (MPa)	0,5		0,6		0,5		0,6		0,5	
DP (MPa)	0,08		0,14		0,09		0,05		0,06	
CV (%)	16,9		26,1		22,6		9,2		12,6	
média + desvio	0,58		0,67		0,50		0,60		0,53	
máximo	0,61		0,70		0,51		0,61		0,55	
mínimo	0,34		0,18		0,26		0,47		0,35	
média - desvio	0,41		0,39		0,32		0,50		0,41	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

Tabela - A1. 12 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 3

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) – Amostra 3									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	10		15		20		15		20	
1	0,43 ¹	CA	0,14 ¹	AP	0,15 ¹	AP	0,53	AP	0,52	AP
2	0,46 ¹	AP	0,25 ¹	AP	0,19 ¹	AP	0,58	AP	0,61	AP
3	0,52 ¹	AP	0,27 ¹	AP	0,21 ¹	AP	0,61	AP	0,62	AP
4	0,69	CA	0,29 ¹	AP	0,25 ¹	AP	0,63	AP	0,63	AP
5	0,72	CA	0,41	AP	0,30	AP	0,66	AP	0,67	AP
6	0,73	AP	0,46	AP	0,47 ¹	AP	0,69	AP	0,74	AP
7	0,76	CA	0,48	CA	0,49 ¹	AP	0,88	AP	0,79 ¹	AP
8	0,78	AP	0,56 ¹	AP	0,49 ¹	AP	-	-	-	-
9	0,84 ¹	CA	0,57 ¹	CA	0,52 ¹	AP	-	-	-	-
10	0,90 ¹	CA	0,58 ¹	AP	0,56 ¹	AP	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,7		0,4		0,4		0,7		0,7	
Média ² (MPa)	0,7		*		*		0,7		0,7	
Mediana (MPa)	0,7		0,4		0,4		0,6		0,6	
DP (MPa)	0,16		0,15		0,16		0,11		0,09	
CV (%)	23,4		38,5		43,2		17,2		13,7	
média + desvio	0,84		0,56		0,52		0,77		0,74	
máximo	0,90		0,58		0,56		0,88		0,79	
mínimo	0,43		0,14		0,15		0,53		0,52	
média - desvio	0,52		0,25		0,21		0,54		0,56	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

*menos de cinco valores restante impossibilidade o cálculo da média.

Tabela - A1. 13 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 4

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 4									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	10		15		20		15		20	
1	0,33 ¹	CA	0,27 ¹	AP	0,23 ¹	CA	0,56	CA	0,53 ¹	AP
2	0,45	CA	0,37 ¹	AP	0,30 ¹	CA	0,61	CA	0,61	AP
3	0,49	CA	0,37 ¹	CA	0,39	CA	0,61	CA	0,61	AP
4	0,52	CA	0,41	CA	0,40	CA	0,67	CA	0,62	AP
5	0,53	CA	0,44	CA	0,40	CA	0,78	CA	0,69	AP
6	0,55	CA	0,44	CA	0,41	CA	0,79	CA	0,77	AP
7	0,55	CA	0,51	AP	0,41	CA	0,84 ¹	CA	0,85 ¹	AP
8	0,58	CA	0,54	AP	0,47	CA	-	-	-	-
9	0,59	CA	0,64 ¹	CA	0,50 ¹	CA	-	-	-	-
10	0,71 ¹	CA	0,72 ¹	CA	0,57 ¹	CA	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,5		0,5		0,4		0,7		0,7	
Média ² (MPa)	0,5		0,5		0,4		0,7		0,7	
Mediana (MPa)	0,5		0,4		0,4		0,7		0,6	
DP (MPa)	0,10		0,13		0,10		0,10		0,11	
CV (%)	18,6		28,6		23,4		13,5		16,4	
média + desvio	0,63		0,61		0,50		0,81		0,78	
máximo	0,71		0,72		0,57		0,84		0,85	
mínimo	0,33		0,27		0,23		0,56		0,53	
média - desvio	0,43		0,34		0,31		0,62		0,56	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

Tabela - A1. 14 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 5

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 5									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	15		20		25		20		25	
1	0,37 ¹	CA	0,36 ¹	AP	0,30 ¹	AP	0,51	AP	0,51	AP
2	0,51	CA	0,47	AP	0,40	AP	0,56	AP	0,52	AP
3	0,53	CA	0,51	AP	0,41	AP	0,56	AP	0,53	AP
4	0,54	CA	0,55	AP	0,42	AP	0,58	AP	0,53	AP
5	0,55	CA	0,56	CA	0,43	AP	0,58	AP	0,60	AP
6	0,55	CA	0,58	AP	0,44	AP	0,60	AP	0,61	AP
7	0,57	CA	0,62	AP	0,47	AP	0,63	AP	0,72 ¹	AP
8	0,59	CA	0,65	AP	0,48	AP	-	-	-	-
9	0,62	CA	0,67	CA	0,49	AP	-	-	-	-
10	0,67 ¹	CA	0,67	CA	0,52	AP	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,6		0,6		0,4		0,6		0,6	
Média ² (MPa)	0,6		0,6		0,5		0,6		0,6	
Mediana (MPa)	0,6		0,6		0,4		0,6		0,5	
DP (MPa)	0,08		0,10		0,06		0,04		0,08	
CV (%)	14,3		17,4		14,0		6,5		13,2	
média + desvio	0,63		0,66		0,50		0,61		0,65	
máximo	0,67		0,67		0,52		0,63		0,72	
mínimo	0,37		0,36		0,30		0,51		0,51	
média - desvio	0,47		0,47		0,38		0,54		0,50	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

Tabela - A1. 15 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 6

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 6									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	15		20		25		20		25	
1	0,52	CA	0,49 ¹	CA	0,51	CA	0,67	CA	0,58	AP
2	0,56	CA	0,63	CA	0,53	CA	0,71	CA	0,61	AP
3	0,58	CA	0,64	CA	0,53	CA	0,72	CA	0,63	AP
4	0,60	CA	0,65	CA	0,54	CA	0,74	AP	0,65	AP
5	0,61	CA	0,67	CA	0,55	CA	0,74	CA	0,69	CA
6	0,61	CA	0,69	CA	0,56	CA	0,76	CA	0,69	CA
7	0,63	CA	0,69	CA	0,57	CA	0,79	CA	0,69	AP
8	0,64	CA	0,71	CA	0,66	CA	-	-	-	-
9	0,71	CA	0,73	CA	0,67	CA	-	-	-	-
10	0,82 ¹	CA	0,74	CA	0,75 ¹	CA	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,6		0,7		0,6		0,7		0,6	
Média ² (MPa)	0,6		0,7		0,6		0,7		0,7	
Mediana (MPa)	0,6		0,7		0,6		0,7		0,7	
DP (MPa)	0,08		0,07		0,08		0,04		0,04	
CV (%)	13,4		10,7		13,5		5,2		6,8	
média + desvio	0,71		0,74		0,67		0,77		0,69	
máximo	0,82		0,74		0,75		0,79		0,69	
mínimo	0,52		0,49		0,51		0,67		0,58	
média - desvio	0,54		0,59		0,51		0,69		0,60	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

Tabela - A1. 16 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 7

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 7									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	15		20		25		20		25	
1	0,21 ¹	AP	0,44 ¹	AP	0,31 ¹	AP	0,78	CA	0,62 ¹	AP
2	0,47 ¹	AP	0,54	AP	0,41 ¹	AP	0,82	CA	0,77	AP
3	0,57	AP	0,56	AP	0,42 ¹	AP	0,93	CA	0,78	AP
4	0,63	AP	0,60	AP	0,53	AP	0,98	AP	0,84	AP
5	0,70	AP	0,61	AP	0,60	AP	0,99	CA	0,89	AP
6	0,74	AP	0,70	AP	0,60	AP	1,03	AP	0,96	AP
7	0,87 ¹	AP	0,70	AP	0,61	AP	1,09	AP	0,98	AP
8	0,94 ¹	AP	0,72	AP	0,67	AP	-	-	-	-
9	0,96 ¹	AP	0,73	AP	0,70 ¹	AP	-	-	-	-
10	1,04 ¹	AP	0,85 ¹	AP	0,76 ¹	AP	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,7		0,6		0,6		0,9		0,8	
Média ² (MPa)	*		0,6		0,6		1,0		0,9	
Mediana (MPa)	0,7		0,7		0,6		1,0		0,8	
DP (MPa)	0,25		0,12		0,14		0,11		0,12	
CV (%)	35,7		18,2		25,4		11,8		14,9	
média + desvio	0,97		0,76		0,70		1,06		0,96	
máximo	1,04		0,85		0,76		1,09		0,98	
mínimo	0,21		0,44		0,31		0,78		0,62	
média - desvio	0,46		0,53		0,42		0,83		0,71	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

*menos de cinco valores restante impossibilidade o cálculo da média.

Tabela - A1. 17 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 8

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 8									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	15		20		25		20		25	
1	0,52	AP	0,42 ¹	CA	0,32 ¹	AP	0,58	AP	0,40	AP
2	0,57	CA	0,46 ¹	CA	0,34 ¹	AP	0,63	AP	0,60	AP
3	0,59	CA	0,47	AP	0,36	AP	0,63	AP	0,62	AP
4	0,60	AP	0,47	AP	0,37	AP	0,65	AP	0,63	AP
5	0,61	AP	0,55	CA	0,44	AP	0,68	AP	0,65	AP
6	0,61	AP	0,61	AP	0,50	AP	0,70	AP	0,67	AP
7	0,64	AP	0,64	CA	0,50	AP	0,74	AP	0,74	AP
8	0,69	CA	0,67	CA	0,51	AP	-	-	-	-
9	0,70	AP	0,74 ¹	AP	0,55 ¹	AP	-	-	-	-
10	0,72	AP	0,74 ¹	CA	0,58 ¹	AP	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,6		0,6		0,4		0,7		0,6	
Média ² (MPa)	0,6		0,6		0,4		0,7		0,6	
Mediana (MPa)	0,6		0,6		0,5		0,7		0,6	
DP (MPa)	0,06		0,12		0,09		0,05		0,11	
CV (%)	10,0		20,7		20,9		8,0		17,1	
média + desvio	0,69		0,70		0,54		0,71		0,72	
máximo	0,72		0,74		0,58		0,74		0,74	
mínimo	0,52		0,42		0,32		0,58		0,40	
média - desvio	0,56		0,46		0,35		0,61		0,51	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

Tabela - A1. 18 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 9

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 9									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	15		20		25		20		25	
1	0,61 ¹	CA	0,35 ¹	CA	0,55	AP	0,78 ¹	CA	0,90	AP
2	0,73	CA	0,65	CA	0,58	AP	0,94	CA	0,93	AP
3	0,74	CA	0,67	CA	0,58	CA	0,95	CA	0,93	AP
4	0,76	CA	0,77	CA	0,59	AP	1,02	CA	0,95	AP
5	0,77	CA	0,82	CA	0,60	AP	1,03	CA	1,02	AP
6	0,79	CA	0,86	CA	0,67	AP	1,05	CA	1,08	AP
7	0,81	CA	0,86	CA	0,76	AP	1,09	CA	1,09	AP
8	0,82	CA	0,87	CA	0,80	AP	-	-	-	-
9	0,83	CA	0,87	CA	0,80	AP	-	-	-	-
10	0,84	CA	0,97 ¹	CA	0,83	AP	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,8		0,8		0,7		1,0		1,0	
Média ² (MPa)	0,8		0,8		0,7		1,0		1,0	
Mediana (MPa)	0,8		0,8		0,6		1,0		1,0	
DP (MPa)	0,07		0,18		0,11		0,10		0,08	
CV (%)	8,8		22,9		16,3		10,5		7,8	
média + desvio	0,84		0,95		0,79		1,08		1,06	
máximo	0,84		0,97		0,83		1,09		1,09	
mínimo	0,61		0,35		0,55		0,78		0,90	
média - desvio	0,70		0,59		0,57		0,88		0,91	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

Tabela - A1. 19 – Determinação da resistência de aderência à tração para o tempo em aberto teórico – NBR 14083 (ABNT, 1998c) e UEAtc (1990)

Amostra 10

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 10									
	NBR 14083						UEAtc			
	Tempo em aberto (min) e tipo de ruptura									
	15		20		25		20		25	
1	0,47 ¹	AP	0,43 ¹	AP	0,21 ¹	AP	0,72	AP	0,50 ¹	AP
2	0,54 ¹	AP	0,46	AP	0,25 ¹	AP	0,77	AP	0,56	AP
3	0,63	AP	0,55	AP	0,33	AP	0,79	AP	0,65	AP
4	0,66	AP	0,56	AP	0,34	AP	0,80	AP	0,67	AP
5	0,68	AP	0,56	AP	0,37	AP	0,87	AP	0,73	AP
6	0,72	AP	0,56	AP	0,37	AP	0,90	AP	0,80	AP
7	0,73	AP	0,58	AP	0,41	AP	0,91	AP	0,91 ¹	AP
8	0,82	AP	0,60	AP	0,49 ¹	AP	-	-	-	-
9	0,82	AP	0,66	AP	0,50 ¹	AP	-	-	-	-
10	0,99 ¹	AP	0,69 ¹	AP	0,70 ¹	AP	-	-	-	-
Média total (MPa)	0,7		0,6		0,4		0,8		0,7	
Média ² (MPa)	0,7		0,6		0,4		0,8		0,7	
Mediana (MPa)	0,7		0,6		0,4		0,8		0,7	
DP (MPa)	0,15		0,08		0,14		0,07		0,14	
CV (%)	21,1		13,9		35,3		8,7		20,3	
média + desvio	0,86		0,64		0,54		0,89		0,83	
máximo	0,99		0,69		0,70		0,91		0,91	
mínimo	0,47		0,43		0,21		0,72		0,50	
média - desvio	0,56		0,49		0,26		0,75		0,55	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa										

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

²média calculada conforme a respectiva norma.

**Tabela - A1. 20 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 1**

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 1							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,17 ¹	AP	0,28 ¹	AP	0,09 ¹	CA	0,43 ¹	CA
2	0,44	CA	0,35	AP	0,10 ¹	CA	0,46 ¹	CA
3	0,46	CA	0,38	AP	0,12 ¹	CA	0,50	AP
4	0,47	AP	0,38	AP	0,13 ¹	CA	0,51	CA
5	0,48	CA	0,38	AP	0,13 ¹	CA	0,61	AP
6	0,50	AP	0,39	AP	0,14 ¹	CA	0,63	AP
7	0,53	AP	0,39	AP	0,26	CA	0,71	CA
8	0,54	AP	0,40	AP	0,33	CA	0,71	CA
9	0,56	CA	0,41	AP	0,63 ¹	CA	0,78 ¹	CA
10	0,71 ¹	CA	0,42	AP	0,91 ¹	CA	0,78 ¹	CA
Média total (MPa)	0,5		0,4		0,3		0,6	
Média ABNT (MPa)	0,5		0,4		*		0,6	
Mediana (MPa)	0,5		0,4		0,1		0,6	
DP (MPa)	0,13		0,04		0,28		0,13	
CV (%)	27,7		10,3		96,6		21,4	
média + desvio	0,62		0,42		0,56		0,74	
máximo	0,71		0,42		0,91		0,78	
mínimo	0,17		0,28		0,09		0,43	
média - desvio	0,35		0,34		0,01		0,48	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹ valor com afastamento > 20% da média e descartado.

*menos de cinco valores restante impossibilidade o cálculo da média.

Tabela - A1. 21 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 2

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 2							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,16 ¹	AP	0,05 ¹	AP	0,00	AP	0,37 ¹	AP
2	0,16 ¹	AP	0,07 ¹	AP	0,00	AP	0,43 ¹	CA
3	0,16 ¹	AP	0,08	AP	0,00	AP	0,47	AP
4	0,19	AP	0,08	AP	0,00	AP	0,52	CA
5	0,19	AP	0,09	AP	0,00	AP	0,56	CA
6	0,20	CA	0,09	AP	0,00	AP	0,58	AP
7	0,20	AP	0,09	AP	0,00	AP	0,60	CA
8	0,20	AP	0,09	AP	0,00	AP	0,72 ¹	CA
9	0,26 ¹	AP	0,10	AP	0,00	AP	0,74 ¹	CA
10	0,36 ¹	AP	0,13 ¹	AP	0,00	AP	0,81 ¹	CA
Média total (MPa)	0,2		0,1		0,0		0,6	
Média ABNT (MPa)	0,2		0,1		0,0		0,5	
Mediana (MPa)	0,2		0,1		0,0		0,6	
DP (MPa)	0,06		0,02		0,00		0,14	
CV (%)	29,3		23,5		0		24,5	
média + desvio	0,27		0,11		0,00		0,72	
máximo	0,36		0,13		0,00		0,81	
mínimo	0,16		0,05		0		0,37	
média - desvio	0,15		0,07		0,00		0,44	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

**Tabela - A1. 22 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 3**

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 3							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,54 ¹	CA	0,13	CA	0,08 ¹	AP	0,54 ¹	CA
2	0,64	CA	0,14	CA	0,34	AP	0,59 ¹	AP
3	0,74	CA	0,14	CA	0,36	AP	0,73	CA
4	0,75	CA	0,16	CA	0,38	AP	0,73	CA
5	0,76	CA	0,16	CA	0,39	AP	0,75	CA
6	0,77	CA	0,16	CA	0,46	AP	0,76	CA
7	0,78	CA	0,17	CA	0,49	AP	0,77	CA
8	0,78	CA	0,18	CA	0,57 ¹	AP	0,79	CA
9	0,80	CA	0,20 ¹	CA	0,57 ¹	AP	0,93 ¹	CA
10	0,86	CA	0,20 ¹	CA	0,58 ¹	AP	0,94 ¹	CA
Média total (MPa)	0,7		0,2		0,4		0,8	
Média ABNT (MPa)	0,8		0,2		0,4		0,8	
Mediana (MPa)	0,8		0,2		0,4		0,8	
DP (MPa)	0,09		0,02		0,15		0,13	
CV (%)	12,1		14,9		35,8		16,6	
média + desvio	0,83		0,19		0,57		0,88	
máximo	0,86		0,20		0,58		0,94	
mínimo	0,54		0,13		0,08		0,54	
média - desvio	0,65		0,14		0,27		0,63	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹ valor com afastamento > 20% da média e descartado.

Tabela - A1. 23 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 4

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 4							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,17	AP	0,23	CA	0,01	CA	0,09 ¹	CA
2	0,39	CA	0,24	CA	0,03	CA	0,19 ¹	CA
3	0,45	CA	0,30	CA	0,03	AP	0,23 ¹	CA
4	0,56	CA	0,34	CA	0,03	AP	0,29	CA
5	0,63	CA	0,36	CA	0,05	CA	0,33	CA
6	0,64	CA	0,37	CA	0,06	AP	0,45 ¹	CA
7	0,64	CA	0,42	CA	0,06	CA	0,50 ¹	CA
8	0,64	CA	0,48	CA	-	-	0,50 ¹	CA
9	0,70	CA	0,53	CA	-	-	0,51 ¹	CA
10	0,75	CA	0,55	CA	-	-	0,55 ¹	CA
Média total (MPa)	0,6		0,4		0,0		0,4	
Média ABNT (MPa)	0,6		*		0,0		*	
Mediana (MPa)	0,6		0,4		0,0		0,4	
DP (MPa)	0,17		0,11		0,02		0,16	
CV (%)	31,3		29,4		48,3		43,9	
média + desvio	0,73		0,49		0,06		0,52	
máximo	0,75		0,55		0,06		0,55	
mínimo	0,17		0,23		0,01		0,09	
média - desvio	0,38		0,27		0,02		0,20	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

*menos de cinco valores restante impossibilidade o cálculo da média.

Tabela - A1. 24 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 5

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 5							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,57 ¹	CA	0,48 ¹	CA	0,36 ¹	CA	0,65 ¹	CA
2	0,57 ¹	CA	0,49 ¹	CA	0,56	CA	0,66 ¹	CA
3	0,62	CA	0,57	CA	0,58	CA	0,67 ¹	CA
4	0,69	CA	0,60	CA	0,61	CA	0,80	CA
5	0,74	CA	0,63	CA	0,62	CA	0,93	CA
6	0,74	CA	0,69	CA	0,66	CA	0,93	CA
7	0,80	CA	0,73	CA	0,68	CA	0,95	CA
8	0,87	CA	0,75	CA	0,69	CA	0,97	CA
9	1,01 ¹	CA	0,78	CA	0,69	CA	1,10 ¹	CA
10	1,08 ¹	CA	0,93 ¹	CA	0,77 ¹	CA	1,14 ¹	CA
Média total (MPa)	0,8		0,7		0,6		0,9	
Média ABNT (MPa)	0,7		0,7		0,6		0,9	
Mediana (MPa)	0,7		0,7		0,6		0,9	
DP (MPa)	0,17		0,14		0,11		0,18	
CV (%)	22,7		20,9		17,8		20,2	
média + desvio	0,94		0,80		0,73		1,06	
máximo	1,08		0,93		0,77		1,14	
mínimo	0,57		0,48		0,36		0,65	
média - desvio	0,59		0,53		0,51		0,70	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

Tabela - A1. 25 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 6

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 6							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,48 ¹	CA	0,12 ¹	CA	0,37 ¹	CA	0,55 ¹	CA
2	0,54 ¹	CA	0,13 ¹	AP	0,41 ¹	CA	0,61	CA
3	0,62	CA	0,17 ¹	AP	0,42 ¹	CA	0,68	CA
4	0,67	CA	0,19 ¹	AP	0,45	CA	0,72	CA
5	0,70	CA	0,33	AP	0,50	CA	0,74	CA
6	0,70	CA	0,36	AP	0,52	CA	0,75	CA
7	0,72	CA	0,36	AP	0,59	CA	0,76	CA
8	0,76	CA	0,44 ¹	AP	0,64	CA	0,85	CA
9	0,84	CA	0,49 ¹	AP	0,70 ¹	CA	0,86	CA
10	0,92 ¹	CA	0,50 ¹	CA	0,75 ¹	CA	1,06 ¹	CA
Média total (MPa)	0,7		0,3		0,5		0,8	
Média ABNT (MPa)	0,7		*		0,5		0,7	
Mediana (MPa)	0,7		0,3		0,5		0,7	
DP (MPa)	0,13		0,15		0,13		0,14	
CV (%)	18,7		47,3		24,3		18,8	
média + desvio	0,83		0,46		0,67		0,90	
máximo	0,92		0,50		0,75		1,06	
mínimo	0,48		0,12		0,37		0,55	
média - desvio	0,57		0,16		0,41		0,62	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹ valor com afastamento > 20% da média e descartado.

*menos de cinco valores restante impossibilidade o cálculo da média.

Tabela - A1. 26 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 7

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 7							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,43 ¹	CA	0,24 ¹	AP	0,47 ¹	CA	0,59 ¹	CA
2	0,63 ¹	AP	0,28 ¹	AP	0,52 ¹	CA	0,77	CA
3	0,79	CA	0,36	AP	0,55	CA	0,77	CA
4	0,80	CA	0,45	AP	0,59	CA	0,80	CA
5	0,89	CA	0,46	AP	0,62	CA	0,83	CA
6	0,96	CA	0,51	AP	0,67	CA	0,83	CA
7	0,98	CA	0,52	AP	0,74	CA	0,86	CA
8	1,00	AS	0,52	AP	0,75	CA	0,88	CA
9	1,09 ¹	CA	0,57 ¹	AP	0,79	CA	0,99	CA
10	1,11 ¹	CA	0,58 ¹	AP	0,96 ¹	CA	1,03 ¹	CA
Média total (MPa)	0,9		0,4		0,7		0,8	
Média ABNT (MPa)	0,9		0,5		0,7		0,8	
Mediana (MPa)	0,9		0,5		0,6		0,8	
DP (MPa)	0,21		0,12		0,15		0,12	
CV (%)	24,4		26,3		22,1		14,6	
média + desvio	1,08		0,57		0,81		0,96	
máximo	1,11		0,58		0,96		1,03	
mínimo	0,43		0,24		0,47		0,59	
média - desvio	0,66		0,33		0,52		0,71	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹ valor com afastamento > 20% da média e descartado.

Tabela - A1. 27 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 8

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 8							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,85	CA	0,41 ¹	AP	0,27 ¹	AP	0,47 ¹	CA
2	0,92	CA	0,42 ¹	AP	0,59 ¹	CA	0,61 ¹	CA
3	0,97	CA	0,43 ¹	AP	0,77	CA	0,77	CA
4	1,01	CA	0,50	AP	0,84	CA	0,83	CA
5	1,02	CA	0,50	AP	0,86	CA	0,91	CA
6	1,03	CA	0,52	AP	0,98	CA	0,99	CA
7	1,15	CA	0,60	AP	1,04 ¹	CA	1,06	CA
8	1,18	CA	0,66	AP	1,04 ¹	CA	1,20 ¹	CA
9	1,21	CA	0,71 ¹	AP	1,06 ¹	CA	1,24 ¹	CA
10	1,24	CA	0,81 ¹	AP	1,15 ¹	CA	1,27 ¹	CA
Média total (MPa)	1,1		0,6		0,9		0,9	
Média ABNT (MPa)	1,1		0,6		*		0,9	
Mediana (MPa)	1,0		0,5		0,9		1,0	
DP (MPa)	0,13		0,14		0,27		0,27	
CV (%)	12,4		24,3		30,8		28,8	
média + desvio	1,19		0,69		1,13		1,21	
máximo	1,24		0,81		1,15		1,27	
mínimo	0,85		0,41		0,27		0,47	
média - desvio	0,93		0,42		0,60		0,67	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

*menos de cinco valores restante impossibilidade o cálculo da média.

Tabela - A1. 28 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 9

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 9							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,56	CA	0,12	CA	0,46 ¹	CA	0,80	CA
2	0,57	CA	0,14	CA	0,50 ¹	CA	0,90	CA
3	0,59	CA	0,14	CA	0,53 ¹	CA	0,92	CA
4	0,60	CA	0,14	CA	0,56 ¹	CA	0,96	CA
5	0,60	CA	0,14	CA	0,57 ¹	CA	0,97	CA
6	0,68	CA	0,15	CA	0,82	CA	0,99	CA
7	0,70	CA	0,15	CA	0,88	CA	1,01	CA
8	0,72	CA	0,17	CA	0,96 ¹	CA	1,01	CA
9	0,75	CA	0,17	CA	0,98 ¹	CA	1,09	CA
10	0,92 ¹	CA	0,18	CA	1,09 ¹	CA	1,31 ¹	CA
Média total (MPa)	0,7		0,2		0,7		1,0	
Média ABNT (MPa)	0,6		0,2		*		1,0	
Mediana (MPa)	0,6		0,1		0,7		1,0	
DP (MPa)	0,11		0,02		0,23		0,13	
CV (%)	16,6		12,2		31,9		13,5	
média + desvio	0,78		0,17		0,97		1,13	
máximo	0,92		0,18		1,09		1,31	
mínimo	0,56		0,12		0,46		0,80	
média - desvio	0,56		0,13		0,50		0,86	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹valor com afastamento > 20% da média e descartado.

*menos de cinco valores restante impossibilidade o cálculo da média.

**Tabela - A1. 29 – Determinação da resistência de aderência à tração
NBR 14084 (ABNT, 1998d) – Amostra 10**

Placa cerâmica	Resistência de aderência à tração (MPa) - Amostra 10							
	Condição de cura e tipo de ruptura							
	ar		submersa		estufa 70 ⁰ C		estufa 40 ⁰ C	
1	0,81 ¹	CA	0,25 ¹	CA	0,33 ¹	CA	0,63 ¹	CA
2	0,84	CA	0,56	CA	0,49 ¹	CA	0,87	CA
3	0,86	CA	0,56	CA	0,51	AP	0,91	CA
4	0,96	CA	0,56	CA	0,53	CA	0,95	CA
5	1,03	CA	0,60	CA	0,60	CA	0,96	CA
6	1,07	CA	0,62	CA	0,65	AP	1,02	CA
7	1,07	CA	0,62	CA	0,65	CA	1,07	CA
8	1,21	CA	0,66	CA	0,73	CA	1,25	CA
9	1,23	CA	0,70	CA	0,81 ¹	CA	1,32 ¹	CA
10	1,24 ¹	CA	0,79 ¹	CA	0,87 ¹	CA	1,51 ¹	CA
Média total (MPa)	1,0		0,6		0,6		1,0	
Média ABNT (MPa)	1,0		0,6		0,6		1,0	
Mediana (MPa)	1,1		0,6		0,6		1,0	
DP (MPa)	0,16		0,14		0,16		0,25	
CV (%)	15,8		23,7		26,1		24,0	
média + desvio	1,19		0,73		0,78		1,30	
máximo	1,24		0,79		0,87		1,51	
mínimo	0,81		0,25		0,33		0,63	
média - desvio	0,87		0,45		0,46		0,80	
AS: ruptura na interface argamassa/substrato AP: ruptura na interface argamassa/placa cerâmica CA: ruptura na camada de argamassa								

Nota: ¹ valor com afastamento > 20% da média e descartado.

Tabela - A1. 30 – Determinação do resíduo em peneira 0,5 mm
NBR 14086 (ABNT, 1998f)

Classe	Amostras	Resíduo em peneira # 0,5 mm (% de massa retida)					
		Determinações			Média (%)	Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (%)
		1ª	2ª	3ª			
AC I	1	6,6	6,6	6,4	6,5	0,1	2
	2	1,8	1,8	1,6	1,7	0,1	7
	3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,0	0
	4	5,6	5,6	5,5	5,6	0,1	1
AC II	5	1,1	1,1	1,1	1,1	0,0	0
	6	1,3	1,2	1,2	1,2	0,1	5
	7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,0	0
AC III	8	8,5	8,6	8,7	8,6	0,1	1
	9	9,3	9,4	9,4	9,4	0,1	1
	10	3,0	2,9	2,9	2,9	0,1	2

Tabela - A1. 31 – Determinação do resíduo em peneira 0,15 mm
NBR 14086 (ABNT, 1998f)

Classe	Amostras	Resíduo em peneira # 0,15 mm (% de massa retida)					
		Determinações			Média (%)	Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (%)
		1ª	2ª	3ª			
AC I	1	48,3	48,0	47,8	48,0	0,3	1%
	2	43,2	44,0	45,2	44,1	1,0	2%
	3	33,3	32,2	32,0	32,5	0,7	2%
	4	33,9	33,3	34,3	33,8	0,5	1%
AC II	5	48,2	45,1	46,7	46,7	1,6	3%
	6	46,6	44,0	42,0	44,2	2,3	5%
	7	36,7	35,0	37,0	36,2	1,1	3%
AC III	8	47,1	47,0	45,7	46,6	0,8	2%
	9	47,0	46,4	47,1	46,8	0,4	1%
	10	49,7	51,0	49,6	50,1	0,8	2%

Tabela - A1. 32 – Determinação Resíduo em peneira 0,075 mm
NBR 14086 (ABNT, 1998f)

Classe	Amostras	Resíduo em peneira # 0,075 mm (% de massa retida)					
		Determinações			Média (%)	Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (%)
		1ª	2ª	3ª			
AC I	1	68,1	68,8	71,8	69,6	2,0	3%
	2	75,6	76,8	76,0	76,1	0,6	1%
	3	76,5	76,5	76,4	76,5	0,1	0%
	4	79,7	80,3	81,3	80,4	0,8	1%
AC II	5	73,2	74,0	73,5	73,6	0,4	1%
	6	77,4	77,9	76,8	77,4	0,6	1%
	7	73,7	73,5	73,0	73,4	0,4	0%
AC III	8	65,0	65,8	64,3	65,0	0,8	1%
	9	66,2	65,9	67,2	66,4	0,7	1%
	10	72,0	71,4	71,8	71,7	0,3	0%

Tabela - A1. 33 – Determinação da perda de massa a 110°C
IRAM 1753 (IRAM, 1985b)

Classe	Amostras	Perda de massa a 110°C				
		Determinações		Média (%)	DP (%)	CV (%)
		1ª	2ª			
AC I	1	0,26	0,25	0,26	0,01	3
	2	0,27	0,28	0,28	0,01	3
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0
	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0
AC II	5	0,54	0,53	0,54	0,01	1
	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0
AC III	8	0,32	0,30	0,31	0,01	5
	9	0,28	0,28	0,28	0,00	0
	10	0,30	0,30	0,30	0,00	0

Tabela - A1. 34 – Determinação da perda de massa a 450°C – (UEAtc, 1990)

Classe	Amostras	Perda de massa a 450°C				
		Determinações		Média (%)	DP (%)	CV (%)
		1ª	2ª			
AC I	1	0,41	0,45	0,43	0,03	7
	2	0,40	0,36	0,38	0,03	7
	3	0,37	0,39	0,38	0,01	4
	4	0,31	0,29	0,30	0,01	5
AC II	5	1,61	1,60	1,61	0,01	0
	6	1,12	1,16	1,14	0,03	2
	7	1,10	0,95	1,03	0,11	10
AC III	8	1,92	1,88	1,90	0,03	1
	9	2,00	1,95	1,98	0,04	2
	10	1,84	1,88	1,86	0,03	2

Tabela - A1. 35 – Determinação da perda de massa a 450°C em comparação com o teor de aditivos declarado (UEAtc, 1990)

Classe	Amostra	Total de aditivos	Perda de massa 450°C (%)			DP (%)	CV (%)
			1	2	Média		
AC I	11	0,20	0,32	0,32	0,32	0,00	0
	12	0,18	0,26	0,26	0,26	0,00	0
	13	0,24	0,27	0,29	0,28	0,01	5
	14	0,35	0,41	0,47	0,44	0,04	10
	15	0,22	0,38	0,36	0,37	0,01	4
	16	0,20	0,24	0,27	0,26	0,02	8
	17	0,22	0,48	0,42	0,45	0,04	9
	18	0,23	0,51	0,46	0,49	0,04	7
AC II	19	1,04	0,88	0,83	0,86	0,04	4
	20	1,26	0,84	0,89	0,87	0,04	4
	21	1,48	1,05	1,06	1,06	0,01	1
	22	1,70	1,22	1,24	1,23	0,01	1
	23	1,28	1,30	1,32	1,31	0,01	1
	24	1,20	1,14	1,19	1,17	0,04	3
	25	1,33	1,25	1,21	1,23	0,03	2
	26	1,33	1,24	1,27	1,26	0,02	2
AC III	27	1,60	1,15	1,14	1,15	0,01	1
	28	1,65	1,44	1,39	1,42	0,04	2
	29	1,65	1,36	1,36	1,36	0,00	0

Tabela - A1. 36 – Determinação do deslizamento – Placa cerâmica porcelanato
NBR 14085 (ABNT, 1998e)

Classe de argamassa	Amostras	Teor de água (%)	Deslizamento (mm)								
			Placa cerâmica						Média (mm)	DP (mm)	CV (%)
			1		2		3				
AC I	1	22,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,5	0,2	0,1	0,2	142
			0,0		0,05		0,35				
	2	23,0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,7	0,4	0,2	42
			0,2		0,4		0,5				
	3	20,0	0,3	0,5	0,2	1,6	0,3	0,3	0,5	0,3	60
			0,4		0,9		0,3				
	4	23,0	0,3	0,0	0,8	0,6	0,8	1,3	0,6	0,5	72
			0,15		0,7		1,05				
AC II	5	25,0	1,8	1,3	1,1	1,4	4,0	3,0	2,1	1,2	58
			1,55		1,25		2,1				
	6	24,0	0,5	0,6	0,4	0,3	0,7	0,5	0,5	0,1	26
			0,55		0,5		0,6				
	7	20,0	0,8	0,7	0,9	1,2	1,3	1,6	1,1	0,4	32
			0,75		1,05		1,45				
AC III	8	25,0	1,6	0,5	0,0	0,3	0,4	1,4	0,7	0,5	69
			1,05		0,15		0,9				
	9	25,0	0,9	0,4	0,3	0,4	0,6	1,0	0,6	0,2	38
			0,65		0,35		0,8				
	10	22,0	0,4	0,2	0,7	0,4	0,0	1,7	0,6	0,3	49
0,3			0,55		0,85						

Nota: Para cada placa são realizadas duas medidas de deslizamento, considerando-se a média entre elas.

Tabela - A1. 37 – Determinação do deslizamento – Placa vidro jactada
NBR 14085 (ABNT, 1998e)

Classe de argamassa	Amostras	Teor de água (%)	Deslizamento (mm)								
			Placa vidro						Média (mm)	DP (mm)	CV (%)
			1		2		3				
AC I	1	22,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,00	0
			0,05		0,05		0,05				
	2	23,0	0,4	0,3	0,7	0,2	0,8	0,1	0,4	0,08	18
			0,35		0,45		0,45				
	3	20,0	0,2	0,5	0,6	0,4	0,6	0,3	2,0	0,38	19
			0,35		0,5		0,45				
	4	23,0	0,2	0,4	1,0	0,8	2,1	1,7	1,2	0,40	35
			0,3		0,9		1,9				
AC II	5	25,0	2,7	2,0	1,4	1,8	2,2	1,7	0,3	0,15	48
			2,35		1,6		1,95				
	6	24,0	0,3	0,4	0,7	0,5	0,3	0,7	0,1	0,00	0
			0,35		0,6		0,5				
	7	20,0	0,9	0,8	1,5	1,7	1,0	1,0	0,4	0,08	18
			0,85		1,6		1,0				
AC III	8	25,0	0,6	0,6	0,9	1,0	0,0	0,5	2,0	0,38	19
			0,6		0,95		0,25				
	9	25,0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,4	0,3	1,2	0,40	35
			0,15		0,45		0,35				
	10	22,0	0,2	0,3	0,7	0,7	1,4	1,4	0,3	0,15	48
			0,25		0,7		1,4				

Nota: Para cada placa são realizadas duas medidas de deslizamento, considerando-se a média entre elas.

Tabela - A1. 38 – Determinação do deslizamento – Placa cerâmico grés
NBR 14085 (ABNT, 1998e)

Classe de argamassa	Amostras	Teor de água (%)	Deslizamento (mm)								
			Placa vidro						Média (mm)	DP (mm)	CV (%)
			1		2		3				
AC I	1	22,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,03	43
			0,05		0,05		0,1				
	2	23,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,4	0,3	0,2	0,08	42
			0,3		0,0		0,35				
	3	20,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0	0,2	1,5	0,42	28
			0,2		0,25		0,1				
	4	23,0	0,4	0,0	0,0	0,3	0,1	0,3	0,5	0,08	16
			0,2		0,15		0,2				
AC II	5	25,0	1,7	1,9	1,3	0,7	1,6	1,6	0,2	0,18	96
			1,8		1,0		1,6				
	6	24,0	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,4	0,1	0,03	43
			0,25		0,3		0,35				
	7	20,0	0,5	0,3	0,5	0,6	0,5	0,5	0,2	0,08	42
			0,4		0,55		0,5				
AC III	8	25,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,8	0,7	1,5	0,42	28
			0,4		0,0		0,75				
	9	25,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,7	0,5	0,08	16
			0,0		0,2		0,35				
	10	22,0	0,6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4	0,2	0,18	96
			0,5		0,55		0,35				

Nota: Para cada placa são realizadas duas medidas de deslizamento, considerando-se a média entre elas.

Tabela - A1. 40 – Determinação da resistência de aderência para avaliar a influência do tempo de maturação e tempo útil no tempo em aberto teórico

Classe	Amostra	Tempo de maturação			Tempo Útil		
		5 min	10 min	30 min	120 min	180 min	240 min
AC I - 15 min	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	2	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3
	3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
	4	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6
AC II - 20 min	5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
	6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
	7	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3
AC III - 20 min	8	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7
	9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
	10	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5	0,6

Tabela - A1. 41 – Determinação da retenção de água em função do tempo em contato com o papel-filtro – NBR 13277 9ABNT, 1995)

Classe	Amostra	Papel-filtro						
		2 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	40 min
AC I	1	100	100	100	100	100	99	99
	2	100	100	100	100	100	99	99
	3	100	100	100	99	99	99	99
	4	100	100	100	99	99	99	99
AC II	5	100	100	100	100	100	99	99
	6	100	100	100	100	99	99	99
	7	100	100	100	100	99	99	99
AC III	8	100	100	100	100	100	100	99
	9	100	100	100	100	100	100	99
	10	100	100	100	100	99	99	99

**Tabela - A1. 43 - Determinação da resistência de aderência à tração - Azulejo -
Cura ao Ar- NBR 14084 (ABNT, 1998d)**

Placa cerâmica	AC I				AC II			AC III		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,17	0,29	0,26	0,36	0,68	0,32	0,73	0,29	0,30	0,60
2	0,29	0,33	0,35	0,39	0,69	0,41	0,91	0,48	0,74	0,62
3	0,30	0,39	0,37	0,43	0,72	0,47	1,00	0,48	0,77	0,72
4	0,40	0,41	0,46	0,45	0,73	0,53	1,03	0,71	0,80	0,80
5	0,40	0,49	0,65	0,52	0,77	0,55	1,05	0,74	0,86	0,89
6	0,47	0,56	0,69	0,61	0,81	0,56	1,05	0,80	0,88	1,00
7	0,48	0,61	0,70	0,70	0,82	0,60	1,09	0,81	0,92	1,03
8	0,50	0,70	0,70	0,70	0,84	0,65	1,12	0,82	0,99	1,10
9	0,54	0,83	0,80	0,78	0,93	0,66	1,23	1,01	1,00	1,14
10	0,77	0,89	0,84	0,83	0,94	0,80	1,31	1,05	1,00	1,31
Média total (MPa)	0,5	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	1,1	0,7	0,8	0,9
Média ABNT (MPa)	0,4	05	0,7*	0,6*	0,8	0,6	1,1	0,7	0,9	1,0
Mediana (MPa)	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,6	1,1	0,8	0,9	0,9
Desvio padrão (MPa)	0,16	0,21	0,20	0,17	0,09	0,14	0,16	0,24	0,21	0,24
Coeficiente de variação (%)	36	38	35	29	12	24	15	33	25	26

Nota: média calculada com menos de cinco valores

**Tabela - A1. 44 - Determinação da resistência de aderência à tração - Azulejo -
Cura submersa - NBR 14084 (ABNT, 1998d)**

Placa cerâmica	AC I				AC II			AC III		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,39	0,23	0,30	0,48	0,21	0,37	0,40	0,52	0,28	0,66
2	0,40	0,31	0,37	0,49	0,26	0,40	0,50	0,56	0,31	0,72
3	0,49	0,41	0,42	0,52	0,29	0,42	0,58	0,64	0,51	0,72
4	0,50	0,44	0,46	0,60	0,43	0,51	0,61	0,66	0,51	0,74
5	0,52	0,44	0,47	0,60	0,45	0,54	0,62	0,67	0,58	0,74
6	0,54	0,45	0,48	0,62	0,46	0,56	0,64	0,73	0,67	0,75
7	0,55	0,46	0,52	0,63	0,51	0,58	0,71	0,77	0,68	0,79
8	0,59	0,50	0,56	0,67	0,56	0,62	0,73	0,83	0,72	0,79
9	0,60	0,51	0,59	0,68	0,61	0,67	0,76	0,85	0,74	0,82
10	0,66	0,57	0,72	0,71	0,71	0,61	0,78	0,95	0,75	0,94
Média total (MPa)	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8
Média ABNT (MPa)	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7
Mediana (MPa)	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7
Desvio padrão (MPa)	0,08	0,10	0,12	0,08	0,16	0,10	0,12	0,13	0,17	0,08
Coeficiente de variação (%)	16	23	24	13	32	19	19	19	30	10

**Tabela - A1. 45 - Determinação da resistência de aderência à tração - Azulejo -
Cura em estufa - NBR 14084 (ABNT, 1998d)**

Placa cerâmica	AC I				AC II			AC III		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,08	0,10	0,05	0,04	0,32	0,17	0,38	0,52	0,50	0,50
2	0,12	0,18	0,08	0,07	0,34	0,26	0,51	0,61	0,60	0,60
3	0,13	0,21	0,10	0,08	0,38	0,27	0,55	0,66	0,62	0,62
4	0,15	0,21	0,12	0,09	0,42	0,37	0,66	0,76	0,69	0,63
5	0,19	0,22	0,14	0,12	0,43	0,37	0,67	0,90	0,69	0,69
6	0,25	0,24	0,18	0,14	0,48	0,38	0,84	0,93	0,71	0,72
7	0,32	0,25	0,19	0,16	0,51	0,48	0,91	0,97	0,74	0,72
8	0,40	0,25	0,28	0,16	0,62	0,51	1,04	0,98	0,82	0,80
9	0,59	0,28	0,49	0,23	0,66	0,64	1,05	1,05	0,90	0,85
10	-	0,39	-	-	0,66	-	1,14	1,14	0,96	0,89
Média total (MPa)	0,3	0,2	0,2	0,1	0,5	0,4	0,8	0,9	0,7	0,7
Média ABNT (MPa)	0,2*	0,2	0,2*	0,1*	0,5*	0,4*	0,8*	0,9	0,7	0,7
Mediana (MPa)	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,4	0,8	0,9	0,7	0,7
Desvio padrão (MPa)	0,16	0,07	0,13	0,06	0,13	0,14	0,26	0,20	0,14	0,12
Coeficiente de variação (%)	61	32	74	48	26	37	33	24	19	17

Nota: *média calculada com menos de cinco valores

**Tabela - A1. 46 - Determinação da resistência de aderência à tração -
Porcelanato - Cura ao ar - NBR 14084 (ABNT, 1998d)**

Placa cerâmica	AC I				AC II			AC III		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,18	0,25	0,54	0,20	0,67	0,43	0,72	0,54	0,75	0,88
2	0,30	0,28	0,55	0,30	0,68	0,54	0,85	0,58	0,76	0,89
3	0,31	0,34	0,58	0,33	0,74	0,59	0,85	0,74	0,82	0,90
4	0,34	0,34	0,58	0,37	0,76	0,72	0,86	0,78	0,89	0,92
5	0,39	0,35	0,59	0,37	0,76	0,73	0,91	0,85	0,90	0,93
6	0,45	0,36	0,77	0,42	0,77	0,75	0,93	0,94	0,93	0,97
7	0,62	0,46	0,80	0,42	0,88	0,78	0,95	0,95	0,97	0,99
8	0,67	0,47	0,80	0,44	0,93	0,79	0,95	0,97	1,00	1,02
9	0,77	0,55	0,80	0,47	0,94	0,81	0,98	1,01	1,00	1,07
10	0,87	-	0,91	0,51	1,00	0,86	0,99	1,03	1,02	1,09
Média total (MPa)	0,5	0,4	0,7	0,4	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9	1,0
Média ABNT (MPa)	0,5*	0,3*	0,7	0,4	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9	1,0
Mediana (MPa)	0,5	0,4	0,7	0,4	0,8	0,7	0,9	0,9	0,9	1,0
Desvio padrão (MPa)	0,23	0,10	0,14	0,09	0,12	0,14	0,08	0,17	0,10	0,08
Coeficiente de variação (%)	44	26	20	24	14	19	9	21	11	8

Nota: *média calculada com menos de cinco valores

**Tabela - A1. 47 - Determinação da resistência de aderência à tração -
Porcelanato - Cura submersa - NBR 14084 (ABNT, 1998d)**

Placa cerâmica	AC I				AC II			AC III		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,05	0,04	0,31	0,10	0,30	0,26	0,33	0,25	0,21	0,29
2	0,08	0,05	0,32	0,12	0,39	0,27	0,34	0,30	0,27	0,31
3	0,18	0,07	0,43	0,12	0,41	0,29	0,37	0,34	0,39	0,32
4	0,25	0,07	0,43	0,14	0,44	0,29	0,38	0,35	0,44	0,32
5	0,26	0,09	0,44	0,15	0,45	0,33	0,38	0,37	0,45	0,36
6	0,28	0,10	0,48	0,19	0,46	0,34	0,38	0,39	0,48	0,38
7	0,32	0,13	0,49	0,23	0,47	0,34	0,39	0,46	0,49	0,41
8	0,33	0,14	0,51	0,26	0,48	0,38	0,42	0,46	0,50	0,43
9	0,35	0,16	0,51	0,27	0,50	0,40	0,44	0,49	0,53	0,46
10	0,37	0,18	0,53	0,39	0,55	0,45	0,54	0,50	0,60	0,50
Média total (MPa)	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Média ABNT (MPa)	0,2	0,1	0,5	0,2	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Mediana (MPa)	0,3	0,1	0,5	0,2	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
Desvio padrão (MPa)	0,11	0,05	0,08	0,09	0,07	0,06	0,06	0,08	0,12	0,07
Coeficiente de variação (%)	41	46	17	46	15	18	15	22	27	19

**Tabela - A1. 48 - Determinação da resistência de aderência à tração -
Porcelanato - Cura em estufa - NBR 14084 (ABNT, 1998d)**

Placa cerâmica	AC I				AC II			AC III		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,02	0,02	0,11	0,01	0,36	0,23	0,45	0,45	0,51	0,28
2	0,09	0,08	0,12	0,02	0,42	0,25	0,59	0,52	0,53	0,38
3	0,11	0,10	0,13	0,03	0,47	0,29	0,63	0,52	0,53	0,55
4	0,18	0,10	0,14	0,03	0,50	0,37	0,65	0,63	0,75	0,55
5	0,18	0,15	0,29	0,05	0,52	0,37	0,65	0,65	0,62	0,65
6	0,20	0,18	0,35	0,05	0,53	0,38	0,65	0,80	0,72	0,65
7	0,20	0,19	0,41	0,06	0,55	0,43	0,67	0,86	0,89	0,73
8	0,23	0,21	0,45	0,07	0,55	0,45	0,70	0,95	0,96	0,74
9	0,25	0,23	0,49	-	0,61	0,51	0,72	1,10	0,76	0,75
10	0,25	0,28	0,51	-	0,61	0,52	0,75	1,25	0,95	0,82
Média total (MPa)	0,2	0,2	0,3	0,0	0,5	0,4	0,6	0,8	0,7	0,6
Média ABNT (MPa)	0,2	0,2	0,3	0,0	0,5	0,4	0,7	0,8	0,7	0,6
Mediana (MPa)	0,2	0,2	0,3	0,0	0,5	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7
Desvio padrão (MPa)	0,08	0,08	0,16	0,02	0,08	0,10	0,08	0,27	0,17	0,17
Coeficiente de variação (%)	44	51	54	52	15	27	13	35	24	28

**Tabela - A1. 49 – Determinação da resistência de aderência ao cisalhamento
ANSI 118.1 e A118.4 (ANSI, 1999a,b)**

Classe	Amostras	Cálculos	Tipo de cura			
			28 dias ao ar		7 dias ao ar + 21 dias submersa	
			Carga de ruptura (KN)	Tensão (MPa)	Carga de ruptura (KN)	Tensão (MPa)
AC I	1	MA	4,4	0,8	4,5	0,9
		DP	0,59	0,11	1,51	0,29
		CV (%)	14		33	
	2	MA	5,3	1,0	5,7	1,1
		DP	0,95	0,18	2,57	0,50
		CV (%)	18		45	
	3	MA	5,8	1,1	5,0	1,0
		DP	2,30	0,44	2,72	0,53
		CV (%)	40		55	
	4	MA	5,9	1,1	3,9	0,8
		DP	0,76	0,15	0,40	0,08
		CV (%)	13		10	
AC II	5	MA	6,2	1,2	5,4	1,0
		DP	0,62	0,12	1,54	0,30
		CV (%)	10		29	
	6	MA	5,5	0,7	4,5	0,9
		DP	0,33	0,62	0,62	0,12
		CV (%)	6		14	
	7	MA	7,7	1,5	7,0	1,4
		DP	2,54	0,49	0,92	0,18
		CV (%)	33		13	
AC III	8	MA	6,3	1,2	7,8	1,5
		DP	3,49	0,68	0,76	0,15
		CV (%)	56		10	
	9	MA	8,6	1,7	4,9	0,9
		DP	3,11	0,60	0,40	0,08
		CV (%)	36		8	
	10	MA	9,8	1,9	6,2	1,2
		DP	1,51	0,29	0,58	0,11
		CV (%)	15		9	

Tabela - A1. 50 – Determinação da deformação transversal por flexão
EN 12002 (CEN, 1998)

Classe	Amostras	Cálculos	Tipo de cura					
			28 dias ao ar		7 dias ao ar + 21 dias submersa		14 dias ao ar + 14 dias em estufa à 70°C	
			Tensão ruptura (MPa)	Deformação (mm)	Tensão ruptura (MPa)	Deformação (mm)	Tensão ruptura (MPa)	Deformação (mm)
AC I	1	MA	1,8	0,9	1,1	0,6	1,9	0,9
		DP	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1
		CV (%)	6	7	5	10	16	6
	2	MA	2,0	1,1	1,6	1,1	2,4	3,3
		DP	0,1	0,3	0,0	0,2	0,2	0,2
		CV (%)	3	24	0	13	7	6
	3	MA	3,6	4,8	2,3	0,9	3,4	1,6
		DP	0,3	0,3	0,7	0,3	0,6	0,3
		CV (%)	7	6	30	27	18	17
	4	MA	1,6	0,8	0,9	0,4	1,9	0,9
		DP	0,4	0,1	0,7	0,2	0,3	0,1
		CV (%)	27	12	77	50	13	7
AC II	5	MA	2,6	1,6	2,4	1,1	3,3	2,1
		DP	0,4	0,1	0,4	0,1	0,3	0,1
		CV (%)	16	5	16	9	10	6
	6	MA	2,5	1,3	1,7	1,4	2,5	1,7
		DP	0,2	0,0	0,0	0,1	0,5	0,1
		CV (%)	6	0	0	7	21	7
	7	MA	3,3	1,6	2,2	1,5	3,5	1,9
		DP	0,3	0,2	0,1	0,2	0,4	0,1
		CV (%)	8	10	5	14	10	6
AC III	8	MA	3,0	1,4	2,0	1,4	2,9	1,6
		DP	0,1	0,1	0,3	0,3	0,4	0,1
		CV (%)	3	7	12	18	15	6
	9	MA	2,4	1,6	1,9	1,3	2,5	2,3
		DP	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1
		CV (%)	9	9	6	4	10	3
	10	MA	3,0	1,6	1,7	0,8	3,2	1,7
		DP	0,1	0,1	0,2	0,0	0,4	0,2
		CV (%)	2	6	13	0	12	9

Tabela - A1. 51 – Determinação da retração por secagem

Classe de argamassa	Amostras	Teor de água (%)	Idade (horas)	Média (mm/m)	Desvio Padrão (mm/m)	Coeficiente de variação (%)
AC I	1	22,0	24	-0,14	0,028	20
			96	-0,39	0,060	16
			168	-0,56	0,044	8
	2	23,0	24	-0,14	0,082	60
			96	-0,47	0,144	31
			168	-0,76	0,074	10
	3	20,0	24	-0,21	0,079	37
			96	-0,68	0,017	3
			168	-0,82	0,009	1
	4	23,0	24	-0,55	0,004	1
			96	-0,82	0,188	23
			168	-1,11	0,149	13
AC II	5	25,0	24	-0,11	0,011	9
			96	-0,55	0,026	5
			168	-0,73	0,021	3
	6	24,0	24	-0,33	0,062	19
			96	-0,51	0,008	2
			168	-0,56	0,057	10
	7	20,0	24	-0,24	0,099	41
			96	-0,84	0,022	3
			168	-0,99	0,053	5
AC III	8	25,0	24	-0,06	0,041	68
			96	-0,63	0,021	3
			168	-0,82	0,008	1
	9	25,0	24	-0,17	0,129	78
			96	-0,73	0,137	19
			168	-0,92	0,146	16
	10	22,0	24	-0,16	0,140	87
			96	-1,10	0,126	12
			168	-1,38	0,230	17

Obs.: O sinal negativo indica retração

ANEXO 2 - ILUSTRAÇÃO DAS ETAPAS DE UTILIZAÇÃO

Etapas: da fabricação da argamassa ao assentamento do revestimento cerâmico

Tempo de armazenamento (da fabricação ao uso): **6 meses**

Tempo de maturação (tempo de descanso): **10 min a 30 min**

Tempo útil (tempo para aplicação): **2:30 h**

Tempo em aberto real (tempo para o assentamento)

Depende das condições ambientais e do tipo de argamassa colante

NORMAS E BIBLIOGRAFIA

AKIAMA, S.Y.; MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. – Flexibilidade de argamassas adesivas. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Salvador, 1997. **Anais**. Salvador, 1997. p.233-245.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS SPECIFICATIONS. **American national standard specifications for dry set Portland cement mortar - A118.1-99**. New York, 1999a.

_____. **American national standard specifications for latex-Portland cement mortar. A118.4-99**. New York, 1999b.

_____. **American national standard specifications for dry set Portland cement mortar. A118.1-92**. New York, 1992a.

_____. **American national standard specifications for latex-Portland cement mortar. A118.4-92**. New York, 1992b.

_____. **American national standard specifications for dry set Portland cement mortar. A118.1-85**. New York, 1985a.

_____. **American national standard specifications for latex-Portland cement mortar. A118.4-85**. New York, 1985b.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard specification for building brick (solid masonry units made from clay or shale). ASTM C 62-01**. Philadelphia, 2001.

_____. **Standard methods of sampling and testing brick and structural clay tile. ASTM C 67-86**. Philadelphia, 1998.

_____. **Standard specification for masonry cement - ASTM C 91**. Philadelphia, 2002.

_____. **Standard test method for time of setting of hydraulic-cement paste by Gilmore needles - ASTM C 266**. Philadelphia, 1999.

_____. **Standard test method of flexural strength and modulus of elasticity of chemical-resistant mortars, grouts, monolithics surfacing and polymer concretes - ASTM C 580.** Philadelphia, 1993.

_____. **Standard test method for measuring pavement macro texture depth using a volumetric technique - ASTM E 965.** Philadelphia, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Caracterização de argamassa colante.** São Paulo: ABCP, 2002. (Relatório Técnico, jan 2002-dez 2002).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – determinação da composição granulométrica – NBR 7217.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural – retração por secagem - NBR 8490.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Cimento Portland – determinação dos tempos de pega – métodos de ensaio – NBR 11581.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **Blocos vazados de concreto para alvenaria – retração por secagem – NBR 12117.** Rio de Janeiro, 1991

_____. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água – NBR 13277.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – procedimento – NBR 13753.** Rio de Janeiro, 1996a.

_____. **Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – procedimento – NBR 13754.** Rio de Janeiro, 1996b.

- _____. **Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – procedimento – NBR 13755.** Rio de Janeiro, 1996c.
- _____. **Placas cerâmicas para revestimento - classificação – NBR 13817.** Rio de Janeiro, 1997.
- _____. **Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaios – NBR 13818.** Rio de Janeiro, 1997.
- _____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – especificação - NBR 14081.** Rio de Janeiro, 1998a.
- _____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios - NBR 14082.** Rio de Janeiro, 1998b.
- _____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - determinação do tempo em aberto - NBR 14083.** Rio de Janeiro, 1998c.
- _____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - determinação da resistência de aderência - NBR 14084.** Rio de Janeiro, 1998d.
- _____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - determinação do deslizamento - NBR 14085.** Rio de Janeiro, 1998e.
- _____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - ensaio de caracterização no estado anidro - NBR 14086.** Rio de Janeiro, 1998f.
- _____. **A.R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – requisitos e métodos de ensaios – 18:406.05-001.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO – São Paulo, 2002. **Apresenta gráficos de desempenho de produção do setor cerâmico**. Disponível em: <www.anfacer.org.br>. Acesso em: 17 nov. 2002.

ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE AZULEJOS Y PAVIMENTOS CERÁMICOS. Castellón, Espanha. 2002. **Apresenta dados estatísticos da produção mundial de revestimento cerâmico**. ASCER. Disponível em: <[http:// spaintiles.info/documentos/inf2001.pdf](http://spaintiles.info/documentos/inf2001.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2002.

BASTOS, P.K. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento – Tese de Doutorado – ESCOLA POLITÉCNICA, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – São Paulo – 2001.

BAUER, R. Descolamento em revestimentos cerâmicos, análises e recomendações. In I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Goiânia, 1995. **Anais**. Goiás. UFG/ANTAC, 1995. p193-202.

BORTOLUZZO, C.W.; LIBORIO, J.B.L. – Determinação das tensões devido retração impedida em argamassas de revestimento. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Vitória, 1999. **Anais**. Vitória, 1999. p.125-136.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION - **Specification for Adhesives for use with ceramic tiles and mosaics – BS 5980**. London, 1980.

BUCHER, H.R.E.; NAKAKURA, E.H. A capacidade de deformação de argamassas colantes a base de cimento Portland. In I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Goiânia, 1995. **Anais**. Goiás. UFG/ANTAC, 1995. p167-176.

_____. Argamassas colantes flexíveis. In III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Vitória, 1999. **Anais**. Vitória. UFES/PPGEC, 1999. p417-424.

_____. **Caracterização das argamassas de revestimento e assentamento.** Curso intensivo de argamassa de revestimento e assentamento, São Paulo, 1999. Não publicado.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L.M. Importância dos materiais dos revestimentos de argamassa. In IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Brasília, 2001. **Anais.** Brasília. UnB/ENC, 2001. p43-67.

CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA. 2002. **Apresenta mapa preliminar de ventos do Brasil, 1998.** CBEE. Disponível em: <<http://www.eolica.com.br>>. Acesso em: 10 .dez. 2002

CHEW, M.Y.L. The study of adhesion failure of wall tiles. **Building and Environment**, v 27, .4, p. 493-499, 1992.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Stoffe für keramische bekleidungen im dunnbettverfahren – begriffe und grundlagen – DIN 18.156. (Teil 1).** Berlin, 1977.

_____. **Stoffe für keramische bekleidungen im dunnbettverfahren – hydraulisch erhärtende dunnbettmörtel – DIN 18156. (Teil 2).** Berlin, 1978.

_____. **Stoffe für keramische bekleidungen im dunnbettverfahren – dispersinsklebstoffe – DIN 18156 (Teil 3).** Berlin, 1980.

_____. **Prüfung von mörteln mit mineralischen bindemitteln – frichmörtel – bestimmung des wasserrückhaltever-mögens nach dem filterplattenverfahren – DIN 18555 (teil 7).** Berlin, 1987.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – **Adhesives for tiles – Determination of slip resistance - EN 1308.** London, 1999a.

_____. **Adhesives for tiles – concrete slabs for tests - EN 1323.** London, 1999b.

_____. **Adhesives for tiles - determination of shear adhesion strength of dispersion adhesives - EN 1324.** London, 1999c.

- _____. **Adhesives for tiles – determination of open time - EN 1346.** London, 1999d.
- _____. **Adhesives for tiles – Determination of wetting capability - EN 1347.** London, 1999e.
- _____. **Adhesives for tiles – determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives - EN 1348.** London, 1999f.
- _____. **Adhesives for tiles – Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts - EN 12002.** London, 1998.
- _____. **Adhesives for tiles – definitions and specifications - EN 12004.** London, 2001.
- FIORITO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** São Paulo, PINI, 1994
- _____. **Proposta de revisão das normas sobre argamassas colantes industrializadas para assentamento de placas cerâmicas.** São Paulo, 1998. ABNT, CB-18, 1998.
- _____. **Argamassa colante – Tempo em aberto e outros tempo: NBR 14081/abril 1998 e NBR 14083/abril 1998. Proposta de alteração.** São Paulo, 2002. ABNT, CB-18, 2002a.
- _____. **Temperatura: Tratamento em estufa conforme NBR 14084/abril 98.** São Paulo, 2002. ABNT, CB-18, 2002b.
- GODOY, E.H.; BARROS, M.M.S.B. Contribuição ao estudo da influência do teor de polímero nas propriedades das argamassas de cimento portland. In III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Vitória, 1999. **Anais.** Vitória. UFES/PPGEC, 1999. P249-265.
- GOLDGERG, R.P. **Direct Adhered ceramic tile, stone and thin brick facades – technical design manual.** Bethany, USA. Laticrete, 1998.

INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES –
**Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de
revestimientos cerámicos –definiciones - IRAM 1750.** Buenos Aires, 1987.

_____. **Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de
revestimientos cerámicos – requisitos – IRAM 1752.** Buenos Aires, 1985a.

_____. **Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de
revestimientos cerámicos – método de determinación de la pérdida por
calentamiento a 110°C – IRAM 1753.** Buenos Aires, 1985b.

_____. **Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de
revestimientos cerámicos – método de ensayo de tamizado – IRAM 1754.**
Buenos Aires, 1986b.

_____. **Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de
revestimientos cerámicos – método de preparación del mortero para ensayos
y ensayo de consistencia – IRAM 1755.** Buenos Aires, 1985c.

_____. **Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de
revestimientos cerámicos – método de ensayo de adherencia – IRAM 1756.**
Buenos Aires, 1986c.

_____. **Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de
revestimientos cerámicos – método de deslizamiento – IRAM 1757.** Buenos
Aires, 1990.

_____. **Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de
revestimientos cerámicos – método de determinación del tiempo de
corrección – IRAM 1758.** Buenos Aires, 1985d.

_____. **Mezclas adhesivas a base de ligantes hidráulicos para la colocación de
revestimientos cerámicos – método de determinación del “tiempo abierto” –
IRAM 1759.** Buenos Aires, 1986d.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2002. **Apresenta mapas com dados climáticos do Brasil entre 1930 e 1990**. INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 .dez. 2002.

IOPPI, P.R.; PRUDÊNCIO, L.R.; IRIYAMA, W.J. Estudo da absorção inicial de substratos de concreto: metodologias de ensaio e influência na aderência das argamassas de revestimento. In I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Goiânia, 1995. **Anais**. Goiás. UFG/ANTAC, 1995. p93-102.

KRISTELLER, M.G.; Argamassas colantes industrializadas: experiência com dados de laboratório de projetos de norma da ABNT. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Salvador, 1997. **Anais**. Bahia, 1997 . p.219-232.

MÁS, E. - O tempo em aberto das argamassas colantes. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Goiânia, 1995. **Anais**. Goiás, 1995 . p.203-216.

MEDEIROS, J.S. – **Tecnologia e projeto de revestimento cerâmico de fachada**. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

_____.; SABBATINI, F.H. – **Tecnologia e projeto de revestimento cerâmicos de fachadas de edifícios**. São Paulo, 1999. Boletim Técnico, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

MIBIELLI, J.G. Levantamento de campo de variáveis envolvidas na aderência do revestimento cerâmico. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Salvador, 1997. **Anais**. Bahia, CE, 1997. p. 271-83.

NEVILLE, a **Propriedades do concreto**. São Paulo, PINI, 1997.

OLMO, C. *et al.* Morteros cola: características e condiciones de empleo. **Informes de la Construcción**, v9, n342, p41-8, 1982.

_____. **Nueva guía técnica UEAtc para la evaluación de las colas para revestimientos cerámicos (comentarios).** Informes de la construcción, v42, n410, 1990.

PÓVOAS, Y.V. – **Tempo em aberto da argamassa colante: Método da mediana e Influência dos aditivos HEC e Resina PVAc.** São Paulo, 1999, 156p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

_____.; JOHN,V.M.;CINCOTTO,M.A. – Normalização de argamassas colantes. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Salvador, 1997. **Anais.** Bahia, CETA/ANTAC, 1997. p.501-512.

SARAIVA, A. G. – **Contribuição ao estudo de tensões de natureza em sistemas de revestimento cerâmico de fachada.** Distrito Federal, 1998. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

SHIRAKAWA, M.A **Biodeterioração de argamassas por fungos: desenvolvimento de teste acelerado para avaliação da bio-receptividade.** São Paulo, 1999. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SILVA, D.A. – **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento portland.** Florianópolis, 2001, 246p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina.

TECNOLOGIA DE SISTEMAS EM ENGENHARIA S/C LTDA – TESIS. **Relatório de apresentação da 3ª etapa do programa interlaboratorial de garantia de qualidade de argamassas colante.** Reunião setorial. São Paulo, 2002.

UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION. Directrices UEAtc para la evaluación técnica de colas para revestimientos cerámicos. Madri, ICCET, n349, 1979.

_____. **Technical guide for assessment of ceramic tile adhesives.** Cahiers du CSTB, 2435, 1990.

VIEIRA,A.C. – **Destacamento de placas cerâmicas: estudos de algumas variáveis.** São Paulo, 1998,198p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Mackenzie, Departamento de Engenharia de Materiais.

WAENY, J.C.C. – **Controle total da qualidade em metrologia.** São Paulo. Makron Books, McGraw-Hills, 1992.